Upload Tugas



Nama : YENI NOVITASARI

NIM : 192710026

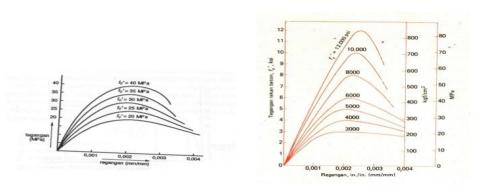
Mata Kuliah : MEKANIKA TERAPAN

Dosen : Dr. Firdaus, M.T.

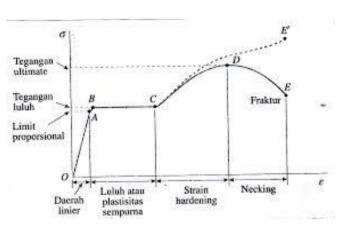
Tugas : Tugas e-learning 5

1. Untuk pengujian beton dilakukakan dengan cara pengambilan sampel Beton dengan Kubus Atau silinder, kemudian di lakukan streng test pada umur yang di syaratkan, dari hasil pemeriksaan akan didapat berapa tegangan dan regang yang terjadi

Kurva hubungan tegangan-regangan pada beton



2. Untuk pengujian baja , dengan cara diambil contoh baja dipotong lebih kurang 20 cm lalu dilakukan test tarik dan tekan sehingga dihasilkan nilai regangan baja setelah di tekan atau ditarik







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

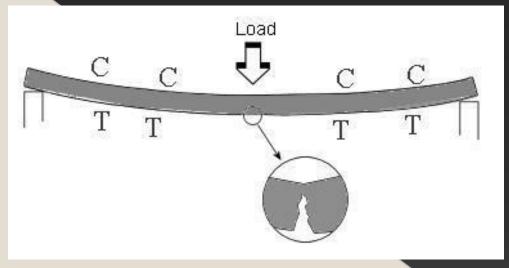
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

Selimut Beton

Lokasi Tulangan

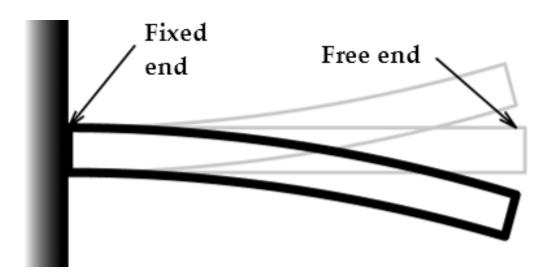
Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus (c)



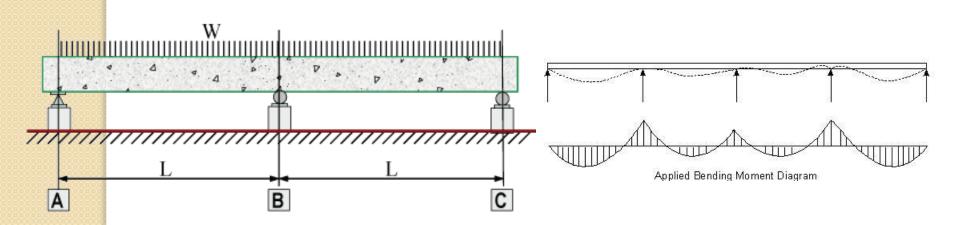
Gambar (a) menunjukkan perilaku balok yang ditumpu secara sederhana di kedua ujungnya saat diberikan beban terpusat di tengah bentang



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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

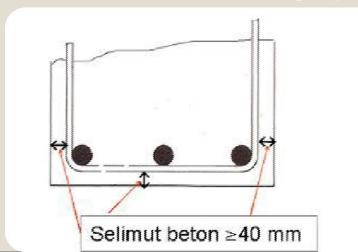
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

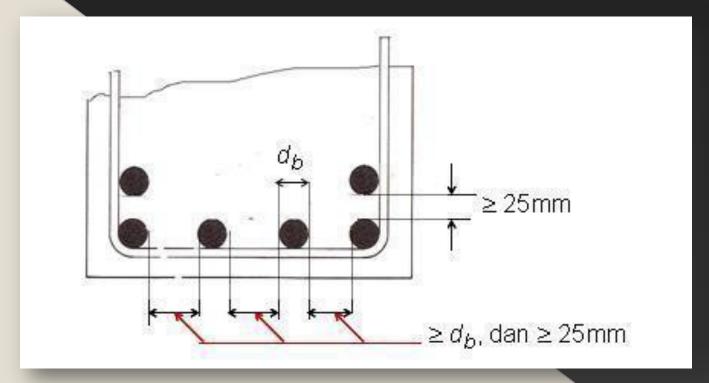
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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:

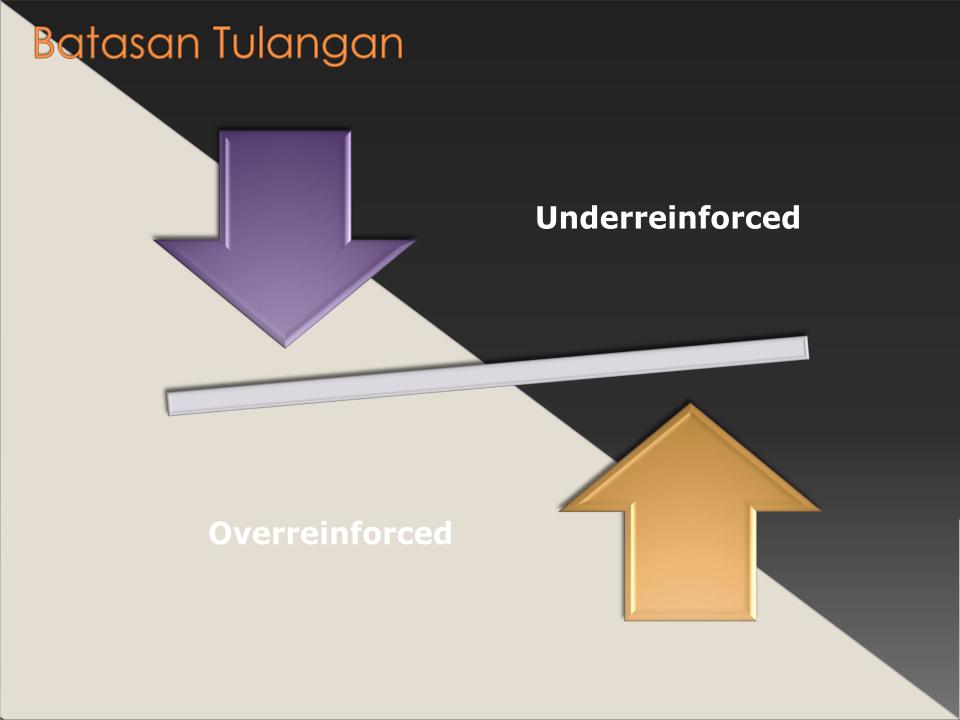
1.
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w d$$

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

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulanganyang diharapkan



Batasan Tulangan

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

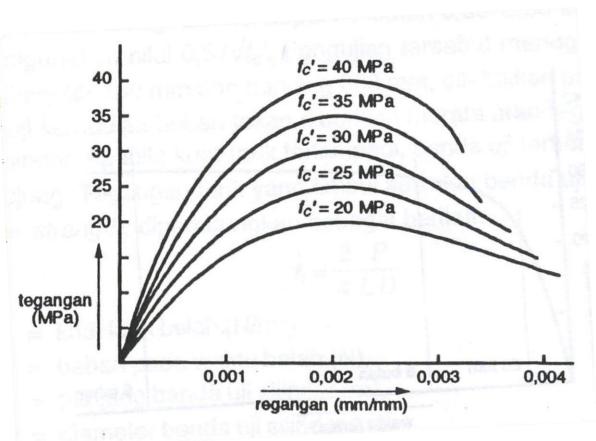
$$\rho_{\text{max}} = 0,75\rho_{\text{b}}$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

- 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 yanglain
- Kekuatan beton setelah mengeras tergantung dari banyak faktor
 - > Proporsi campuran
 - Kondisi temperatur
 - > Kelembaban

- 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 tinngi
- 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.

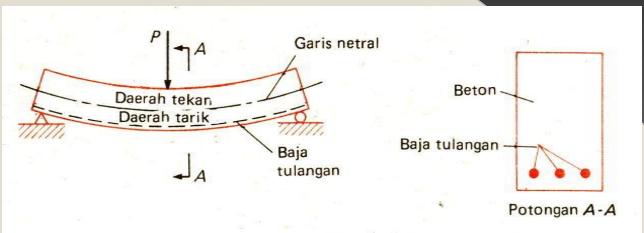
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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 (bendingmoment)
- Geser (shear)
- > Puntir (torsion)
- Gabungan dari gaya-gayaini



Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu & Kuat rencana

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

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

- 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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???

```
1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
2. U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5(A atau R)
3. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,6 W + 0,5(A atau R)
4. U = 0,9 D ± 1,6 W
5. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,0 E
6. U = 0,9 D + ± 1,0 E
```

Faktor reduksi???

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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. Befon polos struktural: 0,55

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

$$M_u \le \phi M_n$$
 atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

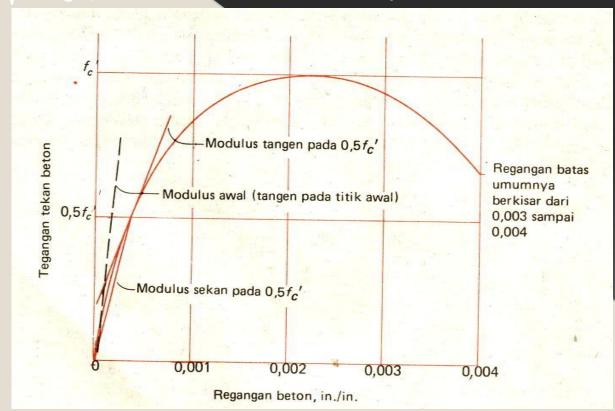
KUAT TARIK BETON

- 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 fr, yang didapatkan dari rumus f=Mc/I memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

MODULUS ELASTISITAS

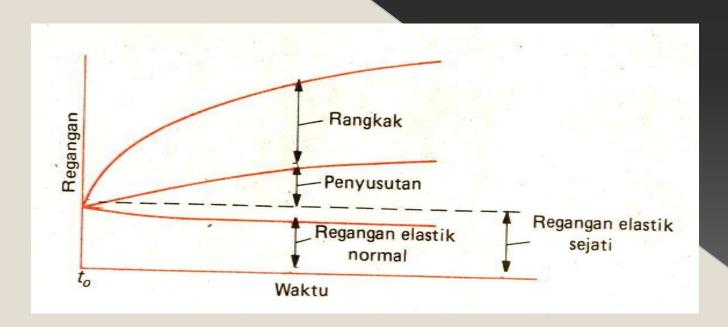
- Modulus elastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - Sifat agregat dansemen
 - > Kecepatan pembebahan
 - > Jenis dan ukuran benda uji
- Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi 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 $4700/f_c$ (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

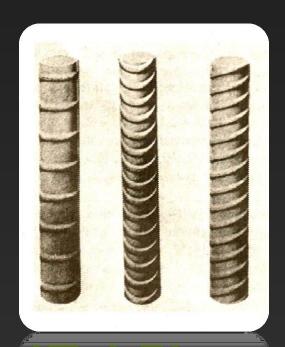


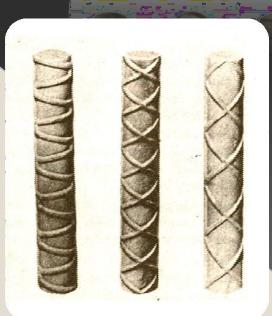
- Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak
 - Konstituen, seperti komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu dan isi mineral dari agregat
 - Perbandingan air, seperti perbandingan air dengan semen
 - > Suhu pada pengerasan dankebasahan
 - Kelembaban nisbi selama waktu penggunaan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

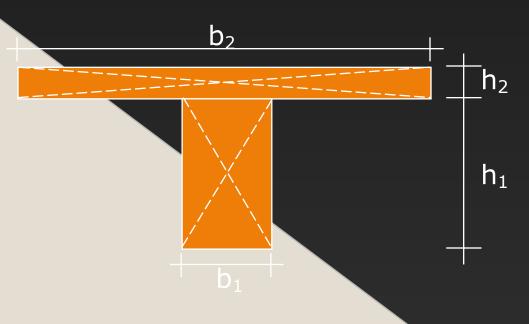
- Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.
- Ada kemungkinan bagi beton untuk mengeras secara terus menerus di dalam air dengan volume bertambah, namun ada kemungkinan volumenya berkurang
- Umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya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

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.

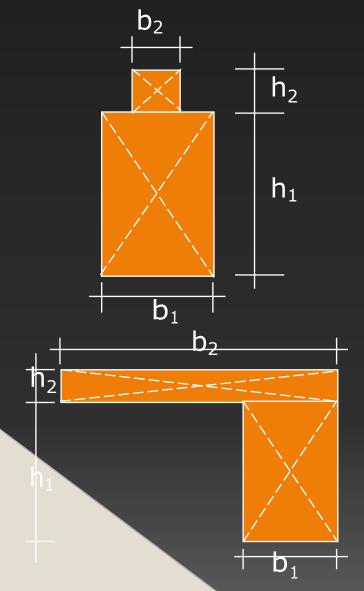


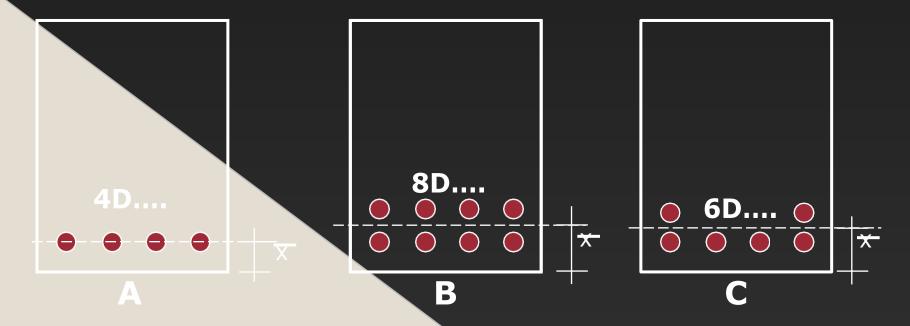




Pusat berat penampang struktur

$$\mathbf{x} = \frac{\mathbf{b}_{1} \cdot \mathbf{h}_{1} \cdot \frac{1}{2} \cdot \mathbf{h}_{1} + \mathbf{b}_{2} \cdot \mathbf{h}_{2} \cdot (\mathbf{h}_{1} + \frac{1}{2} \cdot \mathbf{h}_{2})}{\mathbf{b}_{1} \cdot \mathbf{h}_{1} + \mathbf{b}_{2} \cdot \mathbf{h}_{2}}$$





- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn} + \text{\emptyset sk} + \frac{1}{2}.\text{\emptyset tul.ut}) + 2(\text{sel.btn} + \text{\emptyset sk} + \text{\emptyset tul.ut} + 25 + \frac{1}{2}.\text{\emptyset tul.ut})}{4+2}$

(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 1,5db 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

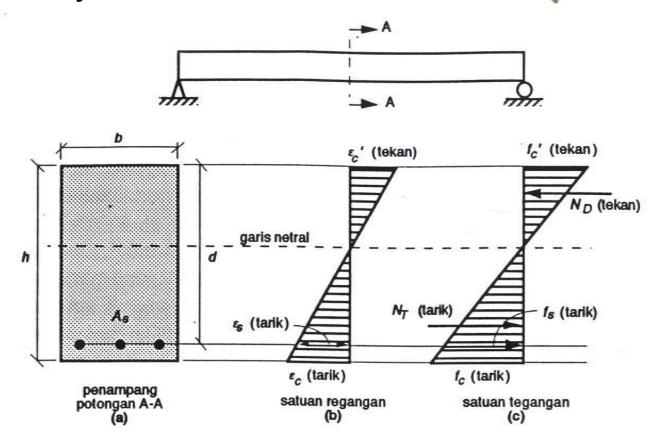
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

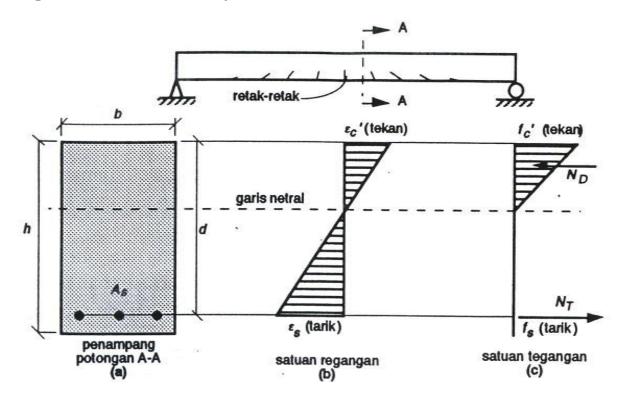
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambangpintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saatruntuh 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 mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebahan yang menyebabkan hancurnya struktur

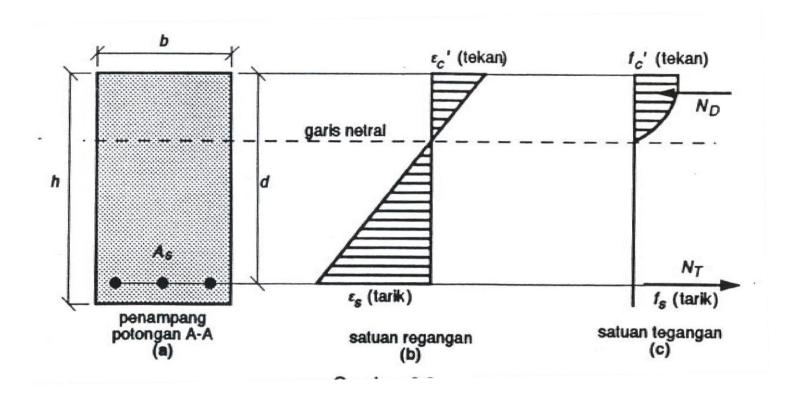
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 padanilai tegangan beton sampai ½.f'c



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurya 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.

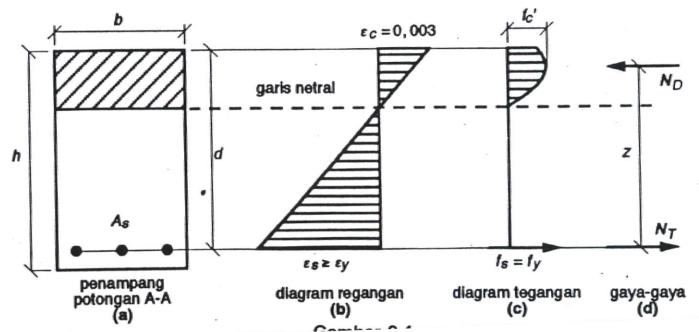


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

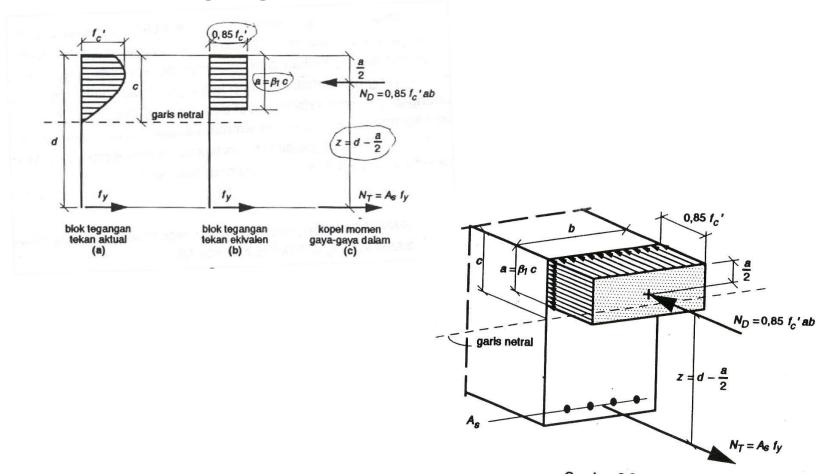
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan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

$$a = \beta_1.c$$

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 eta_1

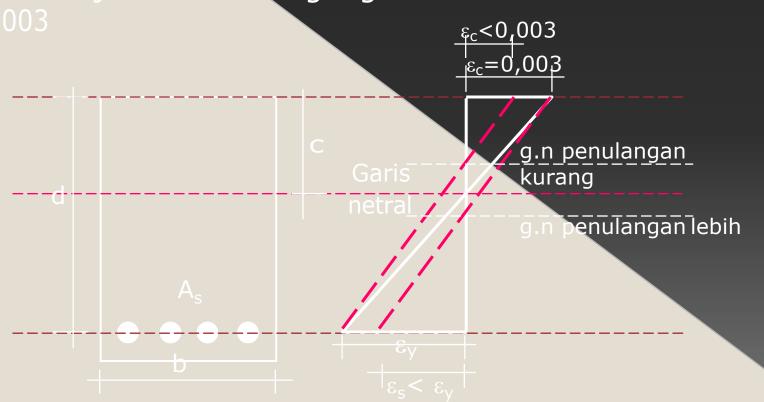
untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85 untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

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 ekivalen
- f_s = tegangan tarik baja
- f_c' = Kuat tekan beton
- $\varepsilon_{\rm c}$ = 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 = 2.10^5 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



- 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.f^*c.\beta 1)/f_v\}.\{600/(600+f_v)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rightarrow \rho_{\text{minimum}} = 1.4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rightarrow \rho = A_s/(bxd)$

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

Ø 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

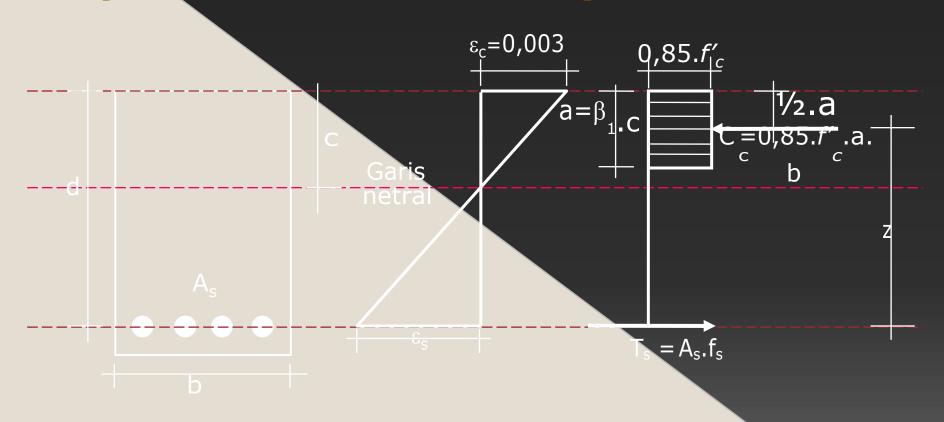
D19 dan yang lebih besar20 mm

D16 jaring kawat polos atau ulirD16 dan vang lebih kecil

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

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85.f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

$$A_{sb} = \rho_{b}bd^{-1}$$

- Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau keadaan overreinforced bila A_s > A_{sb}
 - keadaan underreinforced bila $A_s \le A_{sb}$
- 3. Bila keadaan underreinforced, kapasitas momen balok dihitung

$$a = \frac{A_s.f_y}{0.85.f'_c.b}$$

$$M_n = A_s.f_y.(d - \frac{1}{2}.a)$$
atau
$$M_n = 0.85.f'_c.a.b.(d - \frac{1}{2}.a)$$

$$M_R = \phi.M_n$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s \cdot \varepsilon}{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c}$$

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

$$c = k_u.d$$

$$a = \beta_1.c$$

$$M_n = 0.85. f'_c.a.b. \left(\frac{a}{2} \right)$$

$$M_R = \phi . M_n$$

Desain balok tulangan tunggal Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

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

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

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

a. Hitung koefisien tahanan momen
$$k = \frac{M_u}{\phi.b.d^2}$$
b. Hitung rasio tulangan
$$\rho = \frac{0.85.f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_c}}\right)$$
c. Hitung luas tulangan A. = o.b.d

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

d. Hitung jumlahtulangan

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

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

$$\rho = 0.5 \rho_{b} = 0.5 \frac{f'_{c} . \beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho.f_y \left(1 - \frac{\rho.f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentukan tinggi efektif balok $M_{\rm u}$

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

Desain Tulangan Tunggal

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

$$M_n = f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

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

Sehingga momen rencana balokadalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

Desain Tulangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$





Nama : YOSI MARIZAN

NIM : **192710021**

Mata Kuliah : MEKANIKA TERAPAN / 20192-MTS271201-0

Dosen : Dr. Firdaus, ST, MT.

Tugas : Tugas e-learning 5

Pertanyaan:

Jelaskan cara mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan untuk pengujian :

a. Beton

b. Baja

Jawaban boleh disertai dengan gambar

TEGANGAN (Stress)

Dari teori kekuatan bahan, bahwasanya tegangan Tarik/Tekan dapat ditentukan dengan membagi berat beban dengan luas penampang elemennya. Atau Tegangan adalah " Perbandingan antara gaya tarik atau tekan yang bekerja terhadap luas penampang benda".

Keadaan ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$\sigma = N/A$

dimana:

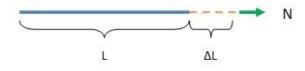
 σ = tegangan normal

N = gaya longitudinal (aksial)

A = luas penampang tali

REGANGAN (Strain)

Elemen yang ditarik/ditekan, menimbulkan gaya tarik/tekan pada elemen, sehingga elemen memberikan perlawanan berupa gaya dalam yang sebanding dengan berat beban yang dipikulnya (gaya aksi = reaksi). Respon perlawanan dari elemen terhadap beban yang bekerja padanya akan mengakibatkan elemen menegang sekaligus juga meregang sebagai efek terjadinya pergeseran internal di tingkat atom pada partikel-partikel yang menyusun elemen. Bertambah Panjang atau sebaliknya.



Jika pada akhirnya tali telah mengalami pertambahan sejauh Δl dari yang semula sepanjang L, maka regangan yang terjadi pada tali merupakan perbandingan antara penambahan panjang yang terjadi terhadap panjang mula-mula dari tali dan dinyatakan

sebagai berikut:

$\varepsilon = \Delta L / L$

dimana : ΔL = perubahan panjang (perpanjangan)...... (satuan panjang) L = panjang awal (panjang semula)...... (satuan panjang)



karena pembilang dan penyebutnya memiliki satuan yang sama, maka regangan adalah sebuah nilai nisbi, yang dapat dinyatakan dalam persen dan tidak mempunyai satuan.

MODULUS ELASTISITAS

Besarnya pertambahan panjang yang dialami oleh setiap benda ketika meregang adalah berbeda antara satu dengan yang lainnya, tergantung dari elastisitas bahannya. dan elastisitas yang dimiliki oleh tiap2 benda tergantung dari jenis bahan apakah benda itu terbuat.

Ketika diberi gaya tarik, karet ataupun pegas akan meregang, dan mengakibatkan pertambahan panjang baik pada karet gelang ataupun besi pegas. Besarnya pertambahan yang terjadi pada setiap keadaan tergantung pada elastisitas bahannya dan seberapa besar gaya yang bekerja padanya

Semakin elastis sebuah benda, maka semakin mudah benda tersebut untuk dipanjangkan atau dipendekan (istilah jawanya: gampang molor). Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu benda, maka semakin besar pula tegangan dan regangan yang terjadi pada benda itu, sehingga semakin besar pula pemanjangan atau pemendekan dari benda tersebut. Jika gaya yang bekerja berupa gaya tekan, maka benda akan mengalami pemendekan, sedangkan jika gaya yang bekerja berupa beban tarik, maka benda akan mengalami perpanjangan.

Dari sini sudah bisa disimpulkan bahwasanya regangan (ϵ) yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan tegangannya (σ) dan berbanding terbalik terhadap ke elastisitasannya. Ini dinyatakan dengan rumus :

$\varepsilon = \sigma / E$ atau $\sigma = E \times \varepsilon$

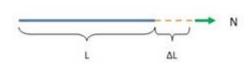
rumus ini dikenal sebagai hukum Hooke.

Dalam rumus ini, (E) adalah parameter modulus elastisitas atau modulus young. Modulus ini adalah sebuah konstanta bahan yang memiliki nilai tertentu untuk bahan tertentu. Seperti yang diuraikan diatas, tiap bahan mempunyai modulus elastisitas (E) tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tekan atau beban tarik. Bila nilai E semakin kecil, maka akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan

HUBUNGAN TEGANGAN, REGANGAN & MODULUS ELASTISITAS

Jika sebuah benda dengan luas penampang sebesar (\mathbf{A}), kemudian diberi gaya tekan, tarik atau lentur (\mathbf{N}), maka benda tersebut akan menegang sebesar gaya (\mathbf{N}) dibagi dengan luasan penampangnya (\mathbf{A}). Jika gaya tersebut dari (\mathbf{N}) = 0 kemudian berangsur-angsur diperbesar maka benda tersebut akan meregang (memendek/ memanjang/ membengkok) sebesar $\boldsymbol{\varepsilon}_0$ sampai dengan $\boldsymbol{\varepsilon}$.

Sekarang perhatikan gambar berikut.



Andaikata batang dengan panjang L ditarik hingga menjadi dua kali panjang semula, atau dengan kata lain, pertambahan panjang yang dialami sama dengan panjang semula, sehingga $\Delta L = L$.

ini berarti $\varepsilon = \Delta L / L$

$$\epsilon = L/L$$
 $\epsilon = 1 \dots (pers. 1)$

Jika persamaan 1 dimasukan ke hukum hooke $\varepsilon = \sigma / E$, maka didapat $1 = \sigma / E$

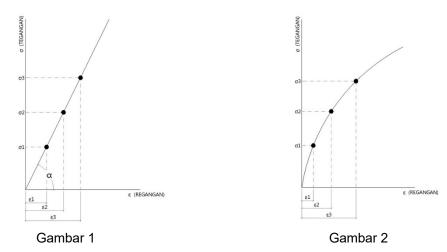
Ini berarti $\sigma = E$

Berapa besarnya **tegangan yang dibutuhkan** untuk meregangkan sebuah benda menjadi **dua kali dari panjang semula**, yaitu **sebesar modulus elastisitasnya** (dengan anggapan luas penampangnya tidak berubah).

Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamnya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak



dalam suatu garis lurus (linear) sehingga terdapat kesebandingan antara tegangan dan regangan. (lihat gambar bawah)



Hubungan tegangan – regangan seperti ini adalah **linear** (*Gambar 1*), dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya, Bahan benda yang memiliki bentuk diagram tegangan-regangan seperti ini disebut bahan elastis linear, dimana bahannya memiliki modulus elastisitas yang konstan. Hukum hooke berlaku dalam keadaan ini.

Namun dalam kenyataan, **tidak selalu tegangan itu berbanding lurus dengan regangan**, dimana apabila nilai dari tegangan dan regangan apabila dipetakan dalam bentuk titik2, maka tidak terbentuk hubungan linear didalamnya *(Gambar 2)*.

Hubungan tegangan – regangan seperti ini adalah **non-linear**, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya, Bahan benda yang memiliki bentuk diagram tegangan-regangan seperti ini disebut bahan elastis non-linear, dimana bahannya tidak memiliki modulus elastisitas yang konstan. Hukum hooke tidak berlaku dalam keadaan ini.

A. CARA MENDAPATKAN GRAFIK HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN UNTUK PENGUJIAN BETON.

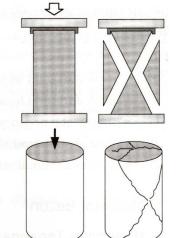
Beton merupakan material komposit yang terbuat dari kumpulan agregat (halus dan kasar) yang saling terikat secara kimiawioleh produk hidrasi semen Portland. Bahan dasar beton yaitu pasta semen dan agregat merupakan bahan yang mempunyai sifat tegangan-regangan yang linier dan getas dalam menerima gaya tekan. Material yang getas cenderung mengalami retak Tarik yang tegak lurus terhadap arah regangan tarik maksimum.

Kuat Tekan Beton

- Silinder standar 150 mm dia. × 300 mm tinggi.
- Ditekan dengan laju terkontrol hingga
- Satuan kekuatan dinyatakan dalam MPa.
- Keragaman mutu dapat terjadi pada hasil tes, sehingga jumlah sampel harus ≥ 3.
- Kuat karakteristik silinder dapat dinyatakan sebagai:

$$f_c$$
' = mean $-1,34$ SD

- Beton meningkat kekuatannya seiring dengan bertambahnya umur.
- Kuat tekan acuan ditetapkan pada umur beton 28 hari.



Pada saat menahan beban uniaksial tekan. beton idealnya mengalami retakretak yang arahnya parallel tegangan terhadap arah tekan maksimum. Namun kenyataannya disaat beton silinder dibebani gaya tekan uniaksial pada pengujian tekan dilaboratorium keruntuhan vana teriadi cenderung membentuk pola kerucut. Hal ini disebabkan adanya pengaruh friksi yang timbul pada permukaan beton yang dibebani. Friksi



terjadi antara permukaan beton dan permukaan platen baja dari mesin uji tekan.

Walaupun beton terbuat dari bahan yang bersifat linier elastic namun kenyataannya hubungan tegangan-regangannya cenderung bersifat non linier bahkan pada saat menahan beban yang kecil sekalipun.

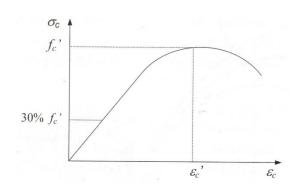
Untuk keperluan uji kuat tekan beton, perlu dipersiapkan adukan beton dengan volume 10% lebih banyak daripada volume yang dibutuhkan. Pengadukan campuran beton dapat dilakukan dengan mesin (mixer) ataupun secara manual dengan tangan.

- I. Untuk membuat benda uji kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan perlakuan beton segar sebagai berikut:
 - a. Mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, yang setiap lapisnya dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata.
 - b. Meratakan permukaan beton.
 - c. Menutup permukaan benda uji dengan bahan kedap air dan biarkan selama 24 jam.
 - d. Membuka cetakan dan keluarkan benda uji.
 - e. Merendam dalam bak perendam berisi air pada temperatur ±25 oC. P
- II. Pada tahapan persiapan pengujian, benda uji harus diperlakukan sebagai berikut:
 - a. Mengambil benda uji dari bak perendam.
 - b. Membersihkan kotoran yang menempel dengan kain basah.
 - c. Menentukan berat dan ukuran benda uji.
 - d. Melapisi permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang (capping) dengan cara sebagai berikut; (1) melelehkan mortar belerang di dalam pot peleleh yang dinding dalamnya telah dilapisi tipis dengan gemuk, (2) meletakkan benda uji tegak lurus pada cetakan, (3) angkat benda uji dari cetakan lalu angn-anginkan.
 - e. benda uji siap diperiksa.
- III. Setelah benda uji siap, prosedur pengujian dapat mulai dilaksanakan dengan langkahlangkah sebagai berikut:
 - a. Meletakan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
 - Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm2 perdetik.
 - c. Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur.
 - d. Mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
 - e. Menggambar/mendokumentasikan bentuk kerusakan benda uji.
 - f. Mencatat keadaan benda uji
 - g. menghitung kuat tekan beton, yaitu besarnya beban persatuan luas

Perilaku beton pada saat dikenakan beban uniaksial tekan dapat digambarkan sebagai berikut :

- 1. Pada saat beban tekan mencapai 30-40% *f'c*, perilaku tegangan-regangan beton pada dasarnya masih linier. Retak-retak lekatan (bond crack) yang sebelum pembebanan sudah terbentuk akan tetap stabil dan tidak berubah selama tegangan tekan yang bekerja masih dibawah 30% *f'c* (*f'c* merupakan kekuatan batas tekan beton).
- 2. Pada saat beban tekan melebihi 30-40% *f'c* , retak-retak lekatan mulai terbentuk. Pada saat ini mulai terjadi deviasi pada hubungan tegangan regangan dari kondisi linier.
- 3. Pada saat tegangan mencapai 75-90% kekuatan batas, retak-retak lekatan tersebut merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada konsisi ini hubungan tegangan regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linier.





Grafik Hubungan Tegangan Regangan pada Beton

Hubungan tegangan regangan beton tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan Hognestad, yaitu:

$$\sigma c = f'c \left[2 \left(\frac{\varepsilon c}{\varepsilon' c} \right) - \left(\frac{\varepsilon c}{\varepsilon' c} \right)^2 \right]$$

Dimana : εc = regangan tekan beton

 ϵ 'c = regangan tekan beton pada tegangan f'c.

σc = tegangan tekan beton pada regangan εc

f'c = kuat tekan uniaksial beton

B. CARA MENDAPATKAN GRAFIK HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN UNTUK PENGUJIAN BAJA.

Kekuatan suatu struktur desain material sangat dipengaruhi oleh sifat fisik materialnya oleh Karena itu diperlukan pengujian untuk mengetahui sifat-sifat tersebut. Diantaranya pengujian tarik (*Tensile test*). Pengujian tarik merupakan jenis pengujian material yang paling banyak dilakukan Karena mampu memberikan informasi representative dari perilaku mekanik material. Pada dasarnya pecobaan tarik ini dilakukan untuk menentukan respons material pada saat dikenakan beban atau deformasi dari luar (gaya-gaya yang diberikan dari luar yang dapat menyebabkan suatu material mengalami perubahan struktur, yang terjadi dalam kisi Kristal material tersebut). Dalam hal ini akan ditentukan seberapa jauh perilaku *inheren*, yaitu yang lebih merupakan ketergantungan atas fenomena atomic maupun mikroskopik dan bukan dipengaruhi bentuk dan ukuran benda uji.

Prinsip pengujian ini yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara continue pada kedua ujung specimen tarik hingga putus, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tangangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Pada specimen panjang bagian tengahnya biasanya lebih kecil luas penampangnya dibandingkan keda ujungnya adar patahan terjadi pada bagian tengah. Panjang ukur (gauge length) adalah daerah dibagian tengah dimana elongasi diukur atau alat extensometer diletakkan untuk pengukuran data yang diukur secara manual, yakni diameter specimen. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.

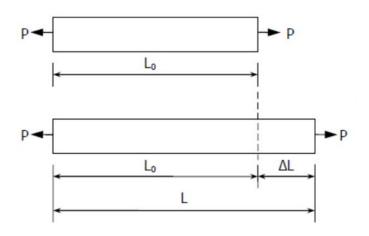


Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{5}$$

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier ratarata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (gage length) benda uji, ΔL , dengan panjang awalnya, L0.

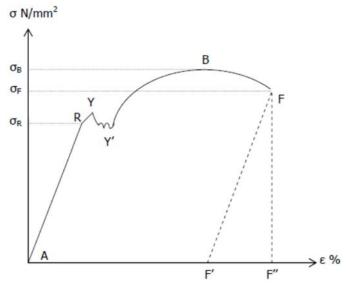
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \tag{6}$$



Benda kerja bertambah panjang ΔL ketika diberi beban P.

Pada waktu menetapkan regangan harus diperhatikan :

- Pada baja yang lunak sebelum patah terjadi pengerutan (pengecilan penampang) yang besar
- Regangan terbesar terjadi pada tempat patahan tersebut, sedang pada kedua ujung benda uji paling sedikit meregang.



Gambar 5. Kurva umum tegangan - regangan hasil uji tarik.



Kurva tegangan regangan hasil pengujian tarik umumnya tampak seperti pada gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat :

1. AR garis lurus. Pada bagian ini pertambahan panjang sebanding dengan pertambahan beban yang diberikan. Pada bagian ini, berlaku hukum Hooke:

$$\Delta L = \frac{P}{A} \times \frac{L_0}{F} \tag{7}$$

dengan: ΔL = pertambahan panjang benda kerja (mm)

L0 = panjang benda kerja awal (mm)

P = beban yang bekerja (N)

A = luas penampang benda kerja (mm2) E = modulus elastisitas bahan (N/mm2)

Dari persamaan (5) dan (6), bila disubstitusikan ke persamaan (7), maka akan diperoleh :

$$\mathsf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{8}$$

- 2. Y disebut titik luluh (yield point) atas.
- 3. Y' disebut titik luluh bawah.
- 4. Pada daerah YY' benda kerja seolah-olah mencair dan beban naik turun disebut daerah luluh.
- 5. Pada titik B beban mencapai maksimum dan titik ini biasa disebut tegangan tarik maksimum atau kekuatan tarik bahan (□B). Pada titik ini terlihat jelas benda kerja mengalami pengecilan penampang (necking).
- 6. Setelah titik B, beban mulai turun dan akhirnya patah di titik F (failure)
- 7. Titik R disebut batas proporsional, yaitu batas daerah elastis dan daerah AR disebut daerah elastis. Regangan yang diperoleh pada daerah ini disebut regangan elastis.
- 8. Melewati batas proporsional sampai dengan benda kerja putus, biasa dikenal dengan daerah plastis dan regangannya disebut regangan plastis.
- Jika setelah benda kerja putus dan disambungkan lagi (dijajarkan) kemudian diukur pertambahan panjangnya (ΔL), maka regangan yang diperoleh dari hasil pengukuran ini adalah regangan plastis (AF').



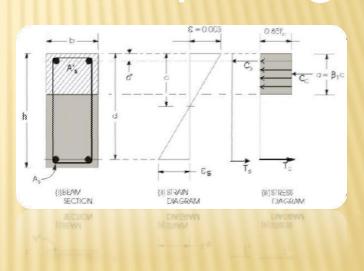
TUGAS 5 MEKANIKA TERAPAN

NAMA : Abdul Manan

NIM : 192710027

DOSEN : DR. FIRDAUS, M.T.

balok persegi



GAMBARKAN DAN GRAFIK HUBUNGAN REGANGAN UNTUK BETON DAN BAJA!

JELASKAN TEGANGAN MATERIAL

LOK ASI TULA NGAN

Jarak Tulangan desain balok persegi

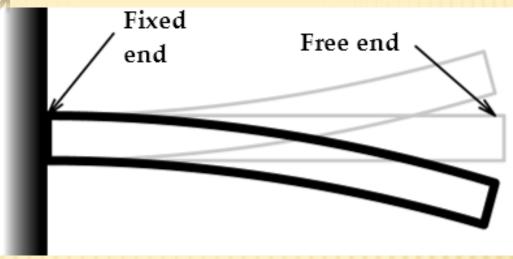
Tinggi Minimum Balok

Selimu t Beton

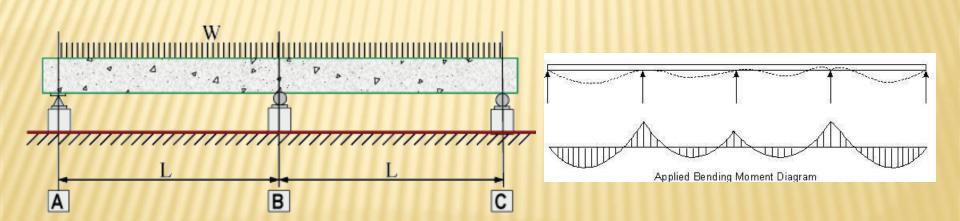
TERDAPAT TIGA JENIS BALOK YANG MENENTUKAN LOKASI TULANGAN, YAITU BALOK YANG DITUMPU SEDERHANA (A), BALOK KANTILEVER (B), DAN BALOK MENERUS (C)

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

TULANGAN



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



Gambar (c) menunjukkan perilaku lendutan balok menerus

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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

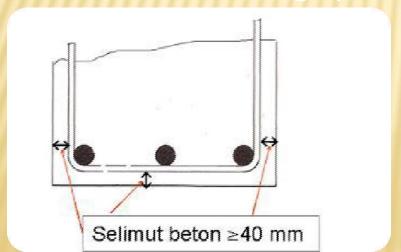
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

SELIMUT BETON ADALAH BAGIAN BETON TERKECIL YANG MELINDUNGI TULANGAN

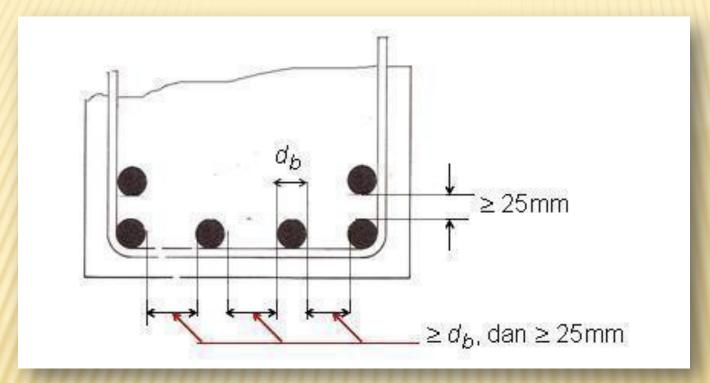
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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 balokadalah: 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.
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w d$$

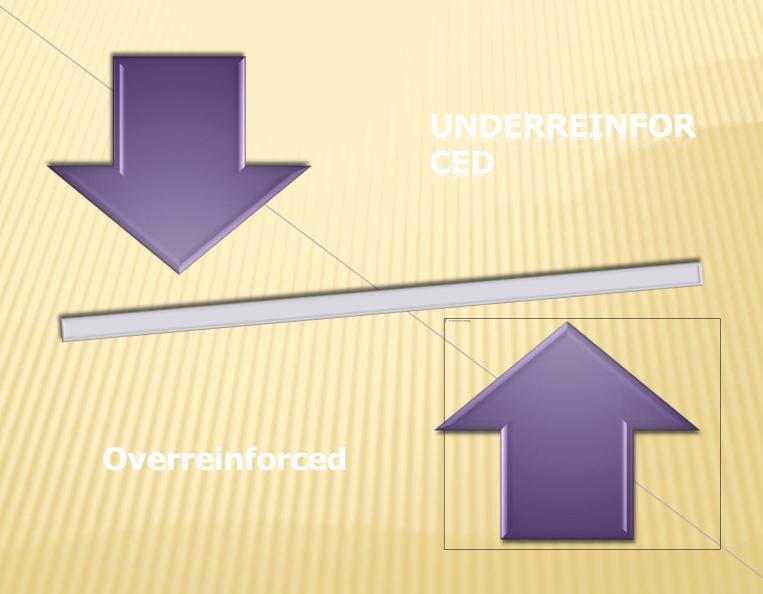
$$2. A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulanganyang diharapkan

Batasan Tulangan



Batasan Tulangan

AGAR DAPAT DIJAMIN BAHWA JENIS KERUNTUHAN BALOK BETUL-BETUL PADA KERUNTUHAN TARIK, MAKA SNI BETON 2002 MEMBATASIRASIO TULANGAN MAKSIMUMBALOK:

$$\rho_{\text{MAX}} \equiv 0.75 \rho_{\text{B}}$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Brief Review

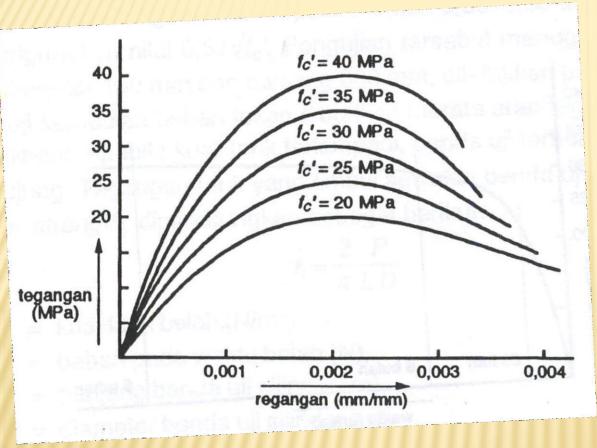
- Beton bertulang terdiridari
 - Beton (yang memiliki kekuatan tekan tinggi tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah)
 - > Baja tulangan (memiliki kekuatan tarik yang tinggi)
- Baja dan beton dapat bekerja bersama-sama berdasarkan beberapa alasan
 - Lekatan/bond (interaksi antara baja tulangan dengan 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 yanglain
- 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 tinngi
- 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

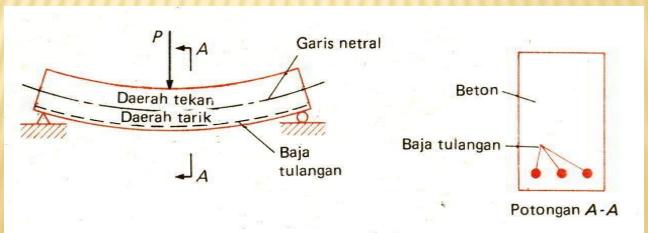


- Makin rendah kuat tekan beton : kemampuan deformasi (daktilitas) makin tinggi
- Tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan di antara 0,002-0,0025
- Regangan ultimit pada saat hancurnya beton berkisar 0,003-0,004 (SNI menetapkan 0,003)
- Dalam perencanaan beton bertulang secara umum ditetapkan kekuatan 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 (bendingmoment)
- > Geser (shear)
- > Puntir (torsion)
- > Gabungan dari gaya-gayaini





Kuat Rencana

Kuat perlu & Kuat rencana

kekuatan yang harus mampu dipikul balok akibat beban-beban yang sudahdikalikanfaktor keamanan (kombinasi beban)

kekuatan yang harusada pada elemen beton bertulang, yakni berupa kekuatan nominal x faktor reduksi kekuatan ∮

- 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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???

```
1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
2. U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5(A atau R)
3. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,6 W + 0,5(A atau R)
4. U = 0,9 D ± 1,6 W
5. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,0 E
6. U = 0,9 D + ± 1,0 E
```

Faktor reduksi???

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

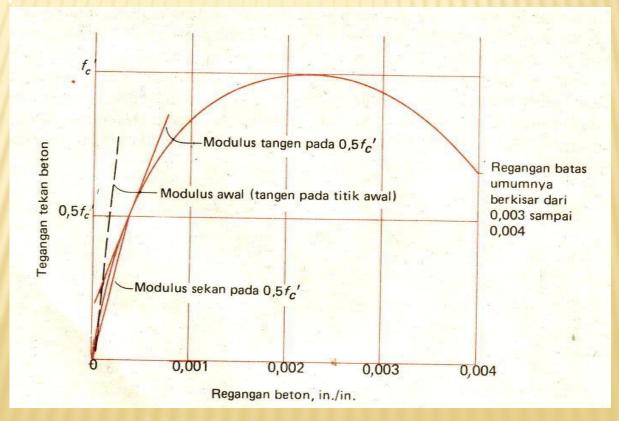
$$M_u \le \phi M_n$$
 atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

- F to more in the state.
 - 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 fr, yang didapatkan dari rumus f=Mc/I memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

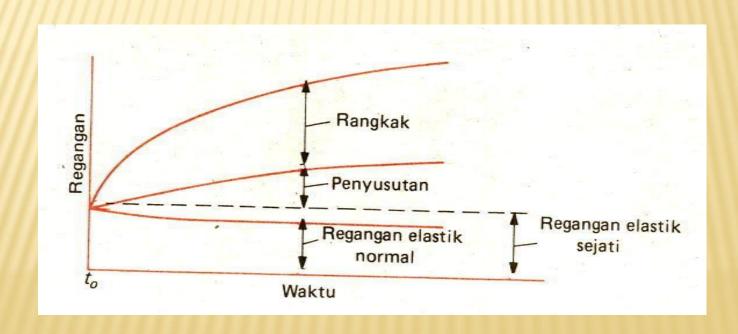
- Moduluselastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - > Sifat agregat dansemen
 - > Kecepatan pembebanan
 - > Jenis dan ukuran benda uji
- Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi 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 f'_c (RSNI 2002 hal 53)



RANGKAK DAN SUSUT

- Rangkak (creep) dan susut (shrinkage) adalah deformasi strukturyang 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 rangkak

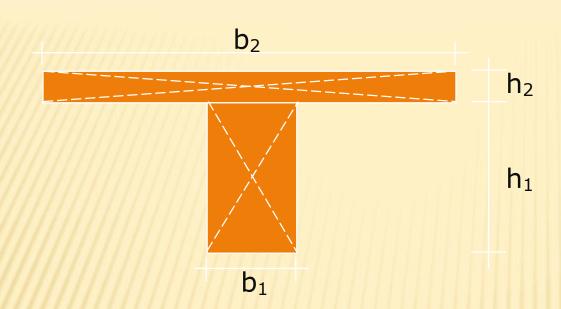
- Konstituen, seperti komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu dan isi mineral dari agregat
- Perbandingan air, seperti perbandingan air dengan semen
- > Suhu pada pengerasan dankebasahan
- > Kelembaban nisbi selama waktu penggunaan beton
- > Umur beton pada pembebanan
- > Lamanya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

- Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebahan.
- 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 rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya faktorfaktor yang berhubungan dengan hilangnya kelembaban
- Susut yang dihalangi secara simetris oleh penulangan akan menimbulkan deformasi yang umumnya menambah deformasi terhadap rangkak

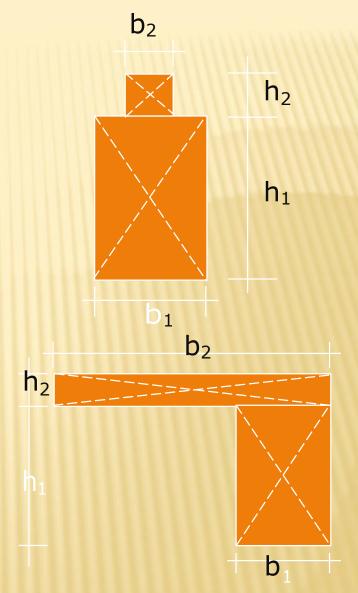
BAJA TULANGAN

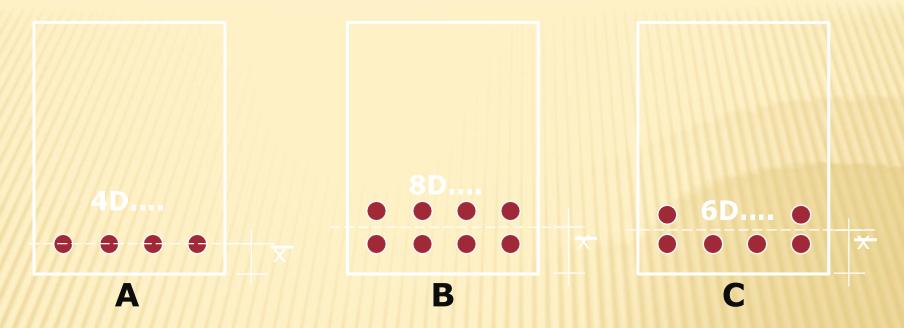
- Baja tulangan dapat terdiri dari
 - > Batang tulangan (tulangan polos atauberulir/deform)
 - > Anyaman kawat yang dilas
- Tulangan berulir atau deform memiliki bentuk ulir yang bermacam-macam seperti gambar berikut. Adapun fungsi ulir adalah untuk menambah lekatan antara beton dengan baja
- Modulus 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





- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul.utama
- Pusat berat tulangan penampang B $x = selimut beton + \emptyset sengkang + \emptyset tul. utama + \frac{1}{2}. 25 mm$
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn+} \# \text{sk+} \frac{1}{2}. \# \text{tul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} \# \text{sk+} \# \text{tul.ut+} 25 + \frac{1}{2}. \# \text{tul.ut})}{4+2}$

(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 1,5db 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

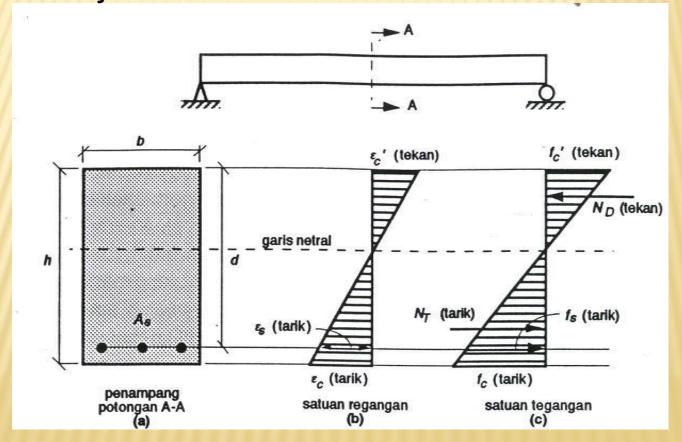
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

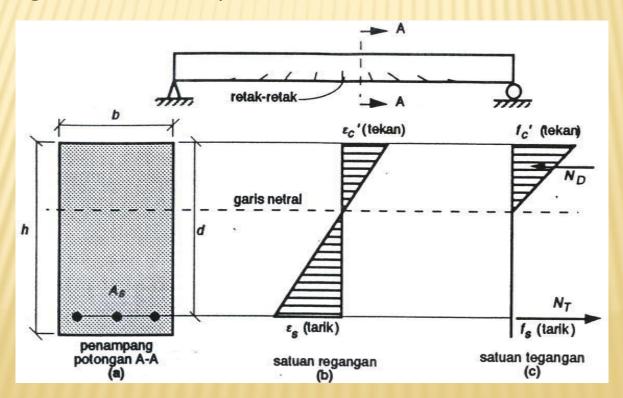
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambangpintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saatruntuh 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 mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebahan yang menyebabkan hancurnya struktur

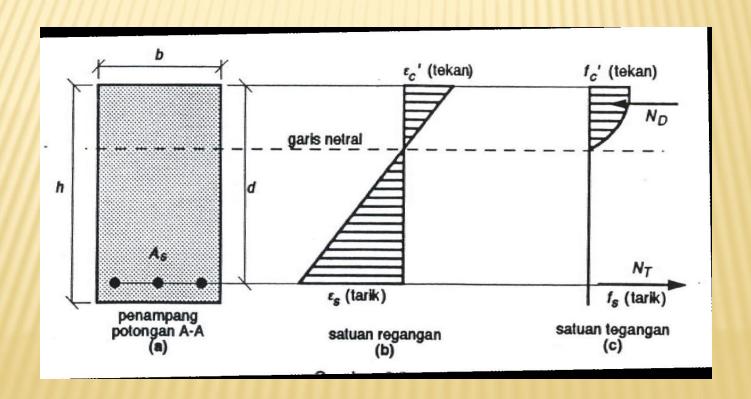
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 padanilai tegangan beton sampai ½.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.

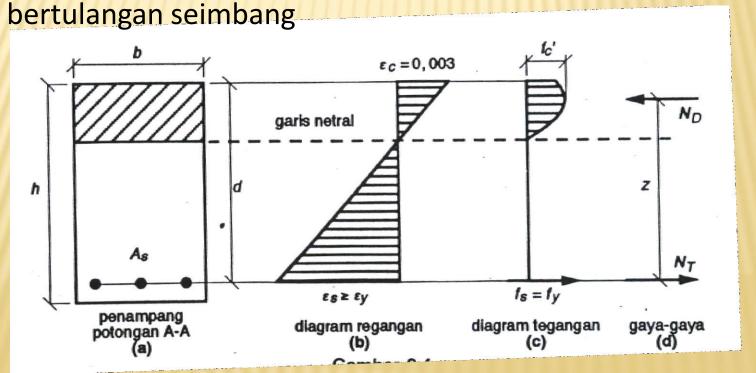


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

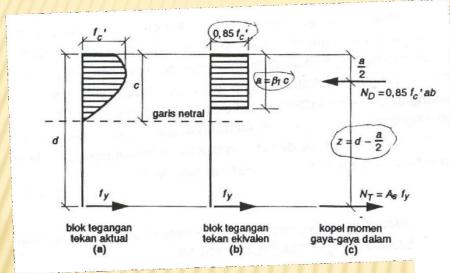
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan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

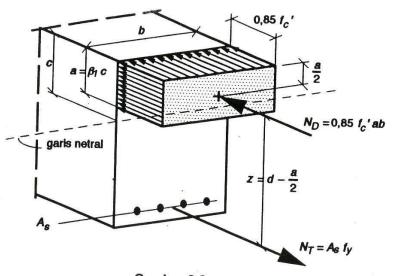


- Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang dalam kondisi tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam
- N_D atau C_c adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral
- 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
- Palam 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

$$a = \beta_1.c$$

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 β_1 = 0,85 untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

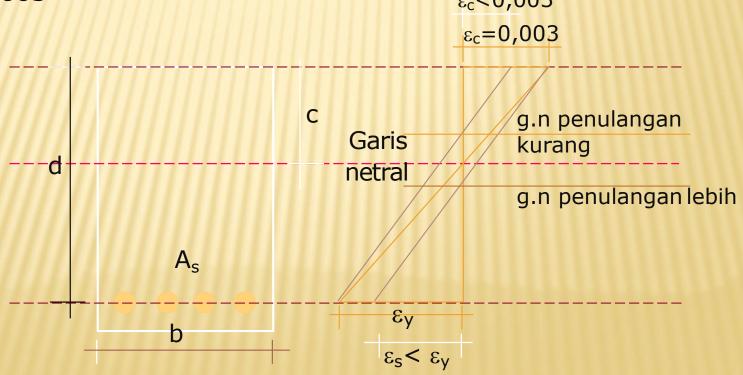
DENGAN NOTASI SEBAGAI

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 ekivalen
- f_s = tegangan tarik baja
- f_c' = Kuat tekan beton
- $\varepsilon_{\rm c}$ = 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 = 2.10 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 lendukan 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
 - > $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75$. ρ_{b} > $\rho_{\text{b}} = \{(0.85.\text{f'c.}\beta 1)/\text{f}_{\text{y}}\}.\{600/(600+\text{f}_{\text{y}})\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rightarrow \rho_{\text{minimum}} = 1.4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $> \rho = A_s/(bxd)$

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

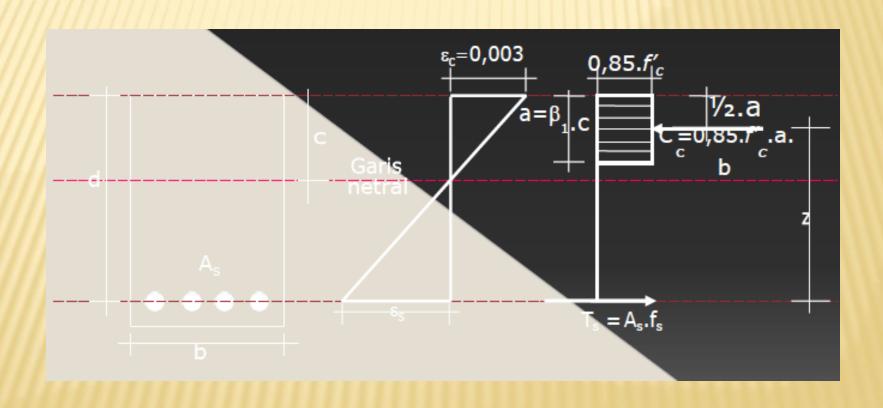
40 mm

- D16 jaring kawat polos atau kawat ulir
 D16 dan yang lebih kecil
- Beton tidak langsung berhubungan dengan cuaca/tanah
 - > Plat, dinding, plat berusuk
 - SD44 dan D5640 mmD36 dan yg lebih kecil20 mm
 - > Balok, kolom
 - CaTulangan 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-jenisbalokmenurutcaraanalisa 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
- 2. Tentukanskeadaam tulangan balok overreinforced bila A_s > A_{sb}
 - x keadaan *underreinforced* bila A_s≤A_{sb}
- 3. Bila keadaan underreinforced, kapasitas moment balak dihitung M_n = A_s.f_y.(d -1/2.a) atau

 $M_n = 0.85.f'_c.a.b.(d - \frac{1}{2}.a)$

 $M_R = \phi M_n$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

$$P \equiv A_{S}$$

$$B = \frac{P}{P}$$

$$M = \frac{P}{0.85 \cdot \beta_{1} \cdot f_{c}}$$

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

$$c = k_u.d$$

$$a = \beta_1.c$$

$$M_n = 0.85. f'_c.a.b. \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_R = \phi.M_n$$

Desain balok tulangan tunggal

DESA NO BALLOUK TELELIZAVIGANITUNGGAL

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

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

b. Hitung rasio tulangan

$$\rho = \frac{0.85.f_{c}}{f_{y}} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_{c}}} \right)$$

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

d. Hitung jumlahtulangan

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

Jumlah ini dibulatkan ke atas kemudian di cek syarat-syarat

2.MENCARI LUAS TULANGAN DAN DIMENSI

BALOK

a. Tentukan rasio dimensi

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

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

d. tentukan tinggi efektif balok
$$d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{r.\phi.R_n}}$$

DESAINTULANGAN TUNGGAL

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

$$M_n = f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

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

Sehingga momen rencana balokadalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

DESAINTULANGAN TUNGGAL

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$





TUGAS 5

cara mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan untuk pengujian:

- a. Beton
- b. Baja

Ardinal Saputra Mekanika Terapan Lokasi Tulangan

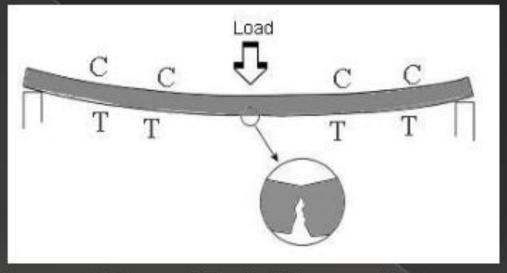
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

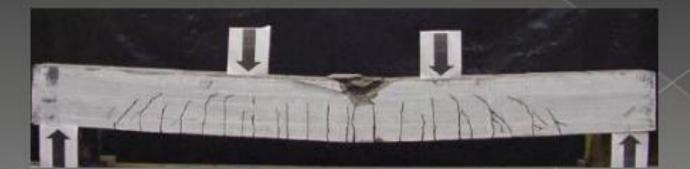
Selimut Beton

Lokasi Tulangan

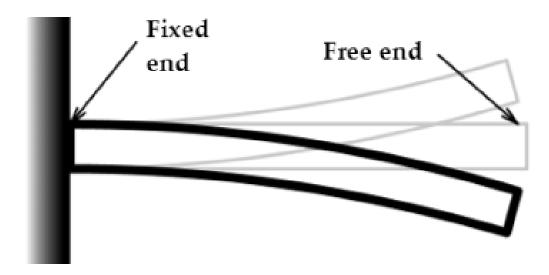
Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus (c)



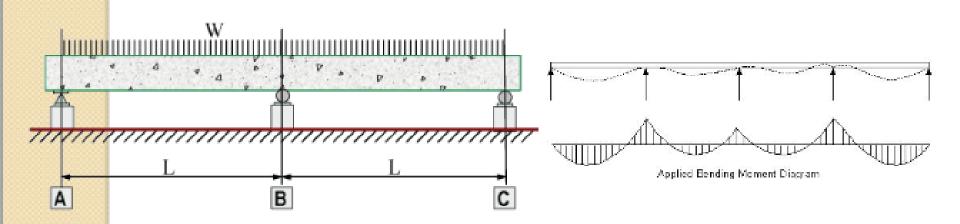
Gambar (a) menunjukkan perilaku balok yang ditumpu secara sederhana di kedua ujungnya saat diberikan beban terpusat di tengah bentang



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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

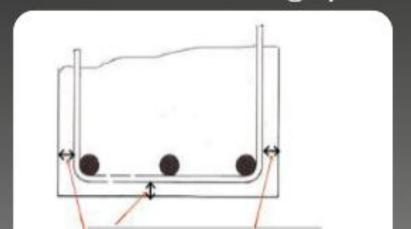
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

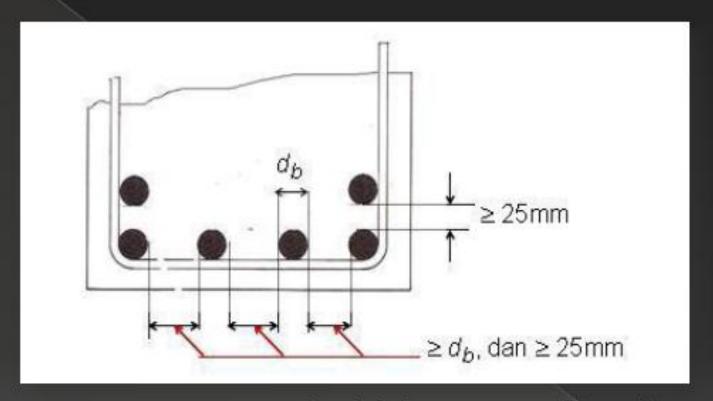
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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

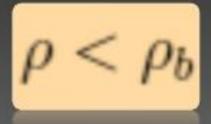
Batasan Tulangan

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

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

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

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan

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

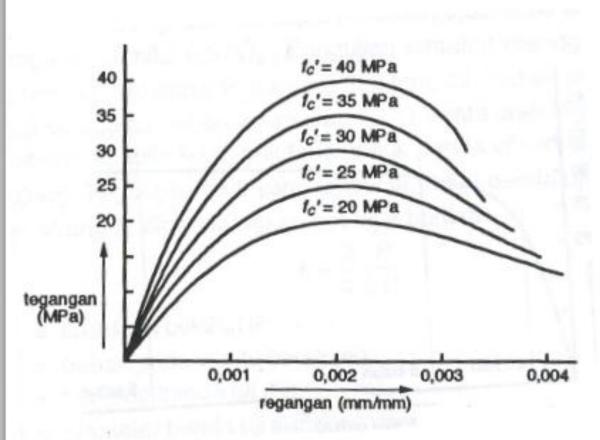
$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \rho_{\text{b}}$$

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

- 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

- 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 tinngi
- 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.

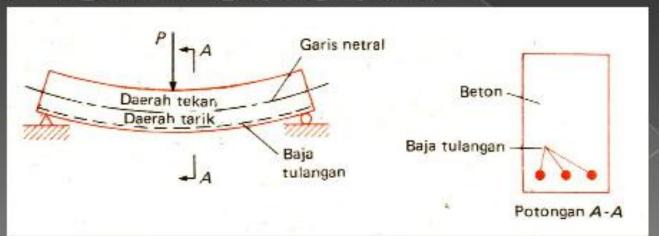
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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

Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ 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 ø

Desain Balok

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

atan

$$M_u \le \phi M_n$$

$$\phi M_n \ge M_u$$

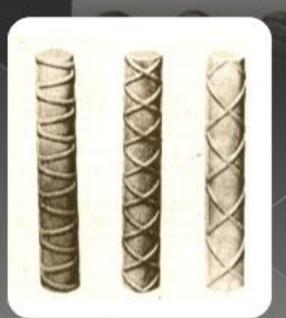
KUAT TARIK BETON

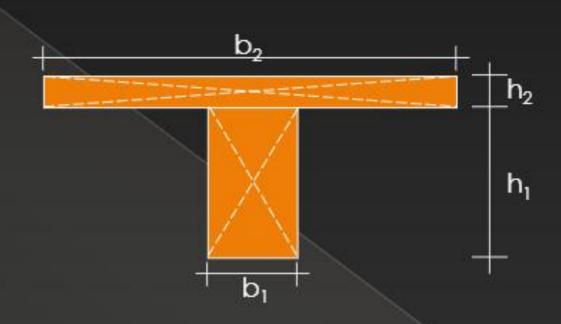
- Kuat tarik beton bisa ditentukan berdasarkan pengujian pembebanan silinder (the split silinder)
- Kuat tarik beton lebih bervariasi dibandingkan kuat tekannya, besarnya berkisar 10-15% kuat tekan beton
- Kuat tarik dalam lentur yang dikenal sebagai modulus runtuh (modulus of rupture) penting dalam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

BAJA TULANGAN

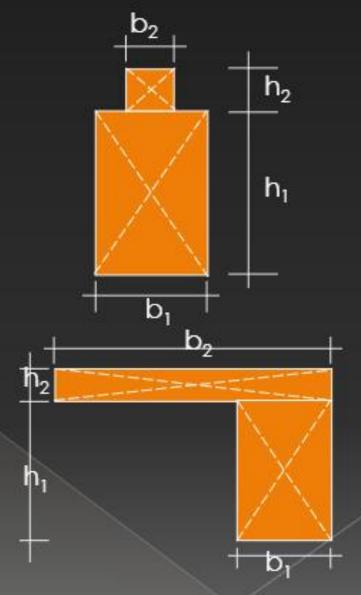
- Baja tulangan dapat terdiri dari
 - Batang tulangan (tulangan polos atau berulir/deform)
 - Anyaman kawat yang dilas
- Tulangan berulir atau deform memiliki bentuk ulir yang bermacam-macam seperti gambar berikut. Adapun fungsi ulir adalah untuk menambah lekatan antara beton dengan baja
- Modulus elastisitas 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.

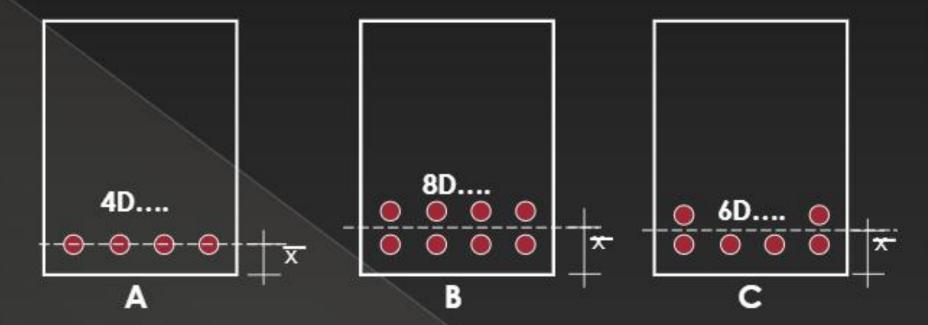






Pusat berat penampang struktur



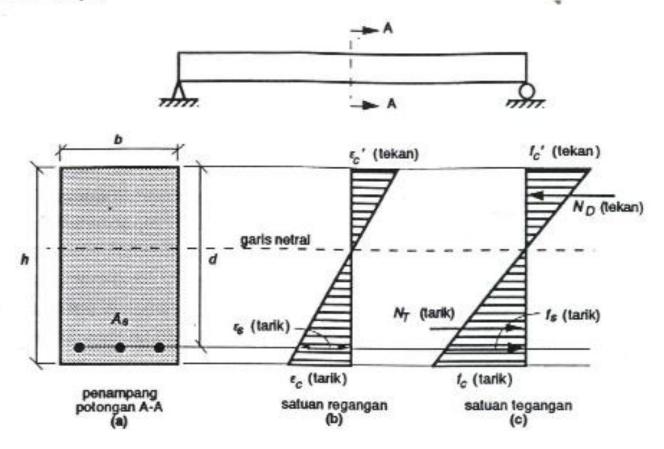


- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn+øsk+}1/2.0\text{tul.ut}) + 2(\text{sel.btn+øsk+}0\text{tul.ut+}25 + 1/2.0\text{tul.ut})}{4+2}$

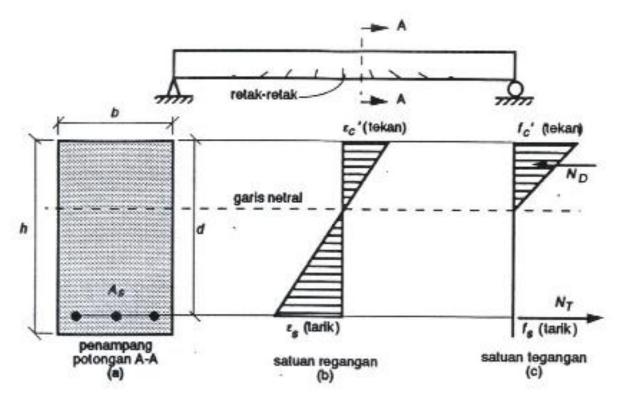
(RSNI-2002 ketentuan 9.6 hal 38)

- 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 1,5db 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

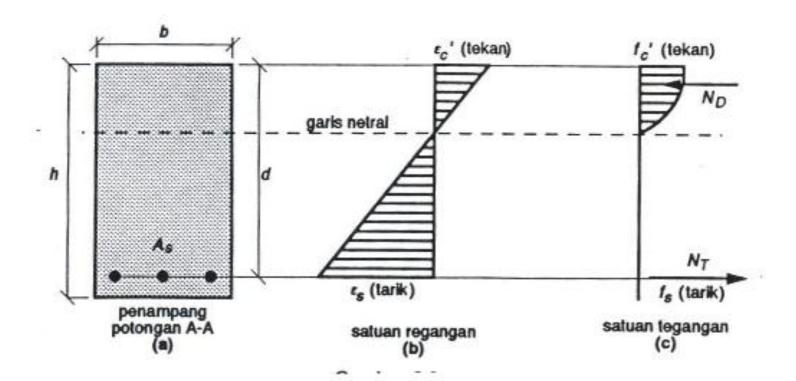
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 ½.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.

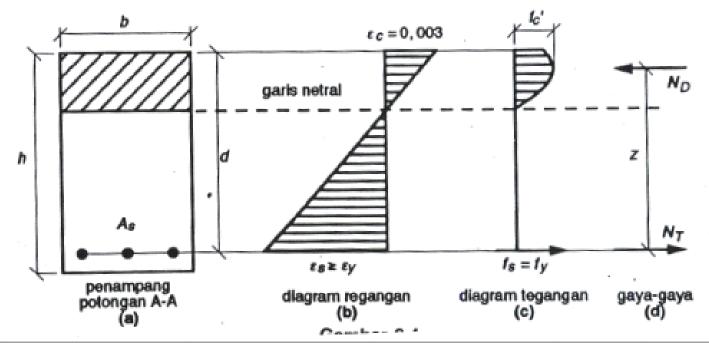


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

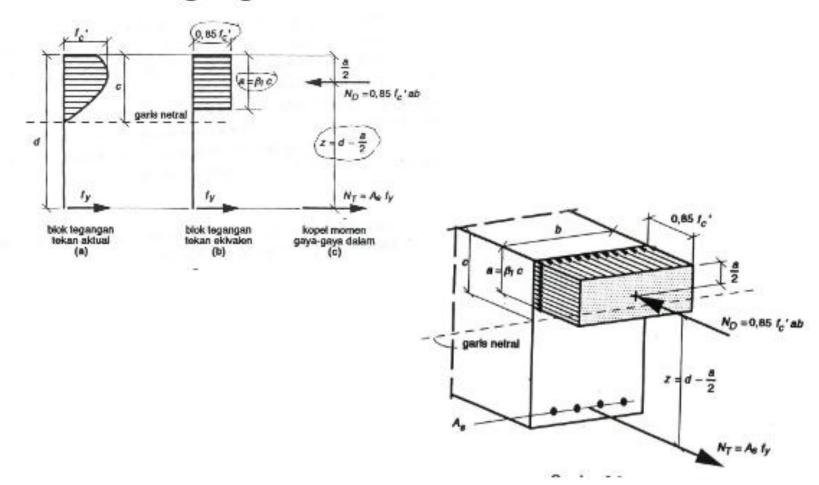
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan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

$$a = \beta_1.c$$

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

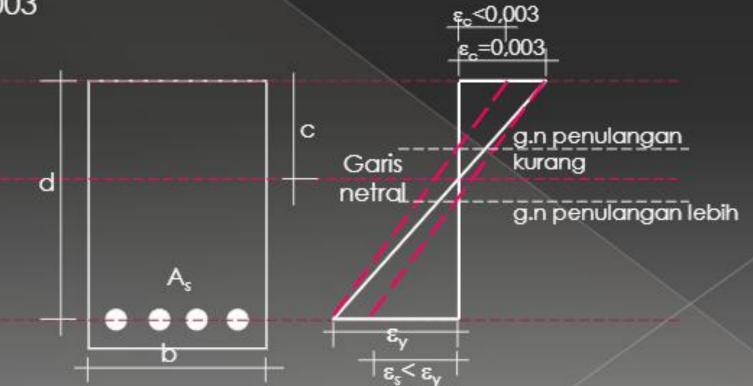
untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85 untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

Dengan notasi sebagai berikut

- b = lebar balok
- d = tinggi dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
- A = luas tulangan tarik
- c = tinggi serat tekan terluar ke garis netral
- a = tinggi blok tegangan tekan ekivalen
- f, = tegangan tarik baja
- f_c' = Kuat tekan beton
- $\varepsilon_r = \text{regangan beton}$
- ε, = regangan tarik baja
- C_r = resultan gaya tekan beton
- T = resultan gaya tarik baja tulangan
- E_s = modulus elastisitas baja = 2.10⁵ 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

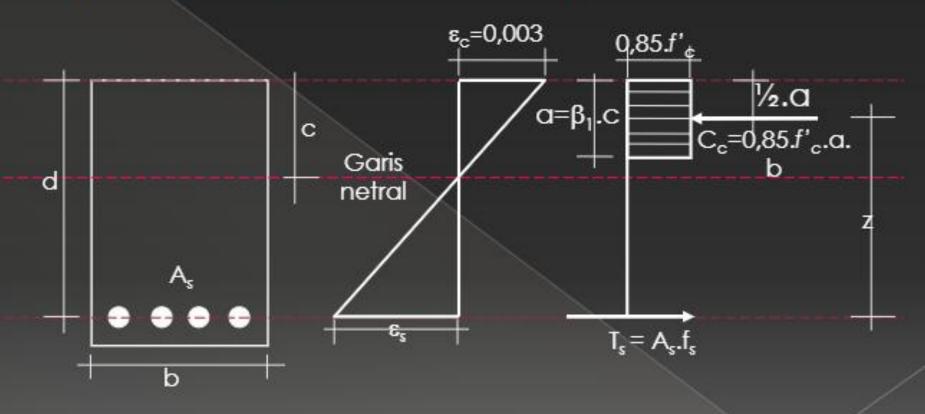


- Bila penampang balok mengandung jumlah tulangan tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok dikatakan bertulangan lebih (overreinforced).
 - Berlebihnya tulangan mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah, beton mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.f'c.\beta 1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rho_{\text{minimum}} = 1,4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rho = A_s/(bxd)$

BALOK BERTULANGAN TUNGGAL (BERTULANGAN TARIK SAJA)



Analisa balok tulangan tunggal

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85.f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

$$A_{sh} = \rho_{b}.b.d$$

- Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau keadaan overreinforced bila A_s > A_{sb} keadaan underreinforced bila A_s ≤ A_{sb}
- 3. Bila keadaan underreinforced, kapasitas momen balok dihitung

$$a = \frac{A_{s}.f_{y}}{0.85.f_{y}'} (b^{b} - 1/2.a)$$

$$A = A_{s}.f_{y}'(b^{b} - 1/2.a)$$

$$A = 0.85.f_{c}.a.b.(d - 1/2.a)$$

$$A = 0.85.f_{c}.a.b.(d - 1/2.a)$$

$$A = 0.85.f_{c}.a.b.(d - 1/2.a)$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s.\epsilon}{0.85.\beta_1.f'_c}$$

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

c =
$$k_u$$
.d
a = β_1 .c
 $M_n = 0.85. f'_c$.a.b. $\left(d - \frac{a}{2}\right)$

$$M_R = \phi.M_n$$

Desain balok tulangan tunggal Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

- I. hanya mencari luas tulangan
- 2. mencari luas tulangan dan dimensi balok
- 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

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

b. Hitung rasio tulangan

n momen
$$k = \frac{M_u}{\phi.b.d^2}$$

$$\rho = \frac{0.85.f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_c}} \right)$$

c. Hitung luas tulangan $A_{\xi} = \rho.b.d$

d. Hitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_{tu1}}$$

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

$$\rho = 0.5 \rho_b = 0.5 \frac{f'_c \cdot \beta_1}{f_v} \frac{600}{600 + f_v}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho.f_y \left(1 - \frac{\rho.f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentuka<u>n tinggi</u> efektif balok

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

Desain Tulangan Tunggal

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

$$M_n = f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

dimana
$$\omega = \rho \frac{f_y}{f_c^s}$$
.

Sehingga momen rencana balok adalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

Desain Tulangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

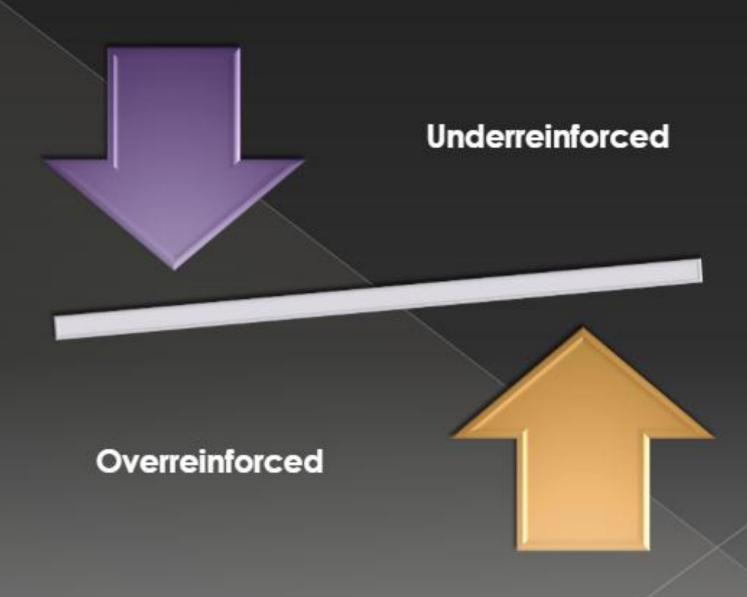
$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0.59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f'_c \omega (1 - 0.59\omega)$$
 (III.2)

$$\frac{M_n}{bd^2} \le \phi f_{\mu\nu}'(1 - 0.59\omega)$$
 (III.2)

Batasan Tulangan





TUGAS 5

cara mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan untuk pengujian:

- a. Beton
- b. Baja

Asep Nugraha Mekanika Terapan

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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

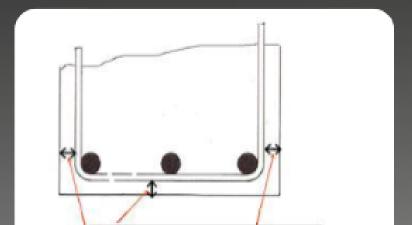
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

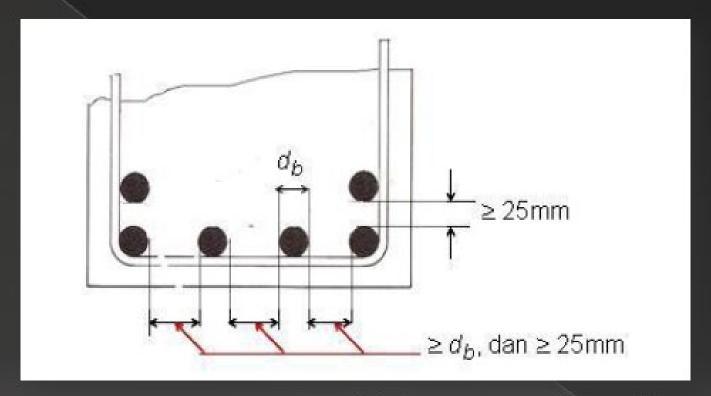
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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

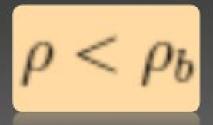
Batasan Tulangan

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

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

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

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan

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

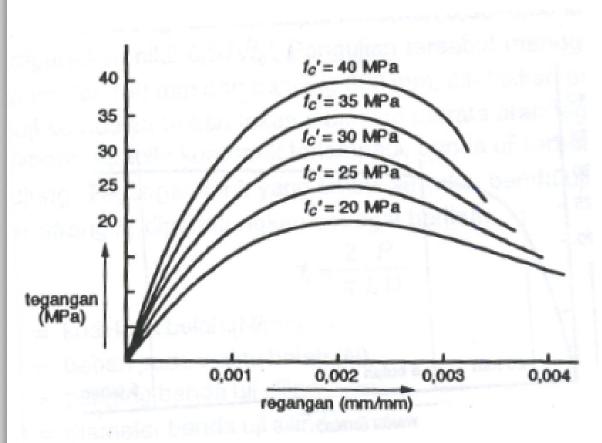
$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \rho_{\text{b}}$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

- 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

- 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 tinngi
- 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.

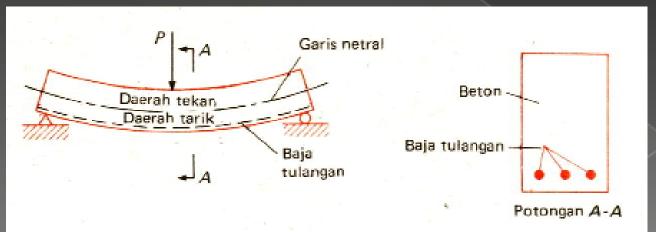
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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

Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ 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 ø

Desain Balok

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_u \le \phi M_n$$

atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

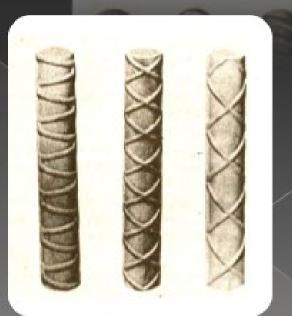
KUAT TARIK BETON

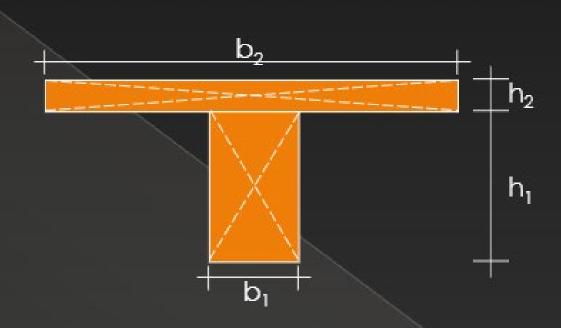
- Kuat tarik beton bisa ditentukan berdasarkan pengujian pembebanan silinder (the split silinder)
- Kuat tarik beton lebih bervariasi dibandingkan kuat tekannya, besarnya berkisar 10-15% kuat tekan beton
- Kuat tarik dalam lentur yang dikenal sebagai modulus runtuh (modulus of rupture) penting dalam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

BAJA TULANGAN

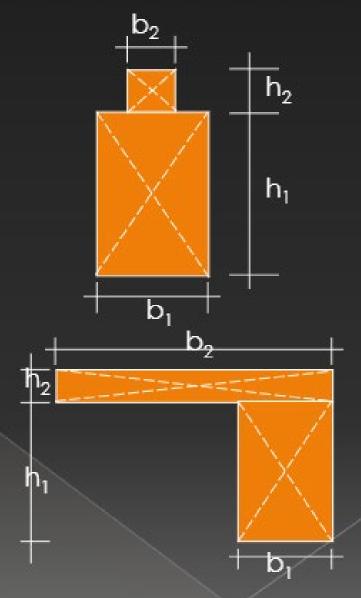
- Baja tulangan dapat terdiri dari
 - Batang tulangan (tulangan polos atau berulir/deform)
 - Anyaman kawat yang dilas
- Tulangan berulir atau deform memiliki bentuk ulir yang bermacam-macam seperti gambar berikut. Adapun fungsi ulir adalah untuk menambah lekatan antara beton dengan baja
- Modulus elastisitas 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.

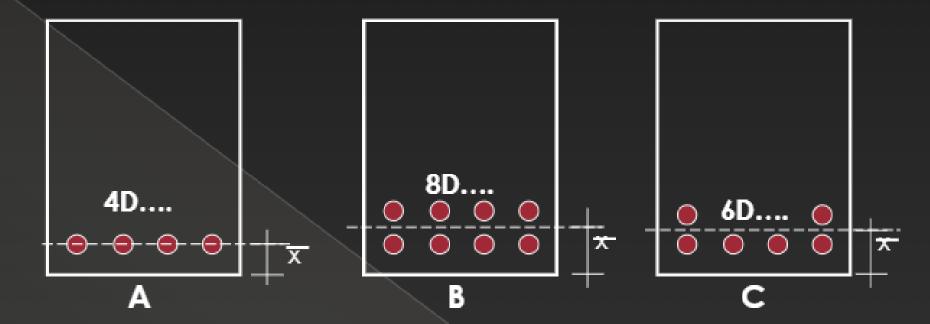






Pusat berat penampang struktur



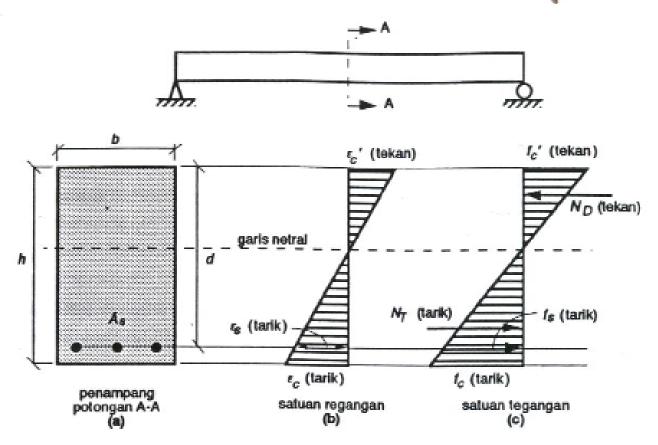


- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C
 X = 4(sel.btn+øsk+½.Øtul.ut) +2(sel.btn+øsk+Øtul.ut+25+½.Øtul.ut)
 4+2

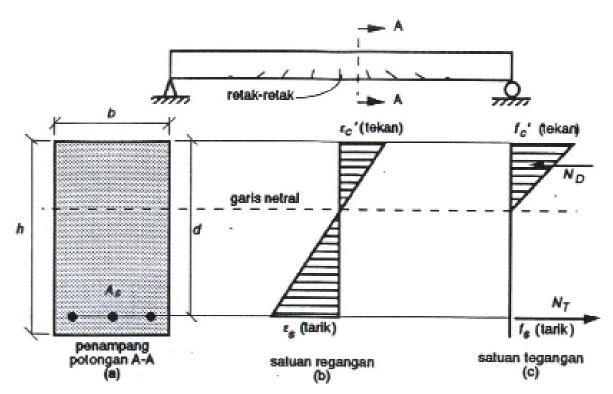
(RSNI-2002 ketentuan 9.6 hal 38)

- 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 1,5db 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

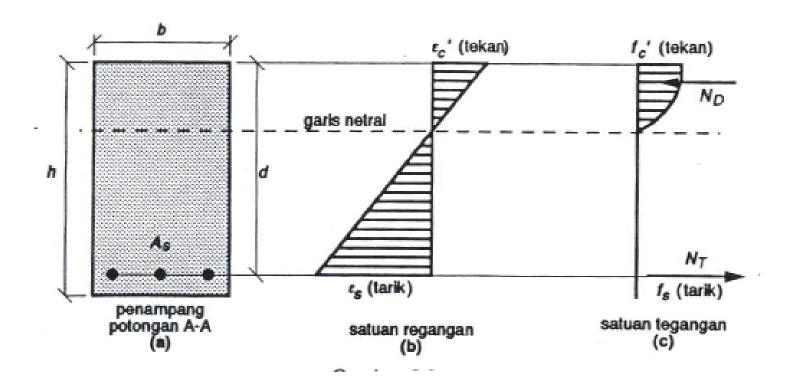
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 ½.f'c



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurya 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.

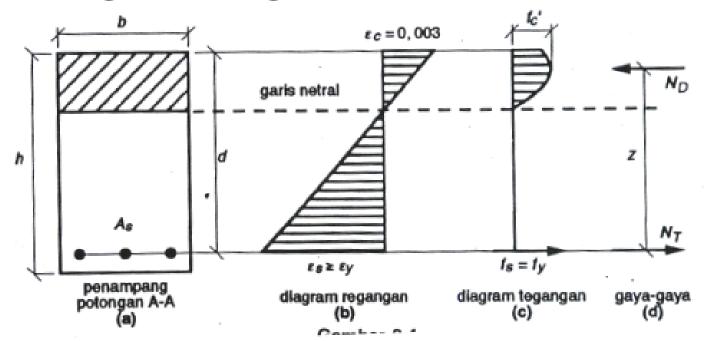


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

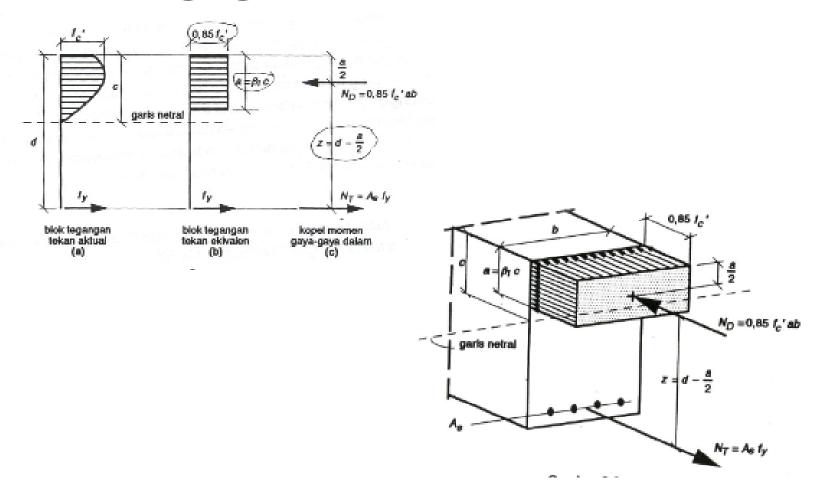
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{\rm b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai 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

$$a = \beta_1.c$$

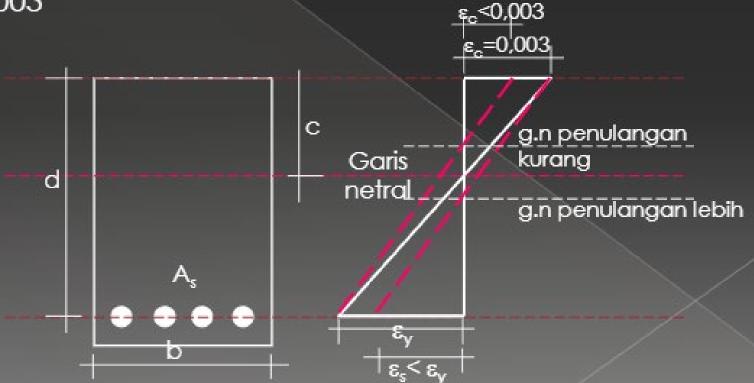
dengan c = jarak serat tekan terluar ke garis netral β_1 = konstanta yg merupakan fungsi kelas kuat beton

• SNI3-2002 ps 12.2 hal 69 menetapkan nilai β_1

untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85
untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 – 0,008(f'c – 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

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

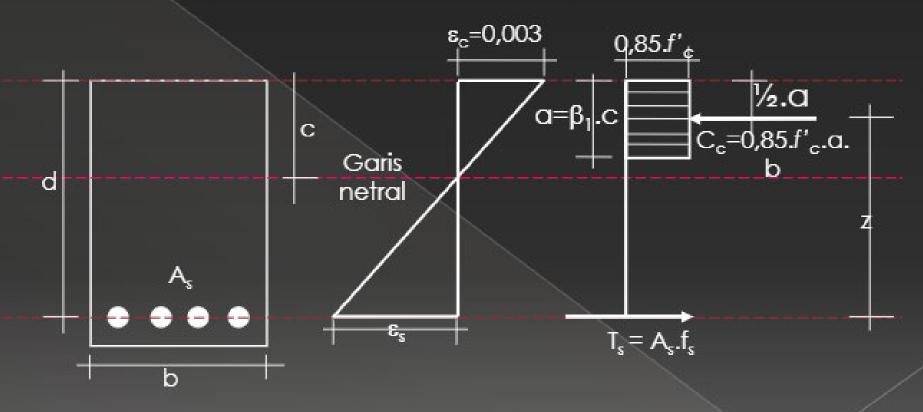


- Bila penampang balok mengandung jumlah tulangan tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok dikatakan bertulangan lebih (overreinforced).
 - Berlebihnya tulangan mengakibatkan garis netral bergeser kel bawah, beton mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.fc.\beta1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rho_{\text{minimum}} = 1,4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rho = A_s/(bxd)$

BALOK BERTULANGAN TUNGGAL (BERTULANGAN TARIK SAJA)



TUGAS 5 MEKANIKA TERAPAN ELDISAM PUTRA 192710031

Jawab:

- Grafik hubungan tegangan regangan pada beton untuk pengujian: Model hubungan tegangan regangan beton dibagi dua kategori:
 - Beton normal (17,5 Mpa <fc' < 40 Mpa).
 - 2. Beton mutu tinggi (fc' > 40 Mpa).

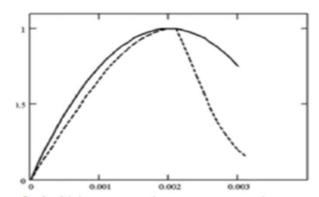
Karena beton nomal mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi maka kedua beton tersebut memiliki persamaan yg berbeda dalam pemodelannya:

Beton normal, menggunakan persamaan Hognestad:

$$f_c = f_{c'} \cdot \left(\frac{2 \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_{c'}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c'}} \right)^2 \right)$$

Dengan:

Karena sifat kelengkungannya yang tinggi terutama pada bagian awal, persamaan parabola ini hanya akurat untuk menggambarkan hubungan tegangan-regangan pada beton mutu rendah dan normal yang memang mempunyai sifat non linearitas yang tinggi pada tahap awal pembebanan.



Garis tidak terputus = beton mutu normal Garis terputus-putus = beton mutu tinggi

Beton Mutu Tinggi (fc' > 40 Mpa), persamaan yang digunakan untuk memodelkan perilaku beton mutu tinggi adalah persamaan Collins & Mitchell (1992).

$$\begin{split} f_c &= \ f'_c \ . \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{\prime c}} \ . \frac{n}{n-1+\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}}\right)^{nk}} \\ & \text{k} = 1 \qquad \qquad \text{untuk} \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}} \leq 1 \\ & \text{k} = 0.7 + \frac{f'_c}{20} \ \text{(Mpa) untuk} \ \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}} > 1 \\ & \text{n} = 0.8 + \frac{f'_c}{17} \ \text{(Mpa)} \end{split}$$

2. Grafik hubungan tegangan regangan pada baja beton:

Parameter pengujian dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut :

1) tegangan tarik putus : Fs;

$$fs = \frac{P_{make}}{A_{so}}$$

2) tegangan tarik leleh : fy;

$$fs = \frac{P_y}{A_{so}}$$

3) regangan maksimum: Π maks;

$$\Pi maks = \frac{I_u + I_o}{I_o} x 100\%$$

4) kontraksi penampang: s;

$$S = \frac{A_{so} + A_{su}}{A_{so}} x 100\%$$

dimana:

fs : tegangan tarik putus, Mpa Pmaks : kuat tarik putus, N

Aso: luas penampang benda uji semula, mm2

Asu: luas penampang benda uji setelah pengujian, mm2

fy: tegangan tarik leleh, N Py: kuat tarik leleh, N

Emaks: regangan maksimum benda uji pada saat putus, %

lu : panjang benda uji setelah pengujian, mm

lo : panjang benda uji semula, mm

s : kontraksi/reduksi penampang benda uji pada saat putus.

Name

| Hendra Oktartia, 97

NIM.

192710010

Angkatan/Kelas

1 3 / Stegular A.

Mata Kulish/Kods

Mekonika Terapan/MT3272303

Tuges

: Kullish S Semester Genep

Dosen

: Dr. Firstaux, Mt. Y

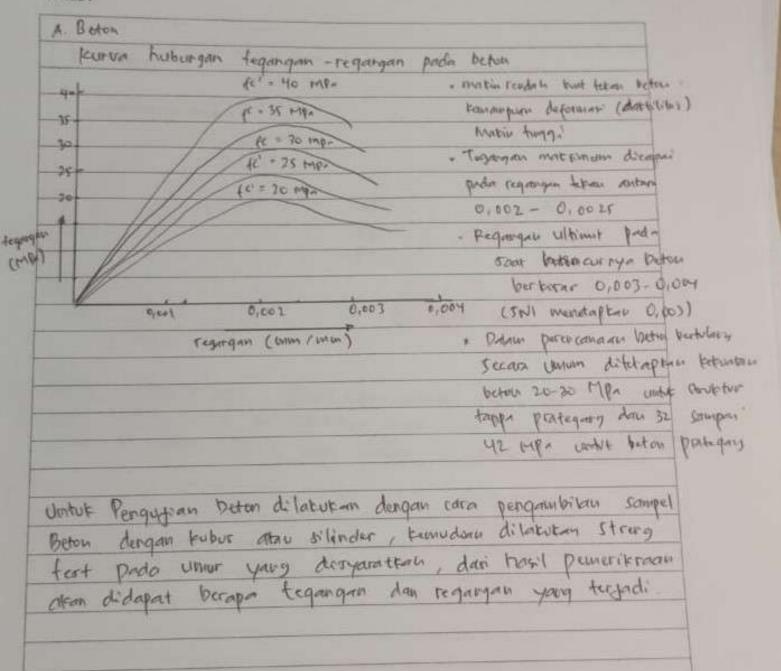
Tugas-5

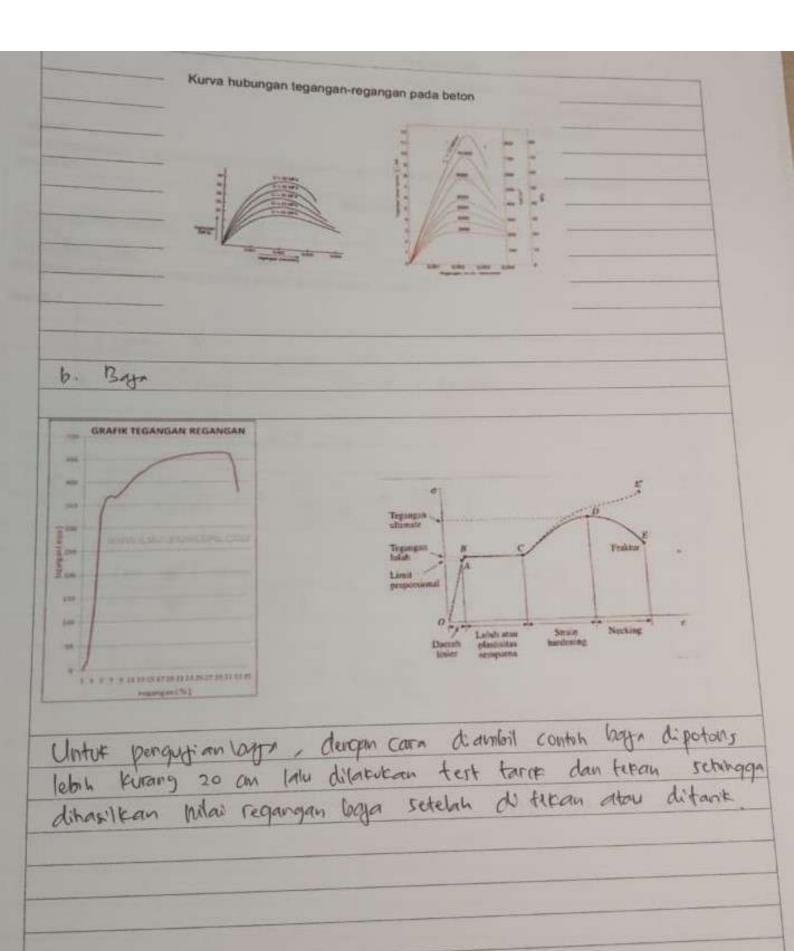
Jelaskan cara mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan untuk pengujian :

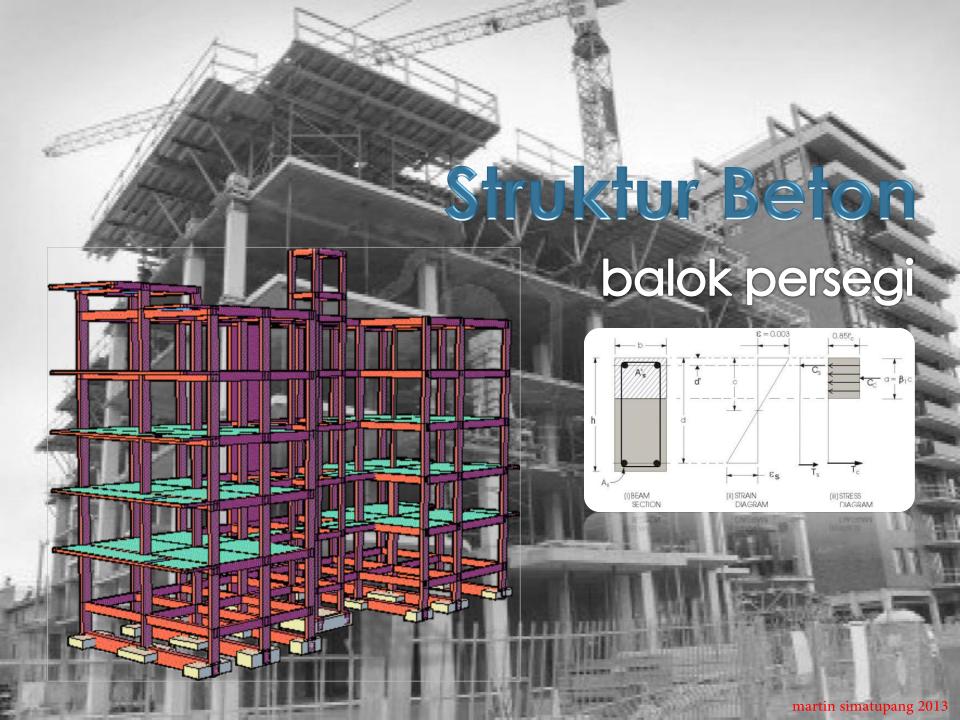
b. Baja

Jawaban boleh disertai dengan gambar

Jawab:







POP QUIZ 1

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

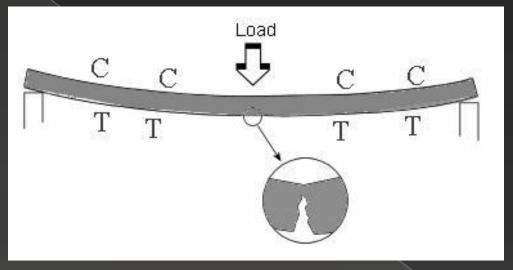
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

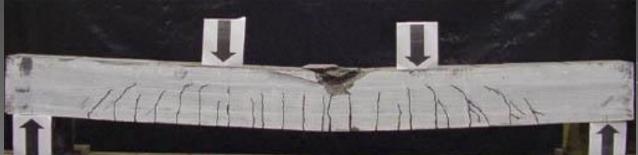
Selimut Beton

Lokasi Tulangan

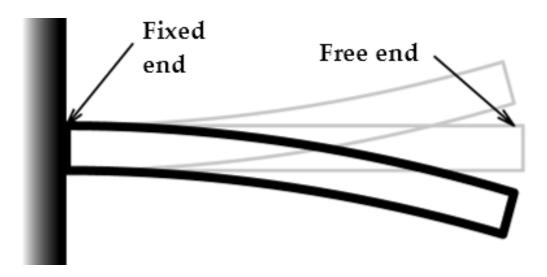
Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus (c)



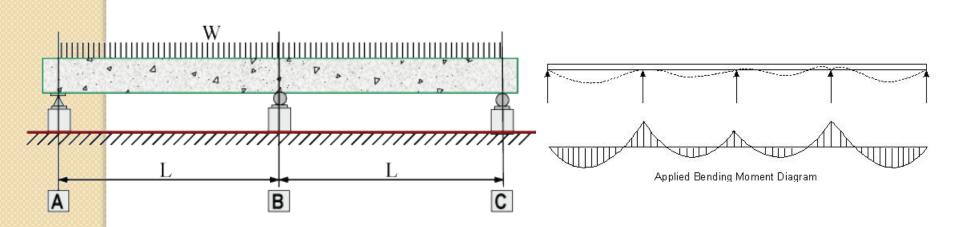
Gambar (a) menunjukkan perilaku balok yang ditumpu secara sederhana di kedua ujungnya saat diberikan beban terpusat di tengah bentang



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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

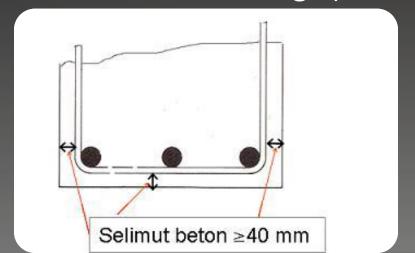
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

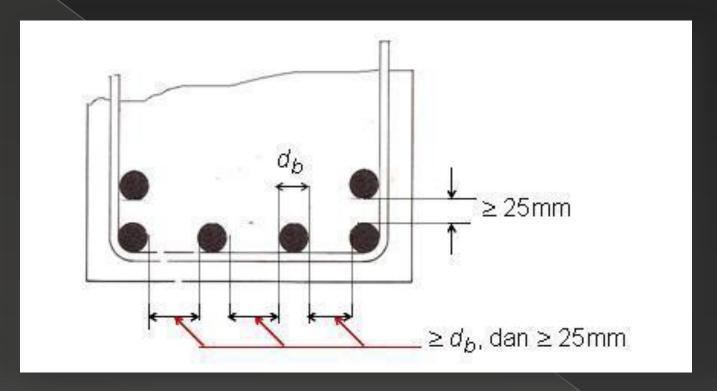
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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.
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w d$$

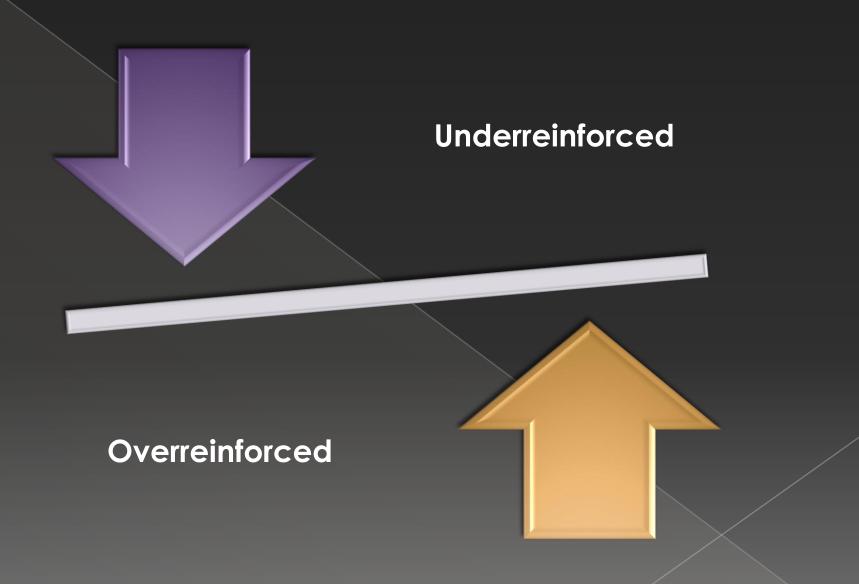
$$2. A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan



Batasan Tulangan

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

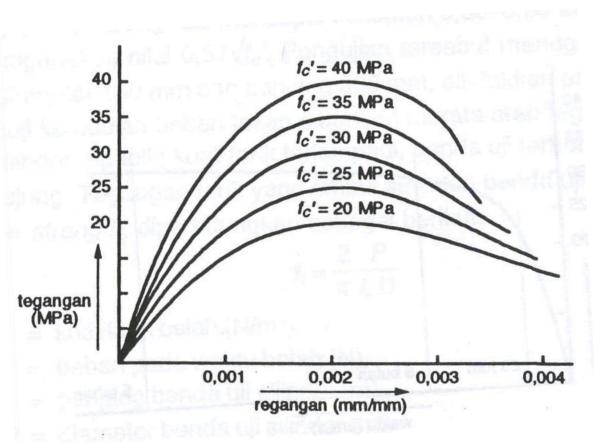
$$\rho_{\text{max}} = 0,75\rho_{\text{b}}$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

- 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

- 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 tinngi
- 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.

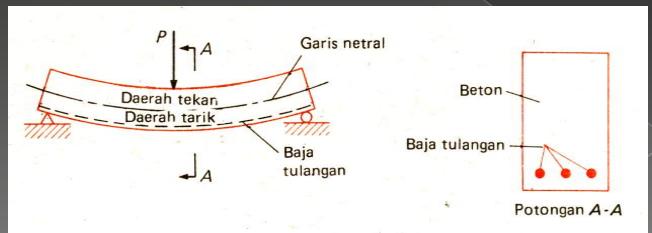
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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



Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ 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

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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???

- 1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
- 2. U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5(A atau R)
- 3. U = 1.2 D + 1.0 L + 1.6 W + 0.5(A 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???

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_n < \phi M_n$$

atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

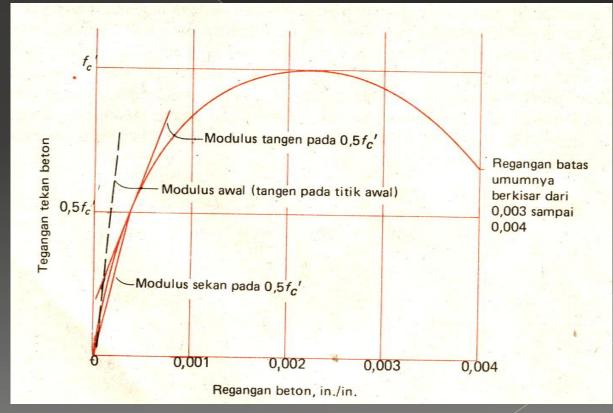
KUAT TARIK BETON

- 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 fr , yang didapatkan dari rumus f=Mc/l memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

MODULUS ELASTISITAS

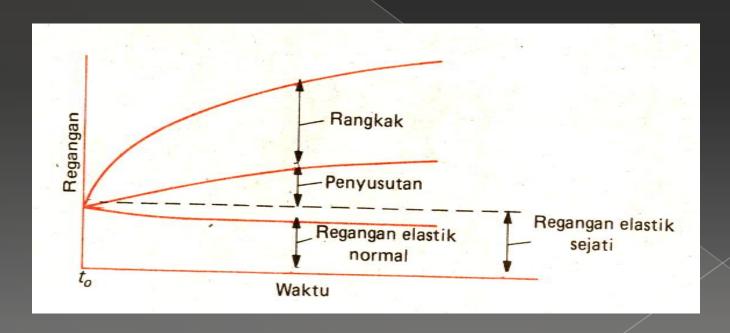
- Modulus elastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - Sifat agregat dan semen
 - Kecepatan pembebanan
 - Jenis dan ukuran benda vji
- Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi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



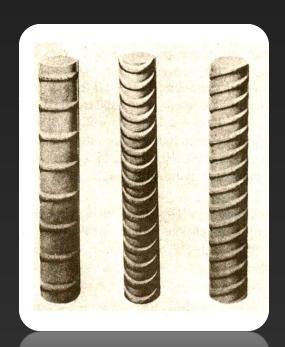
Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak

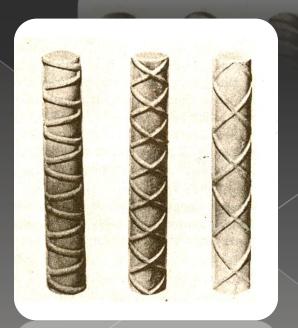
- Konstituen, seperti komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu dan isi mineral dari agregat
- Perbandingan air, seperti perbandingan air dengan semen
- > Suhu pada pengerasan dan kebasahan
- Kelembaban nisbi selama waktu penggunaan beton
- > Umur beton pada pembebanan
- Lamanya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

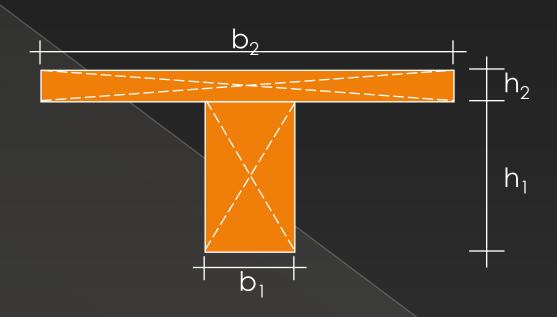
- Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebahan.
- Ada kemungkinan bagi beton untuk mengeras secara terus menerus di dalam air dengan volume bertambah, namun ada kemungkinan volumenya berkurang
- Umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya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

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.

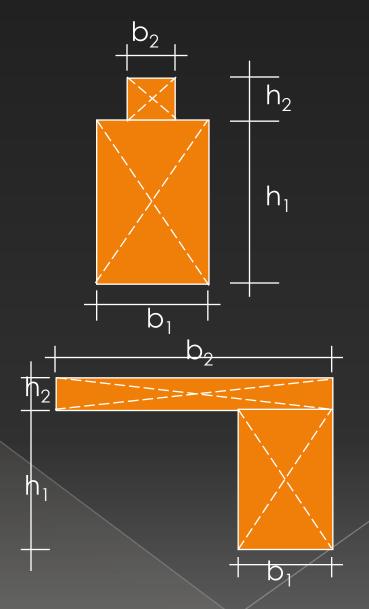


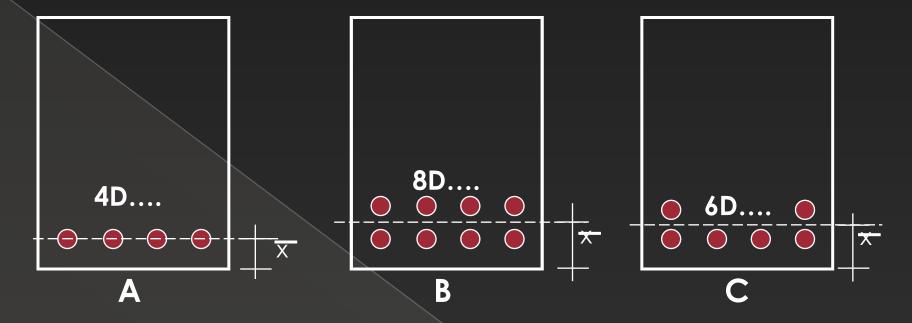




Pusat berat penampang struktur

$$\overline{x} = \frac{b_1.h_1.\frac{1}{2}.h_1 + b_2.h_2.(h_1 + \frac{1}{2}.h_2)}{b_1.h_1 + b_2.h_2}$$





- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn+} \text{øsk+} \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} \text{øsk+} \text{Øtul.ut+} 25 + \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut})}{4+2}$

(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 1,5db 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

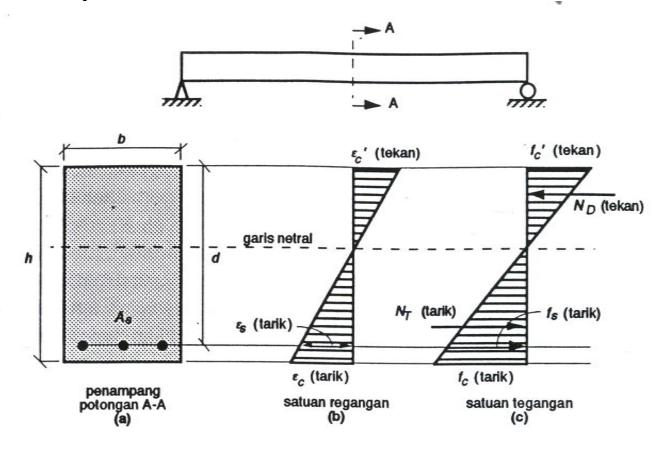
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

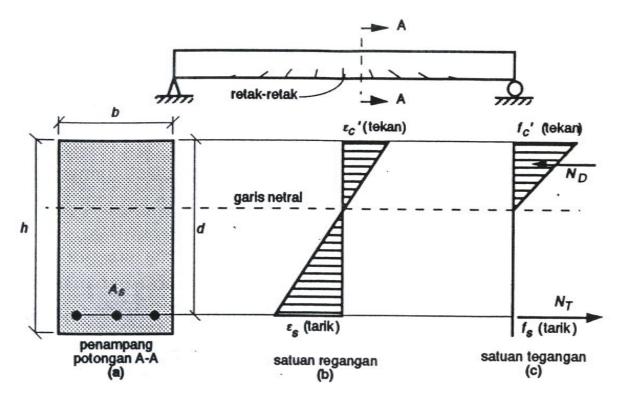
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambang pintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian 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 mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebahan yang menyebabkan hancurnya struktur

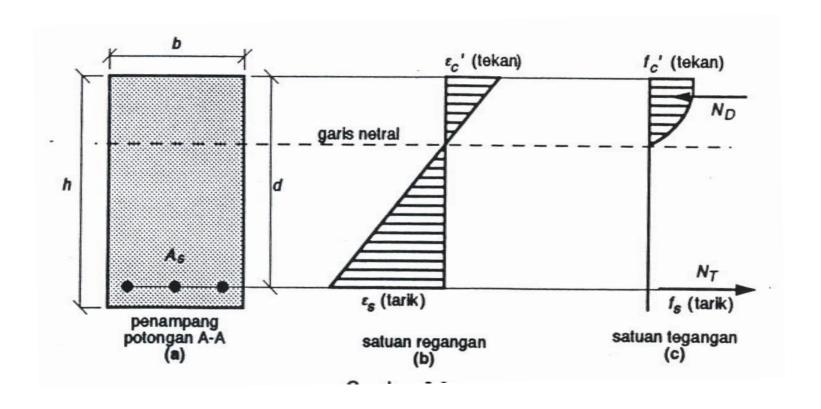
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 ½.f'c



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurya 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.

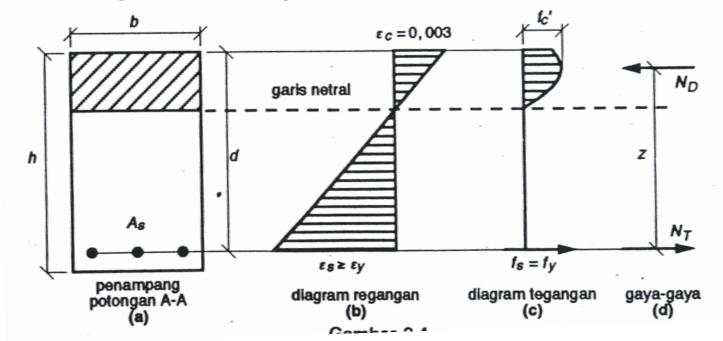


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

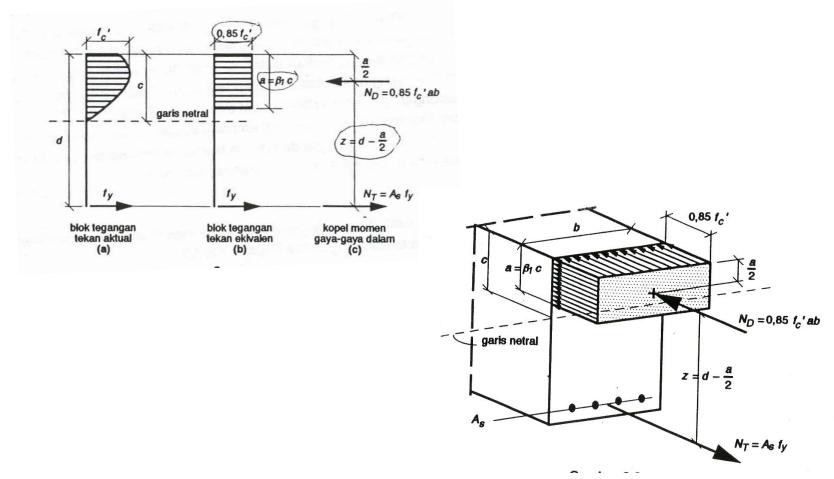
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan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

$$a = \beta_1.c$$

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

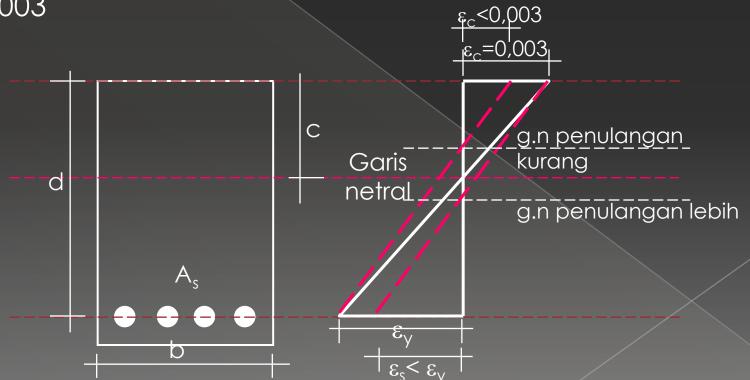
untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85 untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

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 ekivalen
- f_s = tegangan tarik baja
- f_c' = Kuat tekan beton
- $\varepsilon_{\rm c}$ = 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 = 2.10⁵ 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.f'c.\beta 1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rho_{\text{minimum}} = 1.4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rho = A_s/(bxd)$

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

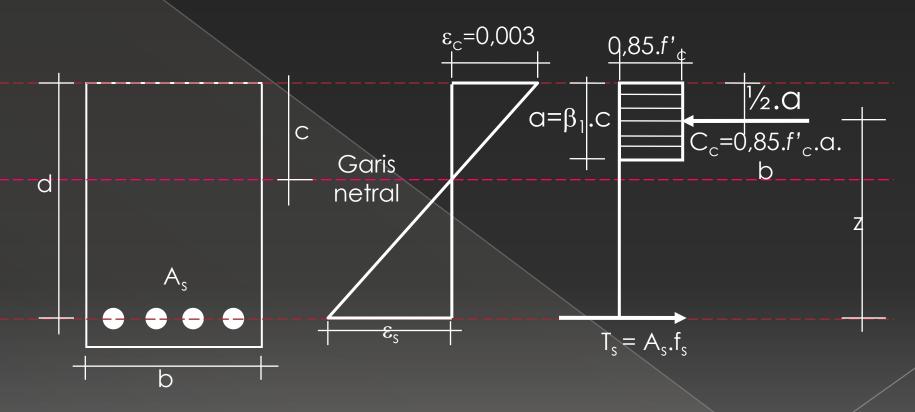
15 mm

D16 jaring kawat polos atau ulir
 D16 dan yang lebih kecil

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

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85.f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

$$A_{sb} = \rho_{b}.b.d$$

- Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau keadaan *overreinforced* bila $A_s > A_{sb}$ keadaan *underreinforced* bila $A_s \le A_{sb}$
- 3. Bila keadaan underreinforced, kapasitas momen balok dihitung

$$a = \frac{A_{s}.f_{y}}{0.85.f'.b}$$

$$M_{n} = A_{s}.f_{y}.(d - \frac{1}{2}.a)$$
atau
$$M_{n} = 0.85.f'_{c}.a.b.(d - \frac{1}{2}.a)$$

$$M_{R} = \phi.M_{n}$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s.\epsilon}{0.85.\beta_1.f'_c}$$

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

$$c = k_u.d$$

$$a = \beta_1.c$$

$$M_n = 0.85.f'_c.a.b.\left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_R = \phi M_n$$

Desain balok tulangan tunggal

Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

- I. 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

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

a. Hitung koefisien tahanan momen
$$k = \frac{M_u}{\phi.b.d^2}$$
 b. Hitung rasio tulangan
$$\rho = \frac{0.85.f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_c}}\right)$$

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

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

$$\rho = 0.5 \rho_{b} = 0.5 \frac{f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho.f_y \left(1 - \frac{\rho.f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentuka<u>n tinggi</u>efektif balok

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

Desain Tulangan Tunggal

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

$$M_n = f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

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

Sehingga momen rencana balok adalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

Desain Tulangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$

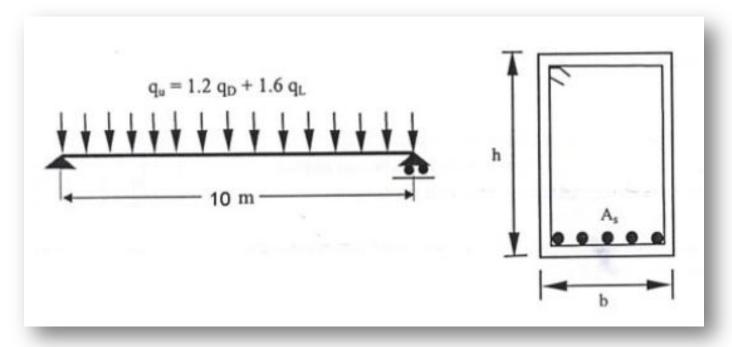
$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f'_c \omega (1 - 0, 59\omega)$$
 (III.2)

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



Hitunglah desain optimum balok (dimensi balok & tulangannya)

Solusi:

Perkiraan beban mati balok.

Untuk balok di atas dua tumpuan : $h_{min} \approx \frac{\ell}{16} = 0.625 \text{ m} \rightarrow$ ambil h = 800 mm dan $b \approx 0, 5h = 400 \text{ mm}$, sehingga berat sendiri balok = 0,8 x 0,4 x 24 = 7,68 kN/m

2. Menghitung momen terfaktor M_u

beban terfaktor : $q_u = 1.2x(7.68+14.5) + 1.6 \times 25.5 = 67.4 \text{ kN/m}$

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

3. Menghitung b dan d yang diperlukan

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)}$$

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

$$bd^{2} = \frac{842,5x10^{6}}{0,8\left[25x0,16\left(1-0,59x0,16\right)\right]} = 290,5x10^{6} \ mm^{3}$$

jika b = 450 mm \rightarrow d = 803 mm

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

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

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

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

Kedua ukuran di atas memenuhi syarat.

Ambil ukuran balok b = 400 mm dan h = 900 mm

4. Hitung ulang M_u dengan berat sendiri balok menggunakan ukuran yang baru : berat sendiri balok = 0,9 x 0,4 x 24 = 8,64 kN/m beban terfaktor baru :

$$q_{u(b)} = 1.2x(8.64+14.5) + 1.6 \times 25.5 = 68.57 \text{ kN/m}$$

$$M_{u(b)} = \frac{68,57x10^2}{8} = 857kNm = 857x10^6Nmm$$

Hitung luas tulangan yang dibutuhkan.

Asumsi tulangan yang dipasang 2 lapis, sehingga

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

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{857x10^6}{400x810^2} = 3.2655$$

sedangkan

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$\phi f_c' \omega (1 - 0.59\omega) \ge \frac{M_u}{bd^2} = 3.2655$$

sehingga

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

atau

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

diperoleh $\omega_1 = 1.512 \text{ dan } \omega_2 = 0.183$

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

$$\rho = \frac{0.183xf_c'}{f_y} = \frac{0.183x25}{400} = 0.01144$$

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

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

$$A_s = \rho bd = 0.01144x400x810 = 3660 \text{ mm}^2$$

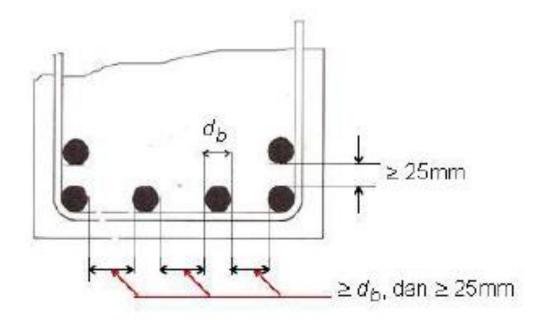
•
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4x400} x400 x810 = 1012.5 \text{ mm}^2$$

•
$$A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d = \frac{1.4}{400} x400 x810 = 1134 \text{ mm}^2$$

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

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

$$d_s = \frac{2x616x117 + 4x616x64}{2x616 + 4x616} = 81.67 \ mm$$

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

7. Hitung a dan cek apakah dengan tulangan yang digunakan penampang masih bersifat $underreinforced \rightarrow$

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

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{3695 x400}{0,85 x25 x400} = 174 \ mm$$

$$\frac{a}{d} = \frac{174}{818} = 0.213$$

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

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

Solusi (lanjutan):

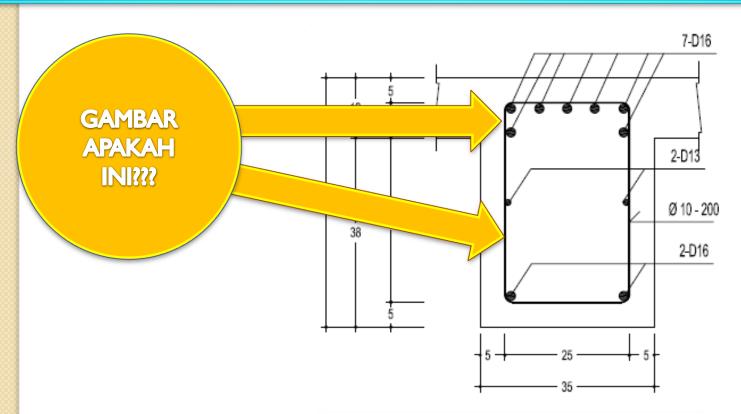
8. cek ϕM_n

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8x3695x400 \left(818 - \frac{174}{2} \right)$$

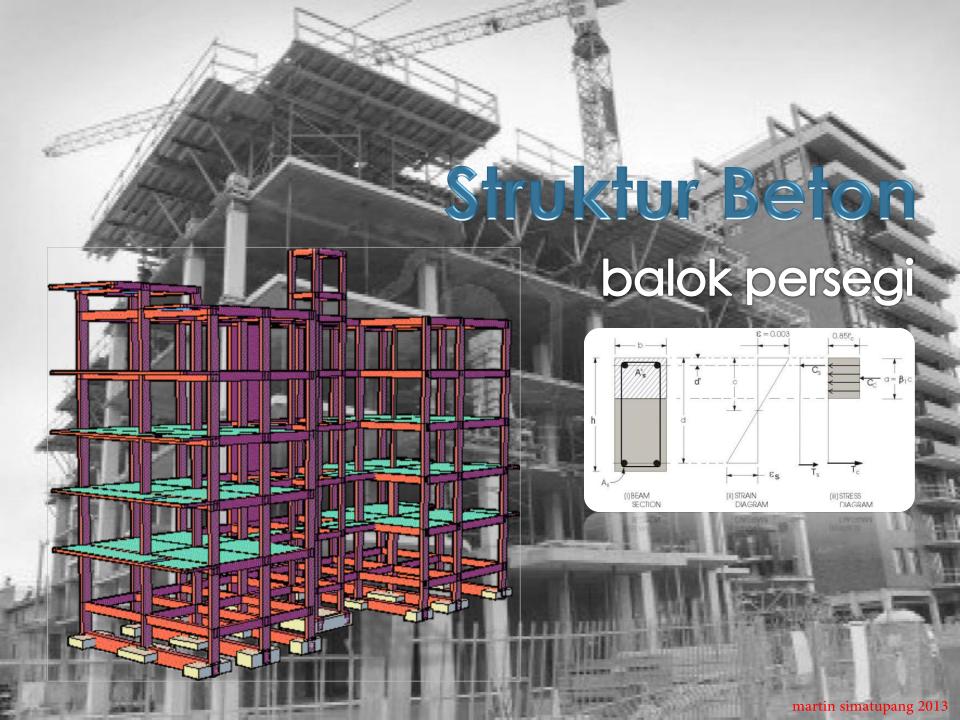
$$= 864334400Nmm = 864, 3 kNm > M_u = 857 kNm \longrightarrow ok$$

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

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







POP QUIZ 1

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

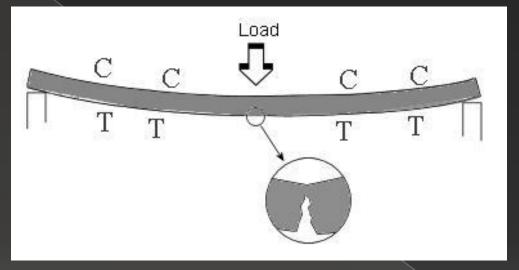
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

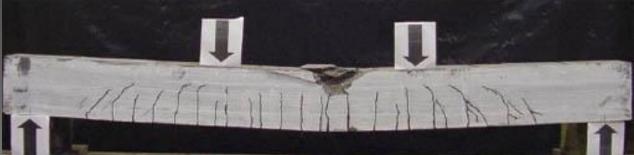
Selimut Beton

Lokasi Tulangan

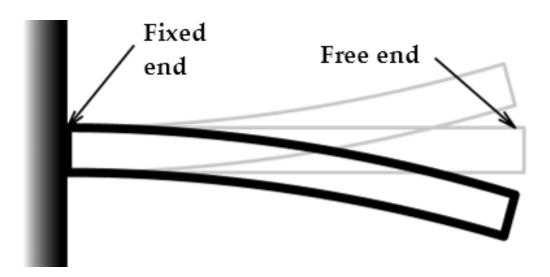
Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus (c)



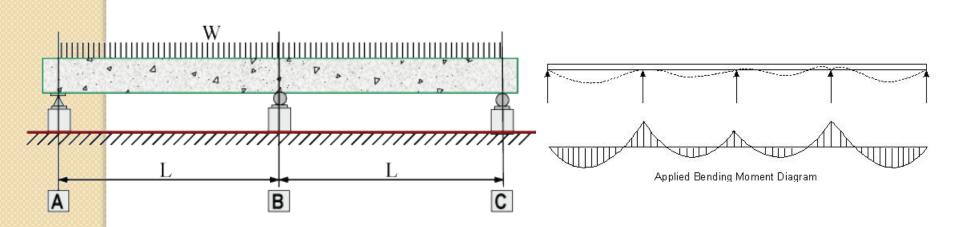
Gambar (a) menunjukkan perilaku balok yang ditumpu secara sederhana di kedua ujungnya saat diberikan beban terpusat di tengah bentang



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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

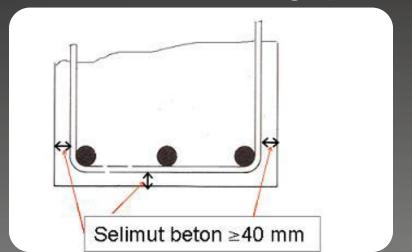
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

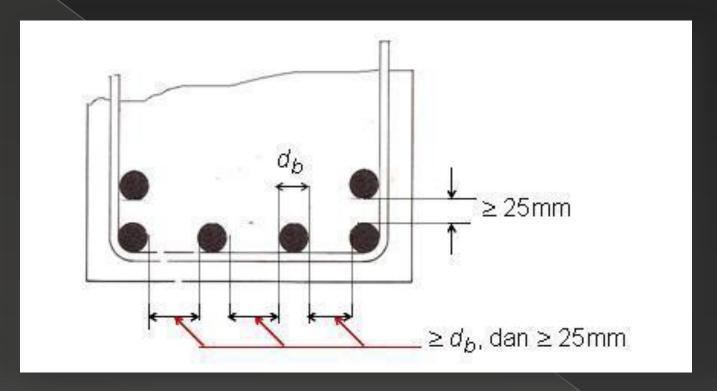
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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 :

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

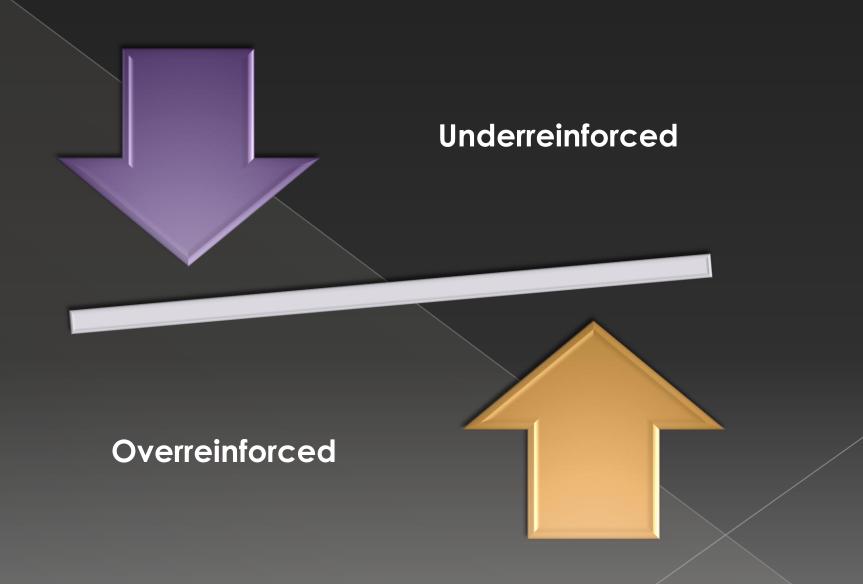
$$2. A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan



Batasan Tulangan

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

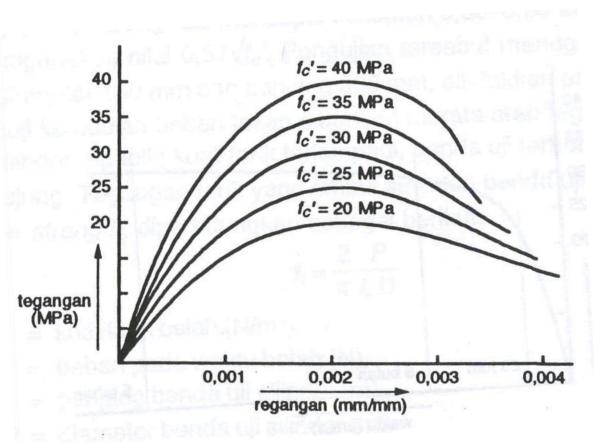
$$\rho_{\text{max}} = 0,75\rho_{\text{b}}$$

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

- 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

- 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 tinngi
- 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.

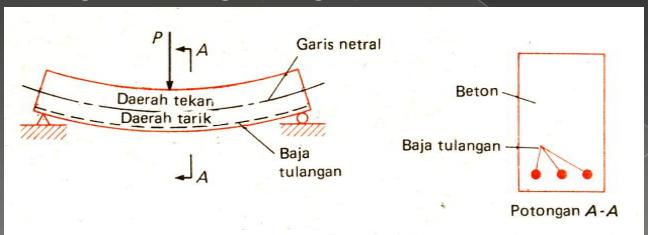
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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



Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ 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

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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???

- 1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
- 2. U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5(A atau R)
- 3. U = 1.2 D + 1.0 L + 1.6 W + 0.5(A 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???

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_n < \phi M_n$$

atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

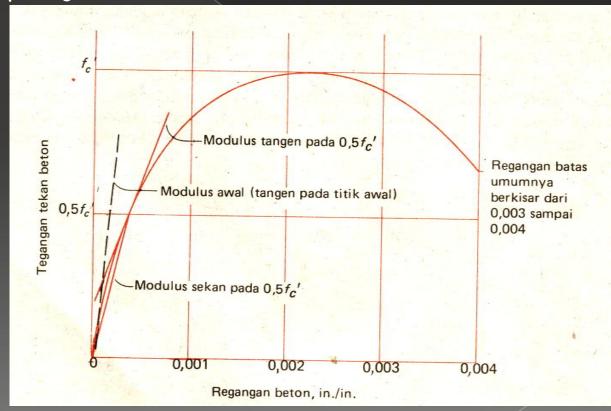
KUAT TARIK BETON

- 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 fr , yang didapatkan dari rumus f=Mc/l memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

MODULUS ELASTISITAS

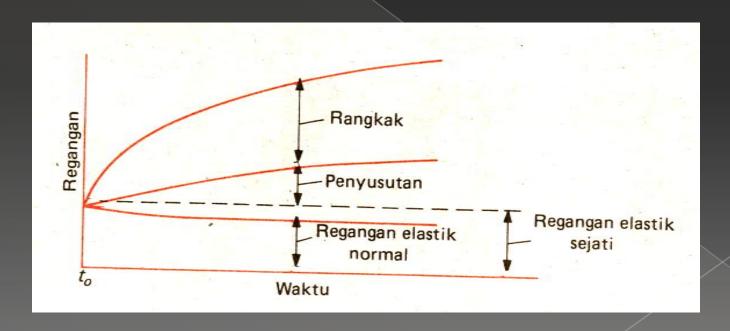
- Modulus elastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - Sifat agregat dan semen
 - Kecepatan pembebahan
 - Jenis dan ukuran benda vji
- Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi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



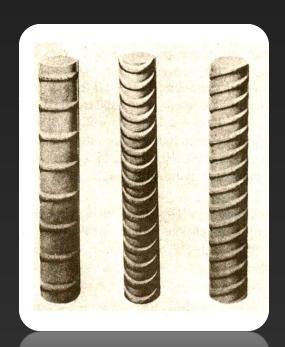
Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak

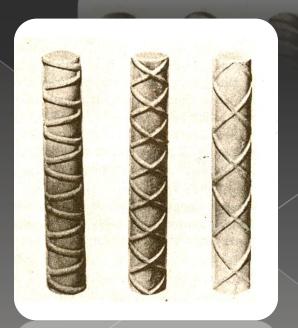
- Konstituen, seperti komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu dan isi mineral dari agregat
- Perbandingan air, seperti perbandingan air dengan semen
- > Suhu pada pengerasan dan kebasahan
- Kelembaban nisbi selama waktu penggunaan beton
- > Umur beton pada pembebanan
- Lamanya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

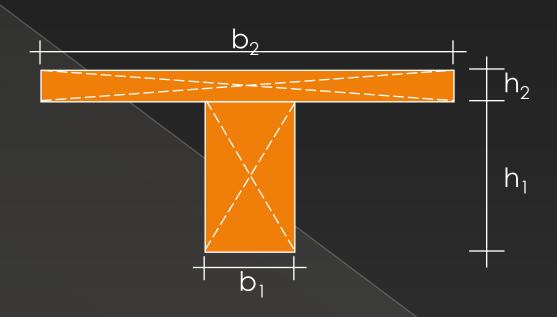
- Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebahan.
- Ada kemungkinan bagi beton untuk mengeras secara terus menerus di dalam air dengan volume bertambah, namun ada kemungkinan volumenya berkurang
- Umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya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

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.

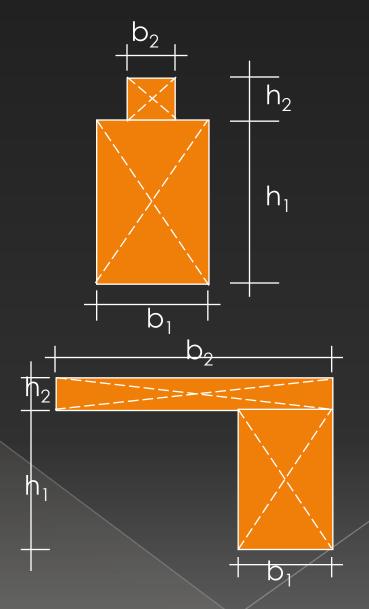


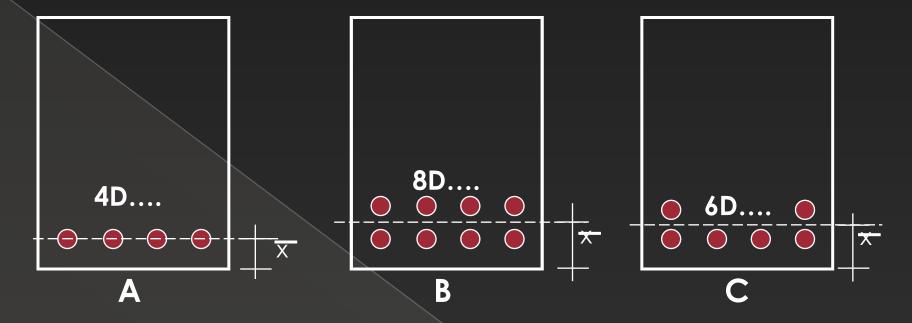




Pusat berat penampang struktur

$$\overline{x} = \frac{b_1.h_1.\frac{1}{2}.h_1 + b_2.h_2.(h_1 + \frac{1}{2}.h_2)}{b_1.h_1 + b_2.h_2}$$





- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn+} \text{øsk+} \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} \text{øsk+} \text{Øtul.ut+} 25 + \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut})}{4+2}$

(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 1,5db 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

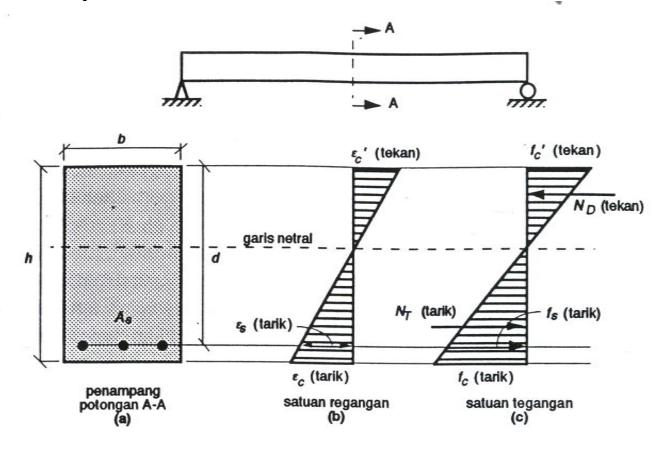
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

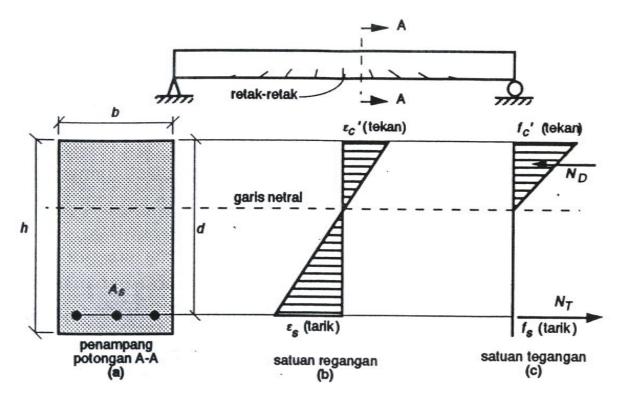
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambang pintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian 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 mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebahan yang menyebabkan hancurnya struktur

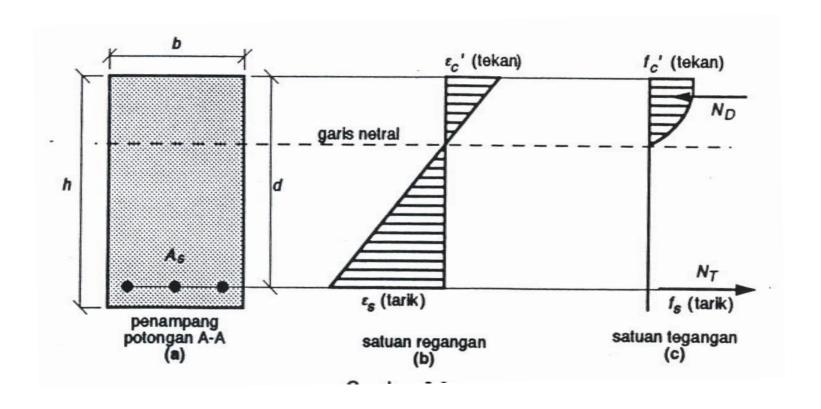
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 ½.f'c



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurya 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.

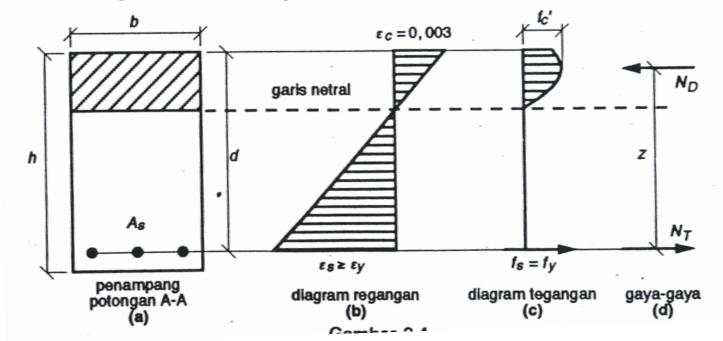


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

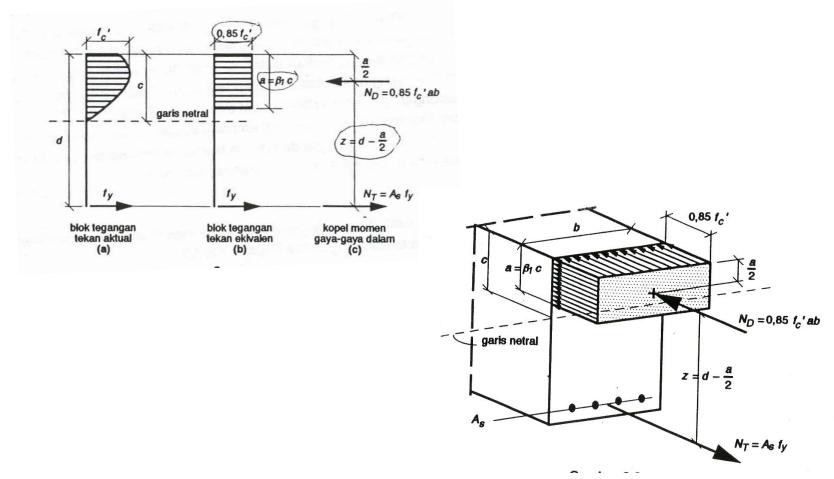
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan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

$$a = \beta_1.c$$

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

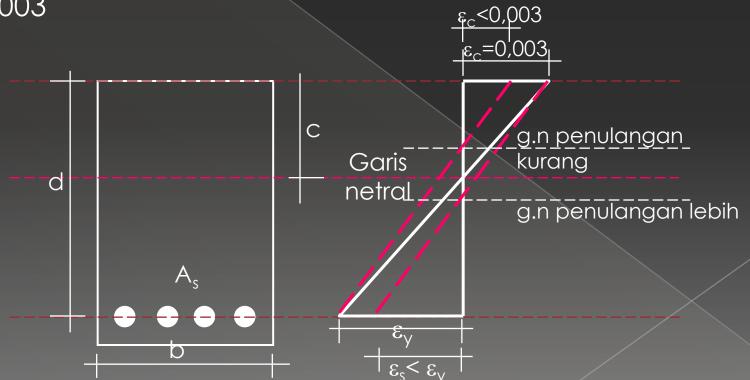
untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85 untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

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 ekivalen
- f_s = tegangan tarik baja
- f_c' = Kuat tekan beton
- $\varepsilon_{\rm c}$ = regangan beton
- $\varepsilon_{\rm s}$ = regangan tarik baja
- C_c = resultan gaya tekan beton
- T_s = resultan gaya tarik baja tulangan
- E_s = modulus elastisitas baja = 2.10⁵ 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75 \cdot \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.f'c.\beta 1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rho_{\text{minimum}} = 1.4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rho = A_s/(bxd)$

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

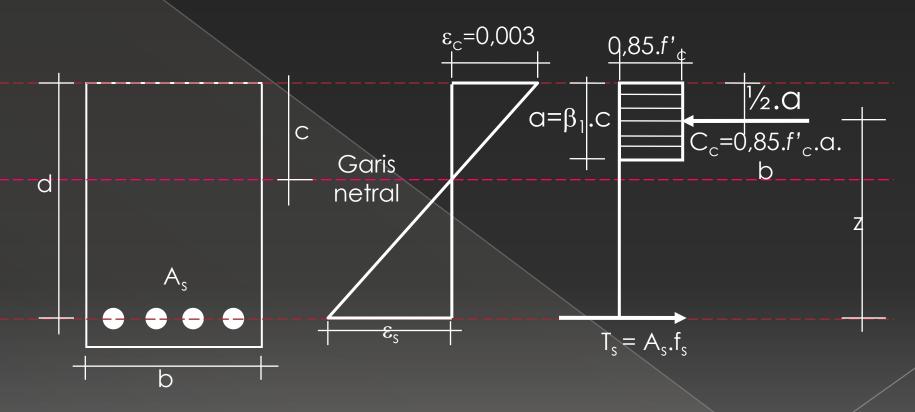
15 mm

D16 jaring kawat polos atau ulir
 D16 dan yang lebih kecil

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

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85.f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

$$A_{sb} = \rho_{b}.b.d$$

- Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau keadaan *overreinforced* bila $A_s > A_{sb}$ keadaan *underreinforced* bila $A_s \le A_{sb}$
- 3. Bila keadaan underreinforced, kapasitas momen balok dihitung

$$a = \frac{A_{s}.f_{y}}{0.85.f'.b}$$

$$M_{n} = A_{s}.f_{y}.(d - \frac{1}{2}.a)$$
atau
$$M_{n} = 0.85.f'_{c}.a.b.(d - \frac{1}{2}.a)$$

$$M_{R} = \phi.M_{n}$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s.\epsilon}{0.85.\beta_1.f'_c}$$

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

$$c = k_u.d$$

$$a = \beta_1.c$$

$$M_n = 0.85.f'_c.a.b.\left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_R = \phi M_n$$

Desain balok tulangan tunggal

Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

- I. 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

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

a. Hitung koefisien tahanan momen
$$k = \frac{M_u}{\phi.b.d^2}$$
 b. Hitung rasio tulangan
$$\rho = \frac{0.85.f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_c}}\right)$$

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

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

$$\rho = 0.5 \rho_{b} = 0.5 \frac{f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho.f_y \left(1 - \frac{\rho.f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentuka<u>n tinggi</u>efektif balok

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

Desain Tulangan Tunggal

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

$$M_n = f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

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

Sehingga momen rencana balok adalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

Desain Tulangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$

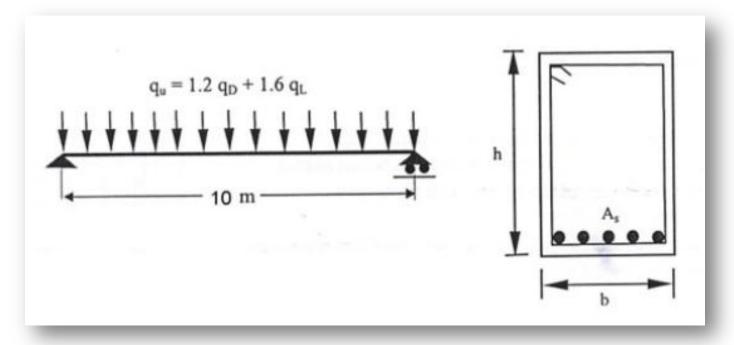
$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f'_c \omega (1 - 0, 59\omega)$$
 (III.2)

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



Hitunglah desain optimum balok (dimensi balok & tulangannya)

Solusi:

Perkiraan beban mati balok.

Untuk balok di atas dua tumpuan : $h_{min} \approx \frac{\ell}{16} = 0.625 \text{ m} \rightarrow$ ambil h = 800 mm dan $b \approx 0, 5h = 400 \text{ mm}$, sehingga berat sendiri balok = 0,8 x 0,4 x 24 = 7,68 kN/m

2. Menghitung momen terfaktor M_u

beban terfaktor : $q_u = 1.2x(7.68+14.5) + 1.6 \times 25.5 = 67.4 \text{ kN/m}$

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

3. Menghitung b dan d yang diperlukan

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)}$$

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

$$bd^{2} = \frac{842,5x10^{6}}{0,8\left[25x0,16\left(1-0,59x0,16\right)\right]} = 290,5x10^{6} \ mm^{3}$$

jika b = 450 mm \rightarrow d = 803 mm

jika b = 400 mm \rightarrow d = 852 mm

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

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

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

Kedua ukuran di atas memenuhi syarat.

Ambil ukuran balok b = 400 mm dan h = 900 mm

4. Hitung ulang M_u dengan berat sendiri balok menggunakan ukuran yang baru : berat sendiri balok = 0,9 x 0,4 x 24 = 8,64 kN/m beban terfaktor baru :

$$q_{u(b)} = 1.2x(8.64+14.5) + 1.6 \times 25.5 = 68.57 \text{ kN/m}$$

$$M_{u(b)} = \frac{68,57x10^2}{8} = 857kNm = 857x10^6Nmm$$

Hitung luas tulangan yang dibutuhkan.

Asumsi tulangan yang dipasang 2 lapis, sehingga

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

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{857x10^6}{400x810^2} = 3.2655$$

sedangkan

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$\phi f_c' \omega (1 - 0.59\omega) \ge \frac{M_u}{bd^2} = 3.2655$$

sehingga

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

atau

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

diperoleh $\omega_1 = 1.512 \text{ dan } \omega_2 = 0.183$

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

$$\rho = \frac{0.183xf_c'}{f_y} = \frac{0.183x25}{400} = 0.01144$$

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

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

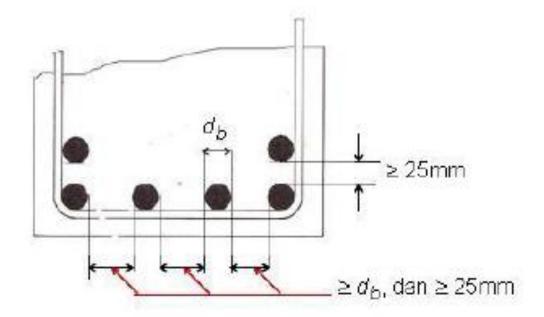
$$A_s = \rho bd = 0.01144x400x810 = 3660 \text{ mm}^2$$

•
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4x400} x400 x810 = 1012.5 \text{ mm}^2$$

•
$$A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d = \frac{1.4}{400} x400 x810 = 1134 \text{ mm}^2$$

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

Terlihat A_s yang diperoleh $> A_{smin} \rightarrow$ ok Gunakan tulangan 6D28 \rightarrow $A_s = 3695 \text{ mm}^2$



6. Hitung nilai d sebenarnya

$$d_s = \frac{2x616x117 + 4x616x64}{2x616 + 4x616} = 81.67 \ mm$$

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

7. Hitung a dan cek apakah dengan tulangan yang digunakan penampang masih bersifat $underreinforced \rightarrow$

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

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{3695 x400}{0,85 x25 x400} = 174 \ mm$$

$$\frac{a}{d} = \frac{174}{818} = 0.213$$

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

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

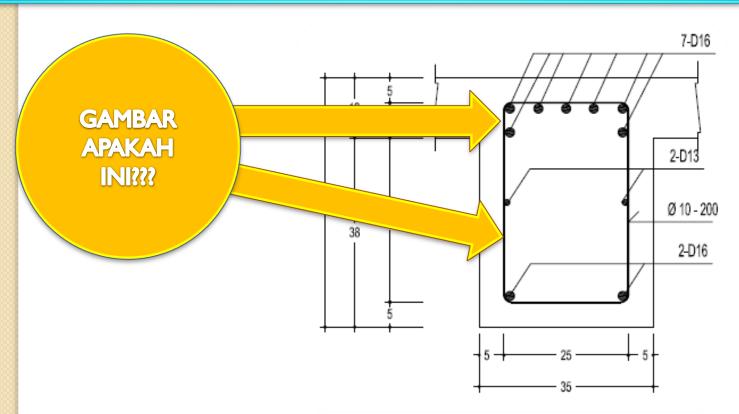
8. cek ϕM_n

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8x3695x400 \left(818 - \frac{174}{2} \right)$$

$$= 864334400Nmm = 864, 3 kNm > M_u = 857 kNm \longrightarrow ok$$

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

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







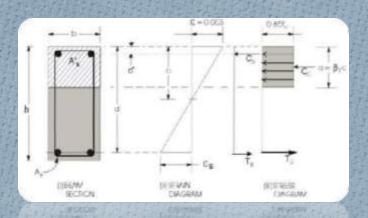
TUGAS 5 MEKANIKA TERAPAN

NAMA : Mario Ibrahim

NIM : 192710024

DOSEN: DR. FIRDAUS, M.T.

balok persegi



Gambarkan dan jelaskan grafik hubungan tegangan – regangan untuk material beton dan baja! Lok Lasi Tula ngan

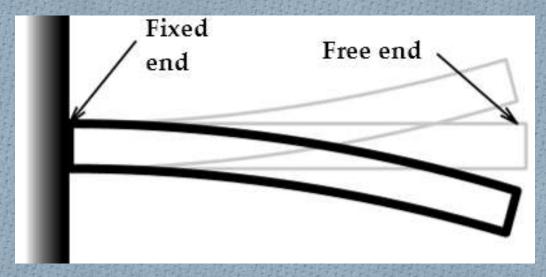
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

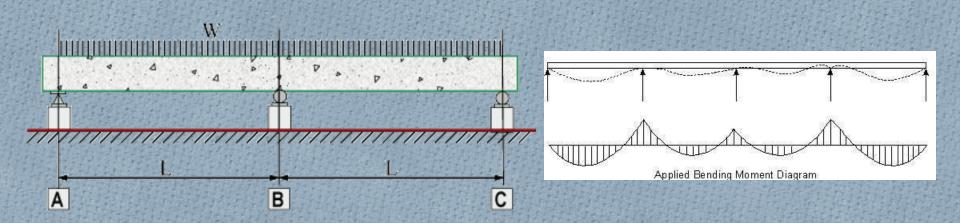
Selimu t Beton Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus(c)

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

LokasiTulangan



Gambar (b) menunjukkan perilakulendutan balok kantilever ketika diberi beban



Gambar (c) menunjukkan perilaku lendutan balok menerus

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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

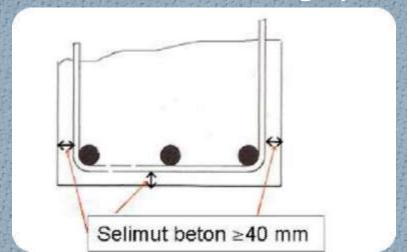
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

Selimut beton ini diperlukan untuk:

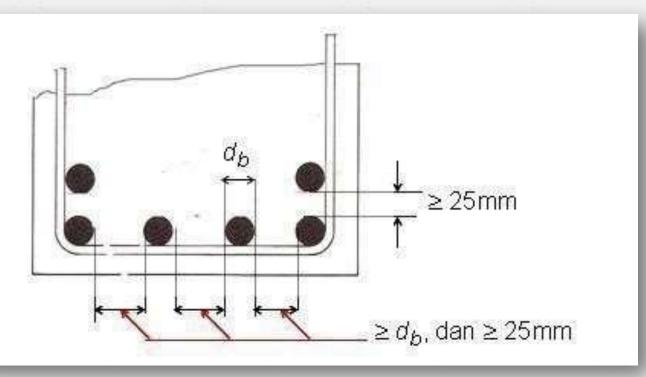
- Memberikan daya lekat tulangan ke beton
- Melindungi tulangan dari korosi
- Melindungi tulangan dari panas tinggi jika terjadi kebakaran. (Panas tinggi dapat menyebabkan menurun/hilangnya kekuatan baja tulangan)



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

Selimut Beton dan Jarak Tulangan





Jarak tulangan yang disyaratkan adalah seperti pada gambar

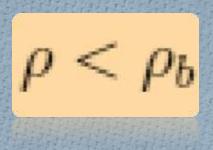
Batasan Tulangan

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

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

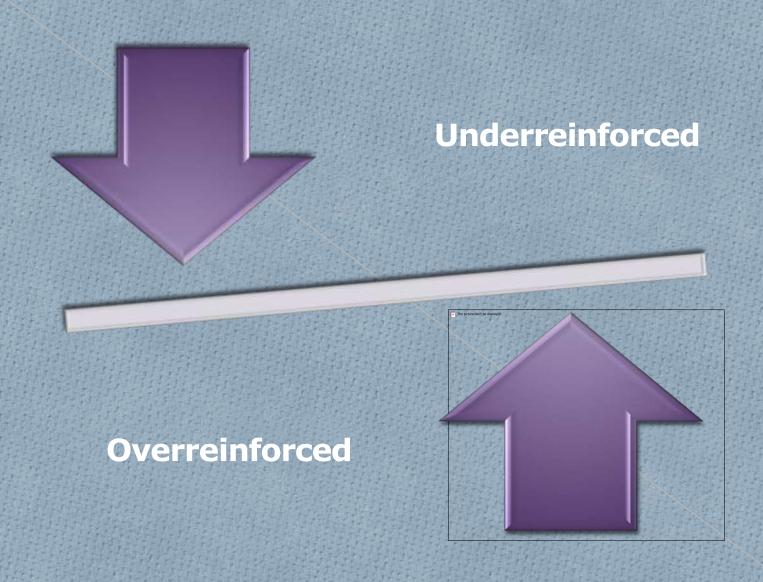
$$2. A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulanganyang diharapkan

Batasan Tulangan



Batasan Tulangan

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

$$\rho_{\text{max}} = 0,75\rho_{\text{b}}$$

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

Brief Review



Beton bertulang terdiridari

- 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 yanglain

Kekuatan beton setelah mengeras tergantung dari banyak faktor

- > Proporsi campuran
- > Kondisi temperatur
- Kelembaban

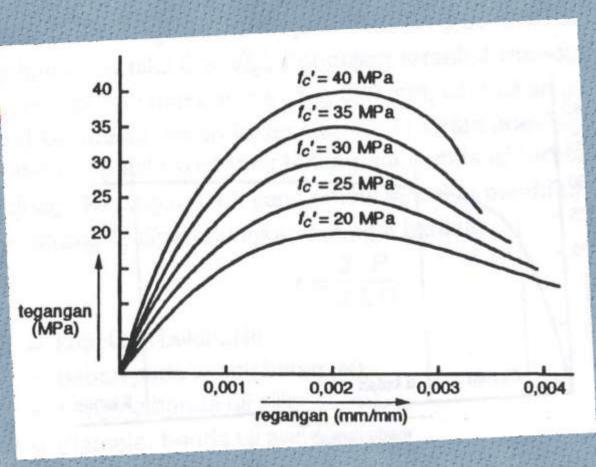
Brief Review



- 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 tinngi
- 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



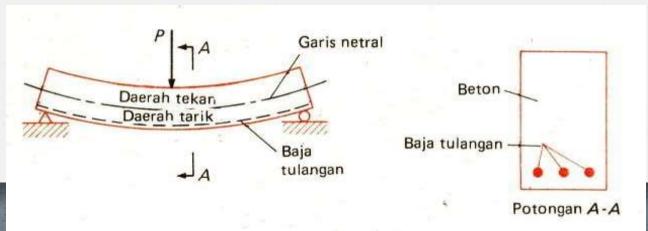
- Makin rendah kuat tekan beton: kemampuan deformasi (daktilitas) makin tinggi
- Tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan di antara 0,002- 0,0025
- Regangan ultimit pada saat hancurnya beton berkisar 0,003-0,004 (SNI menetapkan 0,003)
- Dalam perencanaan beton bertulang secara umum ditetapkan kekuatan 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 (bendingmoment)
- > Geser (shear)
- > Puntir (torsion)
- > Gabungan dari gaya-gayaini



Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ Kuat rencana

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

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

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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???



- 1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
- 2. U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (A atau R)
- 3. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,6 W + 0,5(A atau R)
- 4. U = 0,9 D ± 1,6 W
- 5. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,0 E
- 6. U = 0,9 D + ± 1,0 E

Faktor reduksi???



- 📆 Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_u \leq \phi M_n$$

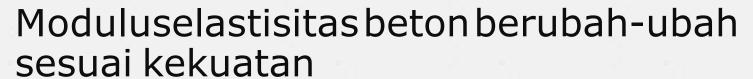
atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

- 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 fr, yang didapatkan dari rumus f=Mc/I memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

The patture can't be displayed.

| The patture can't be displayed.



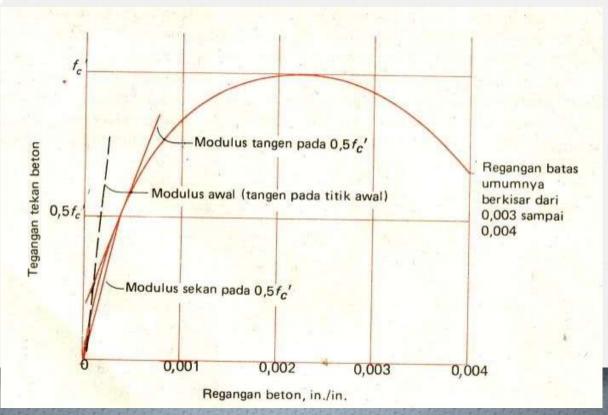
Modulus elastisitas tergantung dari

- > Umur beton
- > Sifat agregat dansemen
- > 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 $(w_c)^{1,5}0,0043$ f'_c

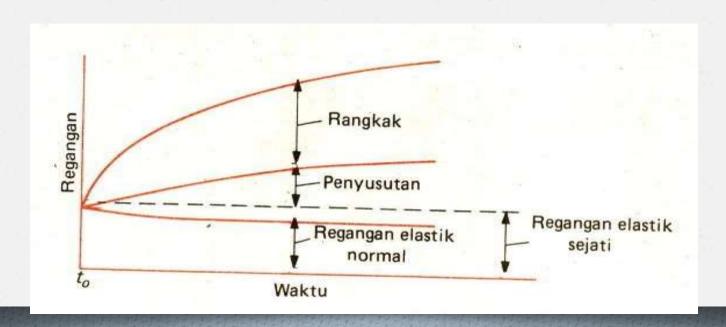
Untuk beton normal E_c dapat diambil sebesar 4700/f'_c (RSNI 2002 hal 53)



RANGKAK DAN SUSUT

9

Rangkak (creep) dan susut (shrinkage) adalah deformasistrukturyang 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 rangkak

- 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 dankebasahan
- > 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 pembebahan. 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 rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya faktorfaktor yang berhubungan hilangnya kelembaban dengan Susut yang dihalangi secara simetris oleh penulangan akan menimbulkan deformasi yang umumnya menambah deformasi terhadap rangkak

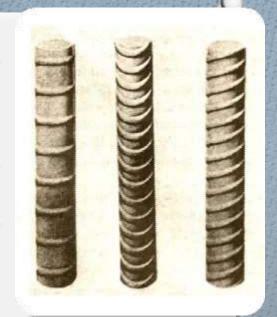
BAJA TULANGAN

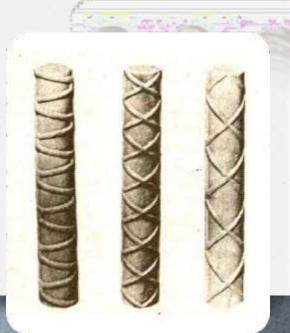
Baja tulangan dapat terdiri dari

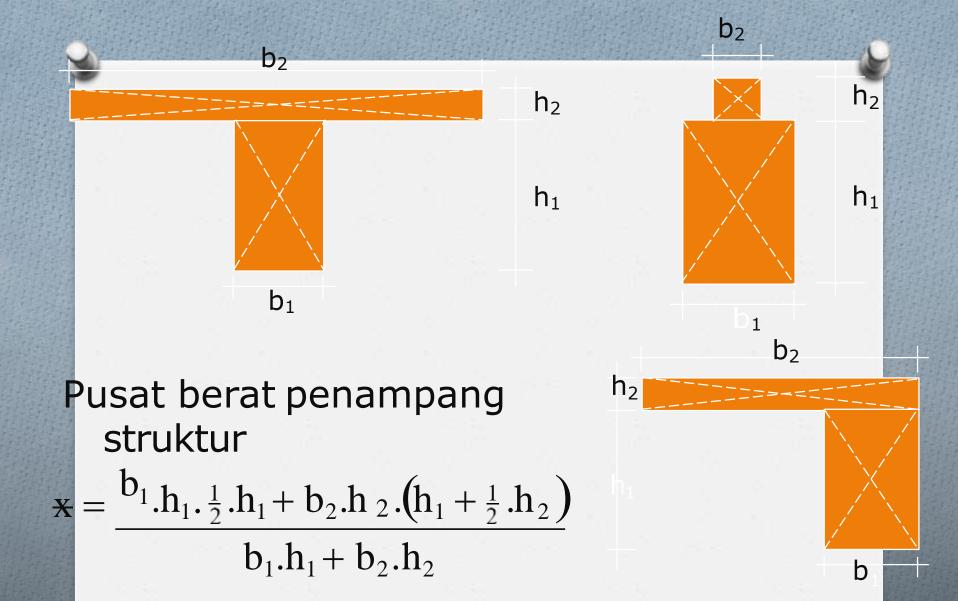
- Batang tulangan (tulangan polos atauberulir/deform)
- Anyaman kawat yang dilas

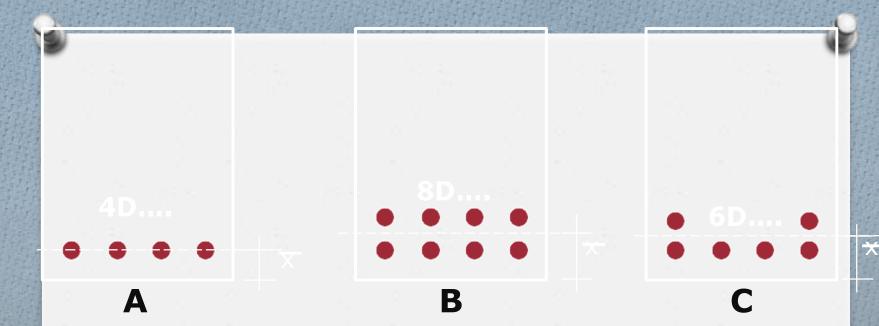
Tulangan berulir atau deform memiliki bentuk ulir yang bermacam-macam seperti gambar berikut. Adapun fungsi ulir adalah untuk menambah lekatan antara beton dengan baja

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 tulangan penampang A

 $x = selimut beton + \emptyset sengkang + \frac{1}{2}$. Ø tul.utama

Pusat berat tulangan penampang B

 $x = selimut beton + \emptyset sengkang + \emptyset tul. utama + \frac{1}{2}. 25 mm$

Pusat berat tulangan penampang C

 $= \frac{4(\text{sel.btn+} \text{ gsk+} \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} \text{ gsk+} \text{Øtul.ut+} 25 + \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut})}{4+2}$



(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 1,5db 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

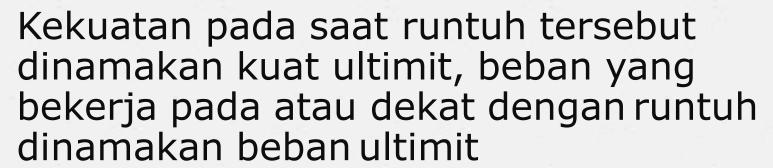


- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

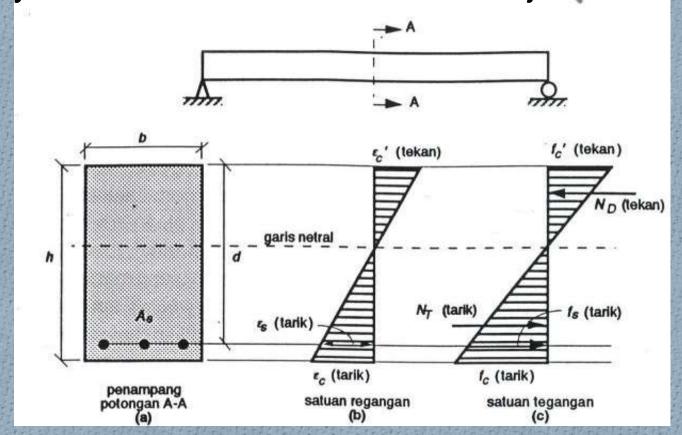


- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambangpintu.
 - Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian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

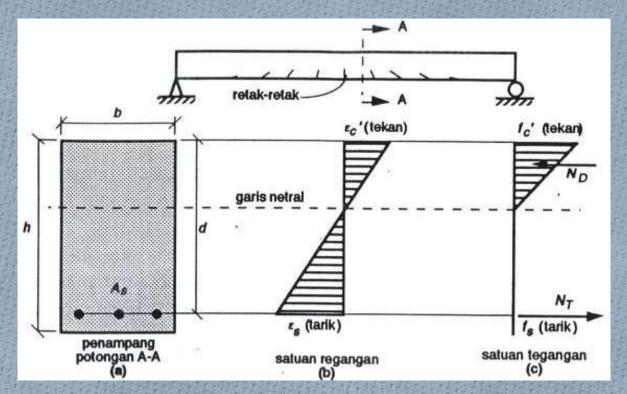


Untuk membahas metode kuat ultimit lebih lanjut diberikan tinjauan tentang perilaku beton bertulang bentang sederhana untuk memikul beban berangsur meningkat mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebahan yang menyebabkan hancurnya struktur

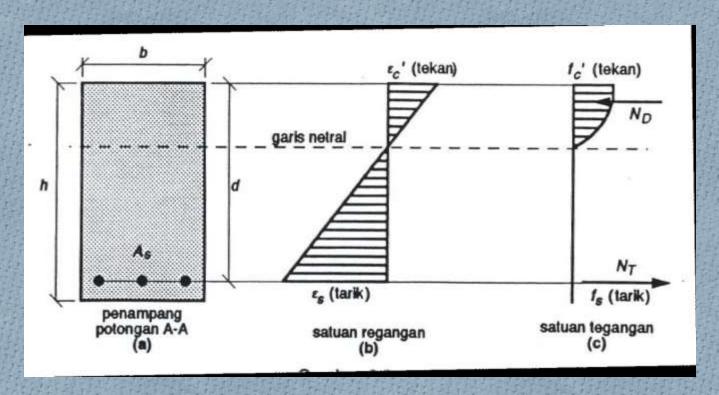
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersama- sama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 padanilai tegangan beton sampai ½.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.



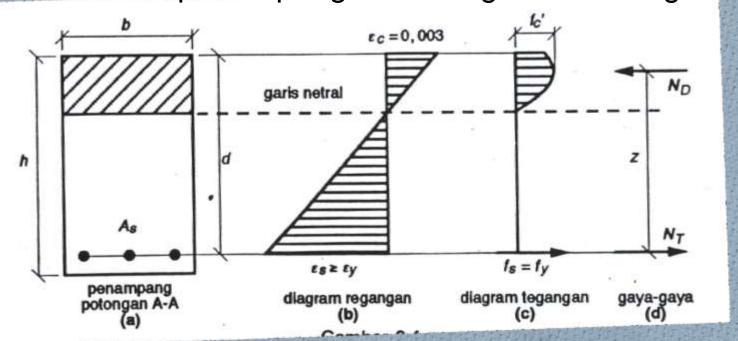
Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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
- Dalam memperhitungkan kapasitas momen ultimit komponen struktur, kuat terik 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 maksimum (e'ntwaksbeton mencapai 0,003 sedangkan mencapai tegangapatarik baja sudah tegangan luluh. Apalailarhalpamikian terjadi, penampang tegangan 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

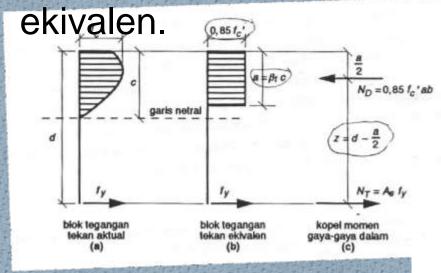
Kedua gaya ini, arah garis kerjanya sejajar, sama besar tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam di mana nilai maksimumnya disebut kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur

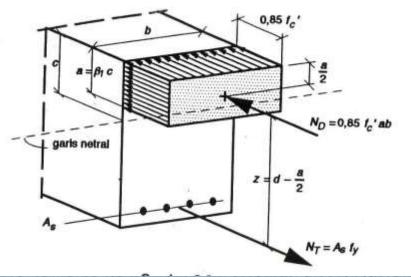
Momen tahanan dalam memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar

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





 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

$$a = \beta_1.c$$

dengan c = jarak serat tekan terluar ke garis netral β_1 = konstanta yg merupakan fungsi kelas kuat beton

SNI3₁₁21002 'ps≤13202 hal 69 peneggetapkan nilai β₁

MPa untuk f'c
$$\geq$$
 $\beta_1 = 0.85 - 0.008$ (f'c $-$ 30 MPa 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 ekivalen

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

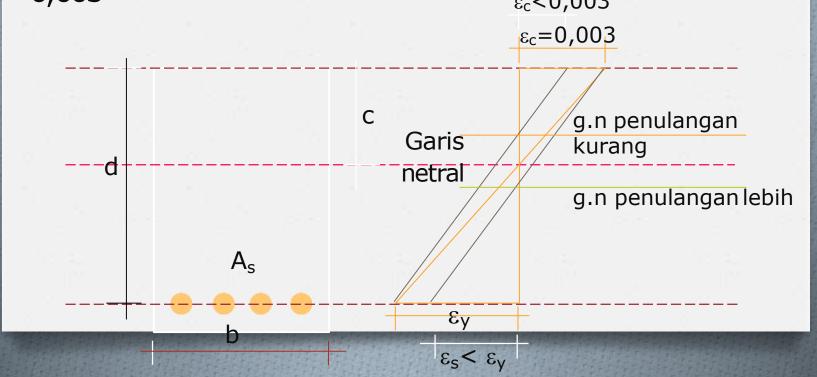
T_s = resultan gaya tarik baja tulangan

 $\frac{E}{s}$ = modulus elastisitas baja = 2.10 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 $\epsilon_c < 0,003$



- 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 lendukan 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

- $\rightarrow \rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
- $\rho_b = \{(0.85.f'c.\beta 1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$

SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan

- $\rightarrow \rho_{minimum} = 1,4/f_y$
- 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)

$$> \rho = A_s/(bxd)$$

SELIMUT BETON (SNI3-2002 ps 9.7 hal 40)



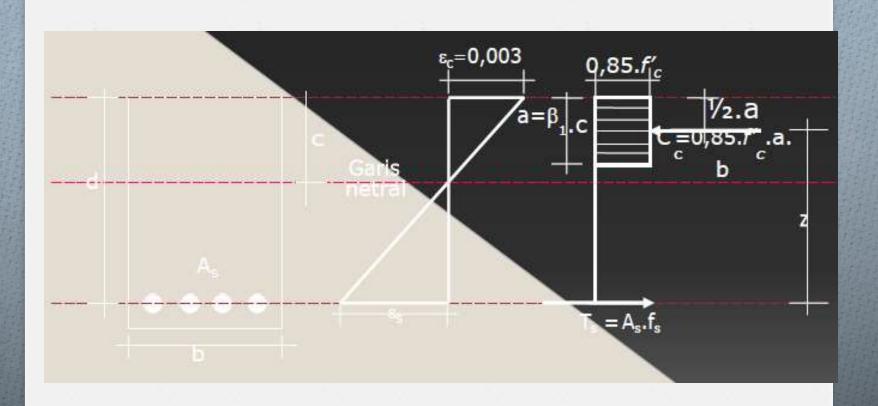
Beton yang langsung dicor di atas tanah da berhubungan dengan tanah	an selalu 70 mm
Beton yang berhubungan dengan tanah/cuaca	
> D19 hingga D56	50 mm
D16 jaring kawat polos atau kawat ulir	
D16 dan yang lebih kecil	40 mm
Beton tidak langsung berhubungan dengar	ſ
cuaca/tanah	
> Plat, dinding, plat berusuk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

BALOK TERLENTUR

Jenis-jenis balok menurutcaraanalisa 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

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85. f_{c}. \beta_{1}}{6000 + f}$$

$$A_{sb} = \rho_{b}b.a$$
Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau keadaan overreinforced bila $A_{s} > A_{sb}$

keadaan underreinforced bila A_s ≤ A_{sb}
 Bila keadaan underreinforced, kapasitas

$$a = \frac{A_s \cdot f_{\text{nomen}}}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$$

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

$$atau$$

$$M_n = 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a)$$

$$M_R = \phi \cdot M_n$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s \cdot \varepsilon}{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c}$$

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

$$c = k_u.d$$

$$a = \beta_1.c$$

$$M_n = 0.85. f'_c.a.b. \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_R = \phi M_n$$

Desain balok tulangan tunggal

Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu 1. han ansachiilu aduangan tulangan

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

$$\rho = \frac{0.85.f_{c}}{f_{y}} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_{c}}} \right)$$

b. Hitung rasio tulangan

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

d. Hitung jumlahtulangan

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

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

$$\rho = 0.5 \rho_{b} = 0.5 \frac{f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho. f_y \left(1 - \frac{\rho. f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentukan tinggi efektif balok
$$d = \sqrt[3]{\frac{1}{r.\phi.R_n}}$$

DesainTulanganTunggal

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 balokadalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

DesainTulanganTunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$



TUGAS 5

cara mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan untuk pengujian:

- a. Beton
- b. Baja

Muhammad Ujang Ibrahim Mekanika Terapan

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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

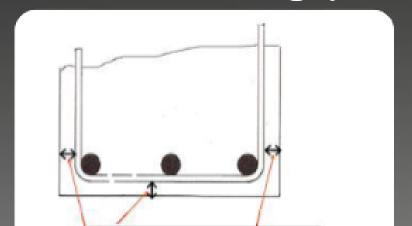
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

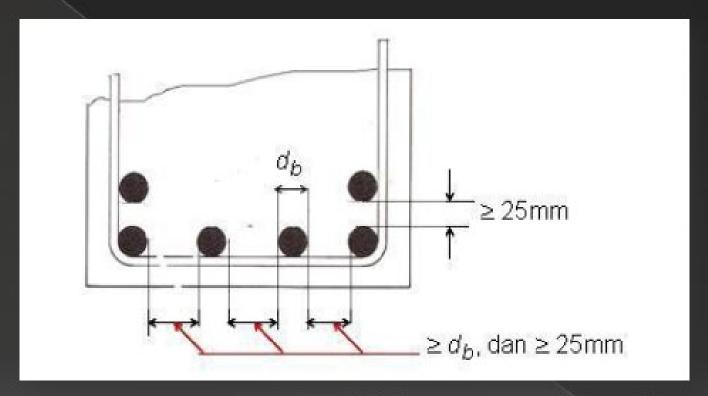
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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

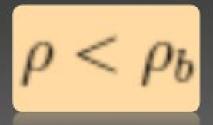
Batasan Tulangan

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

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

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

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan

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

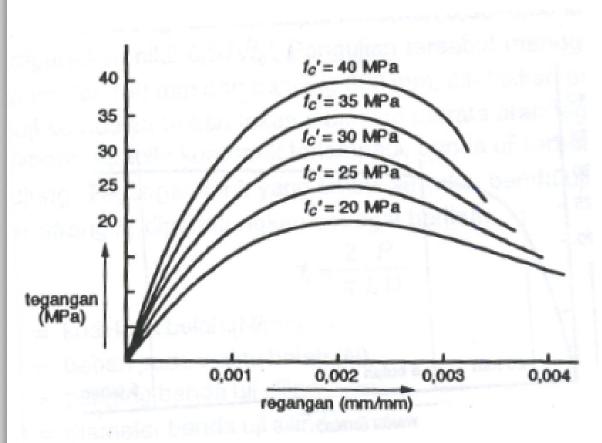
$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \rho_{\text{b}}$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

- 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

- 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 tinngi
- 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.

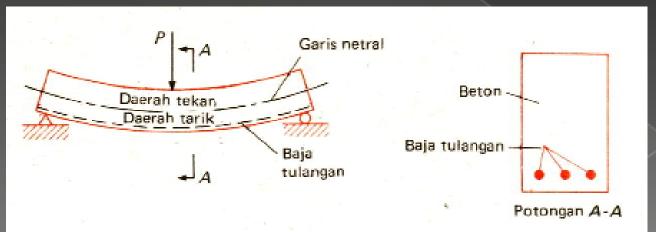
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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

Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ 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 ø

Desain Balok

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_u \le \phi M_n$$

atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

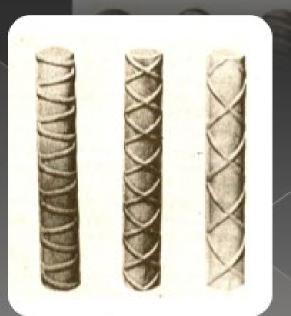
KUAT TARIK BETON

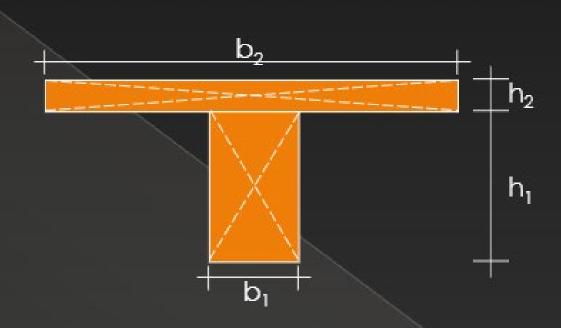
- Kuat tarik beton bisa ditentukan berdasarkan pengujian pembebanan silinder (the split silinder)
- Kuat tarik beton lebih bervariasi dibandingkan kuat tekannya, besarnya berkisar 10-15% kuat tekan beton
- Kuat tarik dalam lentur yang dikenal sebagai modulus runtuh (modulus of rupture) penting dalam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

BAJA TULANGAN

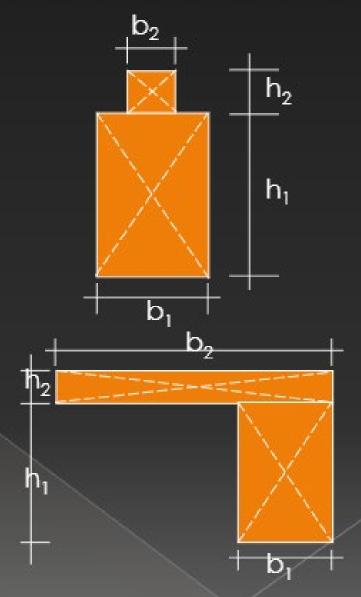
- Baja tulangan dapat terdiri dari
 - Batang tulangan (tulangan polos atau berulir/deform)
 - Anyaman kawat yang dilas
- Tulangan berulir atau deform memiliki bentuk ulir yang bermacam-macam seperti gambar berikut. Adapun fungsi ulir adalah untuk menambah lekatan antara beton dengan baja
- Modulus elastisitas 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.

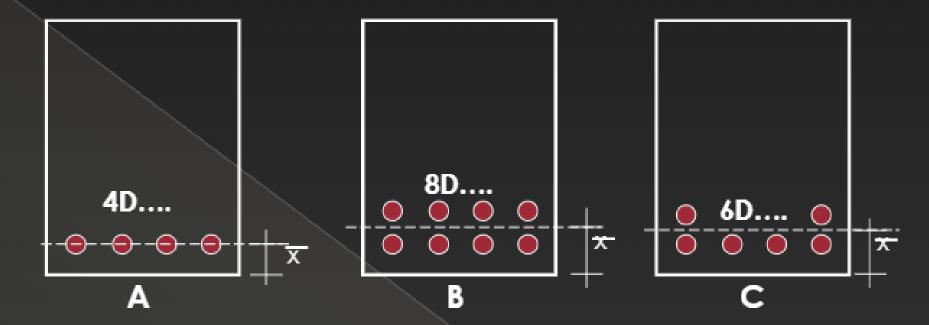






Pusat berat penampang struktur



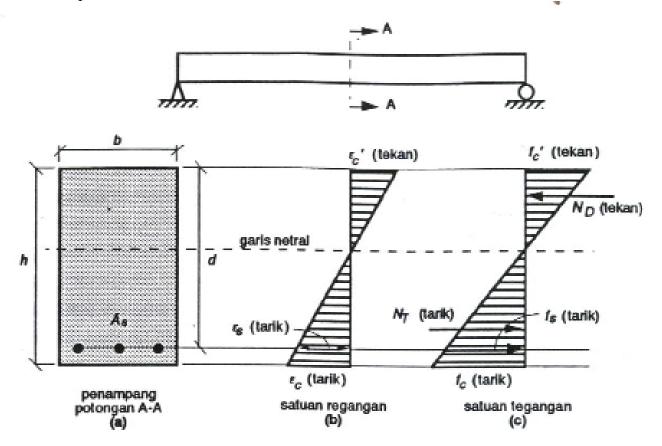


- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C
 X = 4(sel.btn+øsk+½.Øtul.ut) +2(sel.btn+øsk+Øtul.ut+25+½.Øtul.ut)
 4+2

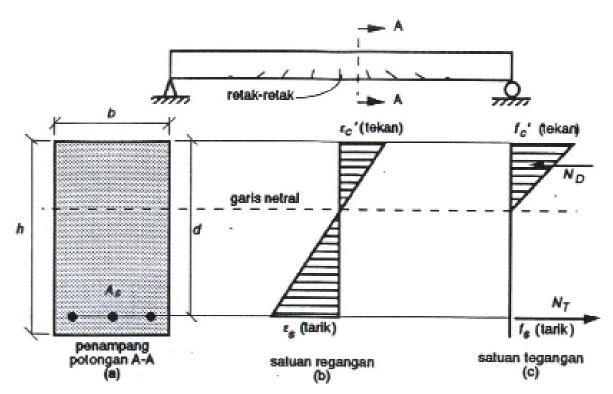
(RSNI-2002 ketentuan 9.6 hal 38)

- 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 1,5db 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

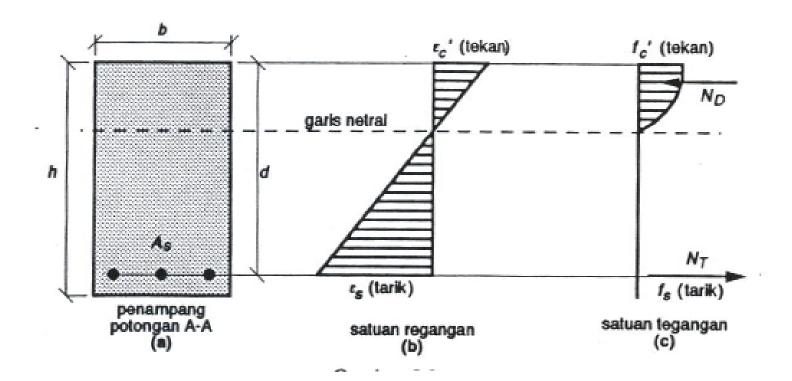
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 ½.f'c



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurya 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.

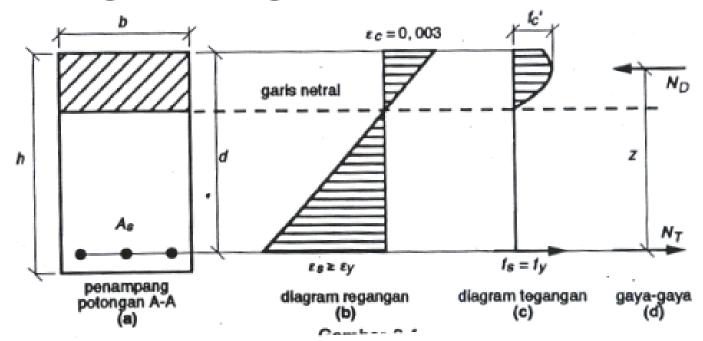


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

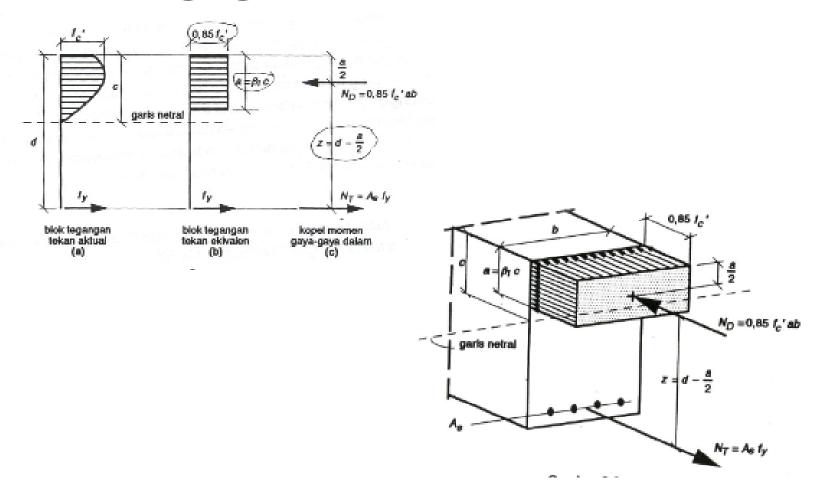
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{\rm b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai 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

$$a = \beta_1.c$$

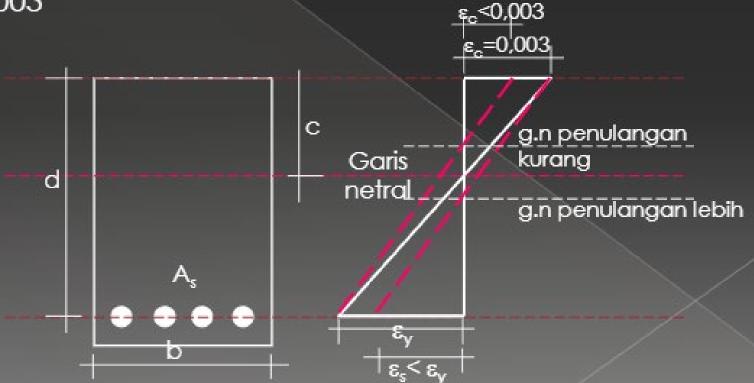
dengan c = jarak serat tekan terluar ke garis netral β_1 = konstanta yg merupakan fungsi kelas kuat beton

• SNI3-2002 ps 12.2 hal 69 menetapkan nilai β_1

untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85
untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 – 0,008(f'c – 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

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

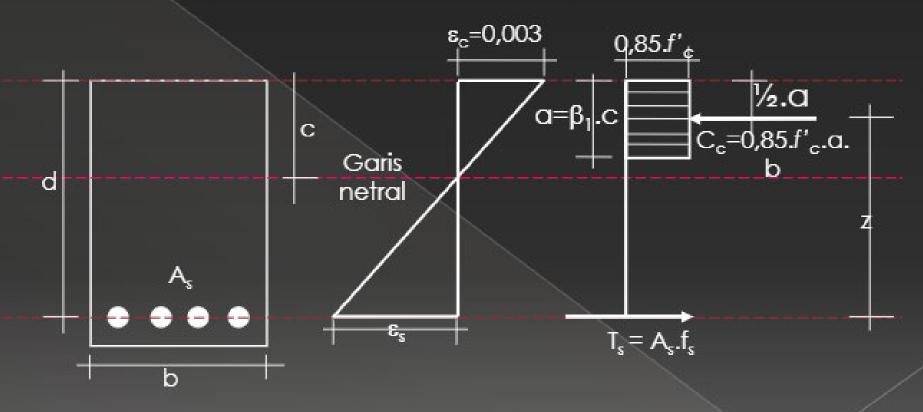


- Bila penampang balok mengandung jumlah tulangan tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok dikatakan bertulangan lebih (overreinforced).
 - Berlebihnya tulangan mengakibatkan garis netral bergeser kel bawah, beton mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.fc.\beta1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rho_{\text{minimum}} = 1,4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rho = A_s/(bxd)$

BALOK BERTULANGAN TUNGGAL (BERTULANGAN TARIK SAJA)





Nama : MUHSIN NIM : 192710023

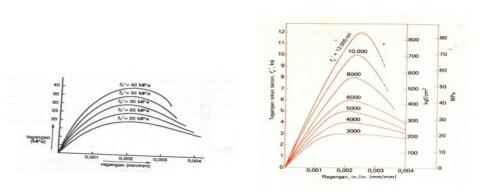
Mata Kuliah : MEKANIKA TERAPAN

Dosen : Dr. Firdaus, M.T.

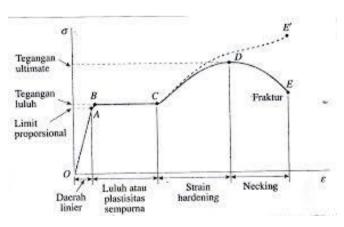
Tugas : Tugas e-learning 5

1. Untuk pengujian beton dilakukakan dengan cara pengambilan sampel Beton dengan Kubus Atau silinder, kemudian di lakukan streng test pada umur yang di syaratkan, dari hasil pemeriksaan akan didapat berapa tegangan dan regang yang terjadi

Kurva hubungan tegangan-regangan pada beton



2. Untuk pengujian baja , dengan cara diambil contoh baja dipotong lebih kurang 20 cm lalu dilakukan test tarik dan tekan sehingga dihasilkan nilai regangan baja setelah di tekan atau ditarik





TUGAS 5 MEKANIKA TERAPAN novariansyah 192710019

Jawab:

1. Grafik hubungan tegangan regangan pada beton untuk pengujian: Model hubungan tegangan regangan beton dibagi dua kategori:

- 1. Beton normal (17,5 Mpa <fc' < 40 Mpa).
- 2. Beton mutu tinggi (fc' > 40 Mpa).

Karena beton nomal mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi maka kedua beton tersebut memiliki persamaan yg berbeda dalam pemodelannya:

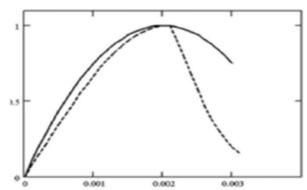
Beton normal, menggunakan persamaan Hognestad:

$$f_c = f_{c'} \cdot \left(\frac{2 \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_{c'}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c'}} \right)^2 \right)$$

Dengan:

 $\begin{array}{ll} f_c &=& \operatorname{tegangan} \operatorname{pada} \operatorname{beton} \operatorname{(Npa)} \\ e_c &=& \operatorname{Tregangan} \operatorname{pada} \operatorname{beton} \\ f_{c\prime} &=& \operatorname{kuat} \operatorname{tekan} \operatorname{beton} \operatorname{uniaksial} \\ e_{c\prime} &=& \operatorname{regangan} \operatorname{pada} \operatorname{saat} \operatorname{beton} \operatorname{mencapai} \operatorname{fc'} \end{array} \\ \end{array} \\ \epsilon_{c\prime} &=& \frac{f_{c\prime}}{E_c} \end{array}$

Karena sifat kelengkungannya yang tinggi terutama pada bagian awal, persamaan parabola ini hanya akurat untuk menggambarkan hubungan tegangan-regangan pada beton mutu rendah dan normal yang memang mempunyai sifat non linearitas yang tinggi pada tahap awal pembebanan.



Garis tidak terputus = beton mutu normal Garis terputus-putus = beton mutu tinggi

Beton Mutu Tinggi (fc' > 40 Mpa), persamaan yang digunakan untuk memodelkan perilaku beton mutu tinggi adalah persamaan Collins & Mitchell (1992).

$$\begin{split} f_c &= \ f'_c \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{\prime c}} \cdot \frac{n}{n-1+\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}}\right)^{nk}} \\ & \text{k} = 1 \qquad \text{untuk} \, \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}} \leq 1 \\ & \text{k} = 0.7 + \frac{f'_c}{20} \, \, \text{(Mpa) untuk} \, \, \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}} > 1 \\ & \text{n} = 0.8 + \frac{f'_c}{17} \, \, \text{(Mpa)} \end{split}$$

2. Grafik hubungan tegangan regangan pada baja beton:

Parameter pengujian dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut :

1) tegangan tarik putus : Fs;

$$fs = \frac{P_{make}}{A_{so}}$$

2) tegangan tarik leleh : fy;

$$fs = \frac{P_y}{A_{so}}$$

3) regangan maksimum: Π maks;

$$\Pi maks = \frac{I_u + I_o}{I_o} x 100\%$$

4) kontraksi penampang: s;

$$S = \frac{A_{so} + A_{su}}{A_{so}} x 100\%$$

dimana:

fs : tegangan tarik putus, Mpa Pmaks : kuat tarik putus, N

Aso: luas penampang benda uji semula, mm2

Asu: luas penampang benda uji setelah pengujian, mm2

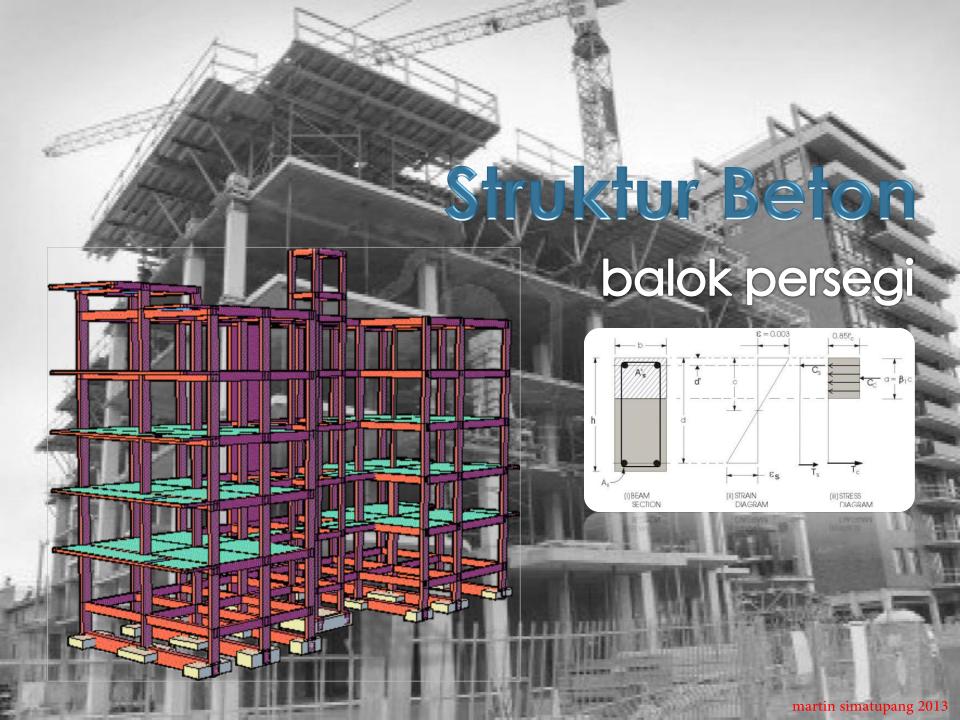
fy: tegangan tarik leleh, N Py: kuat tarik leleh, N

Emaks: regangan maksimum benda uji pada saat putus, %

lu : panjang benda uji setelah pengujian, mm

lo : panjang benda uji semula, mm

s : kontraksi/reduksi penampang benda uji pada saat putus.



POP QUIZ 1

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

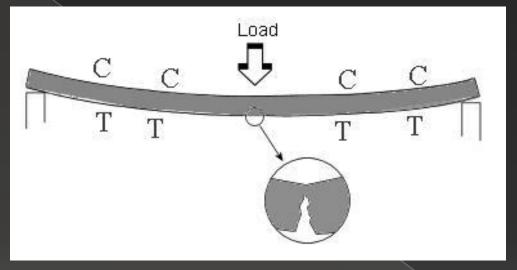
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

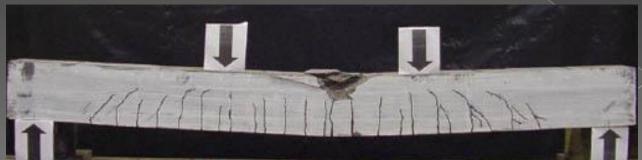
Selimut Beton

Lokasi Tulangan

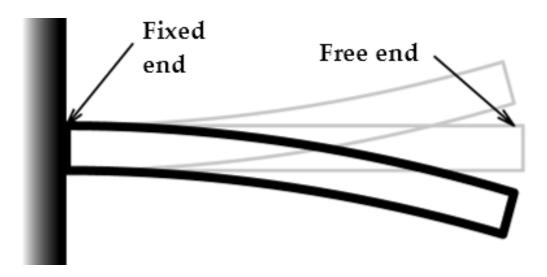
Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus (c)



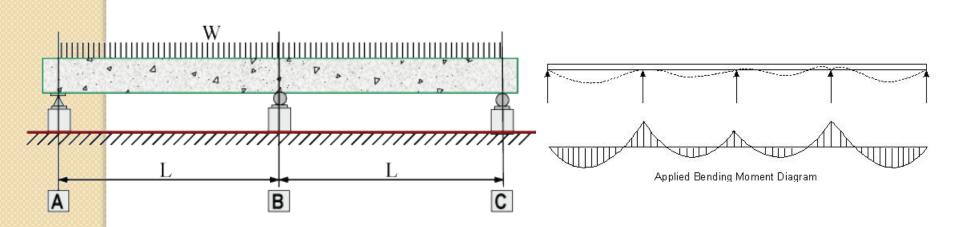
Gambar (a) menunjukkan perilaku balok yang ditumpu secara sederhana di kedua ujungnya saat diberikan beban terpusat di tengah bentang



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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

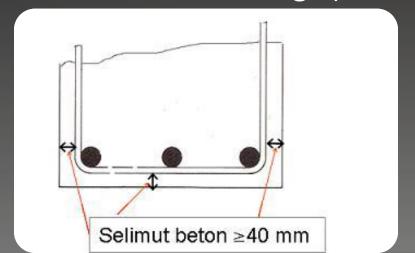
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

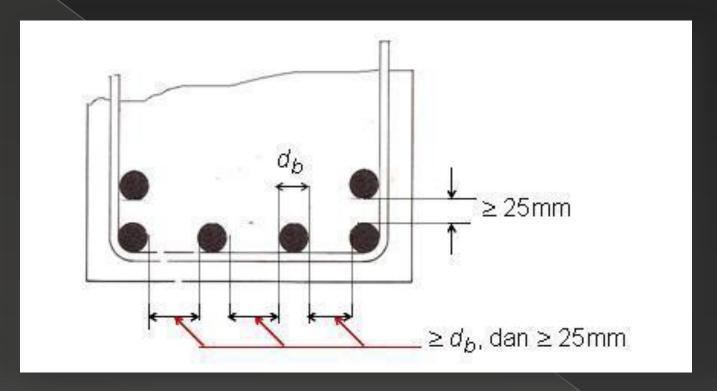
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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.
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w d$$

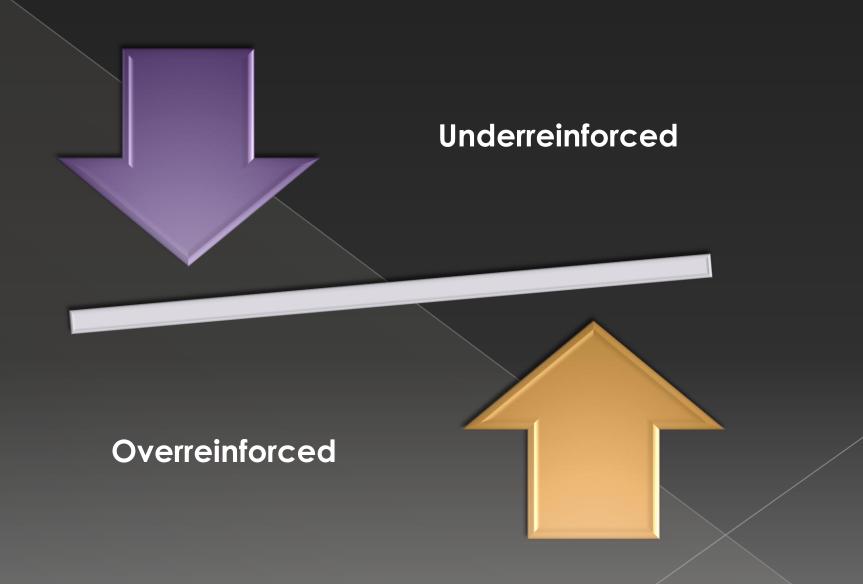
$$2. A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan



Batasan Tulangan

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

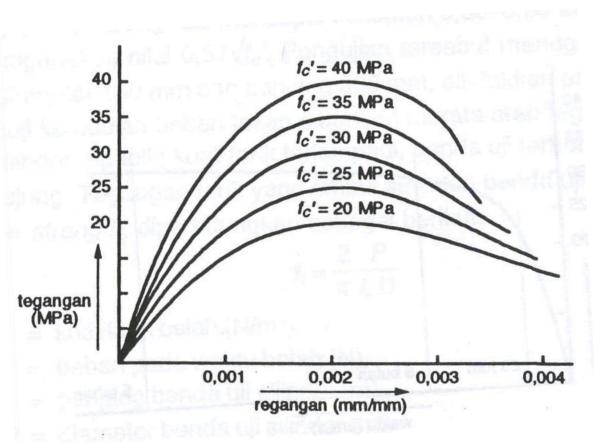
$$\rho_{\text{max}} = 0,75\rho_{\text{b}}$$

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

- 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

- 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 tinngi
- 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.

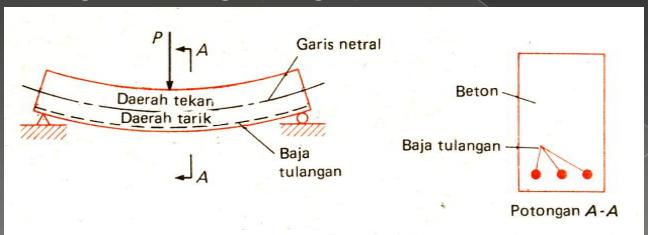
BEDA MASING-MASING BENDA UJI??



- 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

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



Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ 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

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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan????

- 1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
- 2. U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5(A atau R)
- 3. U = 1.2 D + 1.0 L + 1.6 W + 0.5(A 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???

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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 Mu merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan Mn momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_n < \phi M_n$$

atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

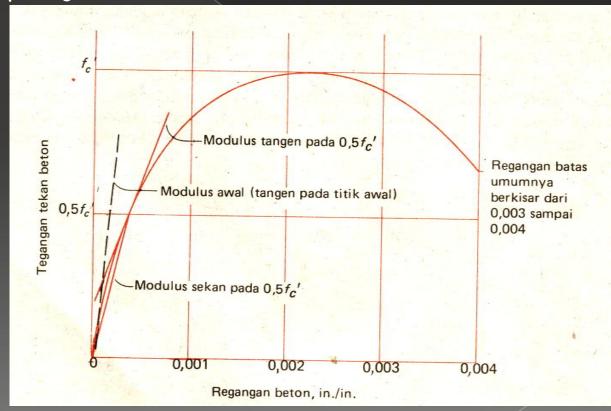
KUAT TARIK BETON

- 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 fr , yang didapatkan dari rumus f=Mc/l memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

MODULUS ELASTISITAS

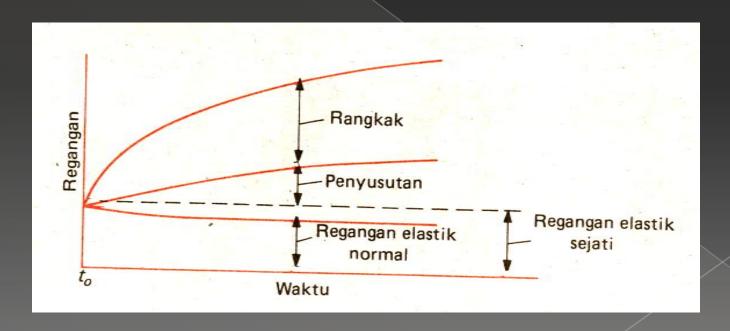
- Modulus elastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - Sifat agregat dan semen
 - Kecepatan pembebahan
 - Jenis dan ukuran benda vji
- Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi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



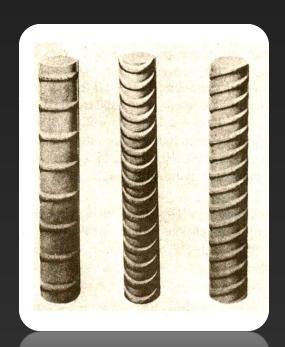
Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak

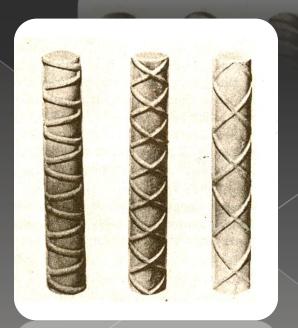
- Konstituen, seperti komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu dan isi mineral dari agregat
- Perbandingan air, seperti perbandingan air dengan semen
- > Suhu pada pengerasan dan kebasahan
- Kelembaban nisbi selama waktu penggunaan beton
- > Umur beton pada pembebanan
- Lamanya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

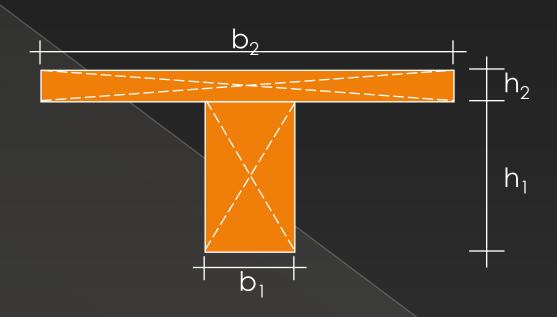
- Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebahan.
- Ada kemungkinan bagi beton untuk mengeras secara terus menerus di dalam air dengan volume bertambah, namun ada kemungkinan volumenya berkurang
- Umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya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

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.

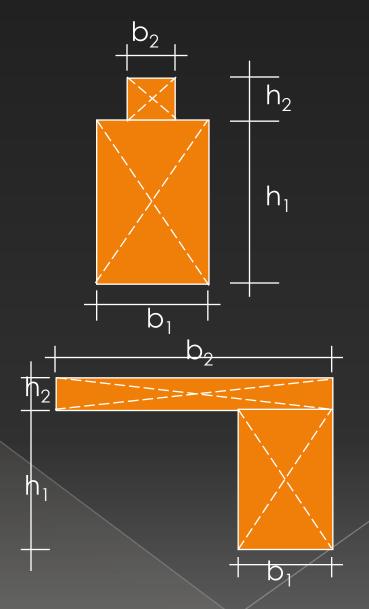


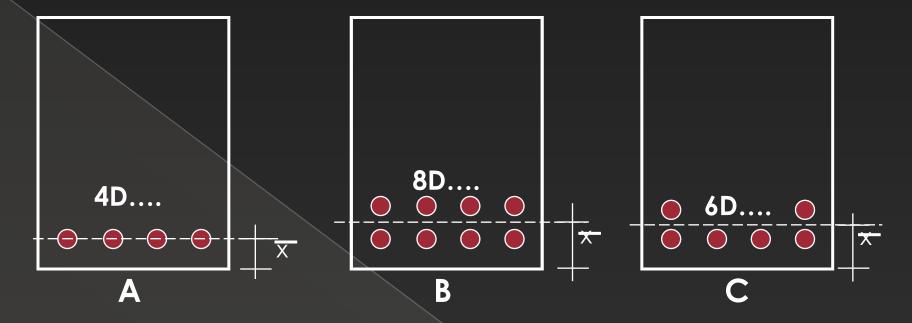




Pusat berat penampang struktur

$$\overline{x} = \frac{b_1.h_1.\frac{1}{2}.h_1 + b_2.h_2.(h_1 + \frac{1}{2}.h_2)}{b_1.h_1 + b_2.h_2}$$





- Pusat berat tulangan penampang A
 x = selimut beton +ø sengkang + ½. Ø tul. utama
- Pusat berat tulangan penampang B
 x = selimut beton +ø sengkang + Ø tul. utama + ½. 25 mm
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn+} \text{øsk+} \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} \text{øsk+} \text{Øtul.ut+} 25 + \frac{1}{2}.\text{Øtul.ut})}{4+2}$

(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 1,5db 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

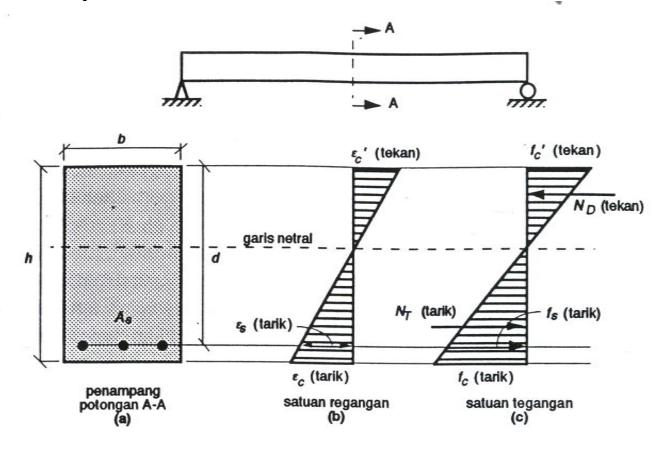
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

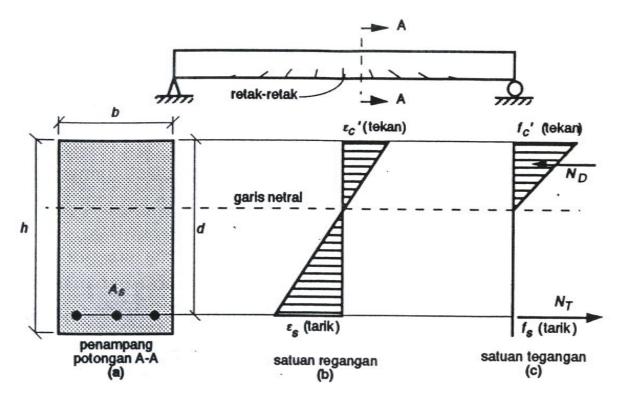
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambang pintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian 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 mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebahan yang menyebabkan hancurnya struktur

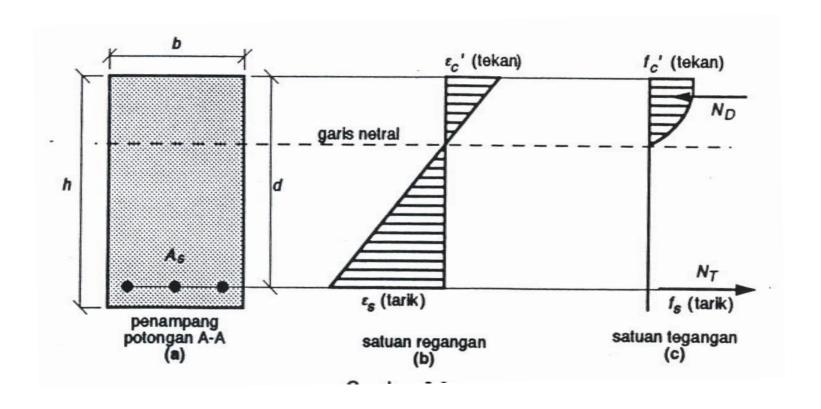
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersamasama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 ½.f'c



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurya 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.

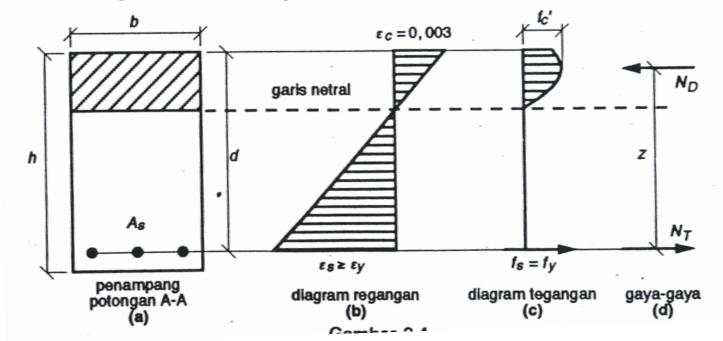


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

- 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 kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

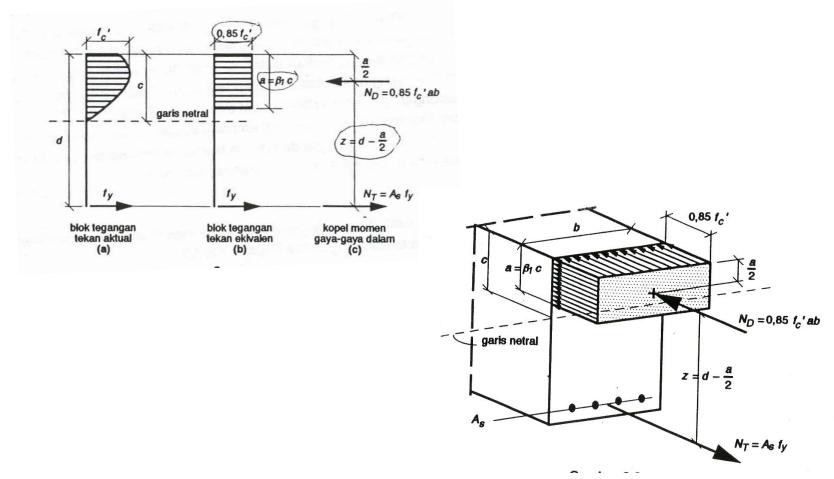
• Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_{b\ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan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

$$a = \beta_1.c$$

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

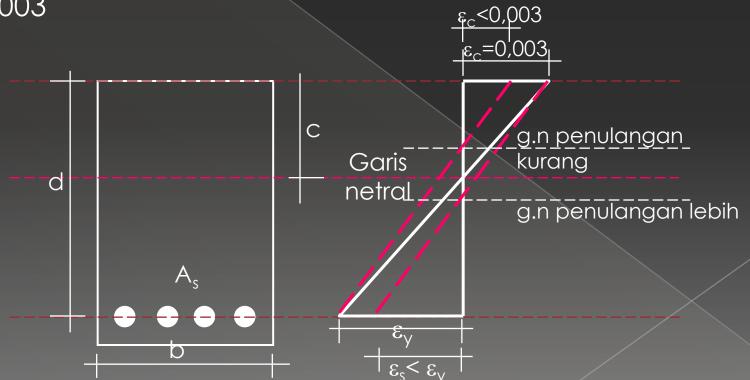
untuk f'c
$$\leq$$
 30 MPa β_1 = 0,85 untuk f'c \geq 30 MPa β_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) $\beta_1 \geq$ 0,65

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 ekivalen
- f_s = tegangan tarik baja
- f_c' = Kuat tekan beton
- $\varepsilon_{\rm c}$ = 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 = 2.10⁵ 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 lendukan 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
 - $\rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.f'c.\beta 1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rho_{\text{minimum}} = 1.4/f_{\text{y}}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $\rho = A_s/(bxd)$

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

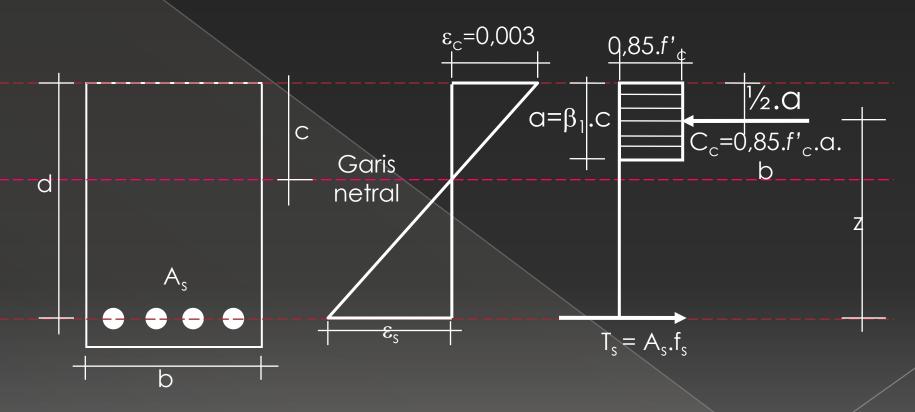
15 mm

D16 jaring kawat polos atau ulir
 D16 dan yang lebih kecil

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

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85.f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

$$A_{sb} = \rho_{b}.b.d$$

- Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau keadaan *overreinforced* bila $A_s > A_{sb}$ keadaan *underreinforced* bila $A_s \le A_{sb}$
- 3. Bila keadaan underreinforced, kapasitas momen balok dihitung

$$a = \frac{A_{s}.f_{y}}{0.85.f'.b}$$

$$M_{n} = A_{s}.f_{y}.(d - \frac{1}{2}.a)$$
atau
$$M_{n} = 0.85.f'_{c}.a.b.(d - \frac{1}{2}.a)$$

$$M_{R} = \phi.M_{n}$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s.\epsilon}{0.85.\beta_1.f'_c}$$

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

$$c = k_u.d$$

 $a = \beta_1.c$
 $M_n = 0.85.f'_c.a.b.\left(d - \frac{a}{2}\right)$
 $M_R = \phi.M_n$

Desain balok tulangan tunggal

Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

- I. 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
$$k = \frac{M_u}{\phi.b.d^2}$$
 b. Hitung rasio tulangan
$$\rho = \frac{0.85.f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_c}}\right)$$

$$t_y$$

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

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

$$\rho = 0.5 \rho_{b} = 0.5 \frac{f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho.f_y \left(1 - \frac{\rho.f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentuka<u>n tinggi</u>efektif balok

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

Desain Tulangan Tunggal

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

$$M_n = f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

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

Sehingga momen rencana balok adalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

Desain Tulangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$

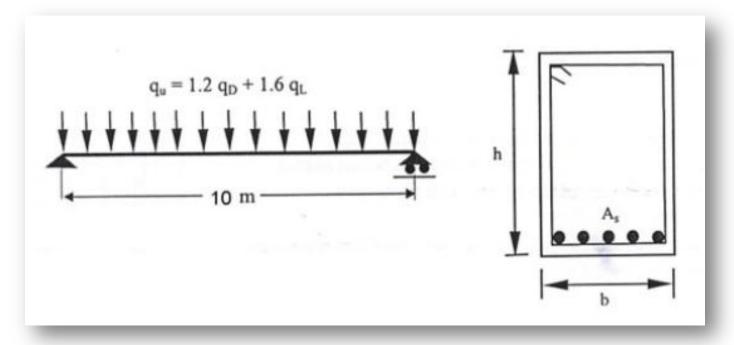
$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f'_c \omega (1 - 0, 59\omega)$$
 (III.2)

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



Hitunglah desain optimum balok (dimensi balok & tulangannya)

Solusi:

Perkiraan beban mati balok.

Untuk balok di atas dua tumpuan : $h_{min} \approx \frac{\ell}{16} = 0.625 \text{ m} \rightarrow$ ambil h = 800 mm dan $b \approx 0, 5h = 400 \text{ mm}$, sehingga berat sendiri balok = 0,8 x 0,4 x 24 = 7,68 kN/m

2. Menghitung momen terfaktor M_u

beban terfaktor : $q_u = 1.2x(7.68+14.5) + 1.6 \times 25.5 = 67.4 \text{ kN/m}$

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

Solusi (lanjutan):

3. Menghitung b dan d yang diperlukan

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)}$$

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

$$bd^{2} = \frac{842,5x10^{6}}{0,8\left[25x0,16\left(1-0,59x0,16\right)\right]} = 290,5x10^{6} \ mm^{3}$$

jika b = 450 mm \rightarrow d = 803 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 mm \rightarrow h = 868 mm $> h_{min}$

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

Kedua ukuran di atas memenuhi syarat.

Ambil ukuran balok b = 400 mm dan h = 900 mm

Solusi (lanjutan):

4. Hitung ulang M_u dengan berat sendiri balok menggunakan ukuran yang baru : berat sendiri balok = 0,9 x 0,4 x 24 = 8,64 kN/m beban terfaktor baru :

$$q_{u(b)} = 1.2x(8.64+14.5) + 1.6 \times 25.5 = 68.57 \text{ kN/m}$$

$$M_{u(b)} = \frac{68,57x10^2}{8} = 857kNm = 857x10^6Nmm$$

Hitung luas tulangan yang dibutuhkan.

Asumsi tulangan yang dipasang 2 lapis, sehingga

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

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{857x10^6}{400x810^2} = 3.2655$$

Solusi (lanjutan):

sedangkan

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$\phi f_c' \omega (1 - 0.59\omega) \ge \frac{M_u}{bd^2} = 3.2655$$

sehingga

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

atau

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

diperoleh $\omega_1 = 1.512 \text{ dan } \omega_2 = 0.183$

diambil
$$\omega = 0.183 \rightarrow \rho \frac{f_y}{f_c^t} = 0.183$$
, sehingga

$$\rho = \frac{0.183xf_c'}{f_y} = \frac{0.183x25}{400} = 0.01144$$

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

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

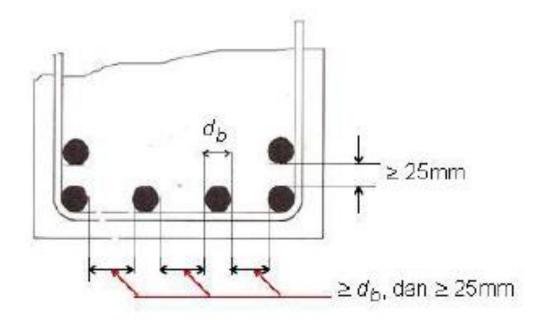
$$A_s = \rho bd = 0.01144x400x810 = 3660 \text{ mm}^2$$

•
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4x400} x400 x810 = 1012.5 \text{ mm}^2$$

•
$$A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d = \frac{1.4}{400} x400 x810 = 1134 \text{ mm}^2$$

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

Terlihat A_s yang diperoleh $> A_{smin} \rightarrow$ ok Gunakan tulangan 6D28 \rightarrow $A_s = 3695 \text{ mm}^2$



6. Hitung nilai d sebenarnya

$$d_s = \frac{2x616x117 + 4x616x64}{2x616 + 4x616} = 81.67 \ mm$$

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

7. Hitung a dan cek apakah dengan tulangan yang digunakan penampang masih bersifat $underreinforced \rightarrow$

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

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{3695 x400}{0,85 x25 x400} = 174 \ mm$$

$$\frac{a}{d} = \frac{174}{818} = 0.213$$

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

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

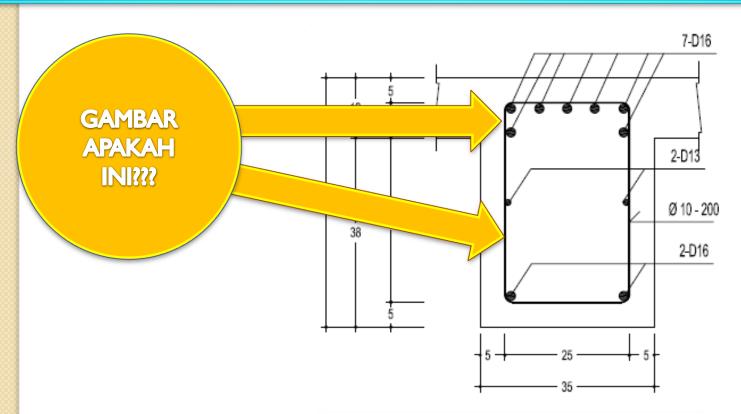
8. cek ϕM_n

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8x3695x400 \left(818 - \frac{174}{2} \right)$$

$$= 864334400Nmm = 864, 3 kNm > M_u = 857 kNm \longrightarrow ok$$

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

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





MEKANIKA TERAPAN (MTS 271201)

RM. Edwar_Tugas kuliah #5

Topik Tugas_ Hubungan Tegangan-Regangan pada Beton & Baja

Ilustrasi:

> Tegangan

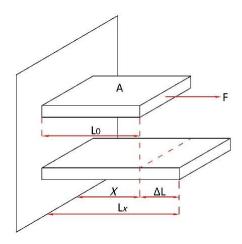
Perbandingan antara gaya yang diterapkan (F) dengan luas permukaan benda (A)

Regangan

Perbandingan antara penambahan panjang benda akibat gaya tersebut (ΔX) terhadap panjang mula-mula (X)

Modulus elastis

Perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan (ε) yang dialami oleh suatu benda



Pada Gambar diatas menunjukan sebuah benda elastis yang memiliki panjang ${\bf L0}$ dan luas penampang ${\bf A}$. benda tersebut diberikan gaya ${\bf F}$ sehingga bertambah panjang sejauh ${\bf \Delta L}$. Pada kondisi ini benda mengalami tegangan.

Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. **Tegangan** (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Secara matematis dituliskan :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:

 σ = Tegangan (Pa)

F = Gaya(N)

A = Luas Penampang (m²)

Pembahasan:

A. Grafik Hubungan Tegangan-Regangan untuk Pengujian Beton

pengujian: Model hubungan tegangan regangan beton dibagi dua kategori:

- 1. Beton Normal Mutu Rendah (17,5 Mpa <fc' < 40 Mpa)
- 2. Beton Mutu Tinggi (fc' > 40 Mpa)

Karena beton nornal mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi maka kedua beton tersebut memiliki persamaan yg berbeda dalam pemodelannya:

1. Beton Normal

Pemodelan menggunakan persamaan Hognestad:

$$f_c = f_{c'} \cdot \left(\frac{2 \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_{c'}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c'}} \right)^2 \right)$$

Dengan:

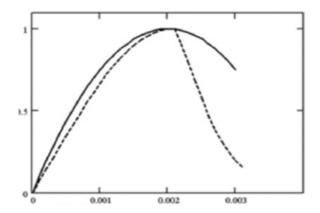
 f_c = tegangan pada beton (Npa) e_c = Tregangan pada beton $f_{c'}$ = kuat tekan beton uniaksial $e_{c'}$ = regangan pada saat beton mencapai fc' $\epsilon_{c'}$ = $\frac{f_{c'}}{E_c}$

Karena sifat kelengkungannya yang tinggi maka pada bagian awal, persamaan parabola ini hanya sesuai untuk menggambarkan hubungan Tegangan-Regangan pada Beton Normal mutu rendah yang mempunyai sifat non liniearitas tinggi pada awal pembebanan.

2. Beton mutu Tinggi

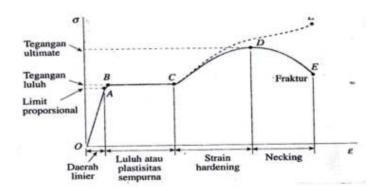
Pemodelan menggunakan persamaan Collins & Mitchell (1992)

$$\begin{split} f_c &= f'_c \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \cdot \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}}\right)^{nk}} \\ k &= 1 & \text{untuk} \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}} \leq 1 \\ k &= 0.7 + \frac{f'_c}{20} \text{ (Mpa) untuk} \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c\prime}} > 1 \\ n &= 0.8 + \frac{f'_c}{17} \text{ (Mpa)} \end{split}$$



Keterangan Gambar.

- Garis Terputus menggambarkan Beton Mutu Tinggi
- Garis Utuh menggambarkan Beton Normal Mutu Rendah
- B. Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Pada Beton (baja beton) Pada gambar berikut ini menggambarkan hubungan Tegangan-regangan pada baja struktural pada saat dilakukan pengujian.



- Tegangan Tarik Putus Fs
- Tegangan Tarik Leleh fy
- Tegangan Maksimum Hmaks
- $\Pi maks = \frac{l_w + l_o}{r} x 100\%$ $S = \frac{A_w + A_w}{A_w} x 100\%$ Kontraksi Penampang s

Dimana:

fs : Tegangan Tarik Putus, Mpa Pmaks : Kuat Tarik Putus, N

Aso : Luas Penampang Benda Uji sebelum Pengujian, mm2

Asu : Luas Penampang Benda Uji setela Pengujian, mm2

fy : Tegangan Tarik Leleh, N

Py : Kuat Tarik lelh, N

Emaks : Regangan Maksimum Benda Uji pada Saat Putus, %

lu : Panjang Benda uji sebelum Pengujian, mm

lo : Panjang Benda uji setelah Pengujian, mm

s : Kontraksi/reduksi Penampang Benda uji pada Saat Putus

Demikian tugas ini dibuat atas bimbingan yang diberikan, dari hati yang paling tulus diucapkan ribuan terima kasih.



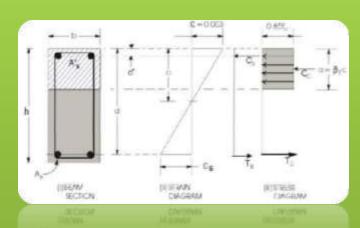
TUGAS 5 MEKANIKA TERAPAN

NAMA : Ruslan

NIM : 192710022

DOSEN: DR. FIRDAUS, M.T.

balok persegi



Gambarkan dan jelaskan grafik hubungan tegangan – regangan untuk material beton dan baja! Loka Si Tulan gan

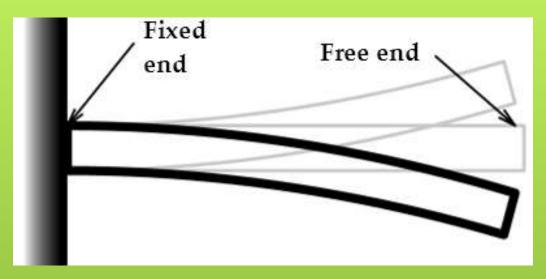
Jarak Tulangan desain balok persegi

Tinggi Minimum Balok

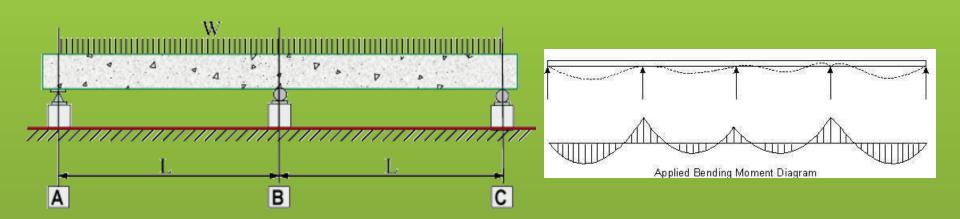
Selimu t Beton Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus(c)

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

Tulangalangan



Gambar (b) menunjukkan perilakulendutan balok kantilever ketika diberi beban



Gambar (c) menunjukkan perilaku lendutan balok menerus

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 panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

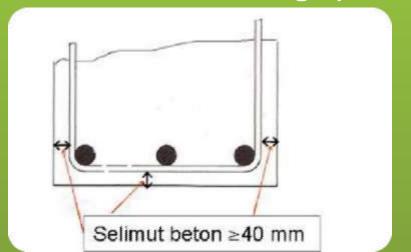
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

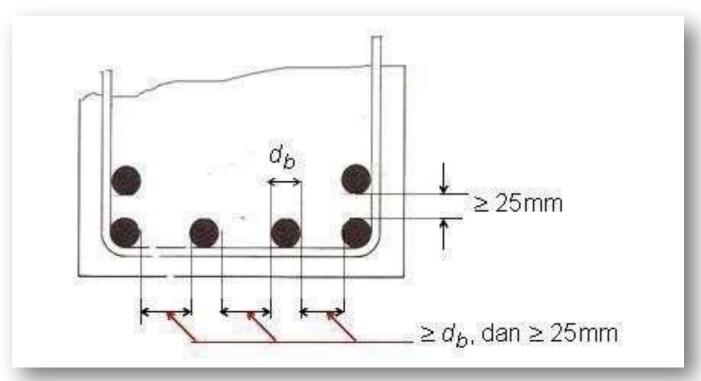
Selimut beton ini diperlukan untuk:

- 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 balokadalah: 40 mm(SNI beton 2002 pasal 9.7)

Selimut Beton dan Jarak Tulangan



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.
$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w d$$

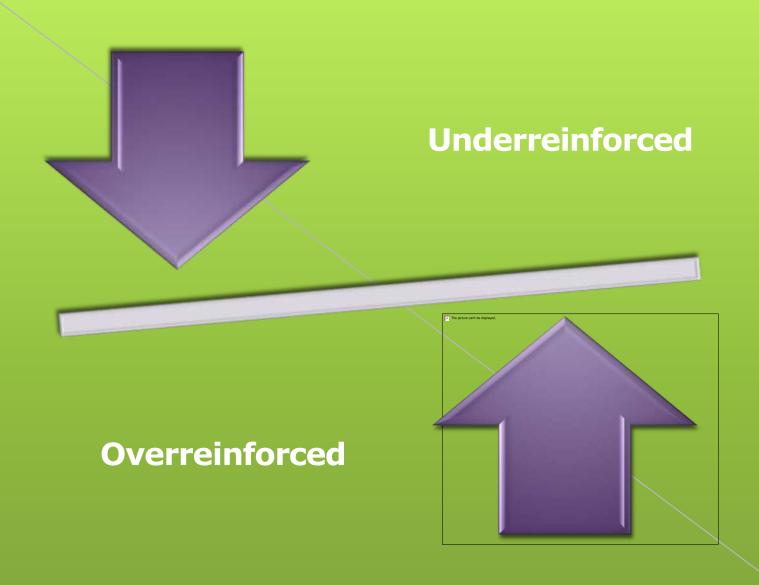
2.
$$A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

bw merupakan lebar badan balok



Rasio tulanganyang diharapkan

Batasan Tulangan



Batasan Tulangan

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

$$\rho_{\text{max}} = 0,75\rho_{\text{b}}$$

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

Brief Review

Beton bertulang terdiridari

- 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 yanglain

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 tinngi

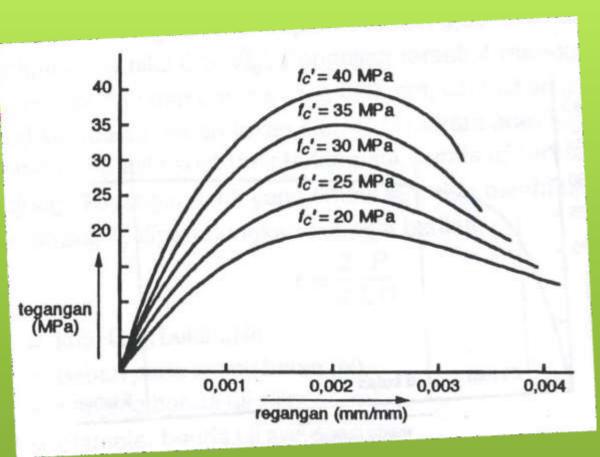
Sejumlah tertentu air diperlukan untuk terjadinya aksi kimia dalam pengerasan beton, dan kelebihan air digunakan untuk kemudahan pekerjaan

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??

Review

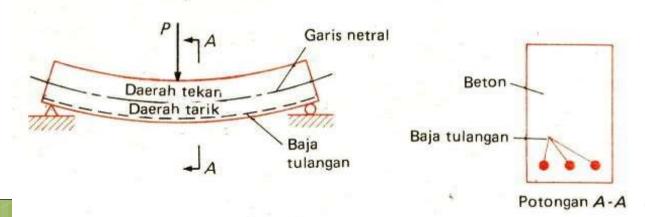


- Makin rendah kuat tekan beton: kemampuan deformasi (daktilitas) makin tinggi
- Tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan di antara 0,002- 0,0025
- Regangan ultimit pada saat hancurnya beton berkisar 0,003-0,004 (SNI menetapkan 0,003)
- beton bertulang secara umum ditetapkan kekuatan beton 20-30 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 (bendingmoment)
- > Geser (shear)
- > Puntir (torsion)
- > Gabungan dari gaya-gayaini



Kuat Perlu Kuat Rencana

Kuat perlu ≤ Kuat rencana

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

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

- 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 ekivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???

- 1. U = 1,4 D (pada tahap pelaksanaan bangunan)
- 2. U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (A atau R)
- 3. $U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.6 W + 0.5(A atau R)$
- 4. $U = 0.9 D \pm 1.6 W$
- 5. U = 1,2 D + 1,0 L ± 1,0 E
- 6. $U = 0.9 D + \pm 1.0 E$

Faktor reduksi???

- 1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
- 2. Beban aksial dab 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

$$M_u \leq \phi M_n$$

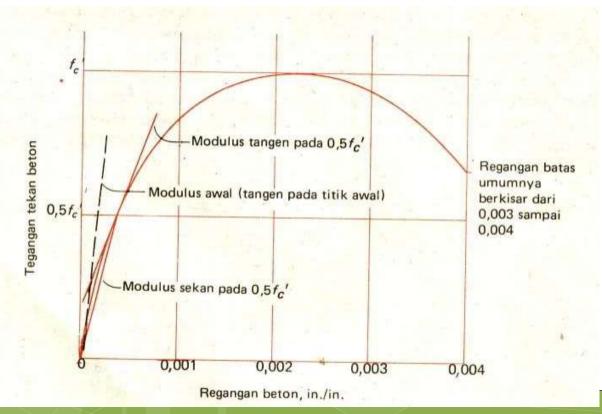
atau

$$\phi M_n \ge M_u$$

- 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 fr, yang didapatkan dari rumus f=Mc/I memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

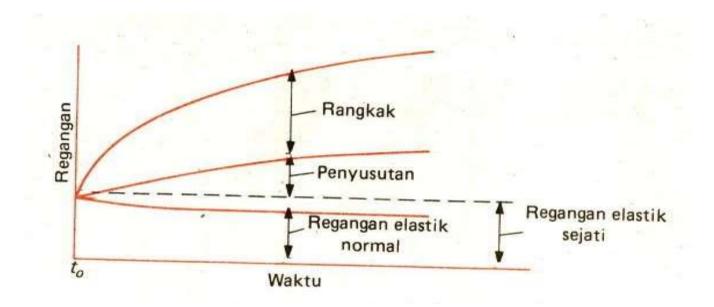
- Moduluselastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - > Sifat agregat dansemen
 - > Kecepatan pembebanan
 - > Jenis dan ukuran benda uji
- Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi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

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



RANGKAK DAN SUSUI

- Rangkak (creep) dan susut (shrinkage) adalah deformasistrukturyang 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 rangkak

- 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 dankebasahan
- > 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 pembebahan.
- · 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 rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya faktorfaktor yang berhubungan dengan hilangnya kelembaban
- Susut yang dihalangi secara simetris oleh penulangan akan menimbulkan deformasi yang umumnya menambah deformasi terhadap rangkak

BAJA TULANGAN

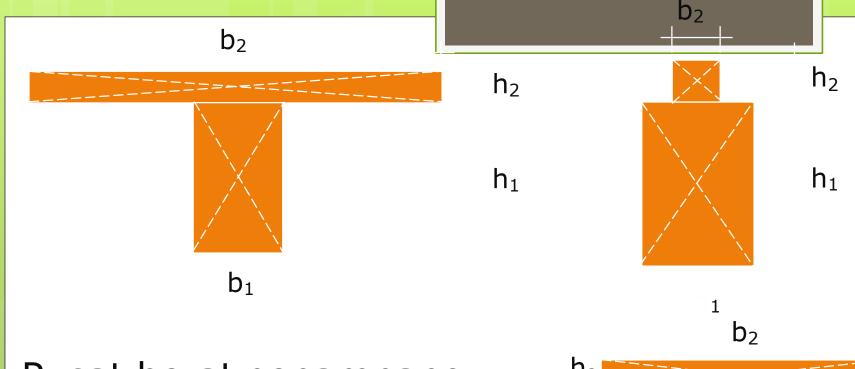
Baja tulangan dapat terdiri dari

- > Batang tulangan (tulangan polos atauberulir/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

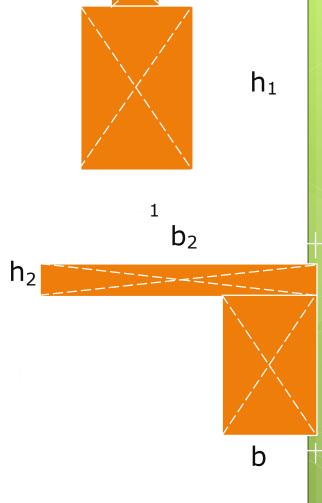
Modulus elastisitas untuk semua baja yang bukan prategang dapat diambil sebesar 200.000MPa. Untuk baja prategang modulus elastisitas sedikit lebih kecil dan bervariasi yaitu kira-kira sebesar 189750 MPa.

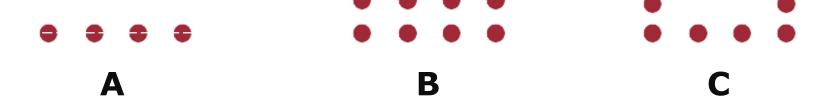




Pusat berat penampang struktur

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





- Pusat berat tulangan penampang A $x = selimut beton + \emptyset sengkang + \frac{1}{2}$. Ø tul.utama
- Pusat berat tulangan penampang B $x = selimut beton + \emptyset sengkang + \emptyset tul. utama + \frac{1}{2}. 25 mm$
- Pusat berat tulangan penampang C $X = \frac{4(\text{sel.btn+} / \text{sk+} / \text{2.} / \text{0tul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} / \text{sk+} / \text{0tul.ut}) + 2(\text{sel.btn+} / \text{sk+} / \text{0tul.ut})}{4+2}$

(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 1,5db 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

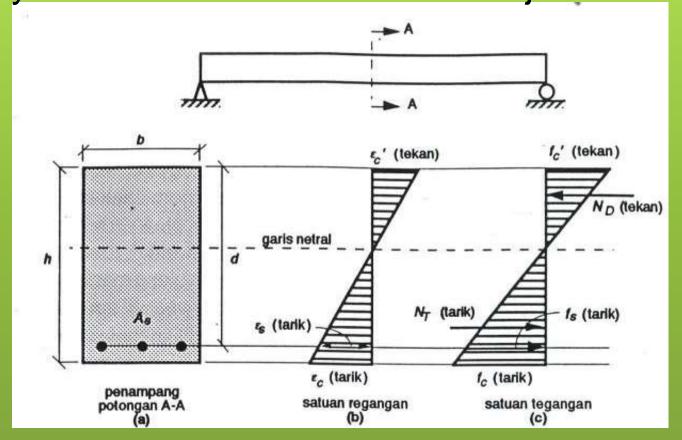
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangantegangan 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

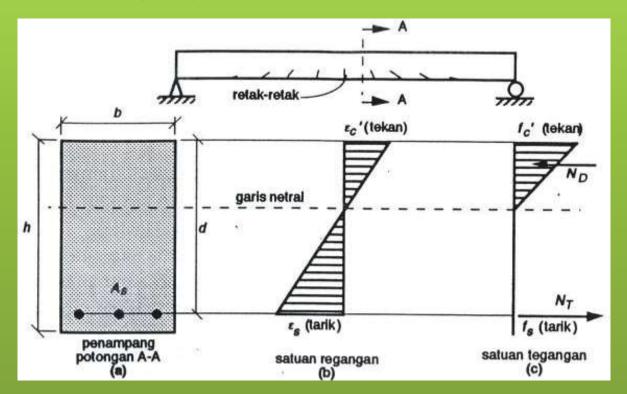
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini service loads diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambangpintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saatruntuh 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 mulamula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebanan yang menyebabkan hancurnya struktur

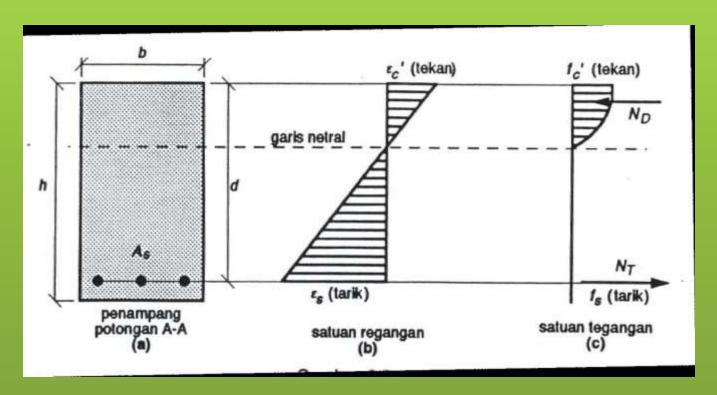
 Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersama- sama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- 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 padanilai tegangan beton sampai ½.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 <mark>dan pengembangan</mark> metode kuat ultimit

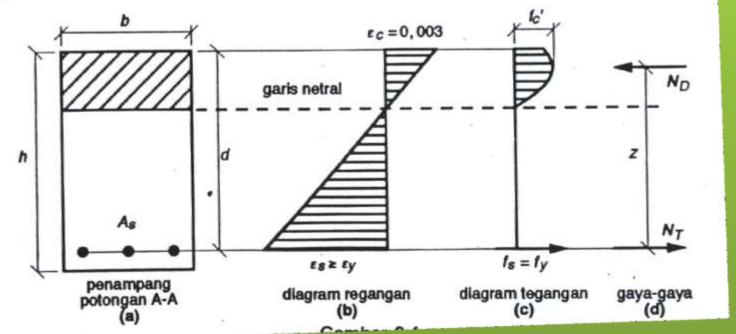
- 1. Bidang penampang rata sebelum terjadi lenturan, tetap rata setelah terjadi lenturan dan berkedudukan tegak lurus pada sumbu bujur balok. Oleh karena itu nilai regangan dalam komponen struktur terdistribusi linier atau sebanding lurus terhadap jarak ke garis netral
- 2. Tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai kirakira 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 terik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

MOAI ELITION DALON

PERSEGI

Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan maksimum (e'ntunksbeton mencapai 0,003 sedangkan mencapai teganganatarik baja sudah tegangan luluh. Apalailahalpamikian terjadi, penampang tegangan dinamakan mencapai keseimbangan regangan

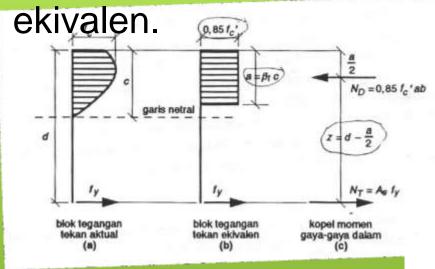
atau disebut penampang bertulangan seimbang

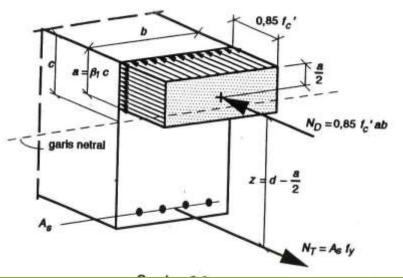


- Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang dalam kondisi tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam
- N_D atau C_c adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral
- 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





 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

$$a = \beta_1.c$$

dengan c = jarak serat tekan terluar ke garis netral β_1 = konstanta yg merupakan fungsi kelas kuat beton

SNI3_r2002 jps≤13202 hal 69 μ2ση etapkan nilai β1

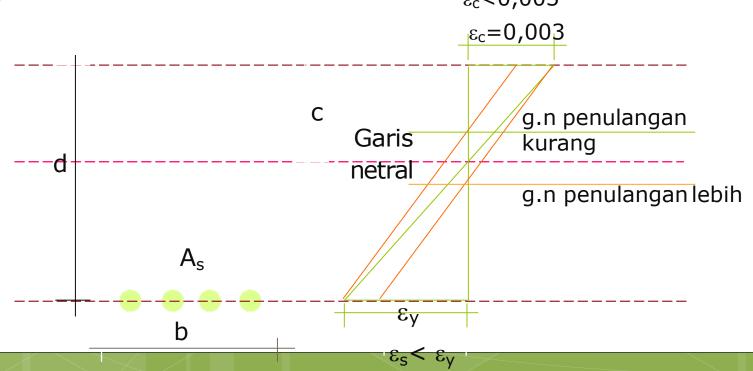
MPa untuk f'c
$$\geq$$
 $\beta_1 = 0.85 - 0.008$ (f'c $-$ 30 MPa 30) $\beta_1 \geq 0.65$

Dengan notasi sebagai berikut

```
b = lebar balok
d = tinggi dari serat tekan terluar ke pusat tulangan
                  = luas tulangan tarik
tarik A<sub>s</sub>
c = tinggi serat tekan terluar ke garis
netral a = tinggi blok tegangan
tekan ekivalen
f<sub>s</sub> = tegangan tarik baja
f<sub>c</sub>' = Kuat tekan beton
\varepsilon_{\rm c} = regangan beton
\varepsilon_s = regangan tarik baja
C<sub>c</sub> = resultan gaya tekan beton
T<sub>s</sub> = resultan gaya tarik baja tulangan
\frac{E}{s} = modulus elastisitas baja = 2.10 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 lendukan 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
 - $\rightarrow \rho_{\text{maksimum}} = 0.75. \, \rho_{\text{b}}$
 - $\rho_b = \{(0.85.f'c.\beta 1)/f_y\}.\{600/(600+f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - $\rightarrow \rho_{\text{minimum}} = 1.4/f_{y}$
 - 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 (As) terhadap luas efektif penampang (b x d)
 - $> \rho = A_s/(bxd)$

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

	40 mm
ശD36 dan yg lebih kecil	20 mm

- > Komponen struktur cangkang, pelat lipat

 SD19 dan yang lebih besar

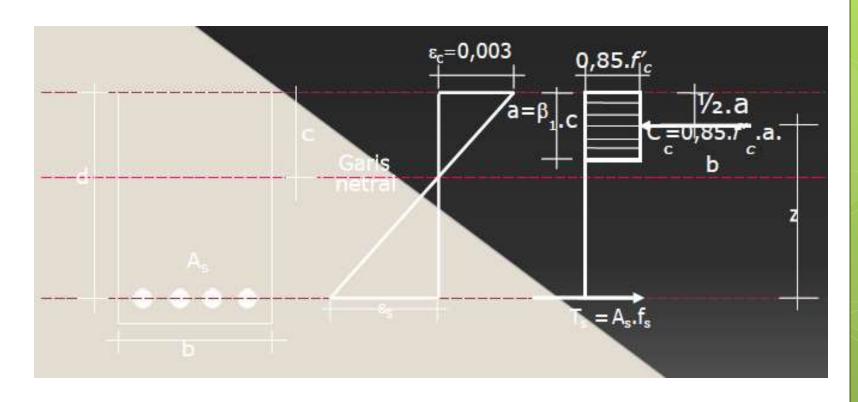
 D16 jaring kawat polos atau ulir

D16 dan yang lebih kecil 15 mm

BALOK TERLENTUR

- Jenis-jenis balok menurutcaraanalisa 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 tulc tunaaal

Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_{b} = \frac{0.85.f_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600+f_{y}}$$
2. Asernbekan keadaan tulangan

balok yang ditinjau

keadaan overreinforced bila

$$A_s > A_{sb}$$

kægdaan underreinforced bila A_s≤ A_{sb} 3^{a =} Book dihitung atau

$$M_n = 0.85.f'_c.a.b.(d - \frac{1}{2}.a)$$

 $M_R = \phi.M_n$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

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

$$m = \frac{E_s \cdot \varepsilon}{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c}$$

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

$$c = k_u.d$$

$$a = \beta_1.c$$

$$M_n = 0.85. f'_c.a.b. \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_R = \phi . M_n$$

Desain balok tulangan tunggal

Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

- 1. hanya mencari luas tulangan 2. mencari luas tulangan dan dimensi balok
- 1. 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
$$k = \frac{M_u}{\phi.b.d^2}$$
 b. Hitung rasio tulangan
$$\rho = \frac{0.85.f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85.f_c}}\right)$$
 c. Hitung luas tulangan $A_s = \rho.b.d$

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

d. Hitung jumlahtulangan

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

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

$$\rho = 0.5 \rho_{b} = 0.5 \frac{f'_{c}.\beta_{1}}{f_{y}} \frac{600}{600 + f_{y}}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen
$$R_n = \rho. f_y \left(1 - \frac{\rho. f_y}{1,7.f'_c} \right)$$

d. tentukan tinggi efektif balok
$$d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{r.\phi.R_n}}$$

D 03 an i 10 an 19 an i

Tunggollangan 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 $\omega = \rho \frac{f_y}{f_c'}$.

dimana
$$\omega = \rho \frac{f_y}{f_c^t}$$

Sehingga momen rencana balokadalah

$$\phi M_n = \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59 \omega \right)$$

Dosailliolarigair

Tunggo Ilangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \le \phi f_c' b d^2 \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)$$

atau

$$bd^2 \ge \frac{M_u}{\phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right)} \tag{III.1}$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} \le \phi f_c' \omega \left(1 - 0, 59\omega\right) \tag{III.2}$$





Nama : SASTRA SUGANDA

NIM : 192710013

Mata Kuliah : MEKANIKA TERAPAN / 20192-MTS271201-0

Dosen : Dr. Firdaus, ST, MT.

Tugas : Tugas e-learning 5

Pertanyaan:

Jelaskan cara mendapatkan grafik hubungan tegangan-regangan untuk pengujian :

a. Beton

b. Baja

Jawaban boleh disertai dengan gambar

TEGANGAN (Stress)

Dari teori kekuatan bahan, bahwasanya tegangan Tarik/Tekan dapat ditentukan dengan membagi berat beban dengan luas penampang elemennya. Atau Tegangan adalah "Perbandingan antara gaya tarik atau tekan yang bekerja terhadap luas penampang benda".

Keadaan ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

 $\sigma = N/A$

dimana:

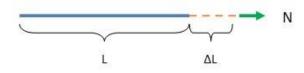
 $\sigma = \text{tegangan normal}$

N = gaya longitudinal (aksial)

A = luas penampang tali

REGANGAN (Strain)

Elemen yang ditarik/ditekan, menimbulkan gaya tarik/tekan pada elemen, sehingga elemen memberikan perlawanan berupa gaya dalam yang sebanding dengan berat beban yang dipikulnya (gaya aksi = reaksi). Respon perlawanan dari elemen terhadap beban yang bekerja padanya akan mengakibatkan elemen menegang sekaligus juga meregang sebagai efek terjadinya pergeseran internal di tingkat atom pada partikel-partikel yang menyusun elemen. Bertambah Panjang atau sebaliknya.



Jika pada akhirnya tali telah mengalami pertambahan sejauh Δl dari yang semula sepanjang L, maka regangan yang terjadi pada tali merupakan perbandingan antara penambahan panjang yang terjadi terhadap panjang mula-mula dari tali dan dinyatakan sebagai berikut :

 $\varepsilon = \Delta L / L$

dimana: ΔL = perubahan panjang (perpanjangan)..... (satuan panjang)

L = panjang awal (panjang semula)..... (satuan panjang)

karena pembilang dan penyebutnya memiliki satuan yang sama, maka regangan adalah sebuah nilai nisbi, yang dapat dinyatakan dalam persen dan tidak mempunyai satuan.

MODULUS ELASTISITAS

Besarnya pertambahan panjang yang dialami oleh setiap benda ketika meregang adalah berbeda antara satu dengan yang lainnya, tergantung dari elastisitas bahannya. dan elastisitas yang dimiliki oleh tiap2 benda tergantung dari jenis bahan apakah benda itu terbuat.

Ketika diberi gaya tarik, karet ataupun pegas akan meregang, dan mengakibatkan pertambahan panjang baik pada karet gelang ataupun besi pegas. Besarnya pertambahan yang terjadi pada setiap keadaan tergantung pada elastisitas bahannya dan seberapa besar gaya yang bekerja padanya

Semakin elastis sebuah benda, maka semakin mudah benda tersebut untuk dipanjangkan atau dipendekan (istilah jawanya: gampang molor). Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu benda, maka semakin besar pula tegangan dan regangan yang terjadi pada benda itu, sehingga semakin besar pula pemanjangan atau pemendekan dari benda tersebut. Jika gaya yang bekerja berupa gaya tekan, maka benda akan mengalami pemendekan, sedangkan jika gaya yang bekerja berupa beban tarik, maka benda akan mengalami perpanjangan.

Dari sini sudah bisa disimpulkan bahwasanya regangan (ϵ) yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan tegangannya (σ) dan berbanding terbalik terhadap ke elastisitasannya. Ini dinyatakan dengan rumus :

$$\varepsilon = \sigma / E$$
 atau $\sigma = E \times \varepsilon$

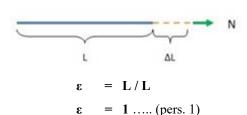
rumus ini dikenal sebagai hukum Hooke.

Dalam rumus ini, (E) adalah parameter modulus elastisitas atau modulus young. Modulus ini adalah sebuah konstanta bahan yang memiliki nilai tertentu untuk bahan tertentu. Seperti yang diuraikan diatas, tiap bahan mempunyai modulus elastisitas (E) tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tekan atau beban tarik. Bila nilai E semakin kecil, maka akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan

HUBUNGAN TEGANGAN, REGANGAN & MODULUS ELASTISITAS

Jika sebuah benda dengan luas penampang sebesar (A), kemudian diberi gaya tekan, tarik atau lentur (N), maka benda tersebut akan menegang sebesar gaya (N) dibagi dengan luasan penampangnya (A). Jika gaya tersebut dari (N) = 0 kemudian berangsur-angsur diperbesar maka benda tersebut akan meregang (memendek/memanjang/membengkok) sebesar ε_0 sampai dengan ε .

Sekarang perhatikan gambar berikut.



Andaikata batang dengan panjang L ditarik hingga menjadi dua kali panjang semula, atau dengan kata lain, pertambahan panjang yang dialami sama dengan panjang semula, sehingga $\Delta L = L$.

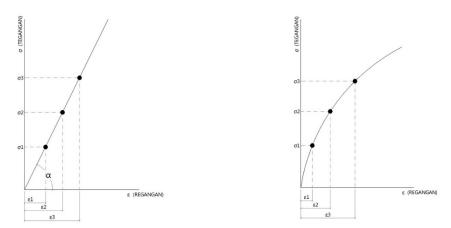
ini berarti $\varepsilon = \Delta L / L$

Jika persamaan 1 dimasukan ke hukum hooke $\varepsilon = \sigma / E$, maka didapat $1 = \sigma / E$

Ini berarti $\sigma = \mathbf{E}$

Berapa besarnya **tegangan yang dibutuhkan** untuk meregangkan sebuah benda menjadi **dua kali dari panjang semula**, yaitu **sebesar modulus elastisitasnya** (dengan anggapan luas penampangnya tidak berubah).

Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamnya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis lurus



(linear) sehingga terdapat kesebandingan antara tegangan dan regangan. (lihat gambar bawah)

Gambar 1 Gambar 2

Hubungan tegangan – regangan seperti ini adalah **linear** (*Gambar 1*), dimana regangan berbanding lurus dengan tegangannya, Bahan benda yang memiliki bentuk diagram tegangan-regangan seperti ini disebut bahan elastis linear, dimana bahannya memiliki modulus elastisitas yang konstan. Hukum hooke berlaku dalam keadaan ini.

Namun dalam kenyataan, tidak selalu tegangan itu berbanding lurus dengan regangan, dimana apabila nilai dari tegangan dan regangan apabila dipetakan dalam bentuk titik2, maka tidak terbentuk hubungan linear didalamnya (Gambar 2).

Hubungan tegangan – regangan seperti ini adalah **non-linear**, dimana regangan tidak berbanding lurus dengan tegangannya, Bahan benda yang memiliki bentuk diagram tegangan-regangan seperti ini disebut bahan elastis non-linear, dimana bahannya tidak memiliki modulus elastisitas yang konstan. Hukum hooke tidak berlaku dalam keadaan ini.

A. CARA MENDAPATKAN GRAFIK HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN UNTUK PENGUJIAN BETON.

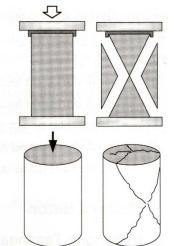
Beton merupakan material komposit yang terbuat dari kumpulan agregat (halus dan kasar) yang saling terikat secara kimiawioleh produk hidrasi semen Portland. Bahan dasar beton yaitu pasta semen dan agregat merupakan bahan yang mempunyai sifat tegangan-regangan yang linier dan getas dalam menerima gaya tekan. Material yang getas cenderung mengalami retak Tarik yang tegak lurus terhadap arah regangan tarik maksimum.

Kuat Tekan Beton

- Silinder standar 150 mm dia. × 300 mm tinggi.
- Ditekan dengan laju terkontrol hingga runtuh.
- Satuan kekuatan dinyatakan dalam MPa.
- Keragaman mutu dapat terjadi pada hasil tes, sehingga jumlah sampel harus ≥ 3.
- Kuat karakteristik silinder dapat dinyatakan sebagai:

$$f_c' = \text{mean} - 1,34 \text{ SD}$$

- Beton meningkat kekuatannya seiring dengan bertambahnya umur.
- Kuat tekan acuan ditetapkan pada umur beton 28 hari.



saat menahan uniaksial tekan, beton idealnya mengalami retak-retak yang arahnya parallel terhadap arah tegangan tekan maksimum. Namun kenyataannya disaat beton silinder dibebani gaya tekan uniaksial pada pengujian tekan dilaboratorium keruntuhan yang cenderung terjadi membentuk pola kerucut. Hal ini disebabkan adanya pengaruh yang timbul friksi pada permukaan beton yang dibebani. Friksi ini terjadi antara permukaan beton dan permukaan platen baja dari mesin uji tekan.

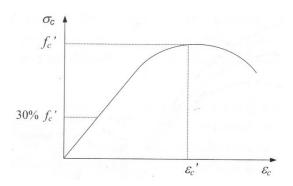
Walaupun beton terbuat dari bahan yang bersifat linier elastic namun kenyataannya hubungan teganganregangannya cenderung bersifat non linier bahkan pada saat menahan beban yang kecil sekalipun.

Untuk keperluan uji kuat tekan beton, perlu dipersiapkan adukan beton dengan volume 10% lebih banyak daripada volume yang dibutuhkan. Pengadukan campuran beton dapat dilakukan dengan mesin (mixer) ataupun secara manual dengan tangan.

- I. Untuk membuat benda uji kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan perlakuan beton segar sebagai berikut:
 - Mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, yang setiap lapisnya dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata.
 - b. Meratakan permukaan beton.
 - c. Menutup permukaan benda uji dengan bahan kedap air dan biarkan selama 24 jam.
 - d. Membuka cetakan dan keluarkan benda uji.
 - e. Merendam dalam bak perendam berisi air pada temperatur ±25 oC. P
- II. Pada tahapan persiapan pengujian, benda uji harus diperlakukan sebagai berikut:
 - a. Mengambil benda uji dari bak perendam.
 - b. Membersihkan kotoran yang menempel dengan kain basah.
 - c. Menentukan berat dan ukuran benda uji.
 - d. Melapisi permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang (capping) dengan cara sebagai berikut; (1) melelehkan mortar belerang di dalam pot peleleh yang dinding dalamnya telah dilapisi tipis dengan gemuk, (2) meletakkan benda uji tegak lurus pada cetakan, (3) angkat benda uji dari cetakan lalu angn-anginkan.
 - e. benda uji siap diperiksa.
- III. Setelah benda uji siap, prosedur pengujian dapat mulai dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Meletakan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
 - b. Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm2 per-detik.
 - c. Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur.
 - d. Mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
 - e. Menggambar/mendokumentasikan bentuk kerusakan benda uji.
 - f. Mencatat keadaan benda uji
 - g. menghitung kuat tekan beton, yaitu besarnya beban persatuan luas

Perilaku beton pada saat dikenakan beban uniaksial tekan dapat digambarkan sebagai berikut:

- 1. Pada saat beban tekan mencapai 30-40% f'c, perilaku tegangan-regangan beton pada dasarnya masih linier. Retak-retak lekatan (bond crack) yang sebelum pembebanan sudah terbentuk akan tetap stabil dan tidak berubah selama tegangan tekan yang bekerja masih dibawah 30% f'c (f'c merupakan kekuatan batas tekan beton).
- 2. Pada saat beban tekan melebihi 30-40% *f*'*c* , retak-retak lekatan mulai terbentuk. Pada saat ini mulai terjadi deviasi pada hubungan tegangan regangan dari kondisi linier.
- 3. Pada saat tegangan mencapai 75-90% kekuatan batas, retak-retak lekatan tersebut merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada konsisi ini hubungan tegangan regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linier.



Grafik Hubungan Tegangan Regangan pada Beton

Hubungan tegangan regangan beton tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan Hognestad, yaitu:

$$\sigma c = f' c \left[2 \left(\frac{\varepsilon c}{\varepsilon' c} \right) - \left(\frac{\varepsilon c}{\varepsilon' c} \right)^2 \right]$$

Dimana: εc = regangan tekan beton

 ε 'c = regangan tekan beton pada tegangan f'c.

 σc = tegangan tekan beton pada regangan εc

f'c = kuat tekan uniaksial beton

B. CARA MENDAPATKAN GRAFIK HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN UNTUK PENGUJIAN BAJA.

Kekuatan suatu struktur desain material sangat dipengaruhi oleh sifat fisik materialnya oleh Karena itu diperlukan pengujian untuk mengetahui sifat-sifat tersebut. Diantaranya pengujian tarik (*Tensile test*). Pengujian tarik merupakan jenis pengujian material yang paling banyak dilakukan Karena mampu memberikan informasi representative dari perilaku mekanik material. Pada dasarnya pecobaan tarik ini dilakukan untuk menentukan respons material pada saat dikenakan beban atau deformasi dari luar (gayagaya yang diberikan dari luar yang dapat menyebabkan suatu material mengalami perubahan struktur, yang terjadi dalam kisi Kristal material tersebut). Dalam hal ini akan ditentukan seberapa jauh perilaku *inheren*, yaitu yang lebih merupakan ketergantungan atas fenomena atomic maupun mikroskopik dan bukan dipengaruhi bentuk dan ukuran benda uji.

Prinsip pengujian ini yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara continue pada kedua ujung specimen tarik hingga putus, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tangangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Pada specimen panjang bagian tengahnya biasanya lebih kecil luas penampangnya dibandingkan keda ujungnya adar patahan terjadi pada bagian tengah. Panjang ukur (gauge length) adalah daerah dibagian tengah dimana elongasi diukur atau alat extensometer diletakkan untuk pengukuran data yang diukur secara manual, yakni diameter specimen. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.

Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{5}$$

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (gage length) benda uji, ΔL , dengan panjang awalnya, L0.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$p \longrightarrow p$$

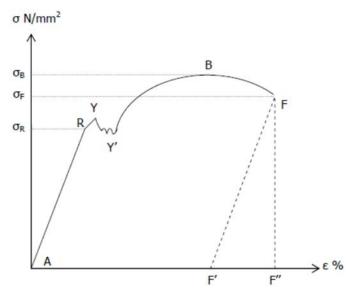
$$L_0$$

$$p \longrightarrow p$$

$$p$$

Pada waktu menetapkan regangan harus diperhatikan:

- Pada baja yang lunak sebelum patah terjadi pengerutan (pengecilan penampang) yang besar.
- Regangan terbesar terjadi pada tempat patahan tersebut, sedang pada kedua ujung benda uji paling sedikit meregang.



Gambar 5. Kurva umum tegangan - regangan hasil uji tarik.

Kurva tegangan regangan hasil pengujian tarik umumnya tampak seperti pada gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat :

1. AR garis lurus. Pada bagian ini pertambahan panjang sebanding dengan pertambahan beban yang diberikan. Pada bagian ini, berlaku hukum Hooke:

$$\Delta L = \frac{P}{A} \times \frac{L_0}{E} \tag{7}$$

dengan: ΔL = pertambahan panjang benda kerja (mm)

L0 = panjang benda kerja awal (mm)

P = beban yang bekerja (N)

A = luas penampang benda kerja (mm2) E = modulus elastisitas bahan (N/mm2)

Dari persamaan (5) dan (6), bila disubstitusikan ke persamaan (7), maka akan diperoleh :

$$\mathsf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{8}$$

- 2. Y disebut titik luluh (yield point) atas.
- 3. Y' disebut titik luluh bawah.
- 4. Pada daerah YY' benda kerja seolah-olah mencair dan beban naik turun disebut daerah luluh.
- Pada titik B beban mencapai maksimum dan titik ini biasa disebut tegangan tarik maksimum atau kekuatan tarik bahan (□B). Pada titik ini terlihat jelas benda kerja mengalami pengecilan penampang (necking).
- 6. Setelah titik B, beban mulai turun dan akhirnya patah di titik F (failure)
- 7. Titik R disebut batas proporsional, yaitu batas daerah elastis dan daerah AR disebut daerah elastis. Regangan yang diperoleh pada daerah ini disebut regangan elastis.
- 8. Melewati batas proporsional sampai dengan benda kerja putus, biasa dikenal dengan daerah plastis dan regangannya disebut regangan plastis.
- Jika setelah benda kerja putus dan disambungkan lagi (dijajarkan) kemudian diukur pertambahan panjangnya (ΔL), maka regangan yang diperoleh dari hasil pengukuran ini adalah regangan plastis (AF').