



TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

Phone: 081373672011

E-mail: hana.program.17@gmail.com

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

PENDAHULUAN

Material yang umum digunakan untuk mendirikan bangunan:

- Kayu
- Baja *profile*
- Beton bertulang/*reinforced concrete* (komposit beton + baja tulangan)
- Beton pra-tegang/*pre-stressed concrete*; terdiri dari dua jenis: komposit beton + baja tulangan + *strand* pra-tegang (beton pra-tegang parsial/*partially pre-stressed concrete*) dan komposit beton + *strand* pra-tegang (beton pra-tegang penuh/*fully pre-stressed concrete*)
- Komposit baja *profile* + beton



Struktur kayu

Sumber: <http://www.dbs-engineering.com>



Struktur baja *profile*

Sumber: <http://www.steelstructures.co.za/>



Struktur beton bertulang

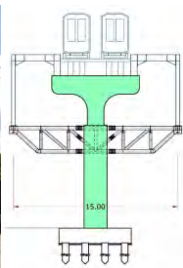
Sumber: <https://winnerstroi.kiev.ua/>



Struktur beton pra-tegang pada gelagar Jembatan Pasupati, Bandung



Struktur komposit baja *profile* + beton pada *hybrid pier* jalur LRT, Palembang

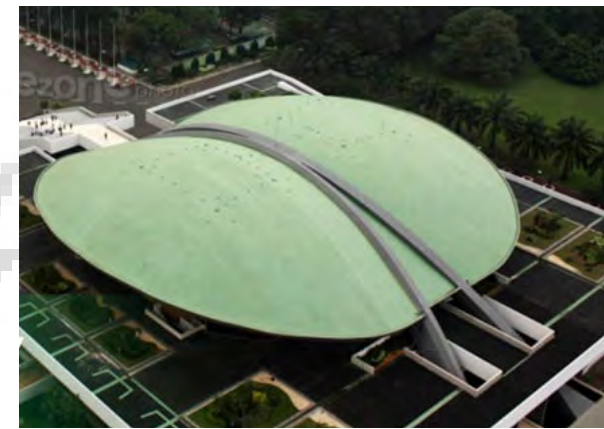


Keunggulan material beton dibandingkan dengan material lain

- Material pembentuk beton lebih murah
- Material pembentuk beton mudah diperoleh
- Mudah dibentuk mengikuti cetakan (bekisting)
- Dapat digabung dengan baja tulangan menjadi komposit beton bertulang
- Tahan terhadap suhu tinggi akibat kebakaran
- Memiliki kekakuan yang tinggi
- Biaya perawatan rendah



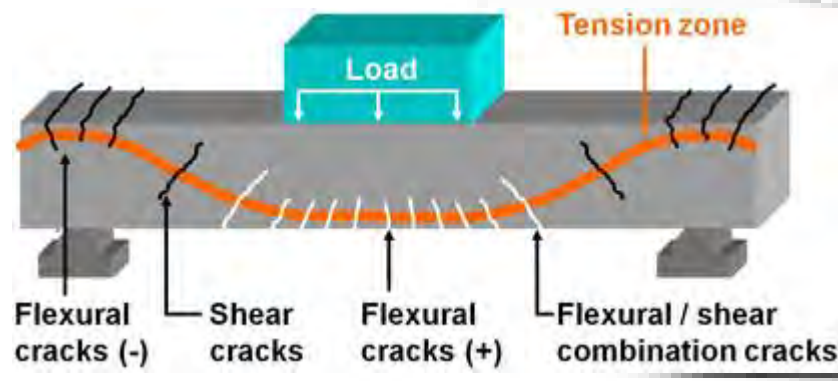
Santiago Calatrava's auditorium in Santa Cruz de Tenerife, the Canary Islands.
Sumber: <https://www.architecturaldigest.com>



Struktur atap gedung DPR-RI: beton pra-tegang

Kekurangan material beton

- **Tidak kuat menahan beban tarik**, sehingga perlu diperkuat dengan **baja tulangan** yang berfungsi menahan tarik.
- Selama masa konstruksi, diperlukan **perancah** untuk menahan struktur beton hingga waktu tertentu saat beton mencapai kekuatan yang cukup, sehingga **tidak terjadi lendutan** akibat beban sendiri yang merusak struktur.
- Dalam proses pembuatan beton, perlu diperhatikan semua material pembentuk beton bercampur dan terdispersi dengan baik.
- Dalam proses pembentukan beton dengan bekisting, perlu diperhatikan agar tidak terjadi segregasi dan *honey comb* (keropos). Umumnya, diperlukan alat penggetar agar campuran beton menjadi padat. Hal ini tidak terjadi pada *Self-Compacting/Consolidating Concrete* (SCC) yang memiliki sifat *flow* sehingga tidak memerlukan alat penggetar.



Perilaku beton yang mendapat beban gravitasi di tengah bentang perletakan sendi-roll atau sendi-sendu. Diagram Credit: Robert Pirro.

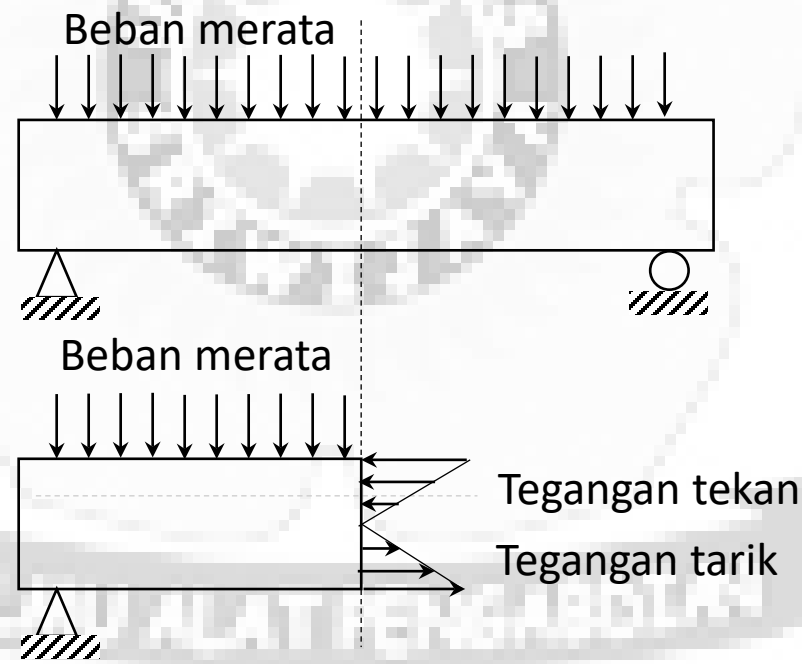


Honey comb (keropos) pada beton. Kolom mengalami penurunan kekuatan.

Sumber: <https://www.engineeringcivil.com>

Prinsip dasar beton

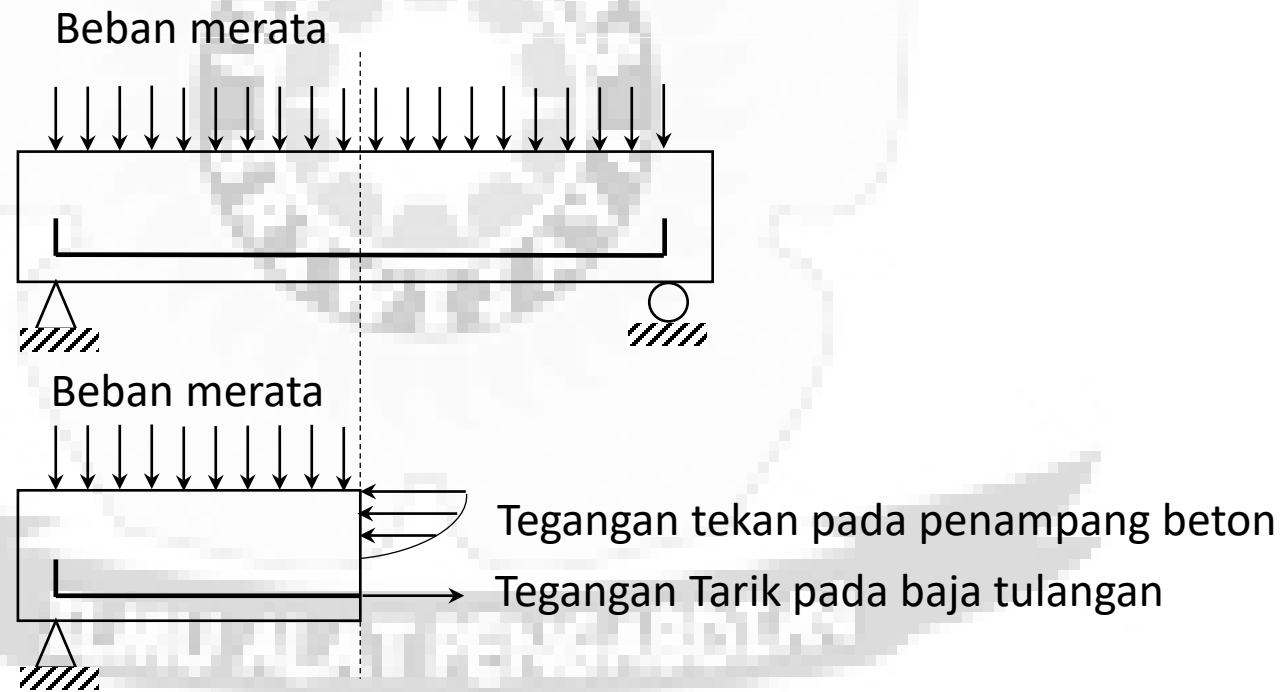
- Pada struktur yang hanya terdiri dari beton, beban gravitasi akan mengakibatkan beton mengalami gaya tarik yang menyebabkan tegangan tarik. Jika beban mengakibatkan tegangan tarik yang lebih besar dari kemampuan beton untuk menahan tarik, maka beton akan mengalami retak pada zona tarik dan dapat mengalami keruntuhan tiba-tiba (karena beton bersifat getas/*brittle*).



Distribusi tegangan pada penampang sebelum terjadi retak akibat beban merata gravitasi

Prinsip dasar beton bertulang

- Pada beton bertulang, gaya tekan ditahan oleh beton dan gaya tarik ditahan oleh baja tulangan. Dengan demikian, kelemahan beton yang tidak kuat menahan tarik diakomodasi oleh baja tulangan. Lokasi baja tulangan adalah pada zona tarik yang berpotensi mengalami gaya saat menahan beban. Contohnya adalah bila balok menahan beban gravitasi.



Distribusi tegangan pada penampang setelah terjadi retak akibat beban merata gravitasi

Desain beton bertulang

Dalam melakukan desain struktur beton bertulang, terdapat dua metode dasar, yaitu:

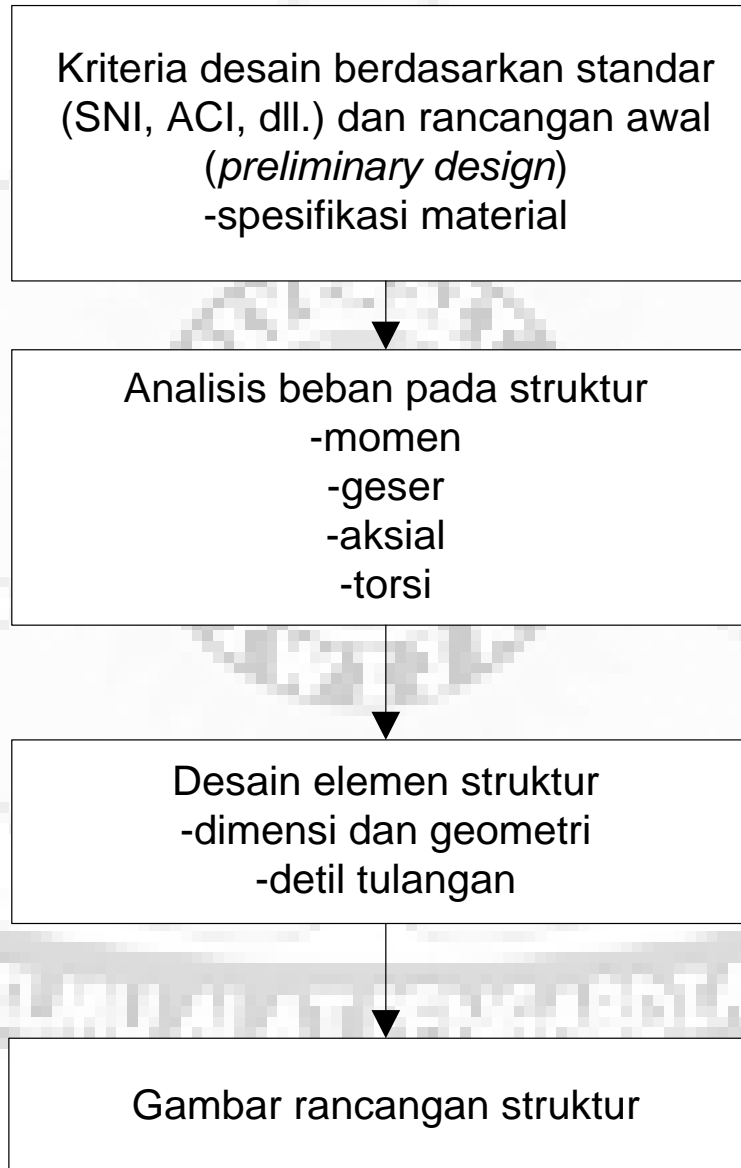
1. Metode tegangan kerja

Tegangan pada struktur (σ) harus lebih kecil atau sama dengan tegangan ijin akibat beban. Metode ini menggunakan *Safety Factor* (SF) sebagai faktor pembesar beban yang terjadi. Sebagai contoh, jika SF = 1,5 maka tegangan ijin $\sigma_{ijin} = 1,5 \sigma_{beban}$ dan $\sigma \leq \sigma_{ijin}$. Metode ini sudah tidak terdapat dalam standar (SNI 03-2847-2013 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*) yang berlaku saat ini.

2. Metode kuat batas (*ultimate strength*)

Pada metode ini, struktur didesain untuk memiliki kuat rencana (ϕR_n) yang lebih besar daripada kuat perlu (S_u) akibat beban terfaktor, maka $\phi R_n \geq S_u$.

Desain beton bertulang



Desain beton bertulang berdasarkan standar

- Standar yang berlaku di Indonesia di antaranya adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2847-2013 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* yang bersumber pada *American Concrete Institute (ACI) 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete*. ACI 318-08 (tahun 2008) dikembangkan menjadi ACI 318-14 (tahun 2014).
- Pengaruh beban terfaktor harus sama atau lebih kecil daripada kuat rencana, sehingga:

$$\phi R_n \geq \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots$$

dengan:

R_n : kuat nominal

S_i : pengaruh beban-beban kerja

ϕ : faktor reduksi

α_1 : faktor beban

Kombinasi beban terfaktor

- Dalam SNI 03-2847-2013 pasal 9.2, persamaan-persamaan beban terfaktor adalah sebagai berikut:

- Kombinasi beban mati

$$U = 1,4D$$

- Kombinasi beban mati dan beban hidup

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R)$$

- Kombinasi beban mati, hidup, dan angin

$$U = 1,2D + 1,6(L \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \text{ atau}$$

$$U = 1,2D + W + L + 0,5(A \text{ atau } R) \text{ atau}$$

$$U = 0,9D + W; \text{ diambil yang terbesar}$$

- Kombinasi beban mati, hidup, angin, dan gempa

$$U = 1,2D + E + L \text{ atau}$$

$$U = 0,9D + E$$

dengan:

D	: beban mati
L	: beban hidup
A	: beban hidup atap
R	: beban hujan (<i>rain</i>)
W	: beban angin (<i>wind</i>)
E	: beban gempa (<i>earthquake</i>)
U	: batas (<i>ultimate</i>)



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847: 2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), “*Prestressed Concrete Structures*”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

Phone: 081373672011

E-mail: hana.program.17@gmail.com

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

PENDAHULUAN

Material yang umum digunakan untuk mendirikan bangunan:

- Kayu
- Baja *profile*
- Beton bertulang/*reinforced concrete* (komposit beton + baja tulangan)
- Beton pra-tegang/*pre-stressed concrete*; terdiri dari dua jenis: komposit beton + baja tulangan + *strand* pra-tegang (beton pra-tegang parsial/*partially pre-stressed concrete*) dan komposit beton + *strand* pra-tegang (beton pra-tegang penuh/*fully pre-stressed concrete*)
- Komposit baja *profile* + beton



Struktur kayu

Sumber: <http://www.dbs-engineering.com>



Struktur baja *profile*

Sumber: <http://www.steelstructures.co.za/>



Struktur beton bertulang

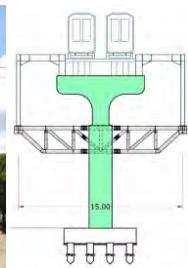
Sumber: <https://winnerstroi.kiev.ua/>



Struktur beton pra-tegang pada gelagar Jembatan Pasupati, Bandung



Struktur komposit baja *profile* + beton pada *hybrid pier* jalur LRT, Palembang



Keunggulan material beton dibandingkan dengan material lain

- Material pembentuk beton lebih murah
- Material pembentuk beton mudah diperoleh
- Mudah dibentuk mengikuti cetakan (bekisting)
- Dapat digabung dengan baja tulangan menjadi komposit beton bertulang
- Tahan terhadap suhu tinggi akibat kebakaran
- Memiliki kekakuan yang tinggi
- Biaya perawatan rendah



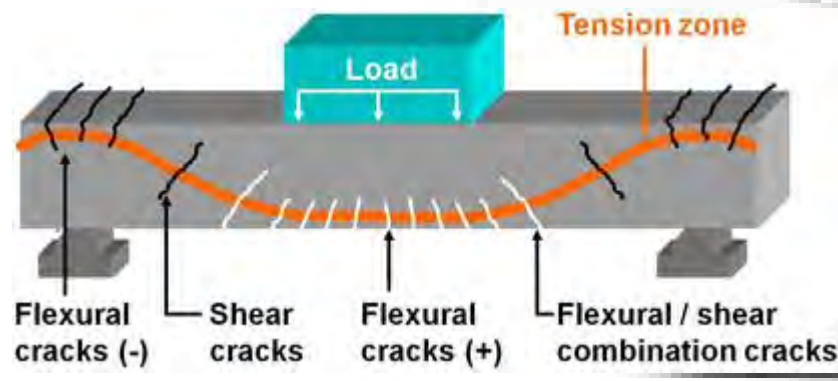
Santiago Calatrava's auditorium in Santa Cruz de Tenerife, the Canary Islands.
Sumber: <https://www.architecturaldigest.com>



Struktur atap gedung DPR-RI: beton pra-tegang

Kekurangan material beton

- **Tidak kuat menahan beban tarik**, sehingga perlu diperkuat dengan **baja tulangan** yang berfungsi menahan tarik.
- Selama masa konstruksi, diperlukan **perancah** untuk menahan struktur beton hingga waktu tertentu saat beton mencapai kekuatan yang cukup, sehingga **tidak terjadi lendutan** akibat beban sendiri yang merusak struktur.
- Dalam proses pembuatan beton, perlu diperhatikan semua material pembentuk beton bercampur dan terdispersi dengan baik.
- Dalam proses pembentukan beton dengan bekisting, perlu diperhatikan agar tidak terjadi segregasi dan *honey comb* (keropos). Umumnya, diperlukan alat penggetar agar campuran beton menjadi padat. Hal ini tidak terjadi pada *Self-Compacting/Consolidating Concrete* (SCC) yang memiliki sifat *flow* sehingga tidak memerlukan alat penggetar.



Perilaku beton yang mendapat beban gravitasi di tengah bentang perletakan sendi-roll atau sendi-sendii. Diagram Credit: Robert Pirro.

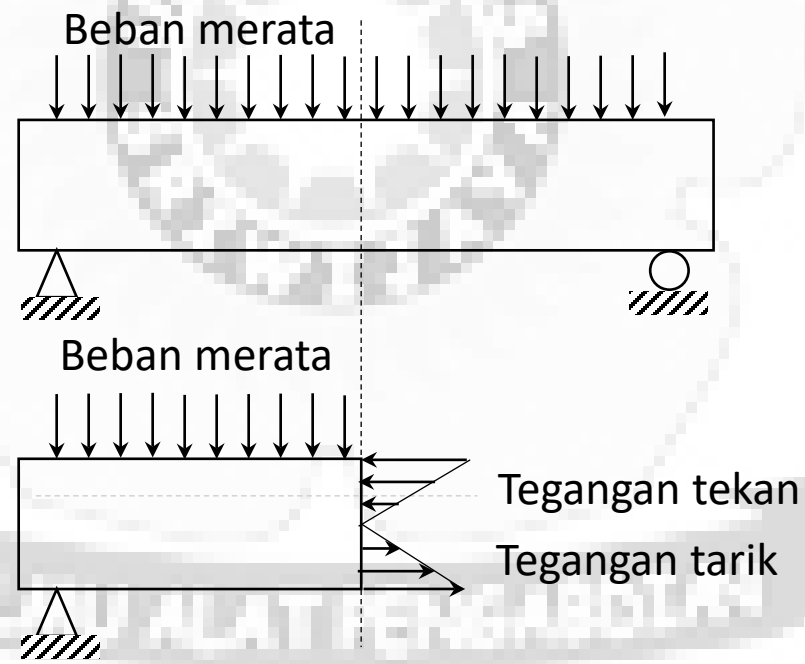


Honey comb (keropos) pada beton. Kolom mengalami penurunan kekuatan.

Sumber: <https://www.engineeringcivil.com>

Prinsip dasar beton

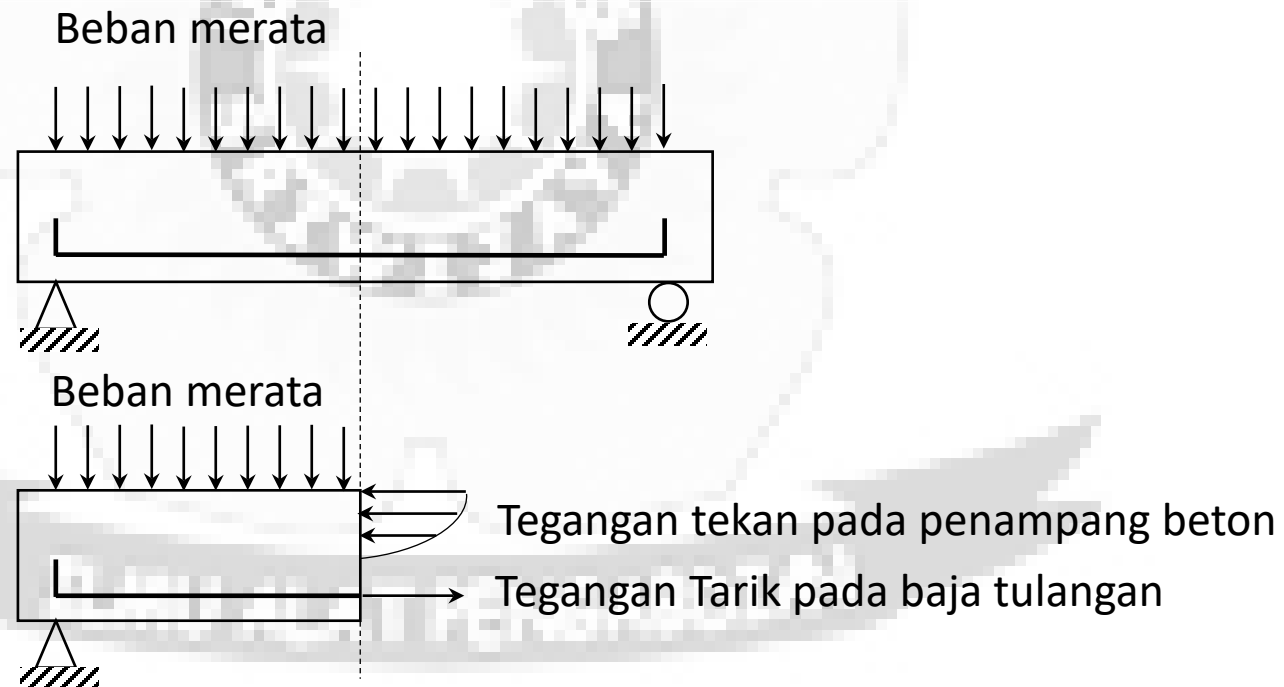
- Pada struktur yang hanya terdiri dari beton, beban gravitasi akan mengakibatkan beton mengalami gaya tarik yang menyebabkan tegangan tarik. Jika beban mengakibatkan tegangan tarik yang lebih besar dari kemampuan beton untuk menahan tarik, maka beton akan mengalami retak pada zona tarik dan dapat mengalami keruntuhan tiba-tiba (karena beton bersifat getas/*brittle*).



Distribusi tegangan pada penampang sebelum terjadi retak akibat beban merata gravitasi

Prinsip dasar beton bertulang

- Pada beton bertulang, gaya tekan ditahan oleh beton dan gaya tarik ditahan oleh baja tulangan. Dengan demikian, kelemahan beton yang tidak kuat menahan tarik diakomodasi oleh baja tulangan. Lokasi baja tulangan adalah pada zona tarik yang berpotensi mengalami gaya saat menahan beban. Contohnya adalah bila balok menahan beban gravitasi yang arahnya vertikal ke bawah.



Distribusi tegangan pada penampang setelah terjadi retak akibat beban merata gravitasi

Desain beton bertulang

Dalam melakukan desain struktur beton bertulang, terdapat dua metode dasar, yaitu:

1. Metode tegangan kerja

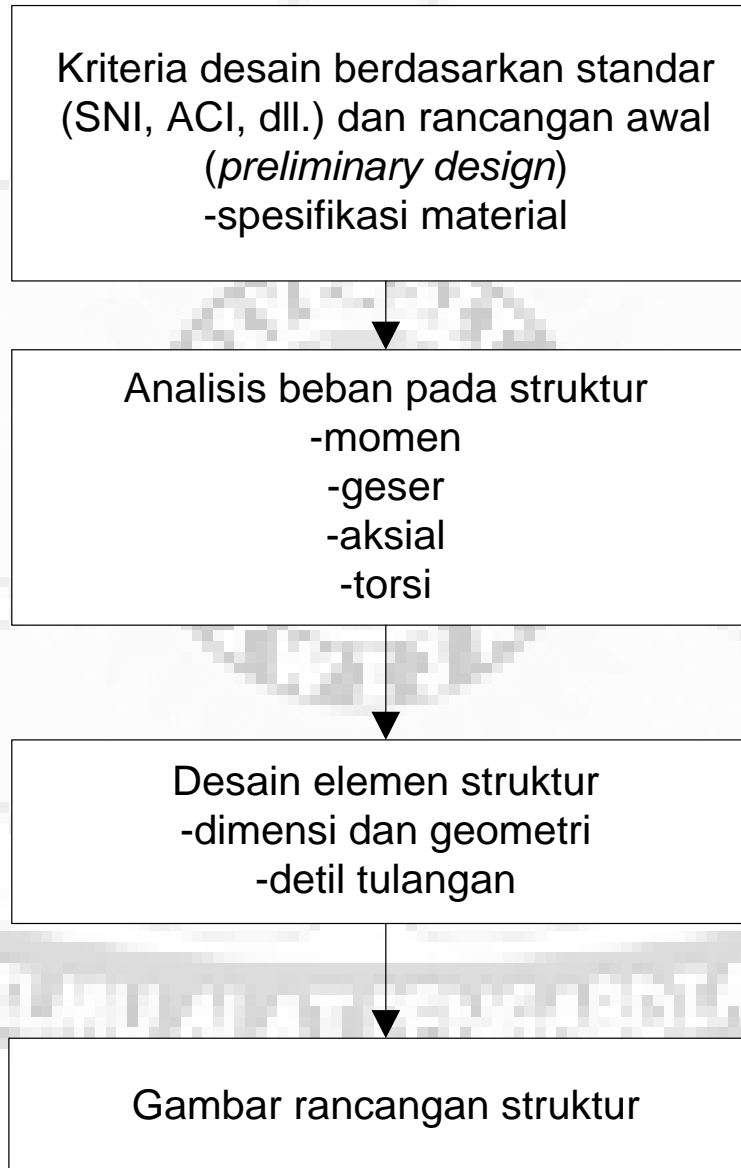
Tegangan pada struktur (σ) harus lebih kecil atau sama dengan tegangan ijin akibat beban. Metode ini menggunakan *Safety Factor* (SF) sebagai faktor pembesar beban yang terjadi. Sebagai contoh, jika $SF = 1,5$ maka tegangan ijin $\sigma_{ijin} = 1,5 \sigma_{beban}$ dan $\sigma \leq \sigma_{ijin}$.

Metode ini sudah tidak digunakan sejak tahun 2013 (sejak standar SNI 03-2847-2013 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* yang berlaku). Standar yang berlaku saat ini: SNI 2847:2019.

2. Metode kuat batas (*ultimate strength*)

Pada metode ini, struktur didesain untuk memiliki kuat rencana (ϕR_n) yang lebih besar daripada kuat perlu (S_u) akibat beban terfaktor, maka $\phi R_n \geq S_u$.

Desain beton bertulang



Desain beton bertulang berdasarkan standar

- Standar yang berlaku di Indonesia di antaranya adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847:2019 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* yang bersumber pada *American Concrete Institute (ACI) 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete*. ACI 318-14 (tahun 2014) direvisi menjadi ACI 318-19 (tahun 2019).
- Pengaruh beban terfaktor harus sama atau lebih kecil daripada kuat rencana, sehingga:

$$\phi R_n \geq \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots$$

dengan:

R_n : kuat nominal

S_i : pengaruh beban-beban kerja

ϕ : faktor reduksi

α_1 : faktor beban

Kombinasi beban terfaktor

- Dalam SNI 2847:2019 pasal 5.3.1, persamaan-persamaan beban terfaktor adalah sebagai berikut:

- Kombinasi beban mati

$$U = 1,4D$$

- Kombinasi beban mati dan beban hidup

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$$

- Kombinasi beban mati, hidup, dan angin

$$U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \text{ atau}$$

$$U = 1,2D + W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \text{ atau}$$

$$U = 0,9D + W; \text{ diambil yang terbesar}$$

- Kombinasi beban mati, hidup, angin, dan gempa

$$U = 1,2D + E + L \text{ atau}$$

$$U = 0,9D + E$$

dengan:

D : beban mati

L : beban hidup

Lr : beban hidup atap

R : beban hujan (*rain*)

W : beban angin (*wind*)

E : beban gempa (*earthquake*)

U : batas (*ultimate*)

Kombinasi beban terfaktor

Dalam SNI 2847:2019 pasal 5.3.1:

Tabel 5.3.1 – Kombinasi beban

Kombinasi beban	Persamaan	Beban utama
$U = 1,4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	(5.3.1e)	E
$U = 0,9D + 1,0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0,9D + 1,0E$	(5.3.1g)	E

dengan:

- D : beban mati
- L : beban hidup
- L_r : beban hidup atap
- R : beban hujan (*rain*)
- W : beban angin (*wind*)
- E : beban gempa (*earthquake*)
- U : batas (*ultimate*)



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847: 2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), “*Prestressed Concrete Structures*”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

Phone: 081373672011

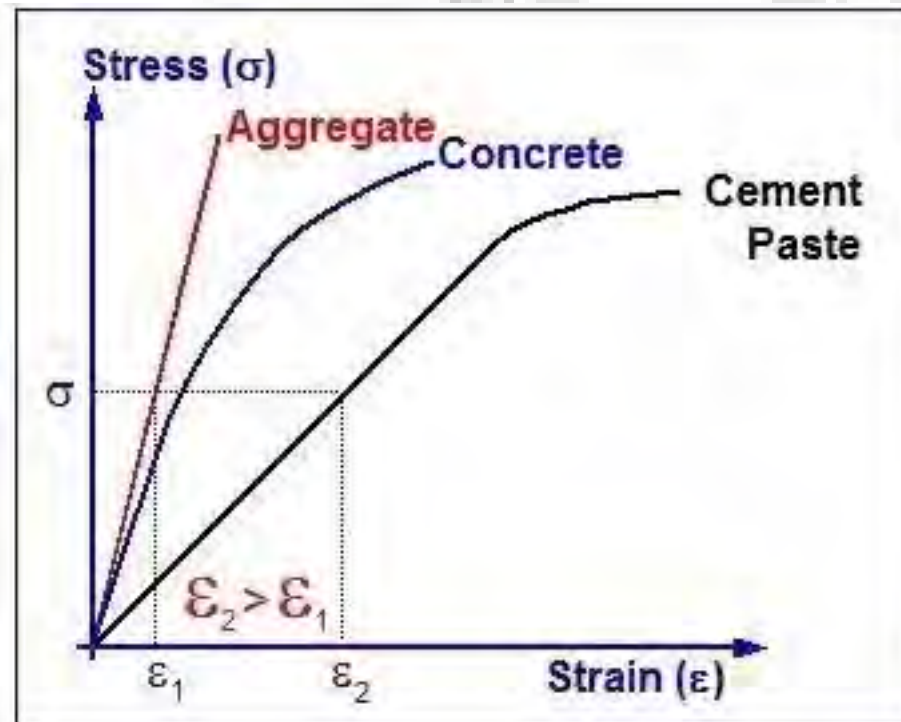
E-mail: hana.program.17@gmail.com

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Material beton

Material yang merupakan bahan dasar beton adalah pasta semen dan agregat (agregat halus dan agregat kasar). Agregat tersebut terikat secara kimiawi melalui proses hidrasi semen Portland.

Sifat material pembentuk beton adalah getas (*brittle*), sehingga kuat dalam menahan beban tekan, tetapi lemah dalam menahan beban tarik. Bentuk hubungan kurva tegangan-regangan di awal pembebanan beton adalah linier elastik.



Hubungan tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) agregat, beton, dan pasta semen.

Image credit: Priya Sharma

Material beton

Silinder beton yang mendapat beban uniaksial idealnya mengalami retak yang paralel dengan arah pembebanan. Bentuk awal kurva tegangan-regangan beton berbentuk *elastic linear curve* yang kemudian melengkung ke atas (*non-linear*) sampai dengan puncak (*ascending curve*), kemudian turun (*descending curve*). Hal ini disebabkan oleh friksi antara permukaan beton dengan pelat baja yang merupakan bagian alat uji tekan beton.

2 Strain gauge horizontal dan 2 strain gauge vertikal



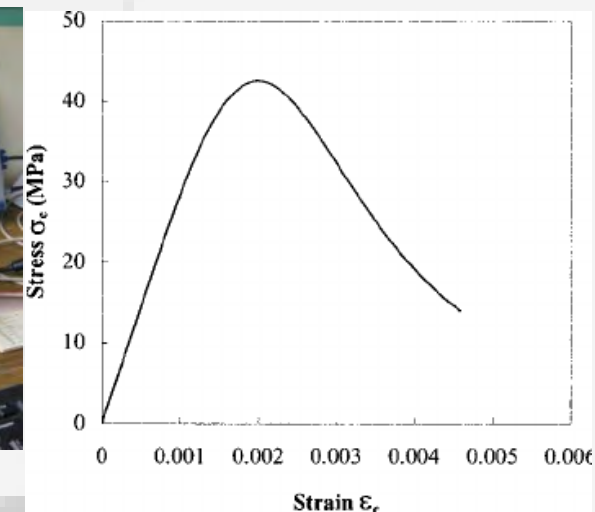
Tampak depan silinder yang diuji tekan beban uniaksial. Sumber: Nurjannah, 2016.



Tampak belakang silinder yang diuji tekan beban uniaksial. Sumber: Nurjannah, 2016.

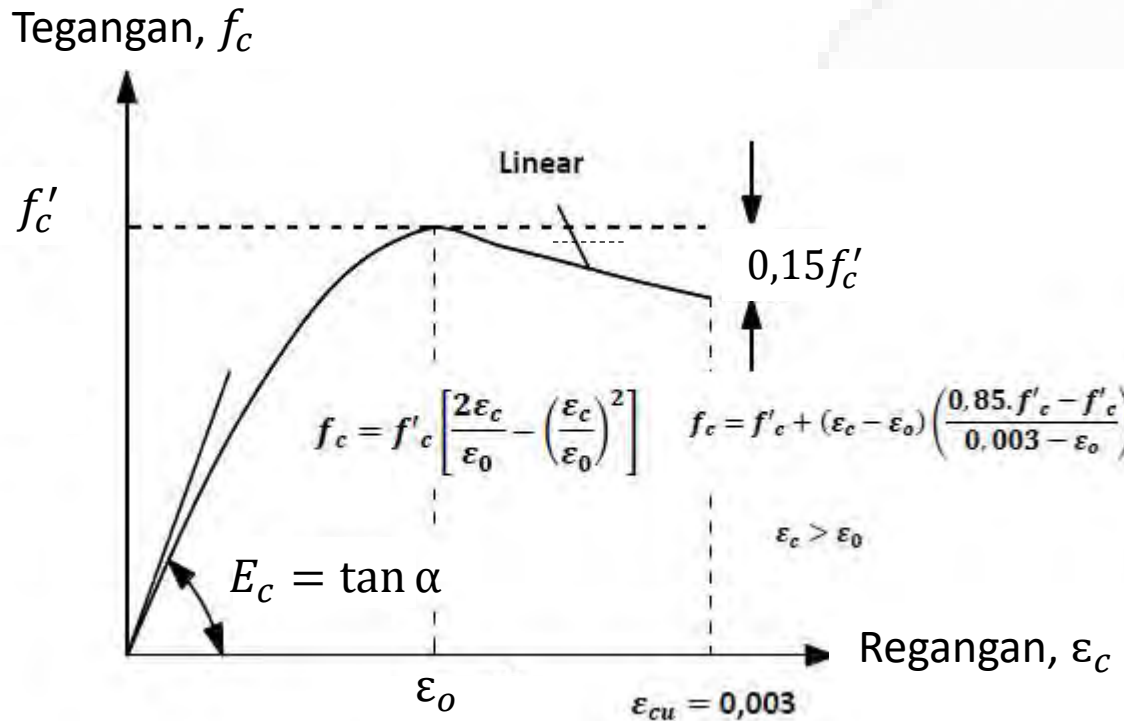


Data logger untuk merekam data hasil uji. Sumber: Nurjannah, 2016.



Kurva tegangan (*stress*) – regangan (*strain*) beton.

Kuat tekan uniaksial beton (f'_c)



Kurva tegangan-regangan beton

Sumber: Wight, 2016

Persamaan kurva tegangan-regangan silinder beton dalam persamaan Hognestad (1951):

$$f_c = f'_c \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right]$$

dengan:

ϵ_{cu} : regangan tekan *ultimate* beton (mm/mm) = 0,003 (beton normal)

ϵ_0 : regangan tekan beton pada tegangan *ultimate* (f'_c) (mm/mm) \approx 0,002 (beton normal)

σ_c atau f_c : tegangan tekan beton (MPa = N/mm²)

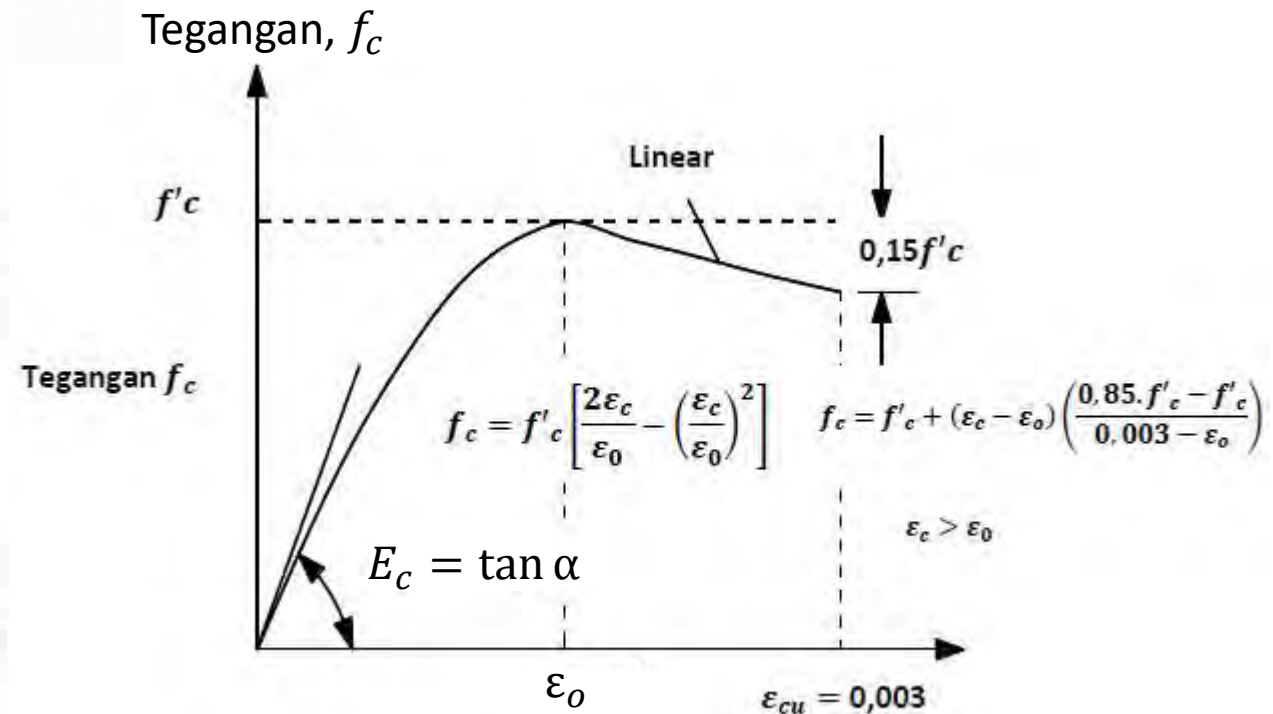
f'_c : kuat tekan uniaksial atau tegangan *ultimate* beton (MPa = N/mm²)

E_c : modulus elastisitas beton (MPa)

Material beton

Pada kurva tegangan-regangan beton, perilaku beton dibagi menjadi tiga bagian:

1. Pada saat tegangan silinder beton adalah 30%-40% dari kuat tekan uniaksial atau tegangan *ultimate* (f'_c), hubungan tegangan-regangan beton adalah linier.
2. Pada saat tegangan silinder beton adalah di atas 30%-40% f'_c , maka kurva mulai berbentuk non-linear dengan sudut kemiringan tertentu. Retakan pada silinder mulai terbentuk.
3. Pada saat tegangan beton adalah 75%-90% f'_c , maka kurva non-liner terus terbentuk dengan sudut kemiringan yang semakin kecil.

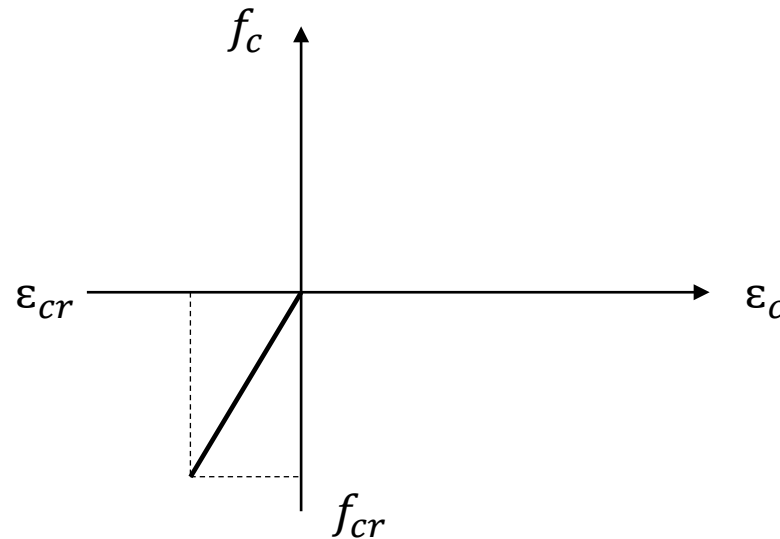


Kurva tegangan-regangan beton

Sumber: Wight dan McGregor, 2012

Kuat tarik beton (f_{cr})

Beton bersifat getas (*brittle*). Kuat tarik beton adalah sekitar 10% nilai kuat tekan uniaksial (f'_c) (Imran dan Zulkifli, 2014). Hubungan tegangan-regangan beton di bawah beban tarik adalah linier. Retak terjadi akibat penambahan beban dan diikuti dengan keruntuhan beton.

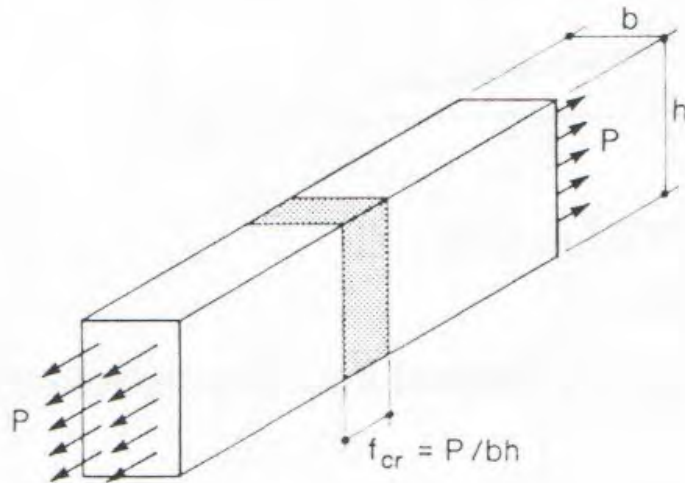


Hubungan tegangan-regangan tarik beton

Kuat tarik beton (f_s)

Nilai kuat tarik beton dapat diperoleh melalui pengujian tarik. Beberapa jenis pengujian tarik adalah:

1. Pengujian tarik langsung



(a) Direct tension test

$$f_s = 0,33\lambda\sqrt{f'_c}$$

f_s : kuat tarik/tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)

λ : lihat Tabel 19.2.4.2 di SNI 2847: 2019

Sumber: SNI 2847:2019 Pasal R11.5.4.6

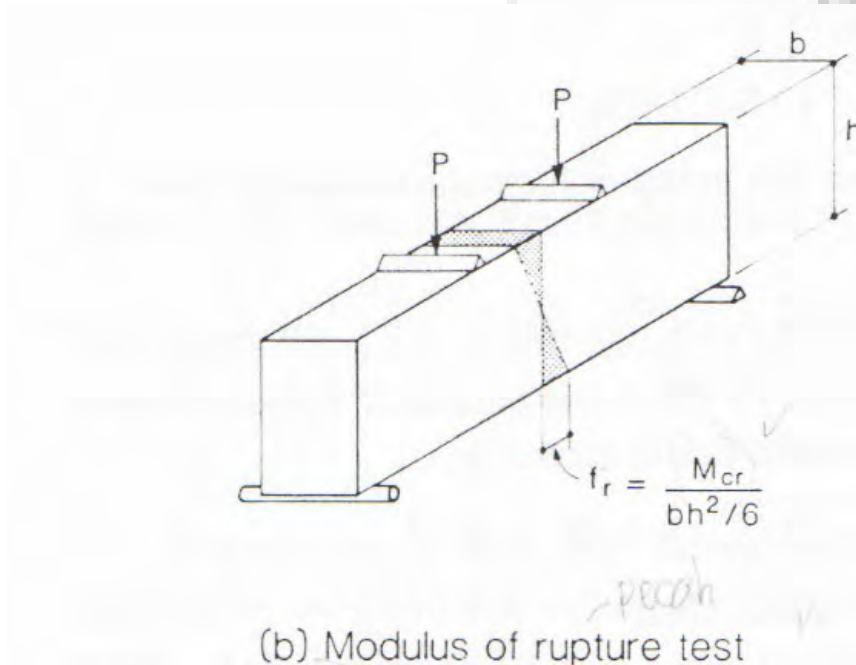
Pengujian tarik langsung

(Sumber: Collins dan Mitchell, 1994)

Kuat tarik beton (f_{cr})

2. Pengujian tarik tidak langsung

a. Uji lentur



Modulus retak beton:

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c}$$

λ : lihat Tabel 19.2.4.2 di SNI 2847: 2019

Sumber: SNI 2847:2019 Pasal **19.2.3.1**

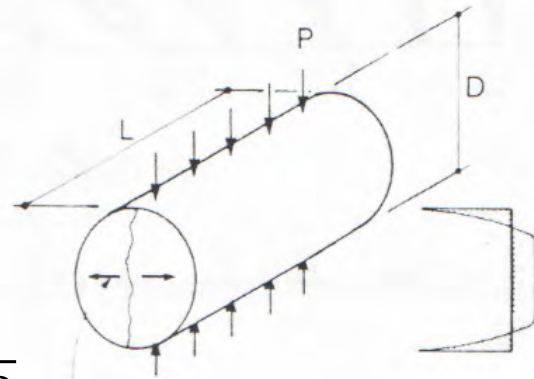
Pengujian modulus keruntuhan (*modulus of rupture*)

(Sumber: Collins dan Mitchell, 1994)

Kuat tarik beton (f_{ct})

b. Uji belah

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$



Pengujian retak pada silinder
(Sumber: Collins dan Mitchell, 1994)



Set up Uji Tarik-Belah
Silinder
Sumber: : Nurjannah, 2016



Kondisi silinder
setelah runtuh
Sumber: Nurjannah, 2016

Nilai λ

19.2.4.3 Jika hasil pengukuran kekuatan tarik belah rata-rata beton ringan, f_{ct} , digunakan untuk menghitung λ , uji laboratorium harus dilakukan sesuai **ASTM C330M** untuk menentukan nilai f_{ct} dan nilai f_{cm} yang bersesuaian dan λ dapat dihitung menggunakan:

$$\lambda = \frac{f_{ct}}{0,56\sqrt{f_{cm}}} \leq 1,0 \quad (19.2.4.3)$$

Campuran beton yang diuji untuk menghitung λ harus mencerminkan campuran yang digunakan di pada pekerjaan tersebut.

Keterangan:

f_{cm} : kekuatan tekan beton rata-rata terukur (MPa)

f_{ct} : kekuatan tarik belah rata-rata terukur beton ringan (MPa)

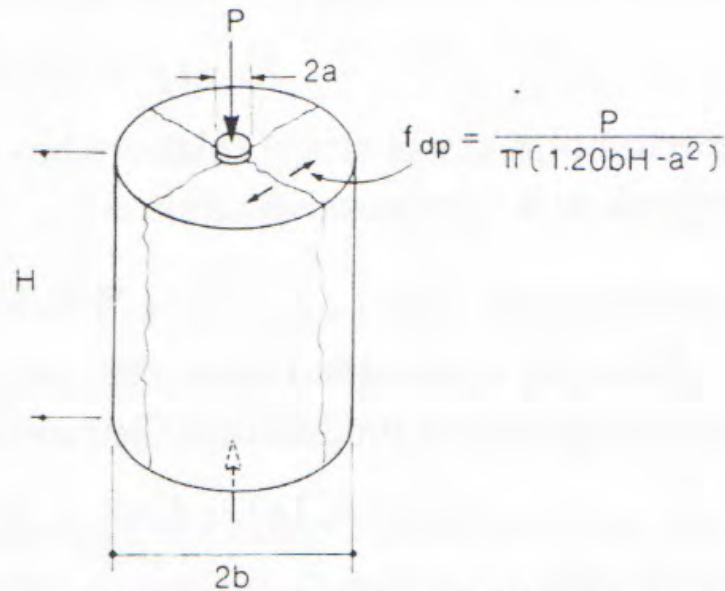
λ : faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama

λ : lihat Tabel 19.2.4.2 di SNI 2847: 2019

Sumber: SNI 2847:2019

Kuat tarik beton (f_{cr})

c. Uji *double-punch*



(d) Double-punch test ($f_{cr} \approx 0.7f_{dp}$)

Pengujian *double-punch*

(Sumber: Collins dan Mitchell, 1994)

Kuat tarik beton (f_s)

Hubungan kuat tarik langsung beton sebagai fungsi dari kuat tekan uniaksial beton adalah:

$$f_s = 0,33\lambda\sqrt{f'_c} \text{ (SNI 2847:2019 Pasal R11.5.4.6)}$$

dengan:

f_s : kuat tarik atau tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)

f'_c : kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa = N/mm²)

λ : faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan; untuk beton normal, nilai $\lambda = 1$

Modulus hancur (*rupture*) atau retak beton (f_r)

Untuk kasus defleksi, nilai modulus hancur (*rupture*) atau retak beton akibat beban lentur:

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c} \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.3.1)}$$

Untuk analisis kuat geser beton pra-tegang, nilai modulus keruntuhan lentur beton:

$$f_r = 0,50\lambda\sqrt{f'_c} \text{ (SNI 2847:2019 Pasal R22.5.8.3.1)}$$

dengan:

f_r : kuat tarik akibat lentur (MPa)

f'_c : kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa = N/mm²)

λ : faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan; untuk beton normal, nilai $\lambda = 1$, lihat Tabel 19.2.4.2 di SNI 2847: 2019

Silinder

19.2.3 Modulus retak

19.2.3.1 Modulus retak beton f_r dapat dihitung dengan menggunakan:

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'} \quad (19.2.3.1)$$

Dimana nilai λ diambil sesuai dengan 19.2.4

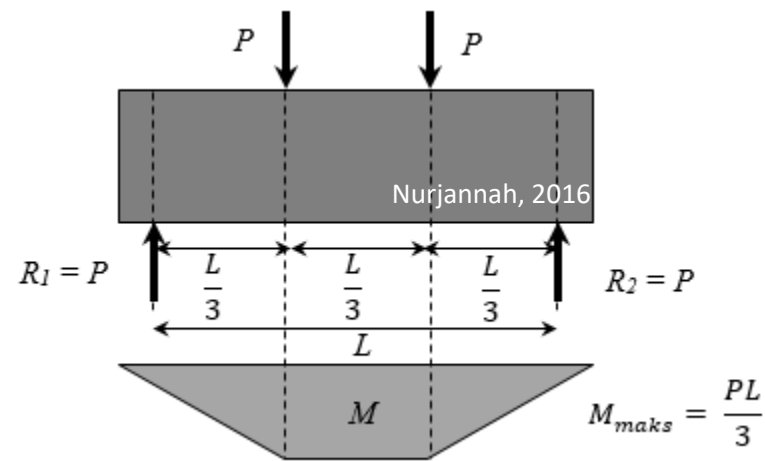
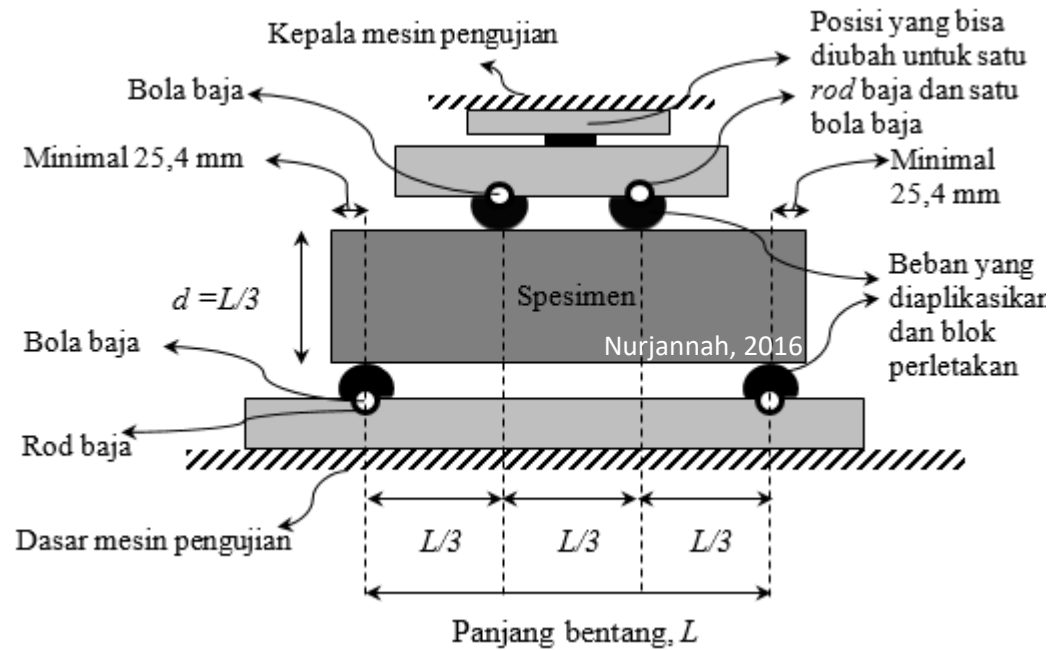
Tabel 19.2.4.2 – Faktor modifikasi λ

Beton	Komposisi Agregat	λ
Beton ringan dengan semua agregat ringan	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	0,75
Beton Ringan, agregat halus campuran	Halus: Kombinasi ASTM C330M dan C33M Kasar: ASTM C330M	0,75 s/d 0,85 ^[1]
Beton ringan dengan pasir ringan	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C330M	0,85
Beton ringan dengan pasir ringan, dan agregat kasar campuran	Halus: ASTM C33M Kasar: Kombinasi ASTM C330M dan C33M	0,85 s/d 1 ^[2]
Beton normal	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C33M	1

^[1]Interpolasi linear dari 0,75 hingga 0,85 diizinkan berdasarkan perbandingan dari volume absolut agregat halus normal dan total volume absolut agregat halus.

^[2]Interpolasi linerar dari 0,85 hingga 1 diizinkan berdasarkan perbandingan dari volume absolut agregat kasar normal dan total volume absolut agregat kasar.

Modulus keruntuhan lentur beton (f_r)



Set up uji lentur balok

Gaya dalam momen pada uji lentur

Pengujian lentur balok beton tanpa tulangan baja

Image credit: Nurjannah, 2016.

Modulus keruntuhan lentur beton (f_r)



Set up pengujian lentur balok

Pengujian Lentur Balok

Sumber: Nurjannah, 2016



Kondisi balok di akhir pengujian

Tegangan lentur dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$f_t = \frac{M}{W_x} = \frac{(P L)/3}{\frac{1}{6} b h^2}$$

dengan:

- f_t : tegangan lentur (MPa)
- P : beban maksimum saat balok runtuh (N)
- L : bentang balok dari tumpuan ke tumpuan (mm)
- b : lebar penampang balok (mm)
- h : tinggi penampang balok (mm)

ALAT PENGABDIAN

Modulus elastisitas beton (E_c)

Modulus elastisitas beton:

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.2.1.a)}$$

dengan $w_c = 1400 - 2560 \text{ kg/m}^3$ (massa jenis beton normal), maka untuk beton normal, dapat menggunakan persamaan yang lebih praktis, yaitu:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 19.2.2.1.b)}$$



Set up Pengujian Modulus Elastisitas Statik

Sumber: Nurjannah, 2016



Set up Pengujian Modulus Elastisitas Statik dan *Poisson's Ratio*.

Sumber: Gedney, 2010.

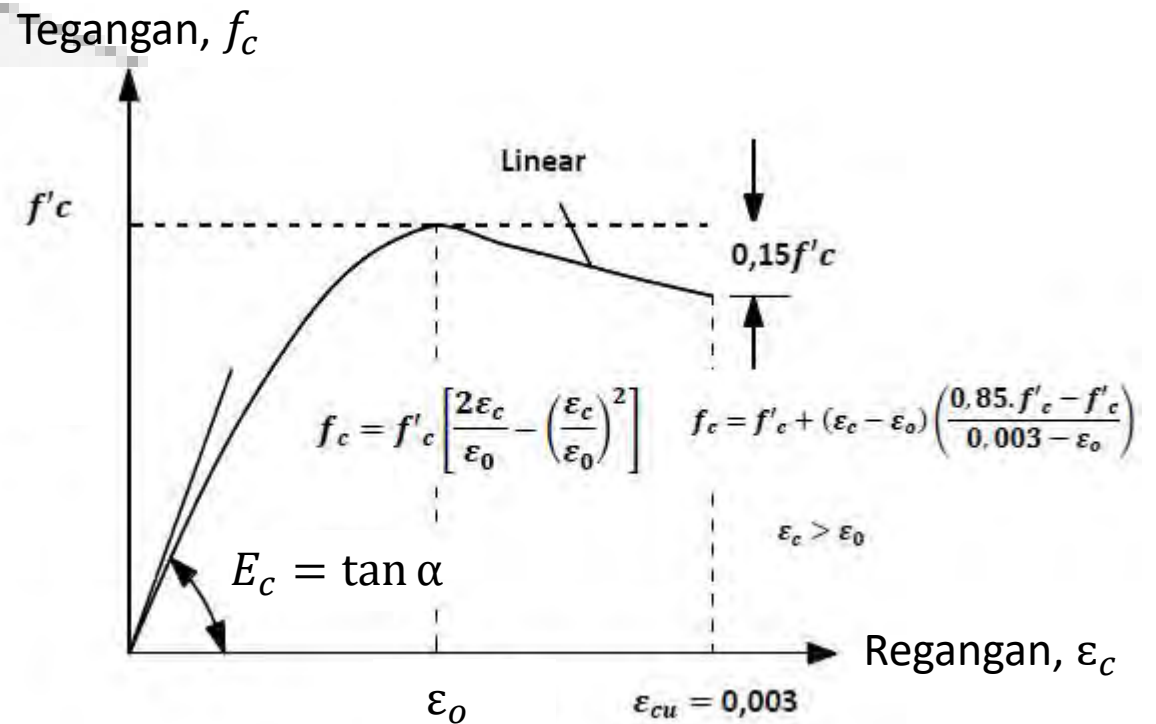
Code: ASTM C469/C469M-14 (2014)

Modulus elastisitas beton (E_c)

- Modulus elastisitas (E_c) adalah kemiringan atau *gradient* dari garis lurus yang ditarik dari kondisi tegangan beton = 0 MPa ke kondisi tegangan = $0,45f'_c$ pada kurva tegangan-regangan beton

(Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014)

$$E_c = \tan \alpha$$



Kurva tegangan-regangan beton

- Modulus tangen awal (E_{ct}) yang berkaitan dengan persamaan Hognestad (1951) adalah:

$$E_{ct} = \frac{2f'_c}{\varepsilon'_c}$$

Regangan beton

Regangan aksial:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta L}{L_o} \text{ (mm/mm)}$$

Regangan transversal :

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta T}{D_o} \text{ (mm/mm)}$$

dengan:

ΔL : deformasi aksial spesimen

L_o : jarak vertikal antara dua cincin yang terpasang atau *gauge length*

ΔT : deformasi transversal di tengah tinggi spesimen

D_o : diameter awal silinder

Modulus elastisitas hasil pengujian

Modulus elastisitas statik beton

$$E_c = \frac{(f_{c2} - f_{c1})}{\varepsilon_{c2} - 0,000050} \text{ (MPa)}$$

dengan:

f_{c1} : tegangan beton saat regangan elastik sebesar 50×10^{-6} (MPa)

f_{c2} : tegangan beton saat mencapai 40% tegangan puncak (MPa)

ε_{c2} : regangan tekan aksial pada saat tegangan beton mencapai f_{c2}

ILMU ALAT PENGABDIAN

Poisson's Ratio (ν)

- Nilai *Poisson's ratio* diperoleh dari pengujian sampel silinder beton.
- Untuk beton normal, nilai *Poisson's ratio* adalah berkisar dari 0,15 – 0,20 (Park dan Paulay (1975))
- Untuk beton mutu tinggi, nilai *Poisson's ratio* adalah 0,20 (ACI 363R (2010)) atau berkisar dari 0,22-0,24 (Dugat, dkk., 1996)

Nilai Poisson's *ratio*:

$$\nu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{\varepsilon_{c2} - 0,000050} \text{ (MPa)}$$

dengan:

ε_{t1} : regangan transversal di tengah spesimen pada saat tegangan beton mencapai f_{c1}

ε_{t2} : regangan transversal di tengah spesimen pada saat tegangan beton mencapai f_{c2}

Material baja tulangan

Material beton bersifat getas (*brittle*) sehingga lemah dalam menahan gaya tarik. Untuk mengatasi hal tersebut, baja tulangan dipasang di dalam beton sehingga menjadi komposit beton bertulang.

Jenis baja tulangan adalah polos atau kawat (baja tulangan polos/BJTP) dan ulir/sirip (baja tulangan sirip/BJTS). Umumnya, baja tulangan polos memiliki:

f_y (tegangan leleh minimum atau kuat tarik leleh minimum) = 240 MPa

f_u (tegangan tarik *ultimate* minimum) = 360 MPa

dan tulangan ulir mempunyai

$f_y = 400$ MPa dan $f_u = 600$ MPa

Jenis tulangan polos (***plain bar***) di pasaran adalah $\phi 6$ (diameter = 6 mm), $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 12$, $\phi 14$, dan $\phi 16$.

Jenis tulangan ulir (***deformed bar***) di pasaran adalah D10 (diameter = 10 mm), D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, dan D36. Tulangan ulir mempunyai sifat ikatan (*bonding*) yang lebih baik dengan beton.



Tulangan polos
(***plain bar***)

Sumber:

<https://quezoncity.locanto.ph>

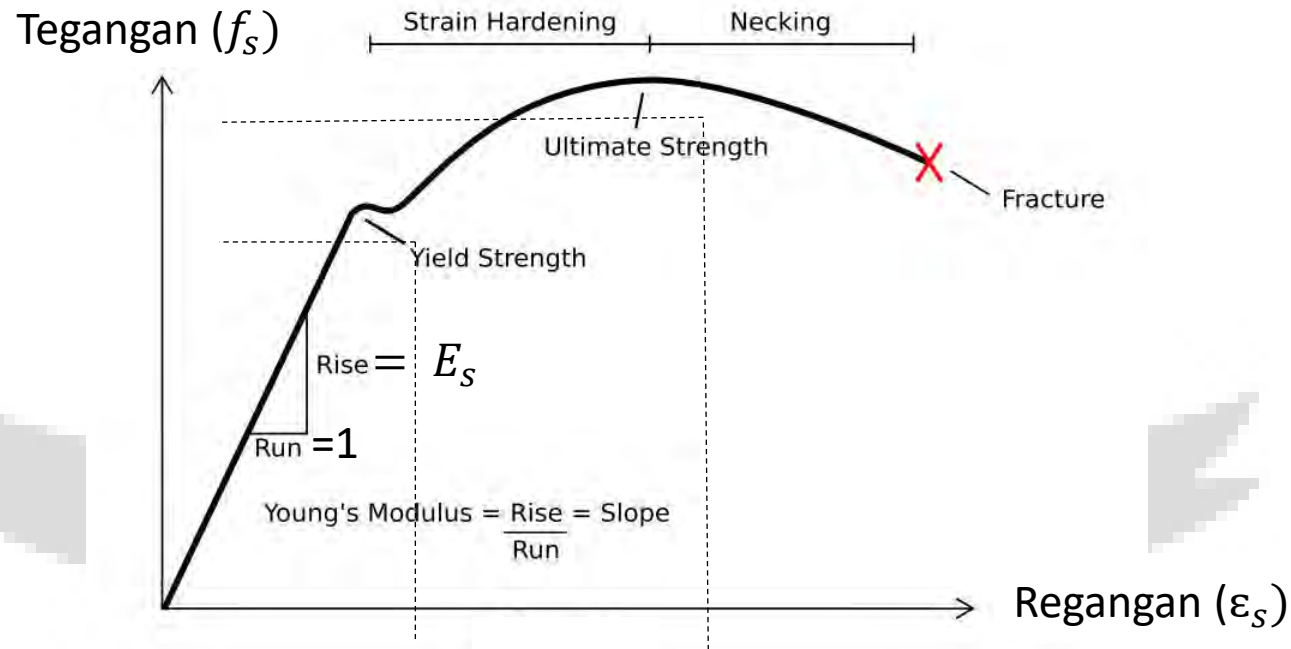


Tulangan ulir (***deformed bar***)

Sumber: <http://www.concrete-mesh.com>

Material baja tulangan

Hubungan kurva tegangan-regangan (*stress-strain*) baja tulangan pada awalnya bersifat liner, kemudian terdapat kondisi leleh (*yield strength*) yang diikuti dengan meningkatnya kekuatan baja (*strain hardening*) sampai tegangan puncak, lalu terjadi penurunan tegangan (*necking*).

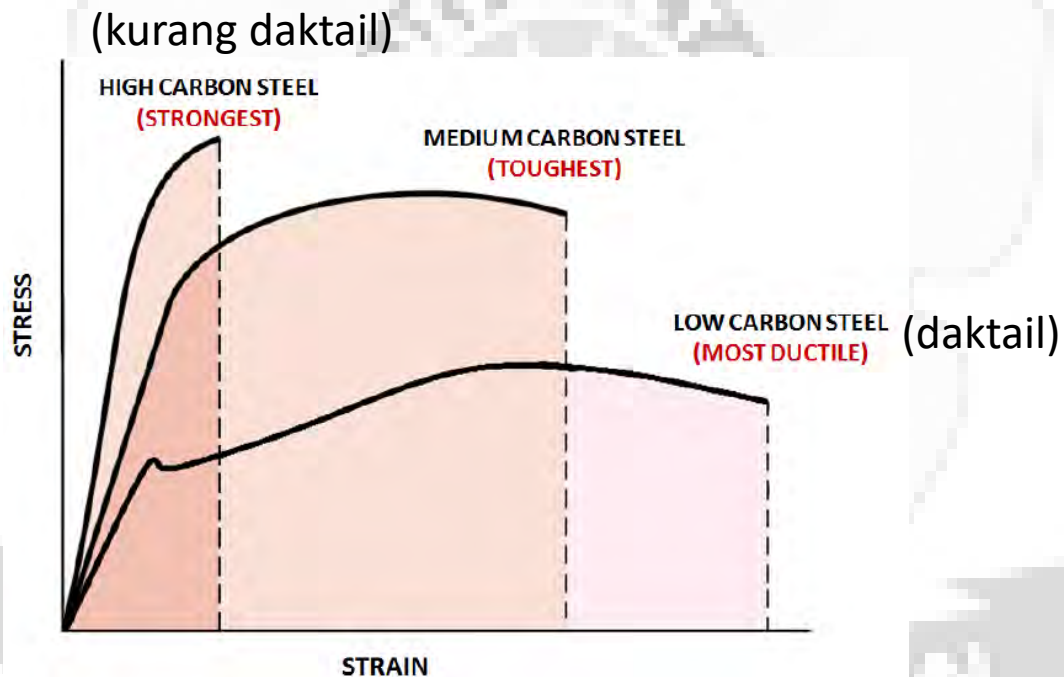


Kurva tegangan-regangan baja tulangan

Sumber: Kathir, 2017

Material baja tulangan

- Kurva tegangan-regangan baja yang daktail dan kurang daktail



Kurva tegangan-regangan baja tulangan dengan berbagai kandungan *carbon steel*

Sumber: Pruthvi Loy dan Ciranth, B.P.

Susut-kering dan regangan-rangkak (*Drying-shrinkage and creep-strain*)

Faktor penyebab susut-kering dan rangkak:

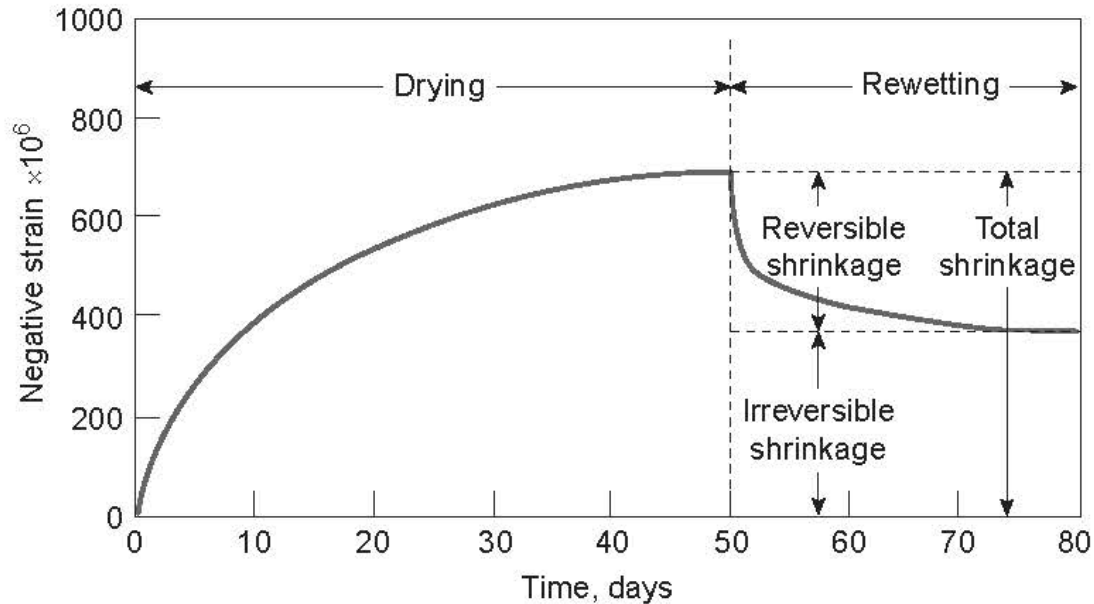
- ❖ Pasta semen yang jenuh kadar air memiliki dimensi yang tidak stabil ketika terkena kelembaban lingkungan (*ambient humidities*) yang berada di bawah kadar jenuh air, terutama karena **hilangnya air yang diadsorpsi** menyebabkan terjadinya regangan susut. Dalam hal ini, salah satu komponen *mix-design* beton, yaitu kadar air terhadap semen (***W/C ratio***) mempengaruhi besarnya **susut-kering** dan pengurangan dimensi.
- ❖ Saat pasta semen terhidrasi **menahan tegangan**, tergantung pada besar dan durasi tegangan, maka *calcium silicate hydrate* (C-S-H) akan kehilangan sejumlah besar air yang teradsorpsi secara fisik, tergantung pada besarnya dan durasi tegangan dari beban, dan pada pasta semen akan muncul **regangan-rangkak**.
- ❖ Dari dua poin di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa penyebab awal susut-kering dan regangan-rangkak secara umum adalah sama, yaitu **proses hidrasi pasta semen**. Selanjutnya:
 - Susut-kering disebabkan oleh kelembaban relatif yang berbeda pada beton dan lingkungan.
 - Regangan-rangkak disebabkan oleh tegangan akibat pembebanan yang terus-menerus pada beton.

Catatan:

Calcium silicate hydrates (C-S-H) terbentuk selama proses hidrasi semen Portland dan memiliki sifat *adhesive* (perekat).

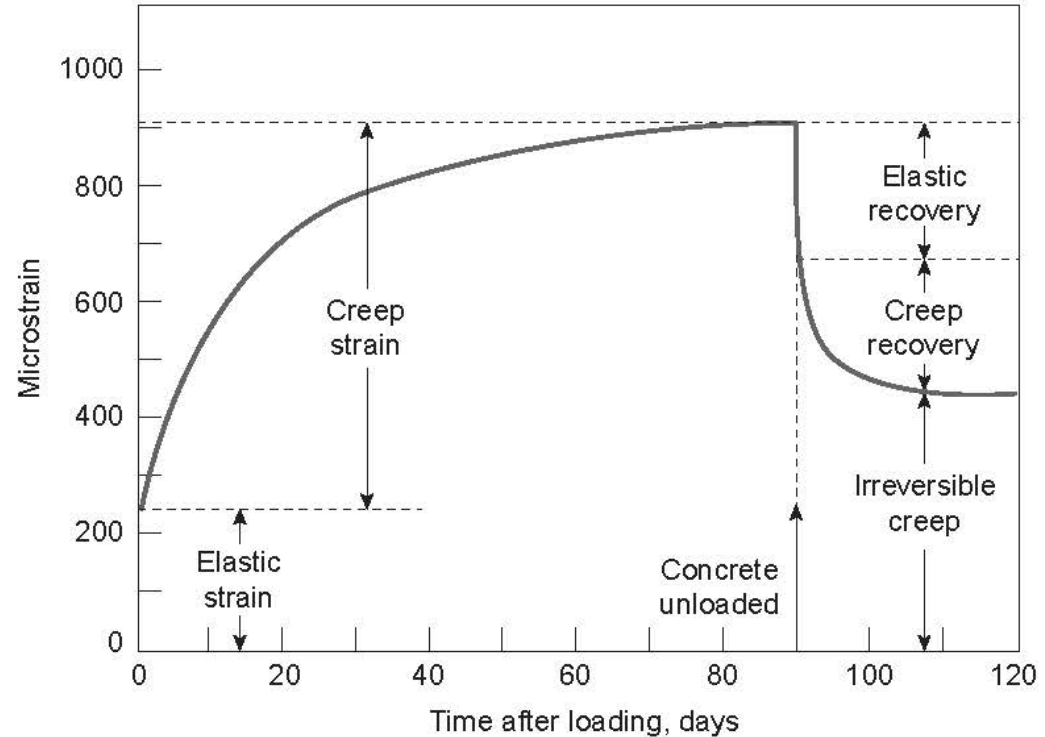
Sumber: Mehta dan Monteiro (2006)

Susut-kering dan regangan-rangkak (*Drying-shrinkage and creep-strain*)



Kurva hubungan regangan susut-kering terhadap waktu yang bersifat *reversible drying-rewetting*

Sumber: Mehta dan Monteiro (2006), dari Mindess, S. dan J.F. Young, *Concrete*, 1981, pp.286, 501



Kurva hubungan regangan-rangkak terhadap waktu yang bersifat *reversible loading-unloading*

- Regangan mikro akibat susut-kering dan rangkak = 400 hingga 1000×10^{-6} (cukup signifikan sehingga tidak dapat diabaikan dalam desain struktur)
- Susut-kering dan rangkak bersifat berbalik (*reversible*)
- Terjadi **retak mikro** akibat susut-kering pada *interfacial transition zone* beton

Susut akibat perubahan suhu lingkungan (*Thermal shrinkage*)

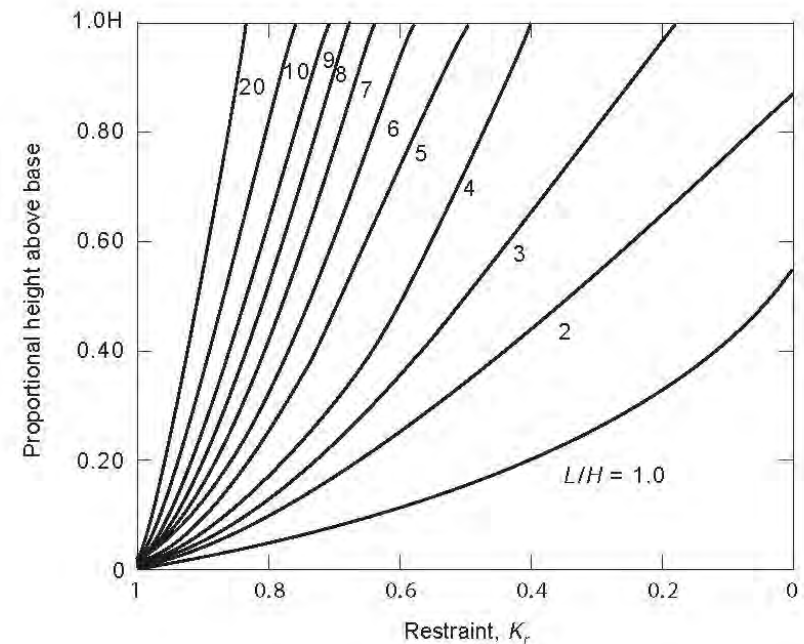
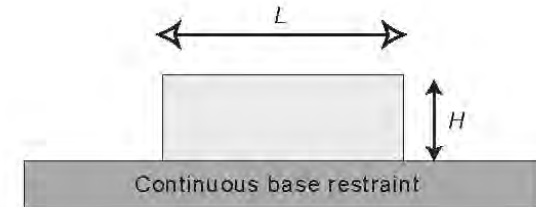
- ❖ Secara umum, zat padat memuai akibat pemanasan dan menyusut akibat pendinginan. Regangan yang dipengaruhi oleh suhu, tergantung pada koefisien perluasan termal material (*coefficient of thermal expansion*) dan besarnya penurunan atau kenaikan suhu. Kondisi ini menyebabkan terjadinya **tegangan thermal**.
- ❖ Umumnya, struktur beton biasa hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan suhu sekitar, kecuali dalam kondisi iklim ekstrim. Namun, pada struktur beton besar, kombinasi panas yang dihasilkan oleh **hidrasi semen** dan kondisi **penyerapan panas dari lingkungan** yang relatif buruk menghasilkan kenaikan suhu beton yang besar dalam beberapa hari setelah penempatan. Selanjutnya, pendinginan suhu lingkungan sekitar sering menyebabkan beton **retak**.
- ❖ Karena perhatian utama dalam desain dan konstruksi struktur beton massal adalah struktur yang tetap monolit dan bebas retakan, maka diperlukan upaya untuk mengontrol kenaikan suhu melalui pemilihan bahan yang tepat, proporsi campuran, kondisi perawatan (*curing*), dan praktek konstruksi (Mehta dan Monteiro, 2006).

Susut akibat perubahan suhu lingkungan (*Thermal shrinkage*)

Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan thermal:

- Derajat perletakan (*restraint*) (K_r).

Asumsikan sebuah fondasi yang kaku, terdapat pengekangan penuh pada antarmuka beton-agregat ($K_r = 1,0$), namun karena jarak dari antarmuka meningkat, maka pengekangan akan menurun.



Derajat perletakan tarik pada penampang tengah

[Sumber: ACI Committee 207, Cooling Mass Concrete, 1998 dan Mehta dan Monteiro (2006)]

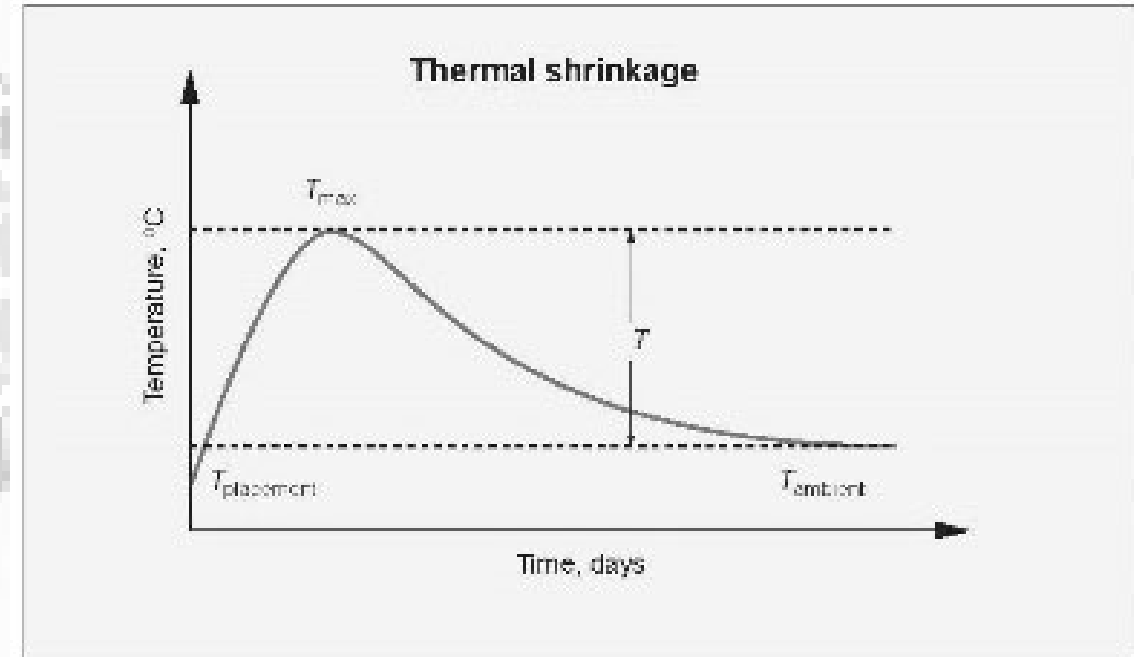
Susut akibat perubahan suhu lingkungan (*Thermal shrinkage*)

Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan thermal:

- Perubahan suhu atau temperatur (ΔT).

Hidrasi senyawa semen menghasilkan panas dan meningkatkan suhu beton. Pemanasan dari lingkungan (*ambient*) menyebabkan ekspansi, dan ekspansi yang dibatasi oleh perletakan (*restraint*) akan menghasilkan tegangan tekan. Namun, pada umur awal (*early age*) beton, modulus elastisitas beton rendah dan relaksasi tegangan tinggi, maka tegangan tekan rendah, bahkan pada area penuh perletakan.

Dalam desain yang konservatif, diasumsikan tidak ada kompresi awal. Perubahan suhu (ΔT) adalah perbedaan antara suhu puncak beton dan suhu layanan struktur.



Temperatur berubah sesuai waktu

Sumber: Mehta dan Monteiro (2006)



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- ACI Committee 363R, (2010): *Report on High Strength Concrete (ACI 363R-10) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Dugat, J. Roux, N., dan Bernier, G., (1996): *Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes*, *Material and Structures*, Vol. 29, May, pp. 233-240.
- Frank J. Vecchio dan Michael P. Collins, *The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses*, Publication 82-03, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, March 1982, 332 pp.
- Gedney, R. (2010). <http://info.admet.com/videos/bid/40246/How-to-Perform-an-ASTM-C469-Concrete-Compression-Test>. Diunduh pada tanggal 15 Februari 2014.
- Guo, Z., (2014): *Multiaxial Strength and Constitutive Relation*, *Principles of Reinforced Concrete*, ScienceDirect.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Kupfer, H., Hilsdorf, H. K. and Rusch, H., (1969): "Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses", *American Concrete Institute Journal, Proceedings* Vol. 66, no. 8, August 1969, pp. 656-666.
- Mehta, P. K. dan Monteiro, P. J. M., (2006): *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 3rd edition, Mc-Graw Hill, USA.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Nurjannah, S.A., (2016): *Perilaku Histeretik Sub-assembly Balok-Kolom Reactive Powder Concrete Pra-tegang Parsial*, disertasi Program Doktor, Program Pascasarjana, Teknik Sipil, Institut teknologi Bandung, Bandung.
- Park, R. dan Paulay, T., (1975): *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons.
- Paulay, T. dan Priestly, M.J.N, (1992): *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Willey & Sons.
- Wight, J. K., (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

Phone: 081373672011

E-mail: hana.program.17@gmail.com

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Peraturan Beton di Indonesia

- Peraturan Beton Bertulang Indonesia (**PBI 1971 N.I.-2**)
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 03-1734-1989** Tata cara perencanaan beton bertulang dan struktur dinding bertulang untuk rumah dan gedung
- Departemen Pekerjaan Umum: **SK.SNI T-15-1991-03** Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 03-2847-2002** Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung berdasarkan beberapa SNI lain dan beberapa American Standard
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 2847:2013** Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung (berdasarkan pada **ACI 318-08** Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary)
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 2847:2019** berdasarkan **ACI 318-14** Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary).

**BERLAKU
SAAT INI**

Teori balok elastik

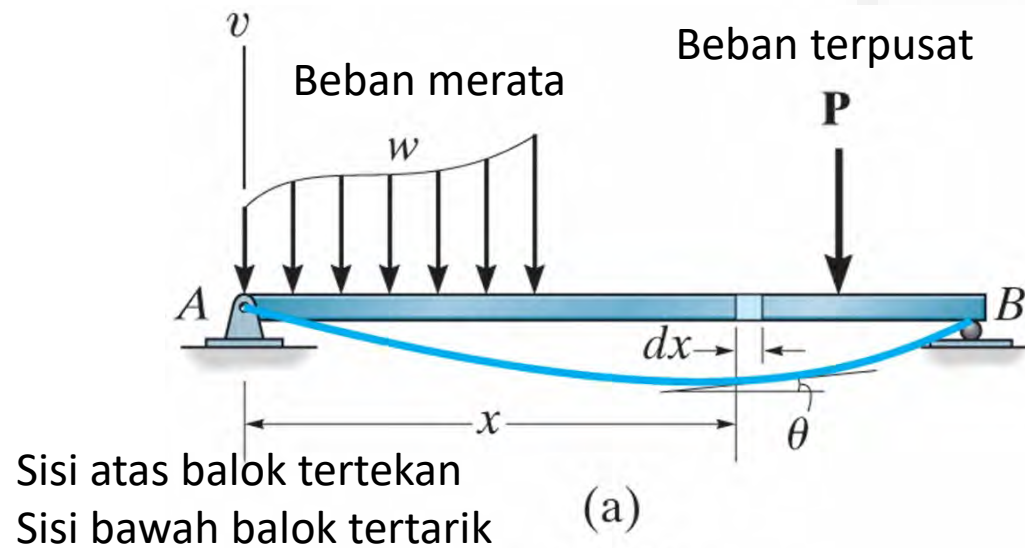
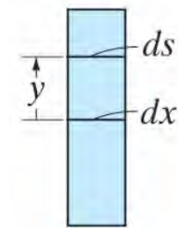


Figure: 08-07A

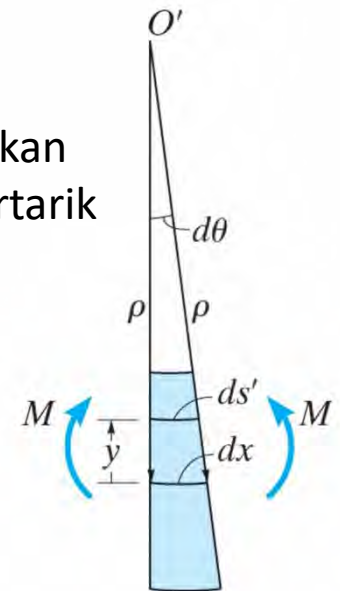
Copyright © 2009 Pearson Prentice Hall, Inc.

Balok di atas dua tumpuan

Sisi atas balok tertekan
Sisi bawah balok tertarik



before deformation



after deformation

(b)

Figure: 08-07B

Copyright © 2009 Pearson Prentice Hall, Inc.

dengan:

ρ : radius kelengkungan (*curvature*) di titik tertentu pada kurva elastik (mm)

$\frac{1}{\rho}$: kelengkungan (*curvature*) (mm^{-1})

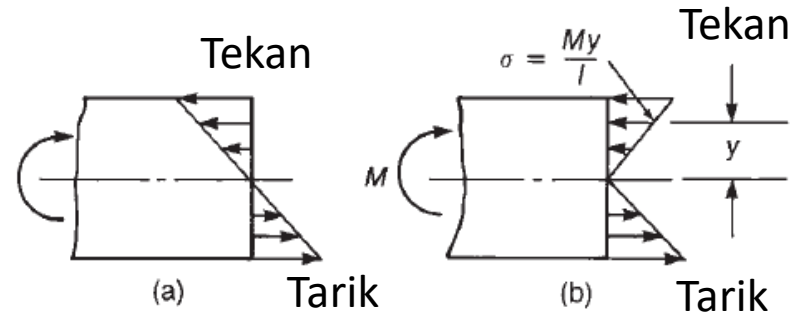
M : momen yang terjadi pada balok pada lokasi radius kelengkungan (N)

E : modulus elastisitas material (MPa atau N/mm^2)

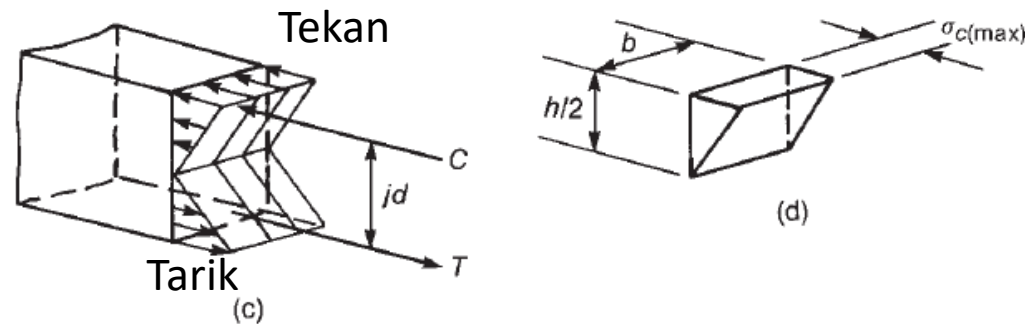
I : momen inersia balok yang dihitung pada sumbu netral (mm^4)

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Momen lentur pada penampang balok



Sisi atas balok tertekan
Sisi bawah balok tertarik



Tegangan balok elastik dan *stress block*

Sumber: Wight, 2016

ILMU ALAT PENGABDIAN

Jenis retak

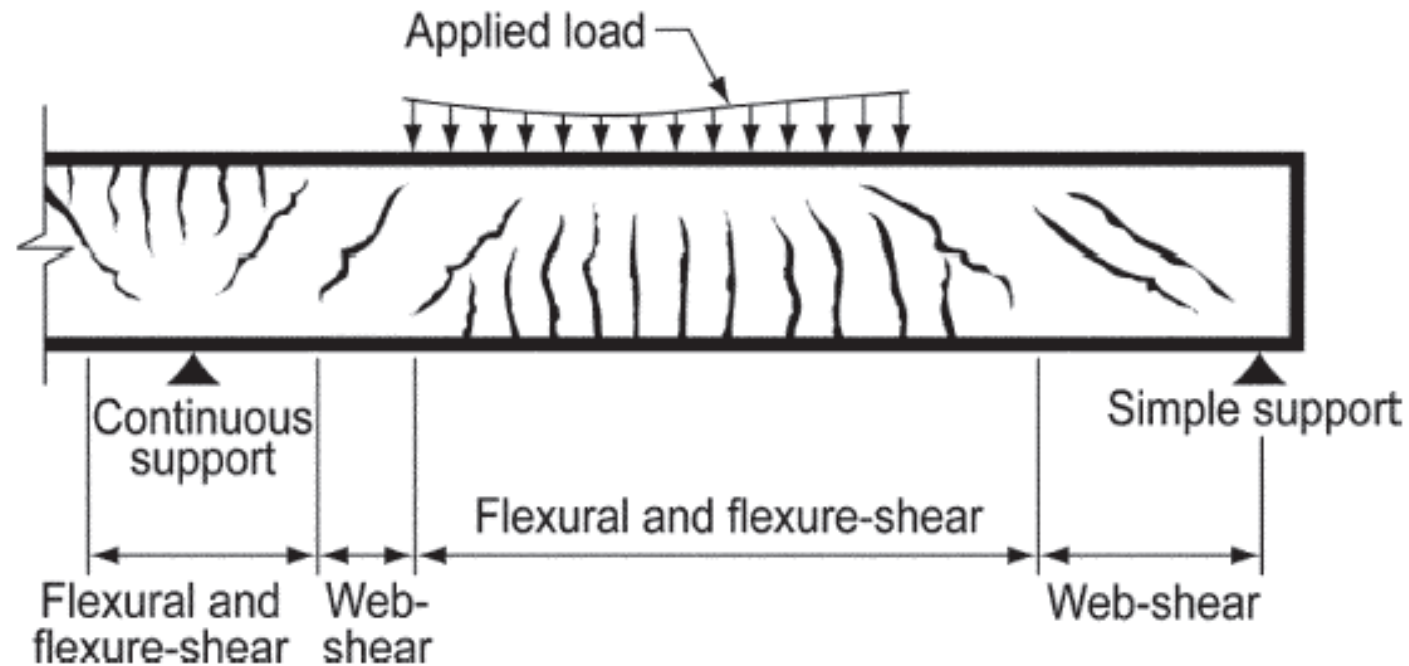
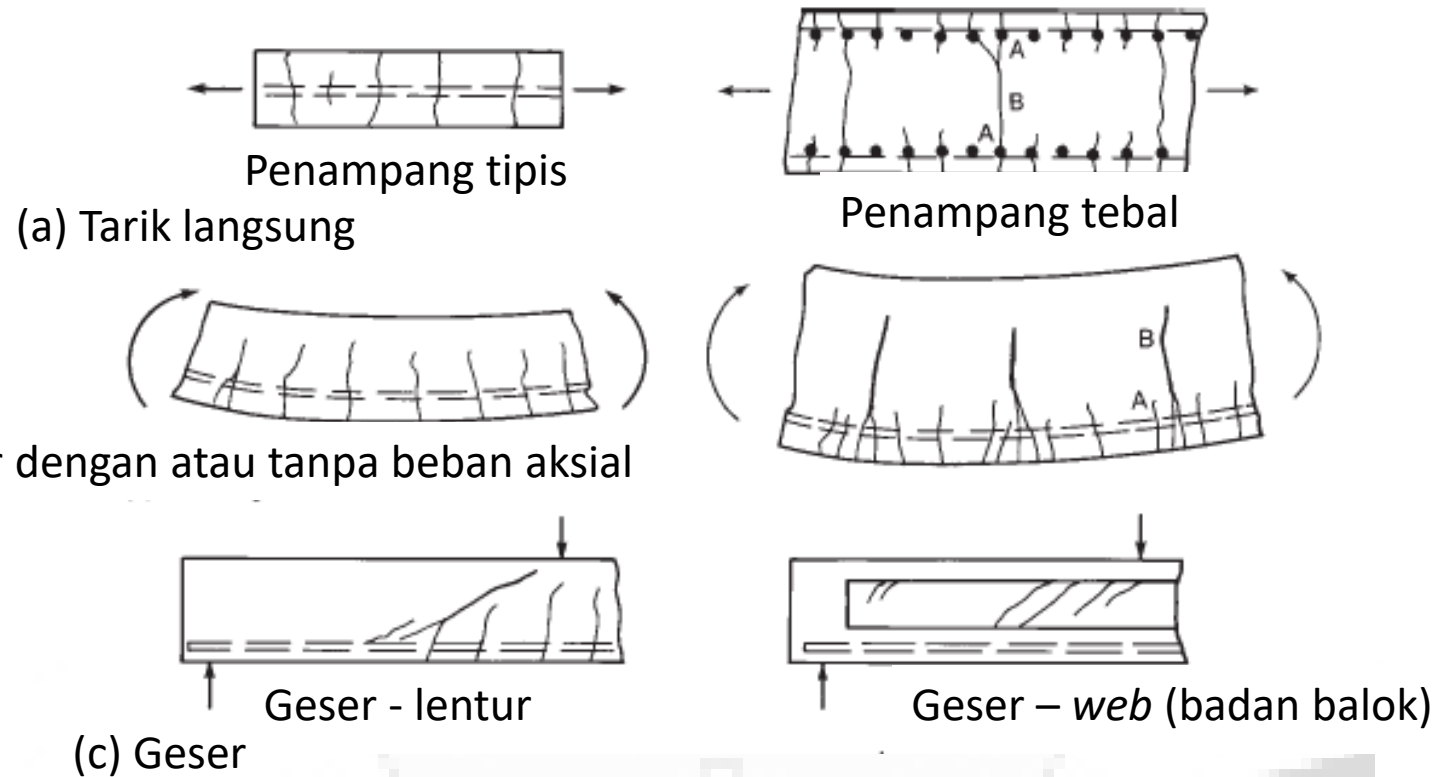


Fig. R22.5.8.3—Types of cracking in concrete beams.

Sumber: ACI Committee 318, (2014)

Jenis retak

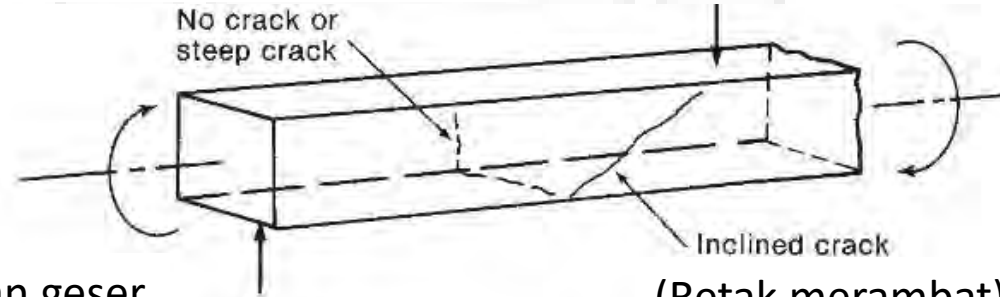


Beban yang menyebabkan retak

Image credit: Wight, 2016

Jenis retak

(Tidak ada retak atau retak curam)



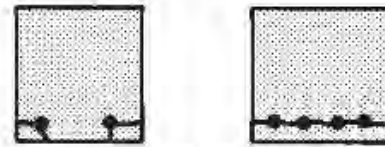
(d) Torsi dan geser

(Retak merambat)



Bond cracks

(d) Retak lekatan (*bond crack*)



Penampang

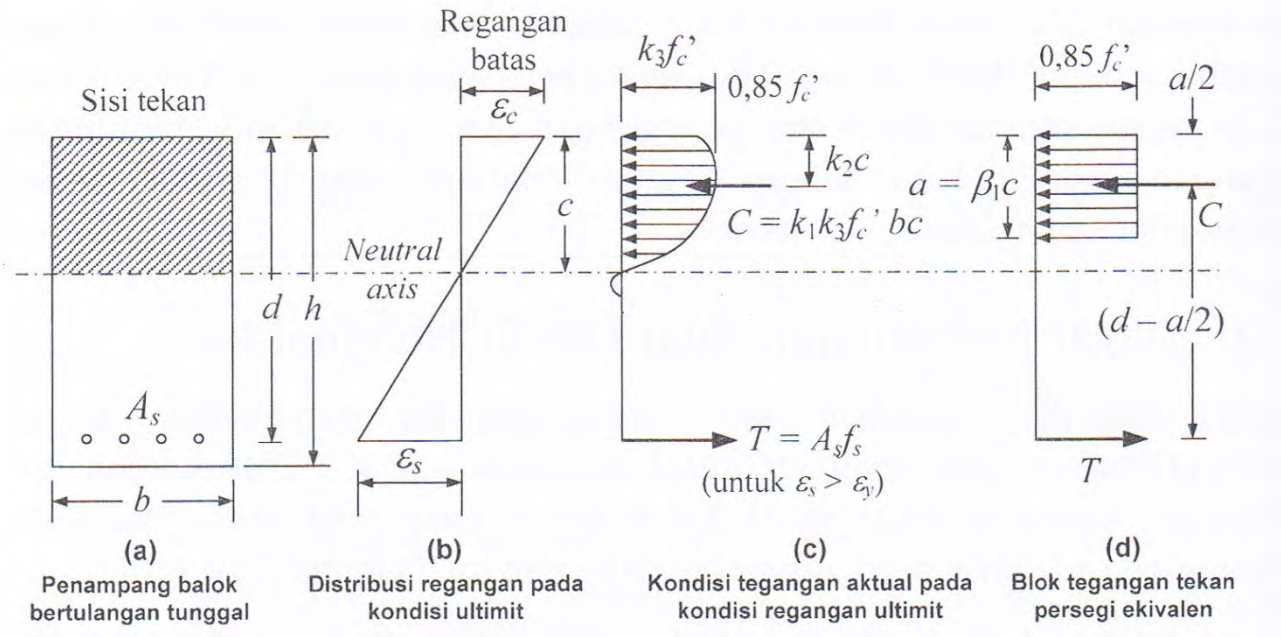


(f) Beban terpusat

Beban yang menyebabkan retak

Image credit: Wight, 2016

Balok Lentur Tulangan Tunggal



Blok tegangan persegi ekuivalen

Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014

Keterangan:

b : lebar penampang balok yang tertekan (mm)

d : tinggi penampang balok efektif dari tepi luar serat tertekan ke titik berat penampang baja tulangan tarik (mm)

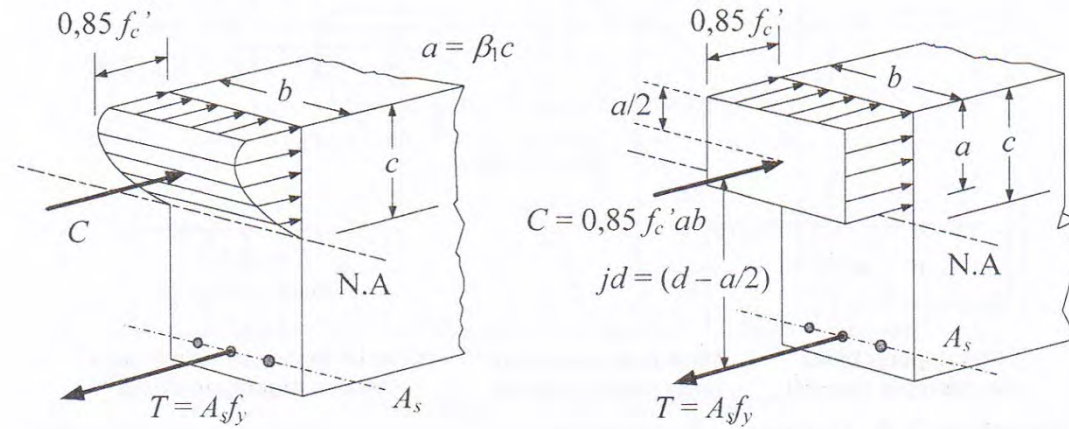
h : tinggi total balok (mm)

A_s : luas tulangan tarik (mm²)

ε_c : regangan pada tepi serat yang tertekan (mm/mm)

ε_s : regangan pada level baja tulangan yang tertarik (mm/mm)

Balok Lentur Tulangan Tunggal



Blok tegangan ekuivalen

Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014

Keterangan (lanjutan):

f_c' : kekuatan tekan beton karakteristik (MPa)

f_y : kekuatan leleh baja tulangan tarik (MPa)

c : jarak garis netral diukur dari serat terluar yang tertekan (mm)

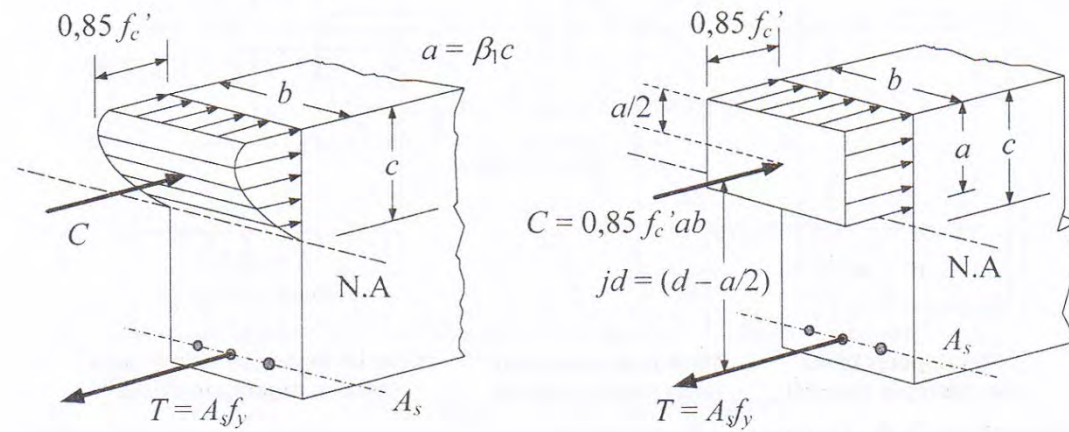
k_1 : rasio tegangan tekan rata-rata terhadap tegangan maksimum (rasio luas tegangan yang diarsir pada gambar Blok tegangan persegi ekuivalen (c) terhadap luas segi empat $c k_3 f_c'$)

k_2 : rasio jarak antara serat tekan ekstrim ke resultan gaya tekan terhadap tinggi daerah tekan, c .

k_3 : rasio tegangan maksimum f_c'' pada zona tekan, terhadap kuat silinder beton, f_c' ;

$k_3 = f_c'' / f_c'$

Balok Lentur Tulangan Tunggal



Blok tegangan ekuivalen

Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014

Agar keseimbangan gaya horisontal terpenuhi, maka: $C = T$

$$C = 0,85 f'_c b a$$

maka:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

Balok Lentur Tulangan Tunggal

Kekuatan penampang balok berupa momen nominal:

$$M_n = A_s f_y j d$$
$$M_n = (0,85 f'_c b a) j d$$

dengan $j d$ adalah lengan momen yaitu jarak antara gaya tarik dengan gaya tekan yang membentuk kopel.

maka:

$$j d = d - \frac{a}{2}$$
$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Karena $C = T$, maka:

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

ILMU ALAT PENGABDIAN

Kombinasi Pembebanan

Tabel 5.3.1 – Kombinasi beban

Kombinasi beban	Persamaan	Beban utama
$U = 1,4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	(5.3.1e)	E
$U = 0,9D + 1,0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0,9D + 1,0E$	(5.3.1g)	E

Kombinasi pembebanan menurut SNI 2847:2019
Pasal 5.3.1:

dengan:

U : beban *ultimate*

D : beban mati (akibat berat sendiri struktur dan beban mati lainnya)

L : beban hidup

L_r : beban hidup di atap

R : beban hujan

W : beban angin

E : beban gempa

Maka: $M_u = 1,2 M_D + 1,6 M_L$ jika beban hidup di atap dan beban air hujan diabaikan, demikian pula untuk kombinasi pembebanan lainnya.

M_D : momen akibat berat sendiri struktur dan beban mati lainnya

M_L : momen akibat beban hidup

Penampang *Balance*

Terdapat tiga macam jenis keruntuhan balok berdasarkan regangan *ultimate* yang terjadi (apakah terjadi leleh tulangan tarik atau hancurnya beton yang tertekan):

1. *Balanced failure* pada penampang *balance*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan; $\varepsilon_s = f_y/E_s = 400/(2 \times 10^5) = 0,002$; $\varepsilon_{cu} = 0,003$.

2. *Compression failure* pada penampang *over-reinforced*

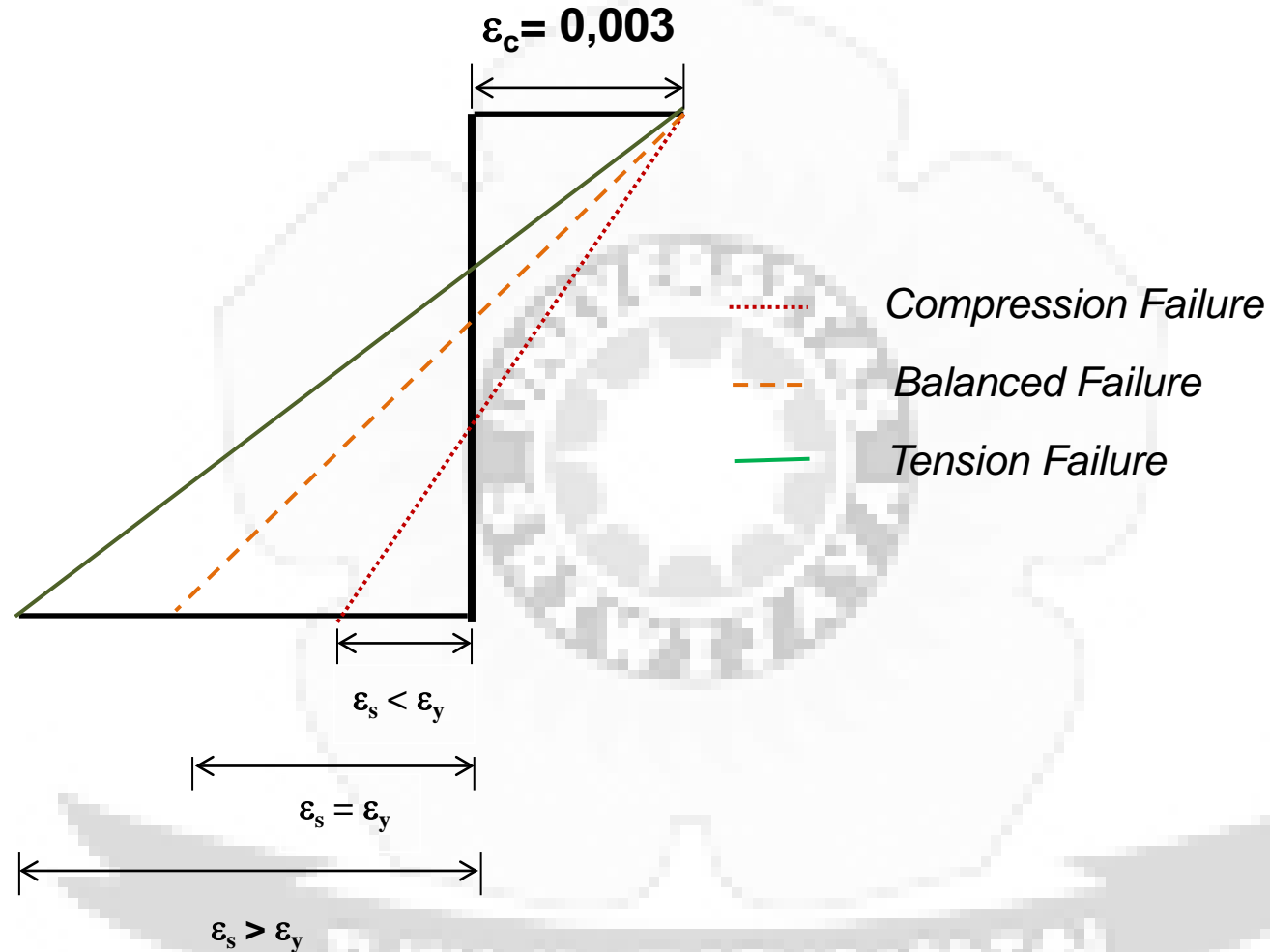
Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan tarik baja ε_s lebih kecil dari regangan leleh ε_y . Kondisi ini terjadi jika luas tulangan tarik lebih besar dari luas tulangan *balance*.

3. ***Tension failure*** pada penampang ***under-reinforced*** adalah jenis keruntuhan yang dikehendaki

karena terdapat tanda berupa lendutan balok sebelum tulangan putus.

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja tarik yang kemudian terus mengalami regangan di atas nilai ε_y .

Penampang *Balance*



Distribusi regangan beton tekan dan baja tarik

Penampang *Balance*

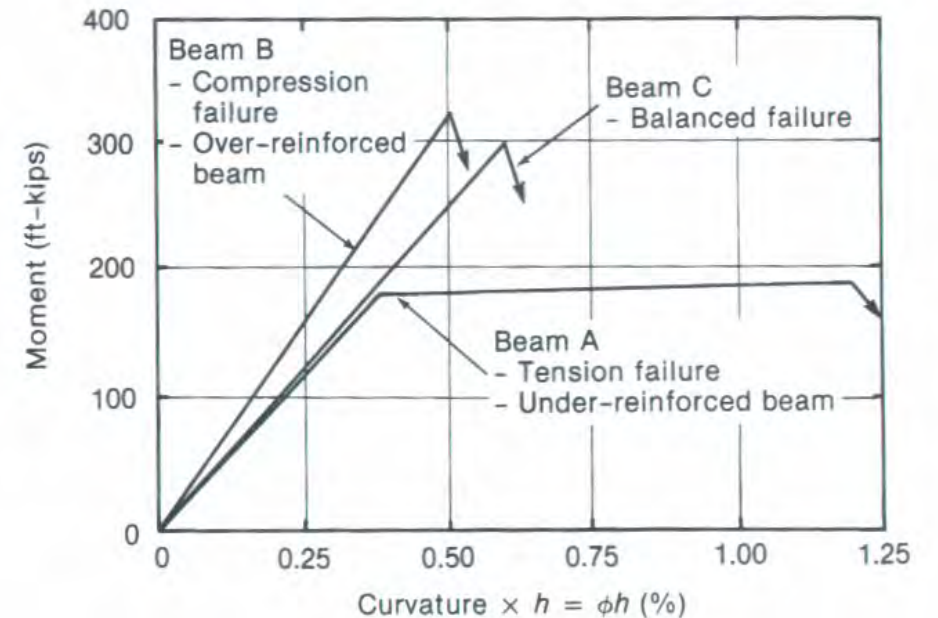
Tipe keruntuhan yang aman adalah ***tension failure*** pada penampang ***under-reinforced***

Pada kondisi *ultimate*:

$$f_s = f_y \text{ dan}$$

$$\epsilon_s \gg \epsilon_y$$

Keruntuhan bersifat duktail dan struktur masih dapat berdefleksi



ILMU ALAT PENGABDIAN

Penampang *Balance*

Menurut peraturan SNI 03-2847-2013 dan ACI 318-14, rasio tulangan tarik harus lebih kecil dari 0,75 rasio tulangan *balanced* (ρ_b):

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \leq 0,75 \rho_b$$

Agar tulangan tidak terlalu rapat dan memudahkan pengecoran, umumnya digunakan nilai rasio tulangan:

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \leq 0,50 \rho_b$$

Dengan prinsip perbandingan segitiga, tinggi sumbu netral *balance* (c_b):

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

Jika $E_s = 2 \times 10^5$ MPa, maka:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{600}{600 + f_y}$$

Penampang *Balance*

Hubungan antara tinggi blok tegangan tekan penampang segi empat ekuivalen (a) dan tinggi sumbu netral (c) adalah:

$$a = \beta_1 c$$

Faktor pengali tinggi blok tegangan tekan (β_1) adalah (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3):

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\text{untuk } 17 \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65 \text{ untuk } 28 < f'_c < 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,65$$

$$\text{untuk } 55 \text{ MPa} \leq f'_c$$

Untuk kondisi *balance*:

$$a_b = \beta_1 c_b$$

Penampang *Balance*

Keseimbangan gaya horisontal kondisi *balance* adalah:

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

Rasio tulangan kondisi *balanced* adalah:

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2, luas tulangan minimum untuk momen nominal lebih kecil dari momen retak (*crack*), $M_n < M_{cr}$:

$$A_{s-min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

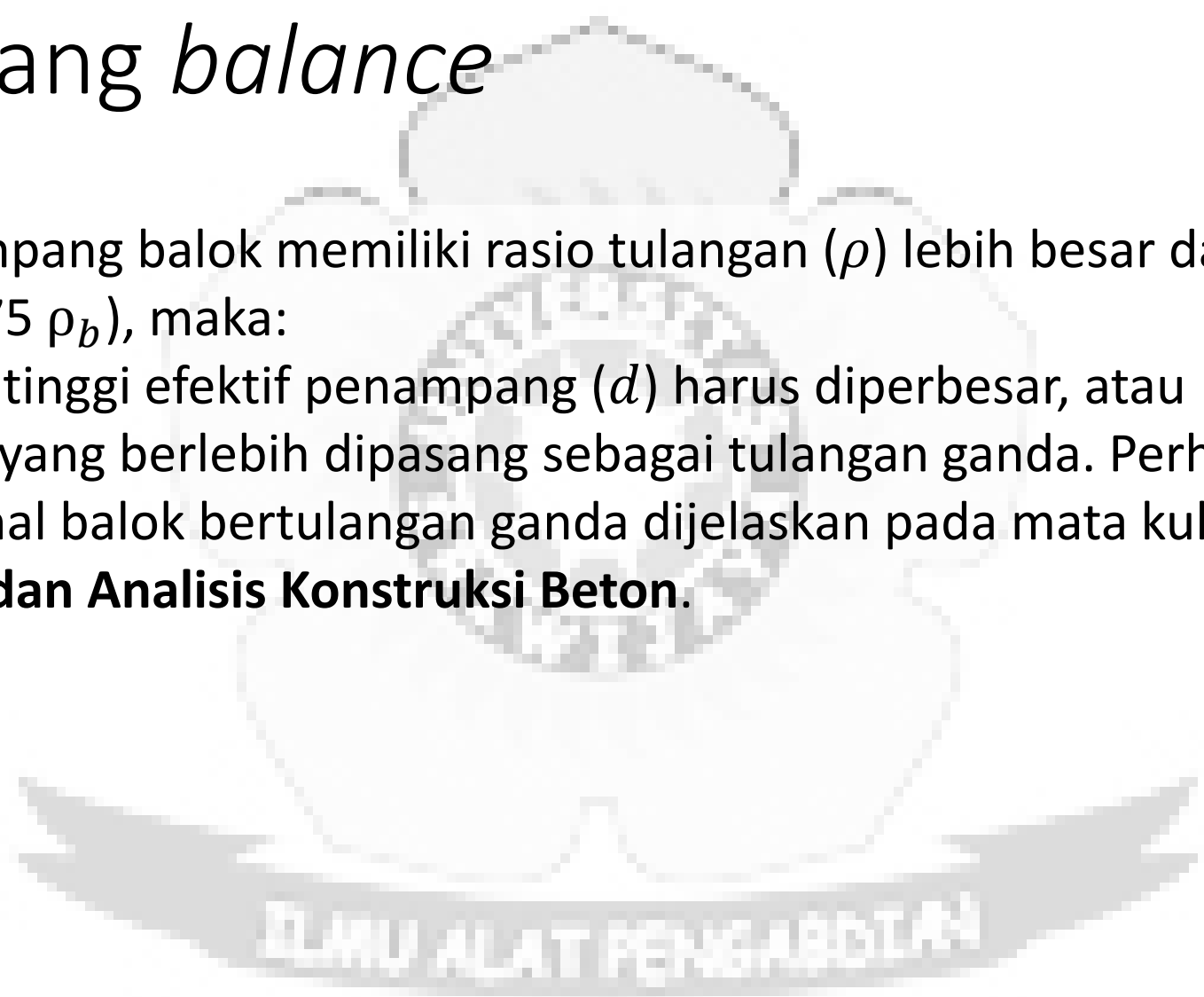
dan tidak lebih kecil dari:

$$A_{s-min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Penampang *balance*

Jika suatu penampang balok memiliki rasio tulangan (ρ) lebih besar daripada ketentuan ($\geq 0,75 \rho_b$), maka:

- Lebar (b) atau tinggi efektif penampang (d) harus diperbesar, atau
- Luas tulangan yang berlebih dipasang sebagai tulangan ganda. Perhitungan momen nominal balok bertulangan ganda dijelaskan pada mata kuliah **Perencanaan dan Analisis Konstruksi Beton.**





Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta.
- Budiono, B., (2014), *Struktur Beton Lanjut*, materi kuliah, Magister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), *Prestressed Concrete Structures*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Wight, J.K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



TKS2210

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Peraturan Beton di Indonesia

- Peraturan Beton Bertulang Indonesia (**PBI 1971 N.I.-2**)
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 03-1734-1989** Tata cara perencanaan beton bertulang dan struktur dinding bertulang untuk rumah dan gedung
- Departemen Pekerjaan Umum: **SK.SNI T-15-1991-03** Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 03-2847-2002** Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung berdasarkan beberapa SNI lain dan beberapa American Standard
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 2847:2013** Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung (berdasarkan pada **ACI 318-08** Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary)
- Badan Standar Nasional (BSN): **SNI 2847:2019** berdasarkan **ACI 318-14** Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary).

**BERLAKU
SAAT INI**

Teori balok elastik

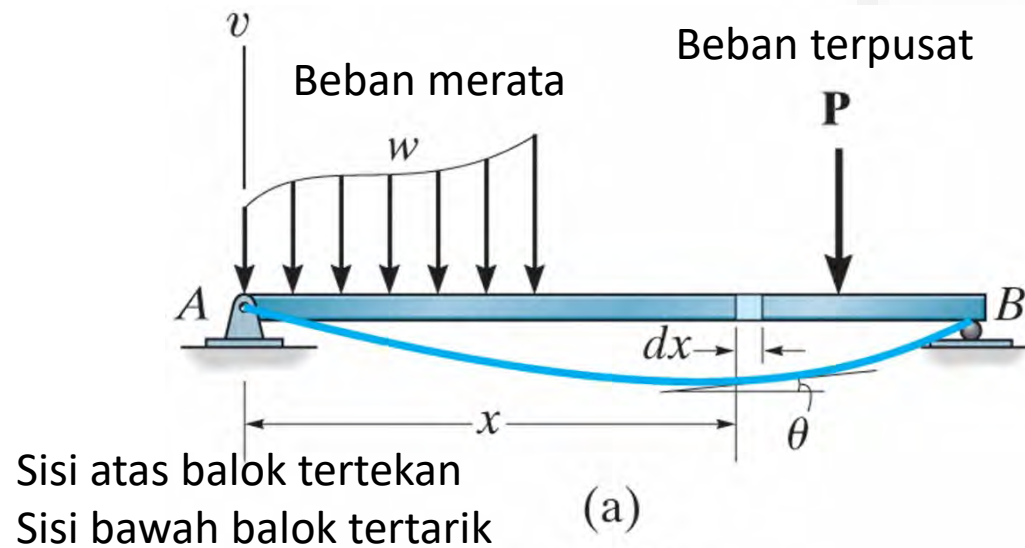
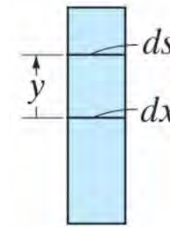


Figure: 08-07A

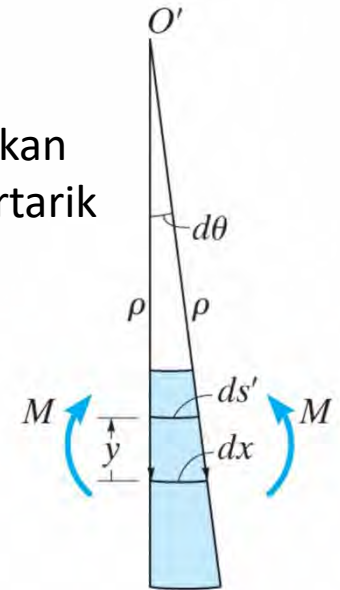
Copyright © 2009 Pearson Prentice Hall, Inc.

Balok di atas dua tumpuan

Sisi atas balok tertekan
Sisi bawah balok tertarik



before deformation



after deformation

(b)

Figure: 08-07B

Copyright © 2009 Pearson Prentice Hall, Inc.

dengan:

ρ : radius kelengkungan (*curvature*) di titik tertentu pada kurva elastik (mm)

$\frac{1}{\rho}$: kelengkungan (*curvature*) (mm^{-1})

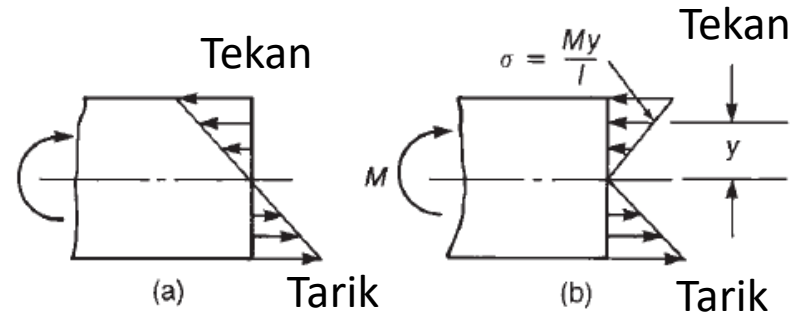
M : momen yang terjadi pada balok pada lokasi radius kelengkungan (N)

E : modulus elastisitas material (MPa atau N/mm^2)

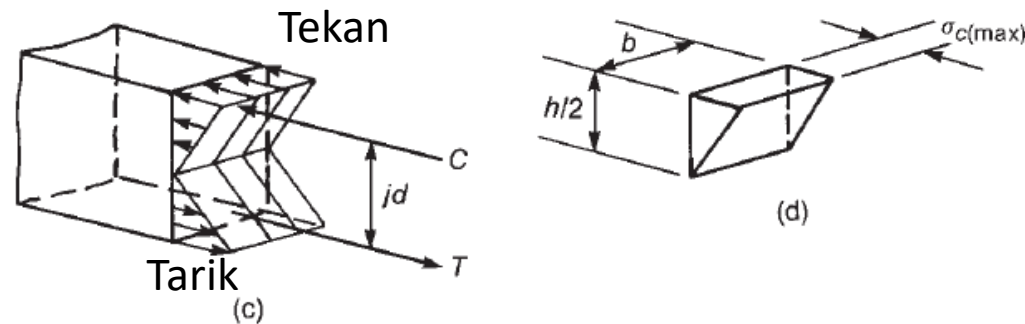
I : momen inersia balok yang dihitung pada sumbu netral (mm^4)

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Momen lentur pada penampang balok



Sisi atas balok tertekan
Sisi bawah balok tertarik



Tegangan balok elastik dan *stress block*

Sumber: Wight, 2016

ILMU ALAT PENGABDIAN

Jenis retak

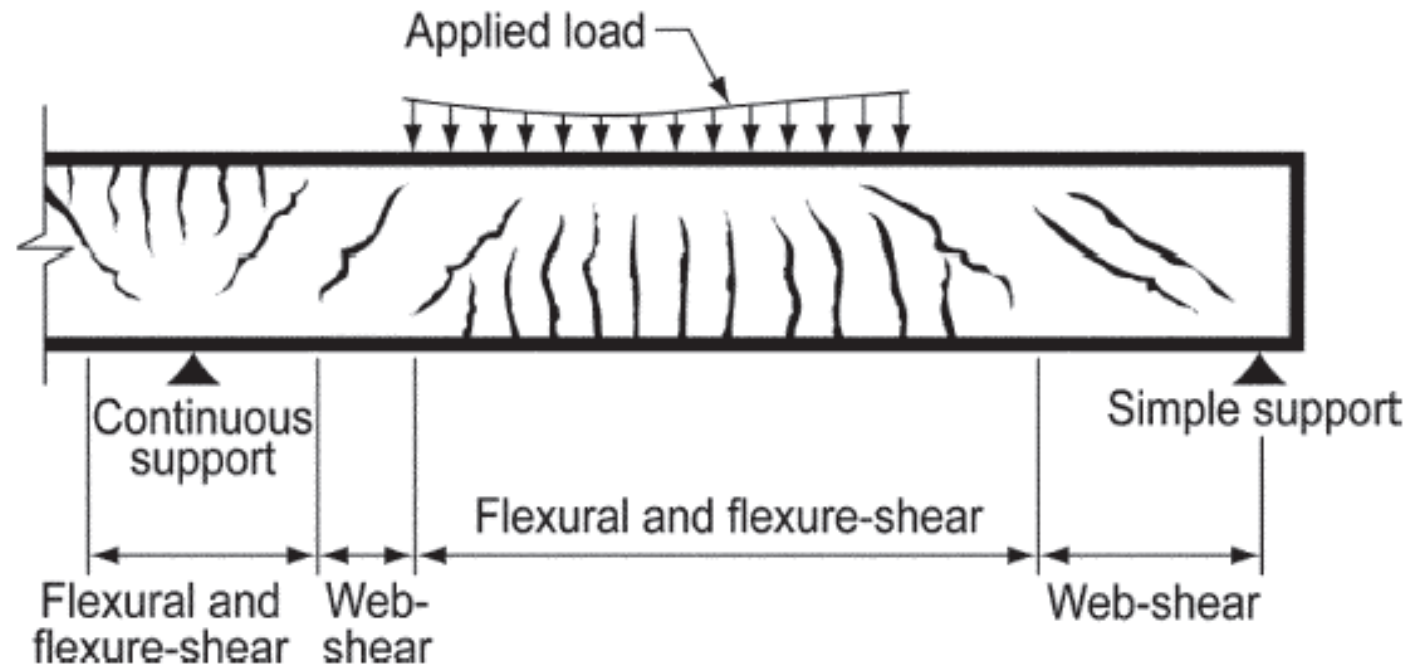
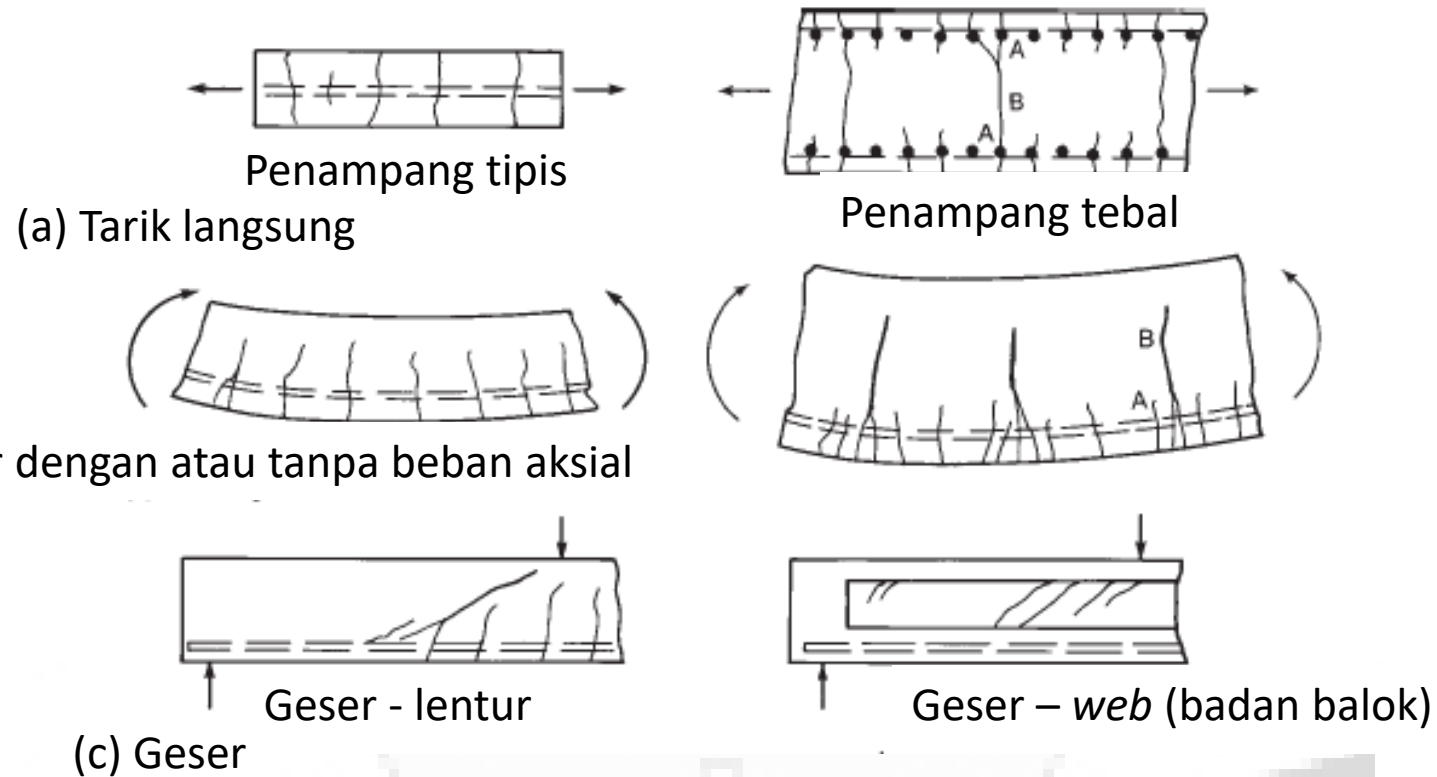


Fig. R22.5.8.3—Types of cracking in concrete beams.

Sumber: ACI Committee 318, (2014)

Jenis retak

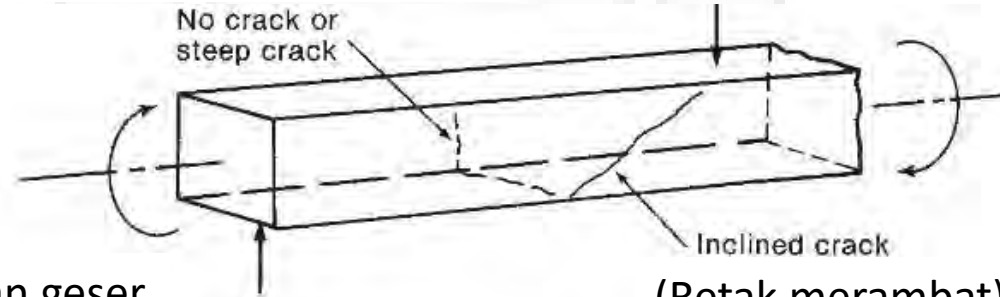


Beban yang menyebabkan retak

Image credit: Wight, 2016

Jenis retak

(Tidak ada retak atau retak curam)



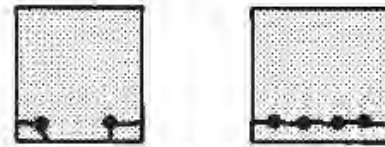
(d) Torsi dan geser

(Retak merambat)



(d) Retak lekatan (*bond crack*)

Bond cracks



Penampang

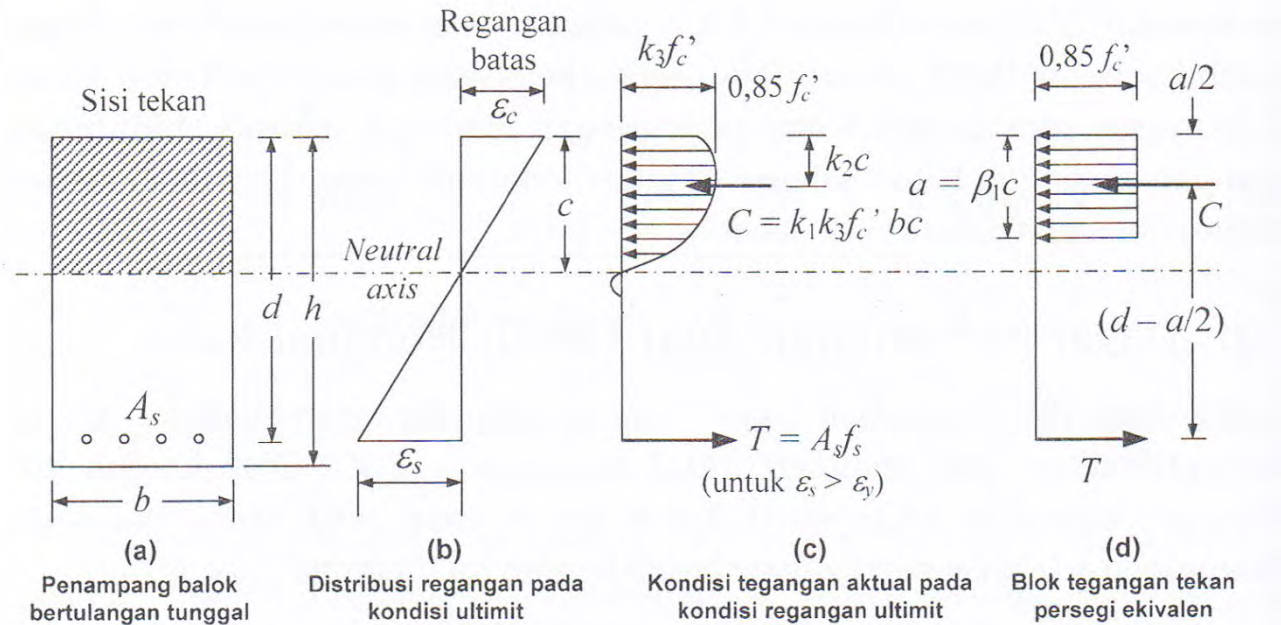


(f) Beban terpusat

Beban yang menyebabkan retak

Image credit: Wight, 2016

Balok Lentur Tulangan Tunggal



Blok tegangan persegi ekuivalen

Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014

Keterangan:

b : lebar penampang balok yang tertekan (mm)

d : tinggi penampang balok efektif dari tepi luar serat tertekan ke titik berat penampang baja tulangan tarik (mm)

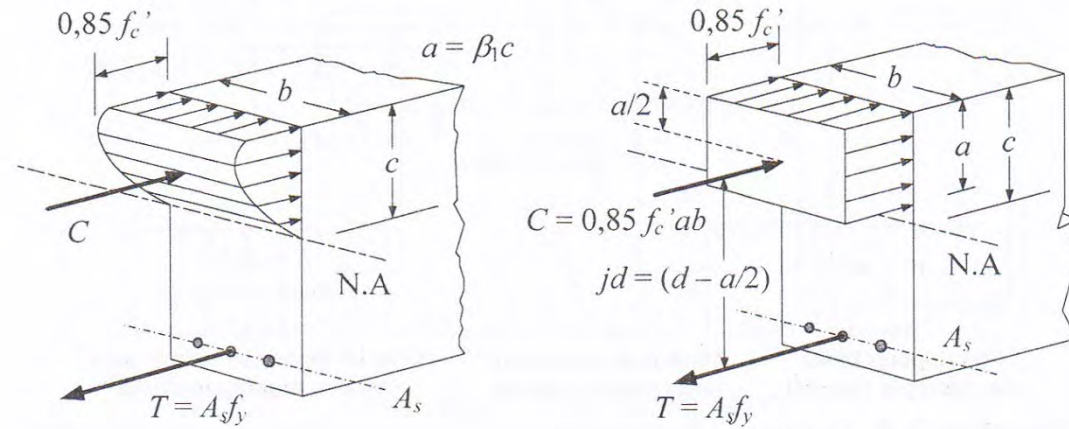
h : tinggi total balok (mm)

A_s : luas tulangan tarik (mm²)

ε_c : regangan pada tepi serat yang tertekan (mm/mm)

ε_s : regangan pada level baja tulangan yang tertarik (mm/mm)

Balok Lentur Tulangan Tunggal



Blok tegangan ekuivalen

Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014

Keterangan (lanjutan):

f_c' : kekuatan tekan beton karakteristik (MPa)

f_y : kekuatan leleh baja tulangan tarik (MPa)

c : jarak garis netral diukur dari serat terluar yang tertekan (mm)

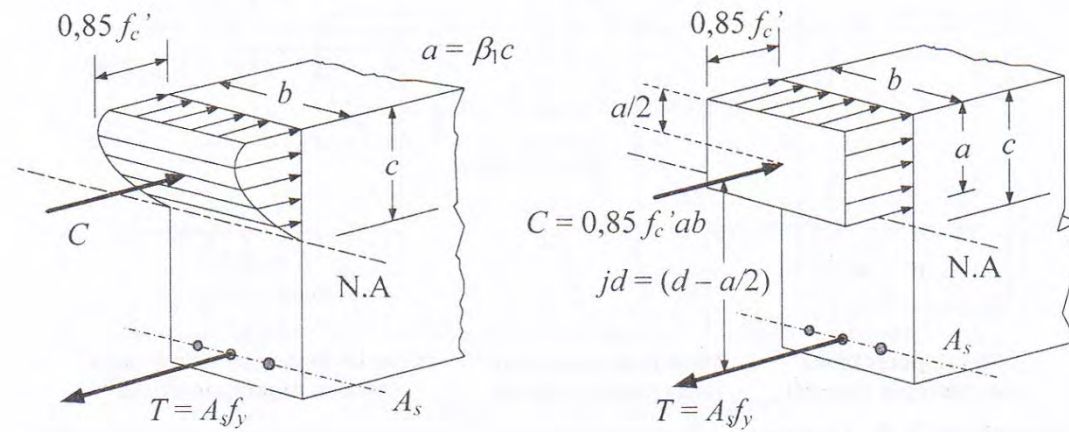
k_1 : rasio tegangan tekan rata-rata terhadap tegangan maksimum (rasio luas tegangan yang diarsir pada gambar Blok tegangan persegi ekuivalen (c) terhadap luas segi empat $c k_3 f_c'$)

k_2 : rasio jarak antara serat tekan ekstrim ke resultan gaya tekan terhadap tinggi daerah tekan, c .

k_3 : rasio tegangan maksimum f_c'' pada zona tekan, terhadap kuat silinder beton, f_c' ;

$k_3 = f_c'' / f_c'$

Balok Lentur Tulangan Tunggal



Blok tegangan ekuivalen

Sumber: Imran dan Zulkifli, 2014

Agar keseimbangan gaya horisontal terpenuhi, maka: $C = T$

$$C = 0,85 f'_c b a$$

maka:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

Balok Lentur Tulangan Tunggal

Kekuatan penampang balok berupa momen nominal:

$$M_n = A_s f_y j d$$
$$M_n = (0,85 f'_c b a) j d$$

dengan $j d$ adalah lengan momen yaitu jarak antara gaya tarik dengan gaya tekan yang membentuk kopel.

maka:

$$j d = d - \frac{a}{2}$$
$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Karena $C = T$, maka:

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

ILMU ALAT PENGABDIAN

Kombinasi Pembebanan

Tabel 5.3.1 – Kombinasi beban

Kombinasi beban	Persamaan	Beban utama
$U = 1,4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	(5.3.1e)	E
$U = 0,9D + 1,0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0,9D + 1,0E$	(5.3.1g)	E

Kombinasi pembebanan menurut SNI 2847:2019
Pasal 5.3.1:

dengan:

U : beban *ultimate*

D : beban mati (akibat berat sendiri struktur dan beban mati lainnya)

L : beban hidup

L_r : beban hidup di atap

R : beban hujan

W : beban angin

E : beban gempa

Maka: $M_u = 1,2 M_D + 1,6 M_L$ jika beban hidup di atap dan beban air hujan diabaikan, demikian pula untuk kombinasi pembebanan lainnya.

M_D : momen akibat berat sendiri struktur dan beban mati lainnya

M_L : momen akibat beban hidup

Penampang *Balance*

Terdapat tiga macam jenis keruntuhan balok berdasarkan regangan *ultimate* yang terjadi (apakah terjadi leleh tulangan tarik atau hancurnya beton yang tertekan):

1. *Balanced failure* pada penampang *balance*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan; $\varepsilon_s = f_y/E_s = 400/(2 \times 10^5) = 0,002$; $\varepsilon_{cu} = 0,003$.

2. *Compression failure* pada penampang *over-reinforced*

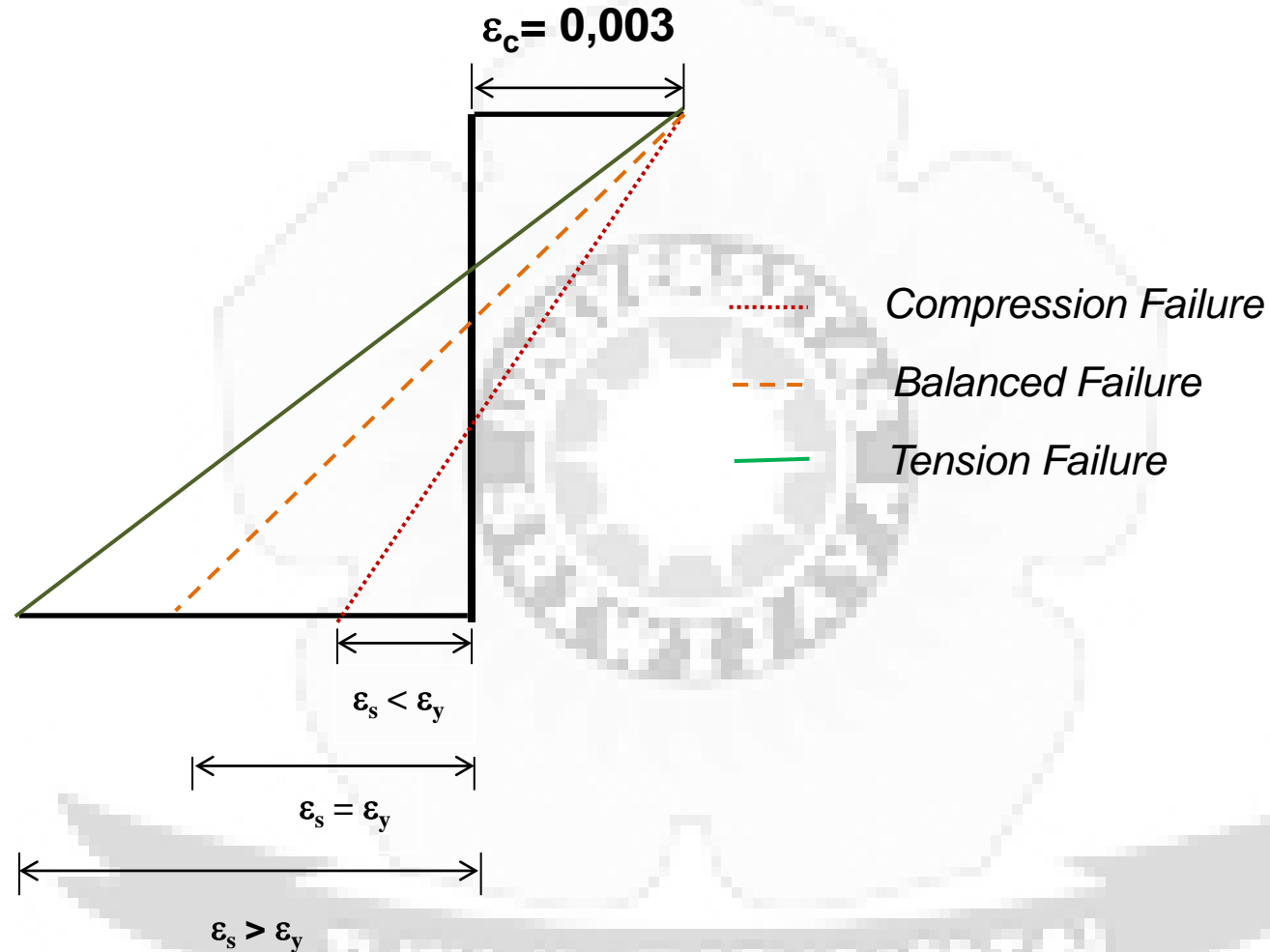
Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan tarik baja ε_s lebih kecil dari regangan leleh ε_y . Kondisi ini terjadi jika luas tulangan tarik lebih besar dari luas tulangan *balance*.

3. ***Tension failure*** pada penampang ***under-reinforced*** adalah jenis keruntuhan yang dikehendaki

karena terdapat tanda berupa lendutan balok sebelum tulangan putus.

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja tarik yang kemudian terus mengalami regangan di atas nilai ε_y .

Penampang *Balance*



Distribusi regangan beton tekan dan baja tarik

Penampang *Balance*

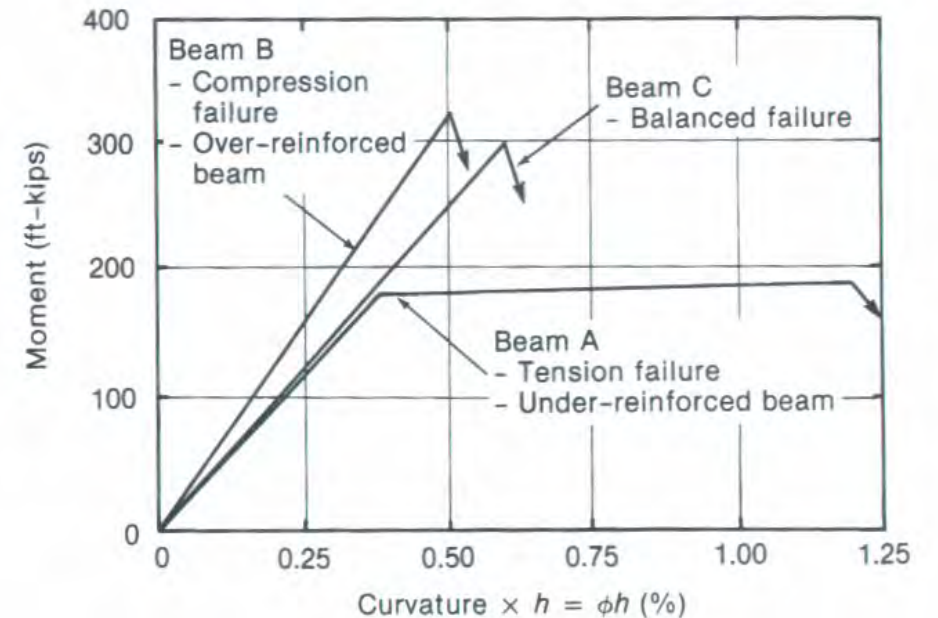
Tipe keruntuhan yang aman adalah ***tension failure*** pada penampang ***under-reinforced***

Pada kondisi *ultimate*:

$$f_s = f_y \text{ dan}$$

$$\epsilon_s \gg \epsilon_y$$

Keruntuhan bersifat duktail dan struktur masih dapat berdefleksi



ILMU ALAT PENGABDIAN

Penampang *Balance*

Menurut peraturan SNI 2847:2019 dan ACI 318-14, rasio tulangan tarik harus lebih kecil dari 0,75 rasio tulangan *balanced* (ρ_b):

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \leq 0,75 \rho_b$$

Agar tulangan tidak terlalu rapat dan memudahkan pengecoran, umumnya digunakan nilai rasio tulangan:

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \leq 0,50 \rho_b$$

Dengan prinsip perbandingan segitiga, tinggi sumbu netral *balance* (c_b):

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

Jika $E_s = 2 \times 10^5$ MPa, maka:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{600}{600 + f_y}$$

Penampang *Balance*

Hubungan antara tinggi blok tegangan tekan penampang segi empat ekuivalen (a) dan tinggi sumbu netral (c) adalah:

$$a = \beta_1 c$$

Faktor pengali tinggi blok tegangan tekan (β_1) adalah (SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3):

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\text{untuk } 17 \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0,65 \text{ untuk } 28 < f'_c < 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,65$$

$$\text{untuk } 55 \text{ MPa} \leq f'_c$$

Untuk kondisi *balance*:

$$a_b = \beta_1 c_b$$

Penampang *Balance*

Keseimbangan gaya horisontal kondisi *balance* adalah:

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

Rasio tulangan kondisi *balanced* adalah:

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2, luas tulangan minimum untuk momen nominal lebih kecil dari momen retak (*crack*), $M_n < M_{cr}$:

$$A_{s-min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

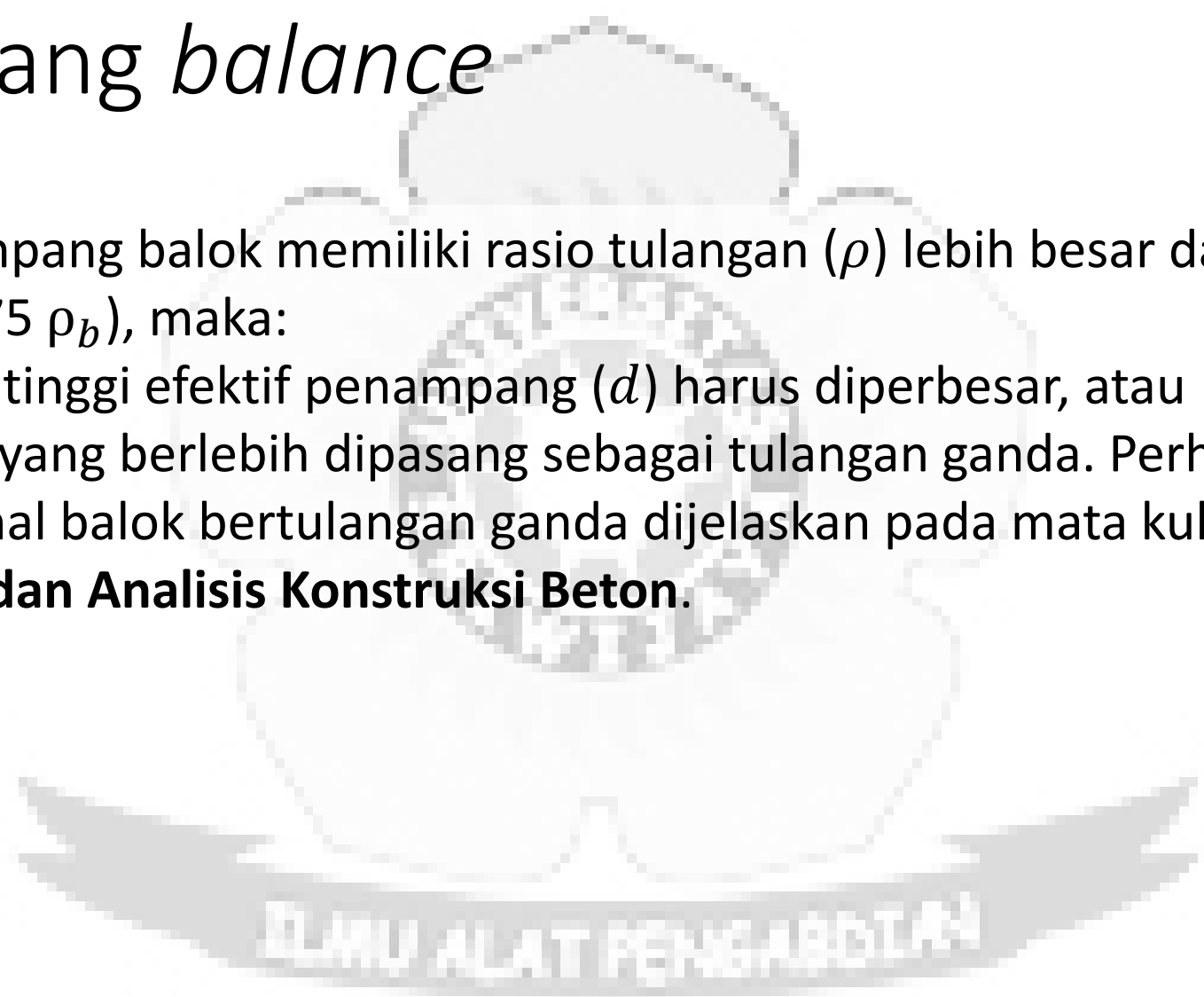
dan tidak lebih kecil dari:

$$A_{s-min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Penampang *balance*

Jika suatu penampang balok memiliki rasio tulangan (ρ) lebih besar daripada ketentuan ($\geq 0,75 \rho_b$), maka:

- Lebar (b) atau tinggi efektif penampang (d) harus diperbesar, atau
- Luas tulangan yang berlebih dipasang sebagai tulangan ganda. Perhitungan momen nominal balok bertulangan ganda dijelaskan pada mata kuliah **Perencanaan dan Analisis Konstruksi Beton.**





Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- ACI Committee 318, (2019): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta.
- Budiono, B., (2014), *Struktur Beton Lanjut*, materi kuliah, Magister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), *Prestressed Concrete Structures*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Wight, J.K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

Phone: 081373672011

E-mail: hana.program.17@gmail.com

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Contoh Soal Balok Lentur Tulangan Tunggal

Data:

$b = b_w = 250$ mm (lebar penampang balok yang tertekan)

$h = 575$ mm (tinggi penampang balok)

Cover (selimut beton) = 54 mm

$\epsilon_{cu} = 0,003$ (regangan *ultimate* beton normal)

$E_s = 200.000$ MPa

$f_y = 400$ MPa (tegangan leleh baja)

$A_s = 3 \text{ D}22 = 1140,40 \text{ mm}^2$ (luas tulangan tarik)

$\phi = 10$ mm, spasi = 200 mm

$f'_c = 20$ MPa (kuat tekan beton karakteristik)

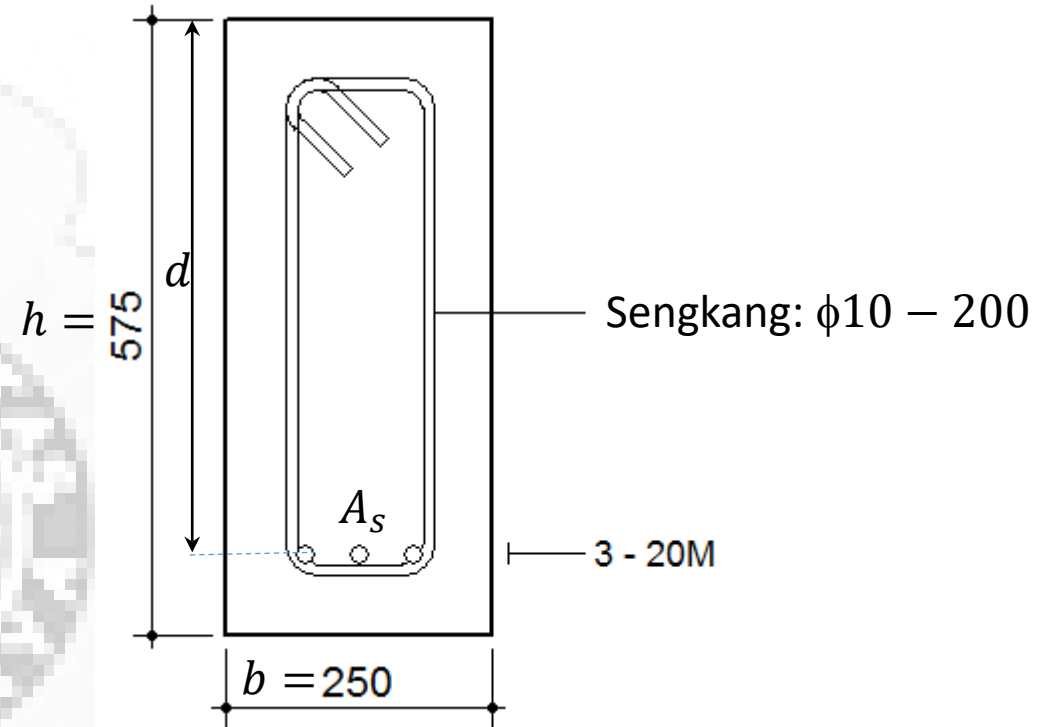
$M_D = 60$ kN.m (momen akibat beban mati)

$M_L = 65$ kN.m (momen akibat beban hidup)

$\phi_l = 0,90$ (asumsi)

Asumsi: tulangan tarik leleh, sehingga $\epsilon_s = \epsilon_y$ dan $f_s = f_y$

Cek apakah kapasitas momen nominal penampang cukup kuat untuk menahan momen *ultimate* terfaktor.



Contoh Soal Balok Lentur Tulangan Tunggal

- ❖ Tinggi efektif dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik:

$$d = h - \text{cover beton} - \text{diameter sengkang} - \frac{\text{diameter tulangan}}{2} = 575 - 54 - 10 - \frac{22}{2} = 500 \text{ mm}$$

- ❖ Cek apakah tulangan *under-reinforced* atau *over-reinforced*

$$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{1140,40}{250 \times 500} = 0,91\%$$

Karena $17 < f'_c \leq 28$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \frac{0,85 (20)}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 2,17\%$$

dan $0,75\rho_b = 1,63\%$; $0,50\rho_b = 1,09\%$

Karena $\rho < 0,75\rho_b$, maka balok termasuk *under-reinforced* (OK!) dan karena $\rho < 0,50\rho_b$, maka balok termasuk ideal dan memenuhi syarat tulangan *under-reinforced* (OK!). Jika $\rho < 0,75\rho_b$ dan $\rho > 0,50\rho_b$, maka balok termasuk tidak ideal tetapi memenuhi syarat tulangan *under-reinforced* (OK juga!)

Catatan: jika $\rho < 0,50\rho_b$ mempermudah proses pengecoran karena tulangan tidak terlalu rapat.

- ❖ Hitung a dan a_b

Karena asumsi tulangan tarik leleh, maka $f_s = f_y$, sehingga persamaan berikut dapat digunakan:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{114,40(400)}{0,85 (20) 250} = 107,33 \text{ mm}$$

$$a_b = \frac{A_{sb} f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{\rho_b b d f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2,17\% (250) 500 (400)}{0,85 (20) 250} = 255 \text{ mm}$$

- ❖ Cek apakah tulangan tarik benar telah leleh:

$$\frac{a}{d} = \frac{107,33}{500} = 0,215 \text{ dan } \frac{a_b}{d} = \frac{255}{500} = 0,510$$

Karena $\left(\frac{a}{d}\right) \leq \left(\frac{a_b}{d}\right)$, maka asumsi tulangan leleh sudah benar.

Contoh Soal Balok Lentur Tulangan Tunggal

$$\text{❖ Cek } A_{s-\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{20}}{400} 250 (500) = 349,40 \text{ mm}^2$$

$$\text{dan } A_{s-\min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} (250) (500) = 437,50 \text{ mm}^2$$

Ambil yang terbesar: $A_{s-\min} = 437,50 \text{ mm}^2$

$$A_s = 1140,4 > A_{s-\min} = 437,50 \text{ (OK)}$$

❖ Kapasitas momen nominal penampang:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1140,40 (400) \left(500 - \frac{107,33}{2} \right) = 203,60 \times 10^6 \text{ N.mm} = 203,60 \text{ kN.m}; \text{ atau}$$

$$M_n = 0,85 f'_c b_w a \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,85 (20) (250) (107,33) \left(500 - \frac{107,33}{2} \right) = 203,60 \times 10^6 \text{ N.mm} = 203,60 \text{ kN.m}$$

$$\phi_l M_n = 0,90 (203,60) = 183,24 \text{ kN.m}$$

❖ Momen *ultimate* yang ditahan oleh balok yang menahan momen akibat *Dead Load* dan *Life Load*:

$$M_U = 1,2 M_D + 1,6 M_L = 1,2 (60) + 1,6 (65) = 176 \text{ kN.m}$$

Karena $\phi_l M_n > M_u$, maka balok cukup kuat menahan momen *ultimate*.

ILMU ALAT PENGABDIAN



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), “*Prestressed Concrete Structures*”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



TKS2210

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.
Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Contoh Soal Balok Lentur Tulangan Tunggal

Data:

$b = b_w = 250$ mm (lebar penampang balok yang tertekan)

$h = 575$ mm (tinggi penampang balok)

Cover (selimut beton) = 54 mm

$\epsilon_{cu} = 0,003$ (regangan *ultimate* beton normal)

$E_s = 200.000$ MPa

$f_y = 400$ MPa (tegangan leleh baja)

$A_s = 3 \text{ D}22 = 1140,40 \text{ mm}^2$ (luas tulangan tarik)

$\phi = 10$ mm, spasi = 200 mm

$f'_c = 20$ MPa (kuat tekan beton karakteristik)

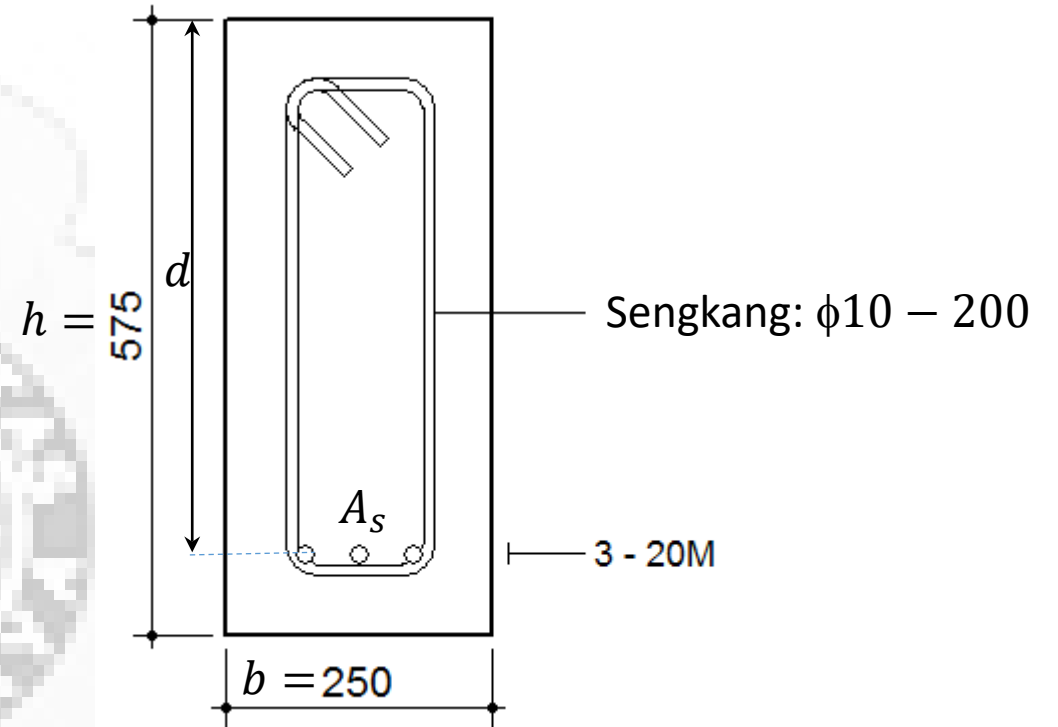
$M_D = 60$ kN.m (momen akibat beban mati)

$M_L = 65$ kN.m (momen akibat beban hidup)

$\phi_l = 0,90$ (asumsi)

Asumsi: tulangan tarik leleh, sehingga $\epsilon_s = \epsilon_y$ dan $f_s = f_y$

Cek apakah kapasitas momen nominal penampang cukup kuat untuk menahan momen *ultimate* terfaktor.



Contoh Soal Balok Lentur Tulangan Tunggal

- ❖ Tinggi efektif dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik:

$$d = h - \text{cover beton} - \text{diameter sengkang} - \frac{\text{diameter tulangan}}{2} = 575 - 54 - 10 - \frac{22}{2} = 500 \text{ mm}$$

- ❖ Cek apakah tulangan *under-reinforced* atau *over-reinforced*

$$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{1140,40}{250 \times 500} = 0,91\%$$

Karena $17 < f'_c \leq 28$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \frac{0,85 (20)}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 2,17\%$$

dan $0,75\rho_b = 1,63\%$; $0,50\rho_b = 1,09\%$

Karena $\rho < 0,75\rho_b$, maka balok termasuk *under-reinforced* (OK!) dan karena $\rho < 0,50\rho_b$, maka balok termasuk ideal dan memenuhi syarat tulangan *under-reinforced* (OK!). Jika $\rho < 0,75\rho_b$ dan $\rho > 0,50\rho_b$, maka balok termasuk tidak ideal tetapi memenuhi syarat tulangan *under-reinforced* (OK juga!)

Catatan: jika $\rho < 0,50\rho_b$ mempermudah proses pengecoran karena tulangan tidak terlalu rapat.

- ❖ Hitung a dan a_b

Karena asumsi tulangan tarik leleh, maka $f_s = f_y$, sehingga persamaan berikut dapat digunakan:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{114,40(400)}{0,85 (20) 250} = 107,33 \text{ mm}$$

$$a_b = \frac{A_{sb} f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{\rho_b b d f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{2,17\% (250) 500 (400)}{0,85 (20) 250} = 255 \text{ mm}$$

- ❖ Cek apakah tulangan tarik benar telah leleh:

$$\frac{a}{d} = \frac{107,33}{500} = 0,215 \text{ dan } \frac{a_b}{d} = \frac{255}{500} = 0,510$$

Karena $\left(\frac{a}{d}\right) \leq \left(\frac{a_b}{d}\right)$, maka asumsi tulangan leleh sudah benar.

Contoh Soal Balok Lentur Tulangan Tunggal

$$\text{❖ Cek } A_{s-\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{20}}{400} 250 (500) = 349,40 \text{ mm}^2$$

$$\text{dan } A_{s-\min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} (250) (500) = 437,50 \text{ mm}^2$$

Ambil yang terbesar: $A_{s-\min} = 437,50 \text{ mm}^2$

$$A_s = 1140,4 > A_{s-\min} = 437,50 \text{ (OK)}$$

❖ Kapasitas momen nominal penampang:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1140,40 (400) \left(500 - \frac{107,33}{2} \right) = 203,60 \times 10^6 \text{ N.mm} = 203,60 \text{ kN.m}; \text{ atau}$$

$$M_n = 0,85 f'_c b_w a \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,85 (20) (250) (107,33) \left(500 - \frac{107,33}{2} \right) = 203,60 \times 10^6 \text{ N.mm} = 203,60 \text{ kN.m}$$

$$\phi_l M_n = 0,90 (203,60) = 183,24 \text{ kN.m}$$

❖ Momen *ultimate* yang ditahan oleh balok yang menahan momen akibat *Dead Load* dan *Life Load*:

$$M_U = 1,2 M_D + 1,6 M_L = 1,2 (60) + 1,6 (65) = 176 \text{ kN.m}$$

Karena $\phi_l M_n > M_u$, maka balok cukup kuat menahan momen *ultimate*.

ILMU ALAT PENGABDIAN



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- ACI Committee 318, (2019): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), “*Prestressed Concrete Structures*”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



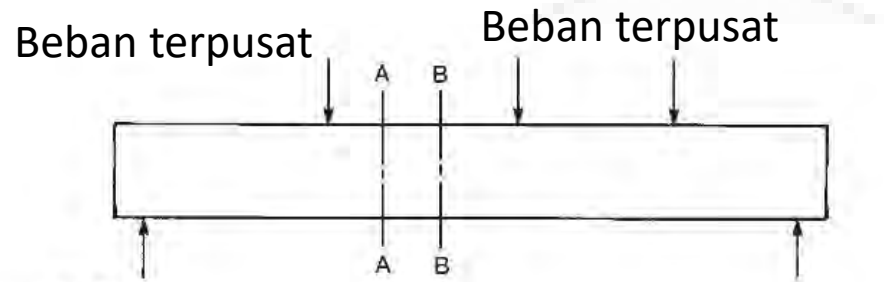
TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

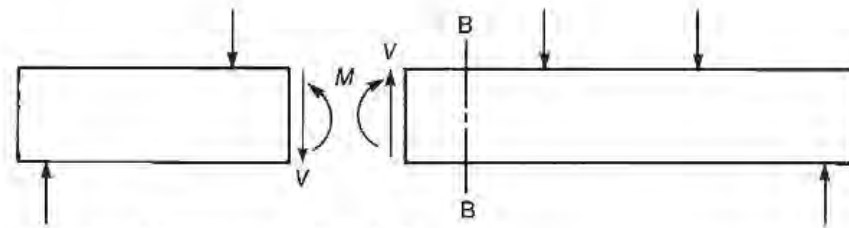
Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.
Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

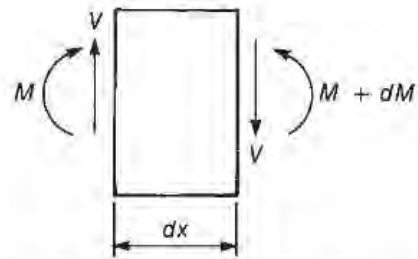
Gaya geser pada balok



(a) Beam.



(b) Internal forces on section A-A.



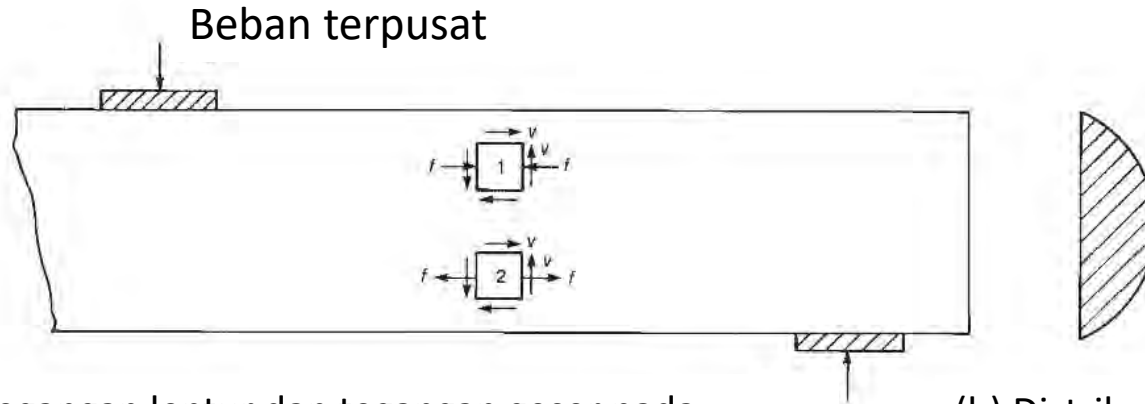
(c) Internal forces on portion between sections A-A and B-B.

Kombinasi tegangan geser dan tegangan normal akibat lentur pada elemen balok menghasilkan tegangan-tegangan utama (tegangan normal yang terbesar dan terkecil) dengan arah tertentu (Imran dan Zulkifli, 2014).

Gaya dalam balok

Image credit: Wight, 2016

Tegangan pada balok elastik tanpa retak



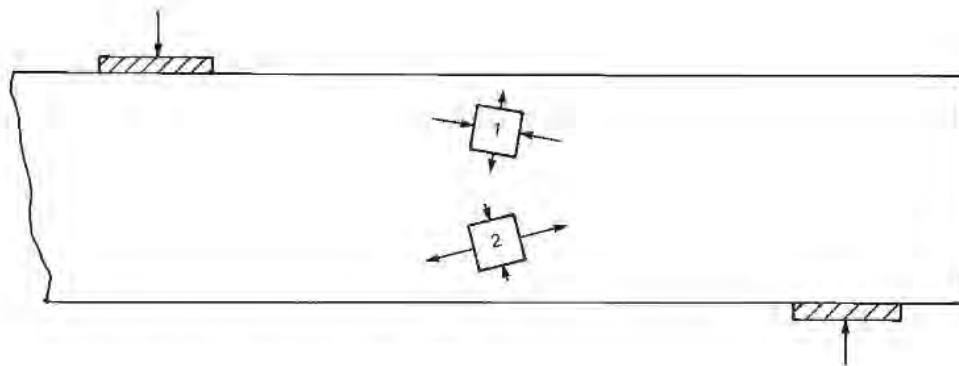
(a) Tegangan lentur dan tegangan geser pada elemen di bentang geser (*shear span*)

(b) Distribusi tegangan geser

$$v = \frac{VQ}{Ib}$$

$$Q_{maks} = \left(\frac{bh}{2}\right) \left(\frac{h}{4}\right) = \frac{bh^2}{8}$$

$$v_{maks} = \frac{3}{2} \left(\frac{V}{bh}\right) = 1,5v_{av}$$



(c) Tegangan utama pada elemen di bentang geser (*shear span*)

dengan:

v : tegangan geser (N/mm²)

v_{av} : tegangan geser rata-rata (N/mm²)

V : gaya geser pada potongan penampang (N)

I : momen inersia potongan penampang (mm⁴)

Q : statis momen potongan penampang (mm³)

b : lebar potongan penampang balok (mm)

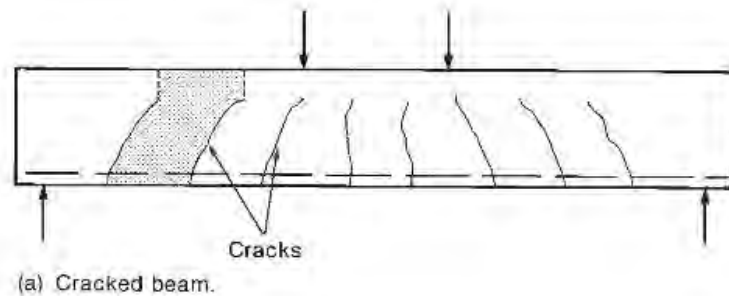
H : tinggi potongan penampang balok (mm)

Gaya normal, gaya geser, dan tegangan utama pada balok tanpa retak

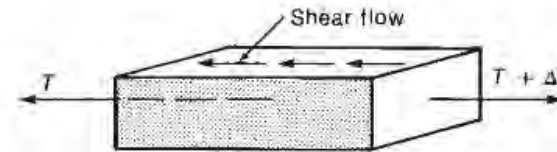
Image credit: Wight, 2016

Tegangan geser rata-rata di antara retak

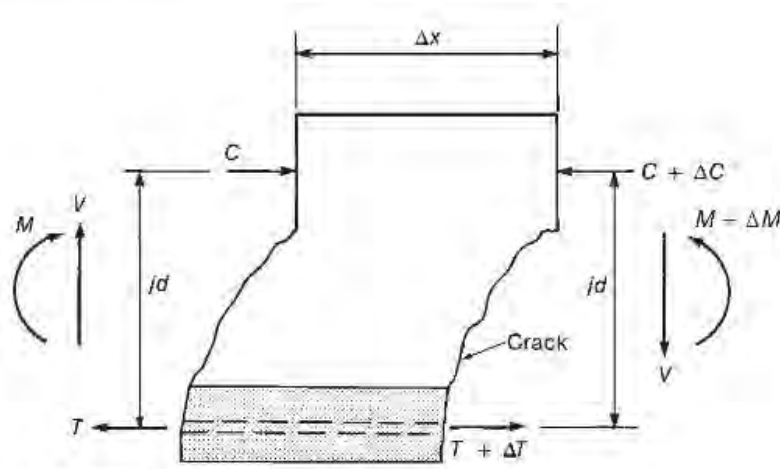
- Kondisi awal retak dimulai dari retak vertikal yang kemudian menyebar secara diagonal karena terjadi peningkatan beban.



(a) Cracked beam.



(c) Bottom part of beam.



(b) Portion of beam between two cracks.



(d) Average shear stresses.

Persamaan keseimbangan gaya pada elemen balok di antara 2 bidang retak:

$$T = \frac{M}{jd} \quad \text{dan}$$

$$T + \Delta T = \frac{M + \Delta M}{jd}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta M}{jd}$$

Untuk keseimbangan momen pada elemen balok, maka:

$$\Delta M = V \Delta x$$

$$\Delta T = \frac{V \Delta x}{jd}$$

Tegangan geser rata-rata di antara dua bidang retak

Image credit: Wight, 2016

Tegangan geser rata-rata di antara retak

Gaya ΔT harus ditransfer melalui tegangan geser horizontal di sisi atas elemen. Nilai rata-rata tegangan geser di bawah sisi atas elemen adalah:

$$v = \frac{\Delta T}{b_w \Delta x} \quad \text{atau:} \quad v = \frac{V}{b_w jd}$$

Untuk pendekatan, dapat dianggap bahwa: $jd \cong 0,9 d$

Dalam SNI 2847:2019, persamaan tegangan geser disederhanakan menjadi:

$$v = \frac{V}{b_w d}$$

dengan:

v : tegangan geser (MPa atau N/mm²)

V : gaya geser (N)

jd : lengan momen yang bersifat konstan (mm)

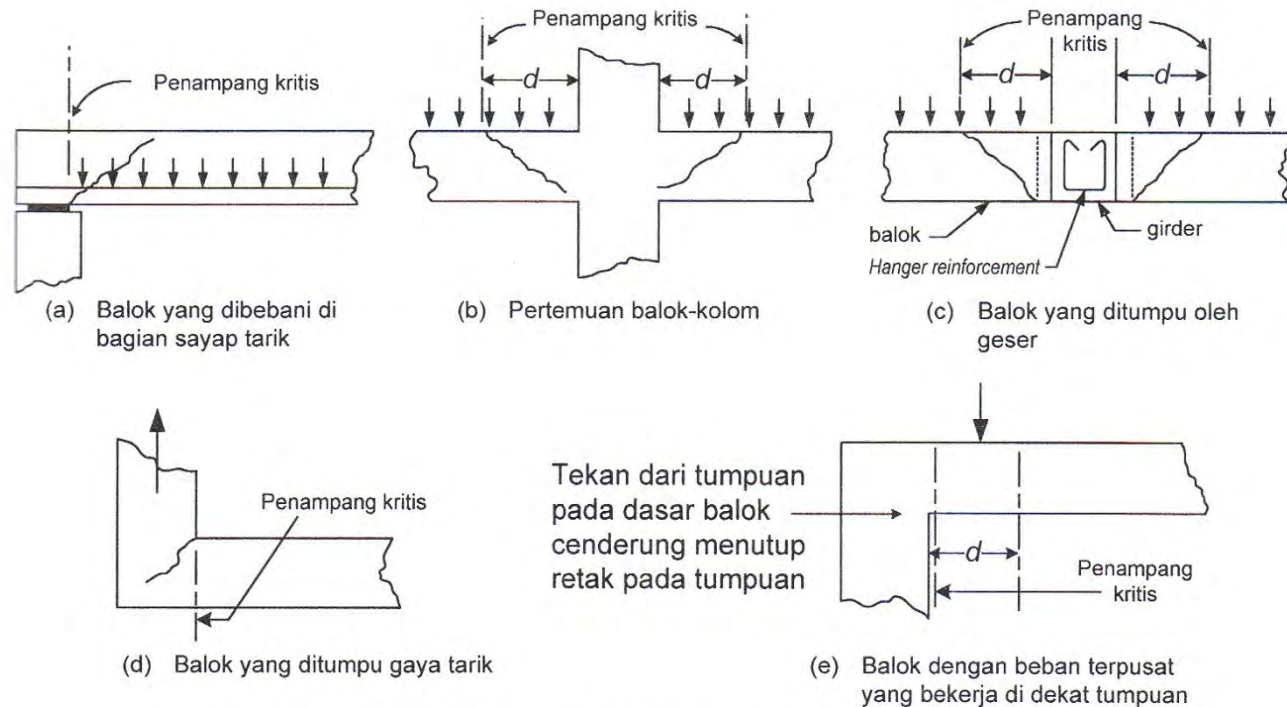
b_w : lebar badan (*web*) penampang balok (mm)

d : tinggi efektif penampang dari sisi atas balok ke pusat tulangan tarik (mm)

Tulangan Sengkang pada Balok

Penampang Kritis

Gaya yang berada pada jarak d dari perletakan ditransfer dari serat atas balok ke perletakan. Karena itu, desain penampang balok kritis pada jarak d dari perletakan harus memperhitungkan gaya geser ultimate (V_U) di lokasi tersebut.



Lokasi geser maksimum pada perencanaan balok

Image credit: Imran dan Zulkifli, 2014

Tulangan Sengkok pada Balok

Tulangan transversal umumnya disebut **tulangan sengkang** yang berfungsi untuk menahan **gaya geser**. Gaya geser dominan terjadi di daerah **tumpuan balok**, di ujung kolom, kolom pendek, dan zona join pertemuan antara balok dan kolom.

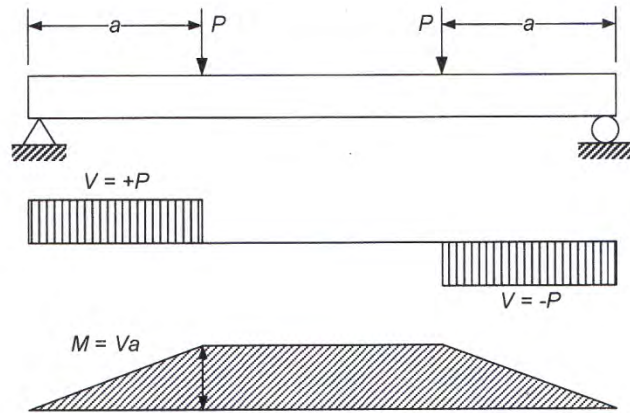
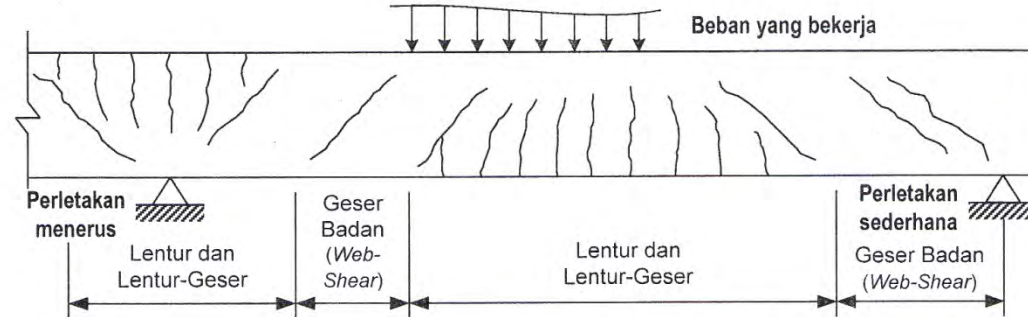


Diagram momen dan geser pada balok

Image credit: Imran dan Zulkifli, 2014



Retak pada balok

Image credit: Imran dan Zulkifli, 2014

Tegangan geser yang terjadi pada balok:

$$v = \frac{V}{b_w d}$$

dengan:

v : tegangan geser (MPa)

V : gaya geser (N)

b_w : lebar badan (*web*) penampang (mm)

d : jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik (mm)

Tulangan Sengkang pada Balok

- ❖ Untuk menahan gaya geser, diperlukan tulangan sengkang/tulangan transversal/tulangan geser.

Berdasarkan SNI 2847:2019,

- ❖ Persamaan untuk mendesain tulangan sengkang adalah: $\phi V_n \geq V_u$

dengan:

ϕ : faktor reduksi geser = 0,75

V_u : gaya geser terfaktor (N)

V_n : kuat geser nominal (N)

- ❖ Kuat geser nominal adalah total dari kontribusi beton dan tulangan sengkang, maka:

$$V_n = V_c + V_s$$

- ❖ Kapasitas geser penampang balok yang disumbangkan oleh beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d$$

- ❖ Kapasitas geser penampang balok yang disumbangkan oleh baja sengkang tegak adalah:

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s}$$

$$A_v = n A_{sv}$$

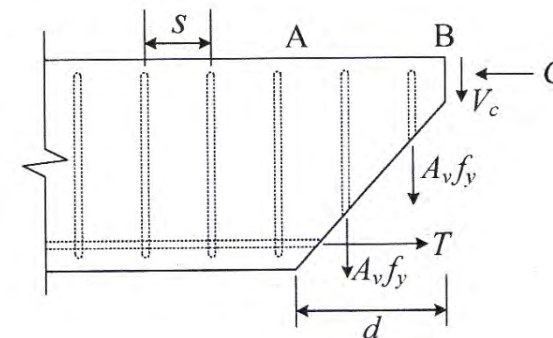
dengan:

s : spasi antar sengkang (mm)

A_v : luas total tulangan sengkang (mm²)

A_{sv} : luas satu batang tulangan sengkang (mm²)

n : jumlah “kaki” sengkang pada suatu penampang balok



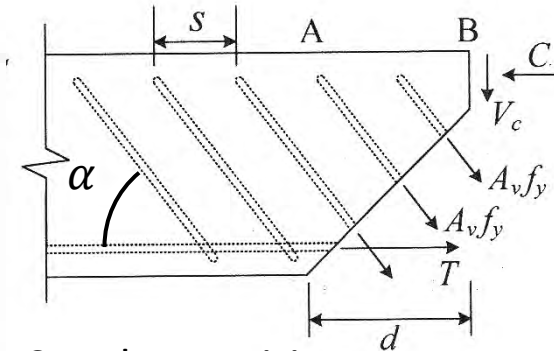
Sengkang tegak

Image credit: Imran dan Zulkifli, 2014

Tulangan Sengakang pada Balok

- ❖ Kapasitas geser penampang balok yang disumbangkan oleh baja sengkang miring adalah:

$$V_s = A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{d}{s}$$



Sengkang miring

Image credit: Imran dan Zulkifli, 2014

- ❖ Gaya geser maksimum yang bisa ditahan oleh tulangan sengkang dibatasi sebesar $\frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d$ agar tidak terjadi lebar retak yang berlebihan pada balok.
- ❖ Gaya geser nominal minimum untuk menghindari keruntuhan getas akibat gaya geser:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$$

- ❖ Jika $\frac{V_u}{\phi} \geq \frac{1}{2} V_c$, maka tulangan sengkang perlu dipasang pada balok sehingga gaya geser *ultimate* ditahan oleh beton dan tulangan sengkang.
- ❖ Jika $\frac{V_u}{\phi} < \frac{1}{2} V_c$, maka tulangan sengkang tidak perlu dipasang pada balok dan gaya geser *ultimate* ditahan hanya oleh beton

Tulangan Sengkang pada Balok

Kapasitas geser penampang balok yang disumbangkan oleh baja sengkang tegak:

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s}$$

Spasi sengkang:

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

Karena $V_n = V_s + V_c$ dan $V_U \leq \phi V_n$, maka $V_s = V_n - V_c = \frac{V_U}{\phi} - V_c$, maka spasi sengkang:

$$s = \frac{A_v f_y d}{\frac{V_U}{\phi} - V_c} = \frac{\phi A_v f_y d}{V_U - \phi V_c}$$

Tulangan Sengkang pada Balok

Zonasi Penulangan Geser	$\frac{V_u}{\phi}$
Zona V	Luas penampang terlalu kecil
$V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d$	
Jarak tulangan sengkang lebih rapat	$s \leq \frac{A_v f_y d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$ atau $s \leq \frac{A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$
Zona IV	$s \leq 0,25d$ $s \leq 300 \text{ mm}$
$V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_w d$	
Jarak tulangan sengkang	$s \leq \frac{A_v f_y d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$ atau $s \leq \frac{A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$
Zona III	$s \leq 0,5 d$ $s \leq 600 \text{ mm}$
$\left(V_c + \left(\frac{1}{3} \text{ atau } \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} \right) b_w d \right)$	
Tulangan sengkang minimum	$s \leq \frac{3 A_v f_y}{b_w}$ atau $s \leq \frac{1200}{75} \frac{A_v f_y}{\sqrt{f'_c} b_w}$
Zona II	$s \leq 0,5 d$ $s \leq 600 \text{ mm}$
$(0,5 V_c)$	
Zona I	Tidak perlu tulangan sengkang

Zonasi Spasi Maksimum Penulangan Geser

Image credit: Imran dan Zulkifli, 2014

Tulangan Sengkang pada Balok

8.7.6.3 Jika sengkang disediakan, lokasi dan spasi harus sesuai Tabel 8.7.6.3.

Tabel 8.7.6.3 – Batas lokasi dan spasi sengkang pertama

Arah pengukuran	Deskripsi pengukuran	Jarak atau spasi maksimum, mm
Tegak lurus dengan muka kolom	Jarak dari muka kolom ke sengkang pertama	$d/2$
	Spasi antar sengkang	$d/2$
Sejajar dengan muka kolom	Spasi antara kaki vertikal sengkang	$2d$

9.7.6.2.2 Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 9.7.6.2.2.

Tabel 9.7.6.2.2 – Spasi maksimum tulangan geser

V_s		Maksimum s , mm	
		Balok nonprategang	Balok prategang
$\leq 0,33\sqrt{f_c'}b_wd$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f_c'}b_wd$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 6th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey



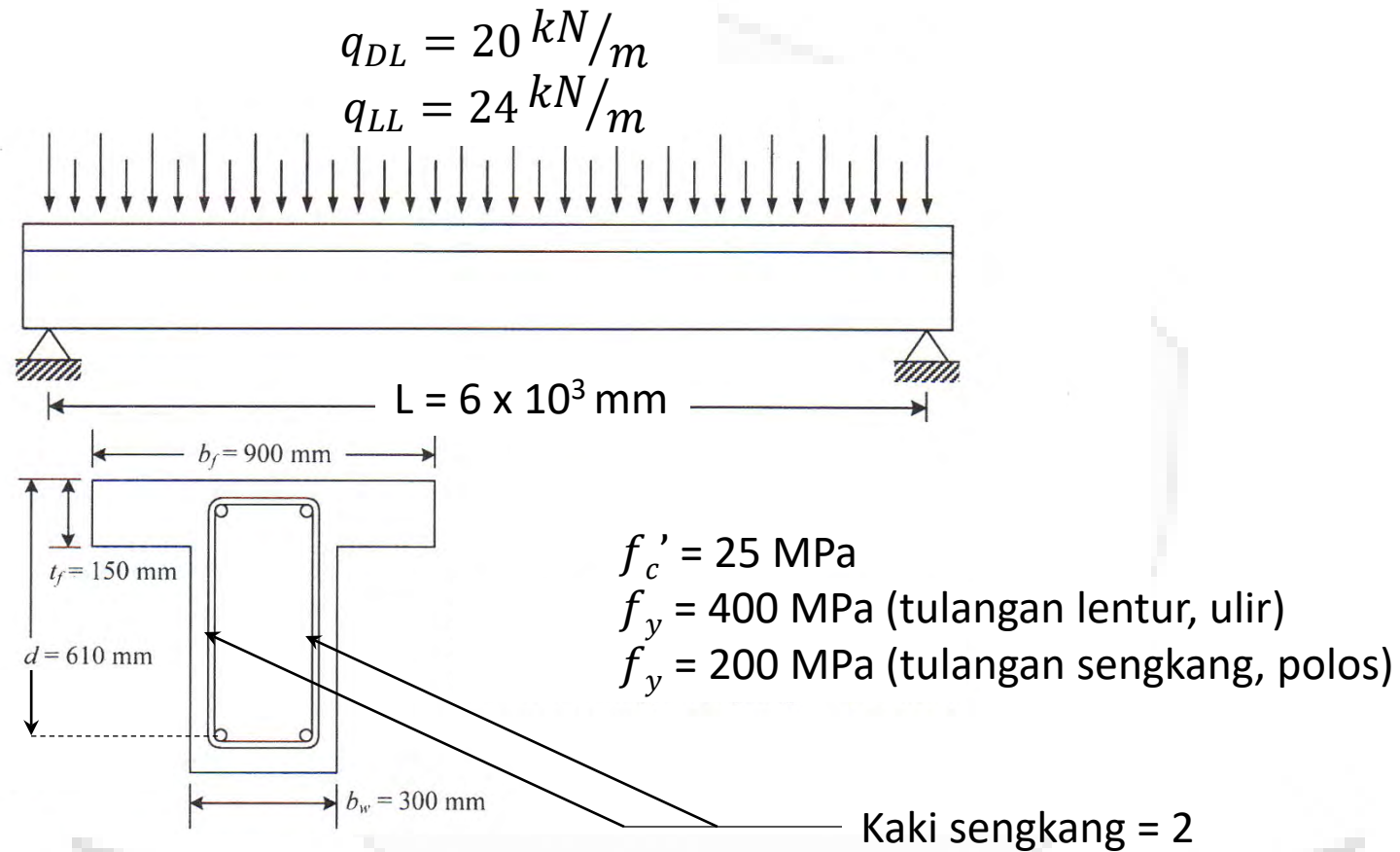
TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.
Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Contoh Soal Tulangan Sengkang Balok

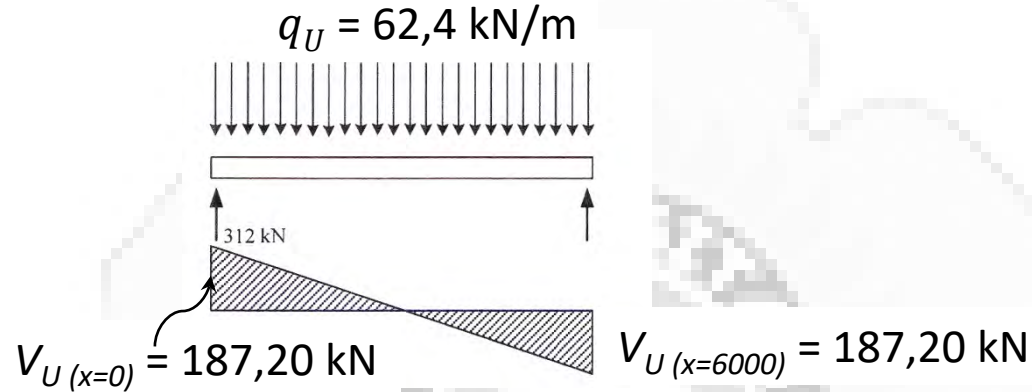


Desain tulangan sengkang untuk menahan gaya geser!

Contoh Soal Tulangan Sengkang Balok

❖ Hitung gaya geser *ultimate*:

$$q_U = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} = 1,2 (20 \text{ kN/m}) + 1,6 (24 \text{ kN/m}) = 62,4 \text{ kN/m}$$



Gaya geser *ultimate* maksimum di perletakan: $V_U = \frac{q_U L}{2} = \frac{(62,4)(6)}{2} = 187,20 \text{ kN}$

Lokasi penampang kritis adalah sejauh $d = 610 \text{ mm}$ dari perletakan. Pada penampang tersebut, gaya geser *ultimate*-nya $[V_U(x=610)]$ adalah:

$$\frac{V_U(x=610)}{V_U(x=0)} = \frac{\frac{L}{2} - d}{\frac{L}{2}} \text{ maka } V_U(x=610) = (187,20) \frac{3000 - 610}{3000} = 149,14 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u(x=610)}{\phi} = \frac{149,14}{0,75} = 198,85 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{6} \sqrt{25} (300)(610) = 152,50 \text{ kN} = 152.500 \text{ N dan}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} (152,50) = 76,25 \text{ kN}$$

Karena pada penampang kritis berjarak 610 mm dari tumpuan nilai $\frac{V_u(x=610)}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$, maka tulangan sengkang diperlukan untuk menahan geser.

Contoh Soal Tulangan Sengkang Balok

❖ Spasi sengkang yang diperlukan

Tulangan sengkang berdiameter 10 mm ($\phi 10$), jenis tulangan polos dengan $f_y = 200$ MPa.

$$A_{sv} = 0,25 \pi 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

Jumlah kaki sengkang = 2, maka $A_v = 2 \times 78,54 \text{ mm}^2 = 157,08 \text{ mm}^2$

▪ Pada perletakan: $V_U = 187,20$ kN

$$s = \frac{\phi A_v f_y d}{V_U - \phi V_c} = \frac{0,75 (157,08)(200)(610)}{[187,20 - 0,75(152,50)](1000)} = 197,36 \text{ mm}$$

1000: konversi dari kN ke N

Gunakan $s = 150$ mm untuk memudahkan pemasangan sengkang

▪ Jika $s = 250$ mm, maka:

$$V_U = \phi (V_s + V_c) = \phi \left(A_v f_y \frac{d}{s} + \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \right)$$

$$= 0,75 \left[157,08(200) \frac{610}{250} + 152.500 \right] = 171.870 \text{ N} = 171,87 \text{ kN}$$

Dengan perbandingan segitiga gaya geser:

$$\frac{187,20}{V_U(x=3000-y)} = \frac{3000}{y}$$

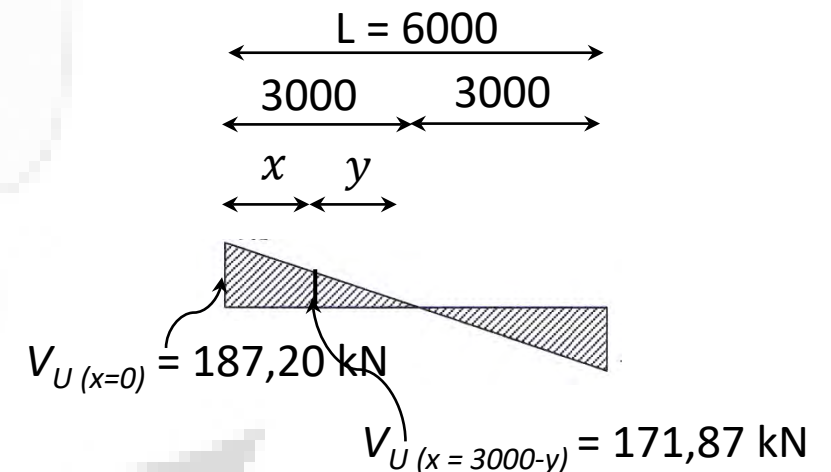
$$\Leftrightarrow \frac{187,20}{171,87} = \frac{3000}{y};$$

Diperoleh: $y = 2754$ mm, sehingga $x = 3000 - y = 3000 - 2754 = 246 \approx 250$ mm dari perletakan (dibulatkan ke atas supaya lokasinya di V_U yang semakin kecil.)

▪ Jika $s = 300$ mm, maka:

$$V_U = 162,28 \text{ kN}$$

Dengan perbandingan segitiga gaya geser, diperoleh $x = 400$ mm dari perletakan



Catatan:
Jika diperoleh nilai $x \leq 0$, maka gunakan $x = 0$

Contoh Soal Tulangan Sengkok Balok

- ❖ Berdasarkan nilai $\frac{V_u}{\phi}$ di suatu lokasi, maka spasi maksimum dapat ditentukan

Zonasi Penulangan Geser		$\frac{V_u}{\phi}$
Zona V		Luas penampang terlalu kecil
	$V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d$	
Zona IV	Jarak tulangan sengkang lebih rapat	$s \leq \frac{A_{vf} d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$ atau $s \leq \frac{A_{vf} (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$ $s \leq 0,25d$ $s \leq 300 \text{ mm}$
	$V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_w d$	
Zona III	Jarak tulangan sengkang	$s \leq \frac{A_{vf} d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$ atau $s \leq \frac{A_{vf} (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)}$ $s \leq 0,5 d$ $s \leq 600 \text{ mm}$
	$\left(V_c + \left(\frac{1}{3} \text{ atau } \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} \right) b_w d \right)$	
Zona II	Tulangan sengkang minimum	$s \leq \frac{3 A_{vf}}{b_w}$ atau $s \leq \frac{1200}{75} \frac{A_{vf}}{\sqrt{f'_c} b_w}$ $s \leq 0,5 d$ $s \leq 600 \text{ mm}$
	$(0,5 V_c)$	
Zona I	Tidak perlu tulangan sengkang	

Zonasi Spasi Maksimum Penulangan Geser

Contoh Soal Tulangan Sengkang Balok

- ❖ Cek zona spasi sengkang

$$0,50 V_c = 76,25 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} b_w d = 152.500 + \frac{75\sqrt{25}}{1200} (300)(610) = 209,69 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{1}{3} b_w d = 152.500 + \frac{1}{3}(300)(610) = 213,50 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = 152.500 + \frac{1}{3} \sqrt{25}(300)(610) = 457,50 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = 152.500 + \frac{2}{3} \sqrt{25} (300)(610) = 762,50 \text{ kN}$$

Karena pada $x = 610 \text{ mm}$: $\frac{V_u(x=610)}{\phi} = 198,85 \text{ kN}$, maka termasuk zona II spasi sengkang

- ❖ Spasi maksimum sengkang

Pada zona II, spasi maksimum sengkang:

$$s \leq \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3(157,08)(200)}{(300)} = 314,16 \text{ mm}$$

$$s \leq \frac{1200}{75} \frac{A_v f_y}{\sqrt{f'_c} b_w} = \frac{1200}{75} \frac{(157,08)(200)}{\sqrt{25}(300)} = 335,10 \text{ mm}$$

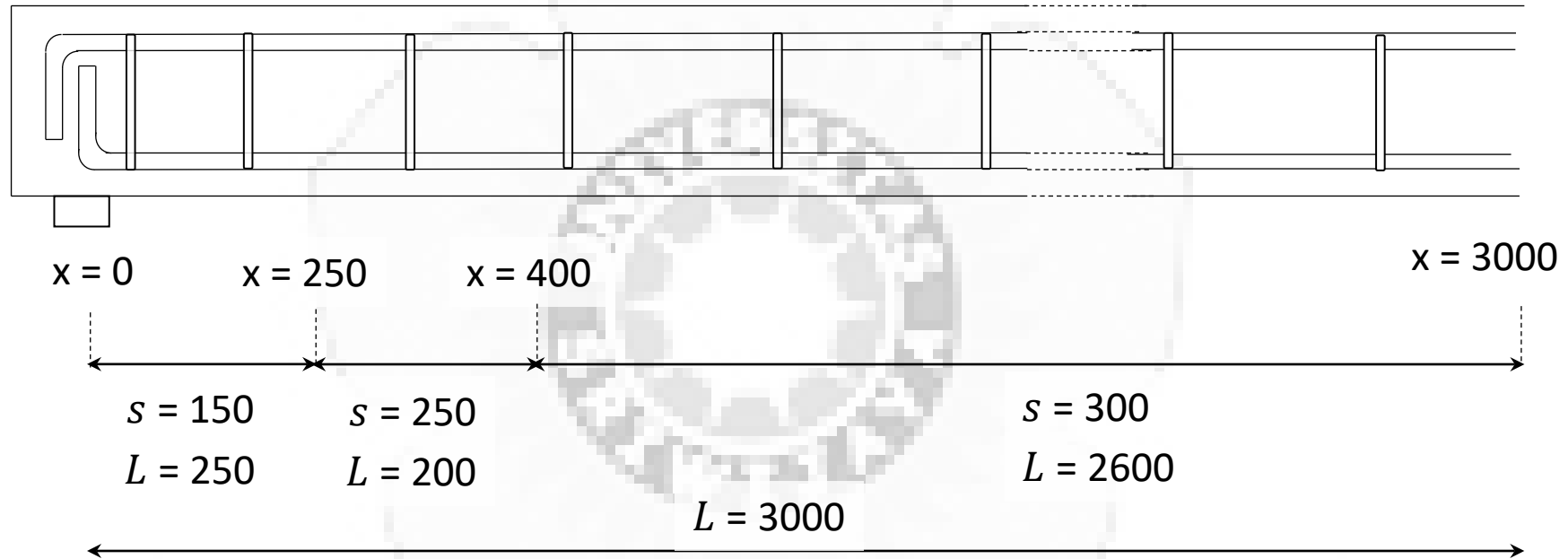
$$s \leq 0,5 d = 0,5 \times 610 = 305 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Ambil nilai s terkecil: $s = 305 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$

Contoh Soal Tulangan Sengkang Balok

Tulangan sengkang balok sisi kiri. Sisi kanan adalah cerminan sisi kiri:



Dari $x = 0$ mm sampai $x = 250$ mm ($L = 200$ mm): $s = 150$ mm

Dari $x = 250$ mm sampai $x = 400$ mm ($L = 200$ mm): $s = 250$ mm

Dari $x = 400$ mm sampai $x = 3000$ mm ($L = 2600$ mm): $s = 300$ mm

Catatan:

- ❖ Penentuan nilai $s = 250 \text{ mm}$ dan 300 mm adalah untuk mempermudah pelaksanaan pemasangan sengkang di lokasi konstruksi.
- ❖ Penentuan jarak spasi harus memperhatikan nilai V_U
- ❖ Dalam kasus beban lain, terdapat kemungkinan diperlukannya jarak spasi yang lain dari contoh soal ini
- ❖ Penentuan spasi harus memperhatikan aspek ekonomis dan kemudahan pelaksanaan di lokasi konstruksi
- ❖ Cara mendesain tulangan **sengkang kolom** adalah **sama** dengan cara mendesain tulangan sengkang balok, yaitu berdasarkan gaya geser *ultimate* yang ditahan oleh kolom.



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), “*Prestressed Concrete Structures*”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.



04c Syarat tulangan
sengkang

TKS 403218

Perencanaan dan Analisis Elemen Struktur Beton

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Pengajar: Dr. Siti Aisyah Nurjannah. S.T., M.T.

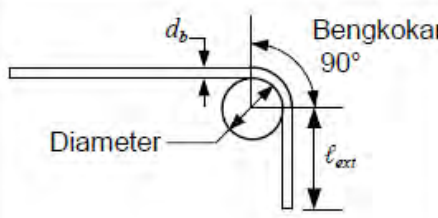
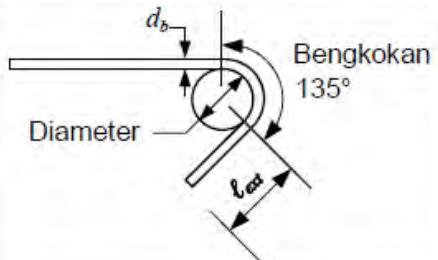
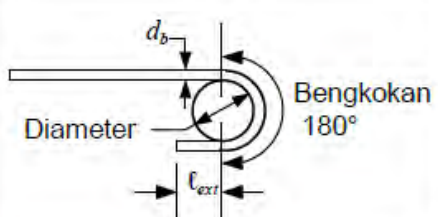
Phone: 081373672011

E-mail: hana.program.17@gmail.com

Available on: <http://bit.ly/S1UnsriElemenBeton>

Syarat tulangan sengkang

Tabel 25.3.2 – Diameter sisi dalam bengkokan minimum dan geometri kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekok

Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

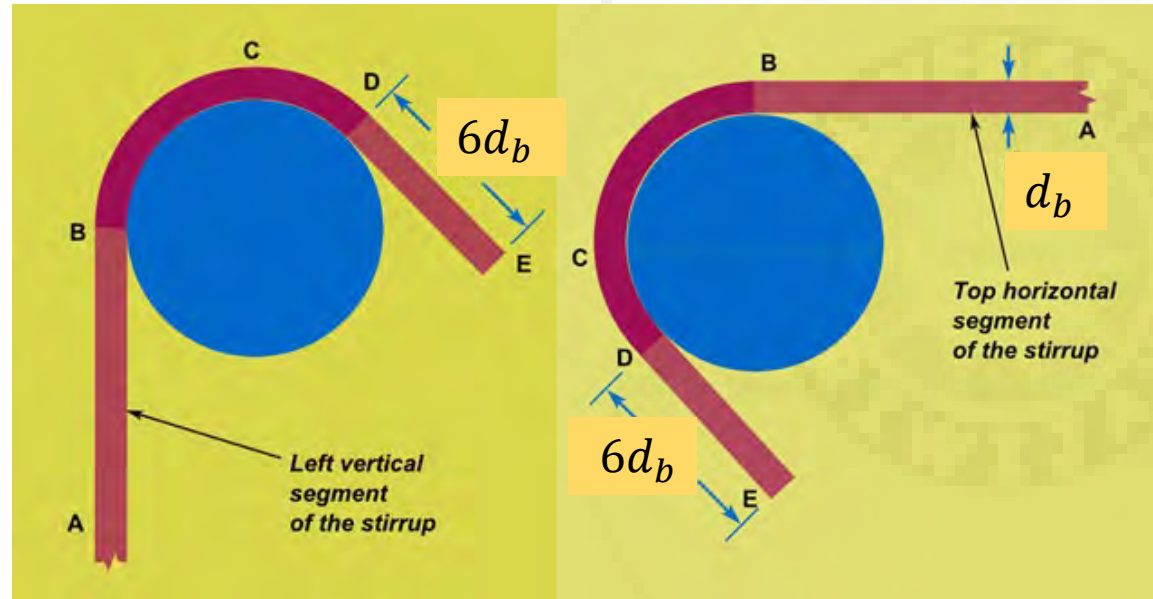
^[1] Kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekok termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan pada kait.

Sumber: SNI 2847:2019

Syarat tulangan sengkang

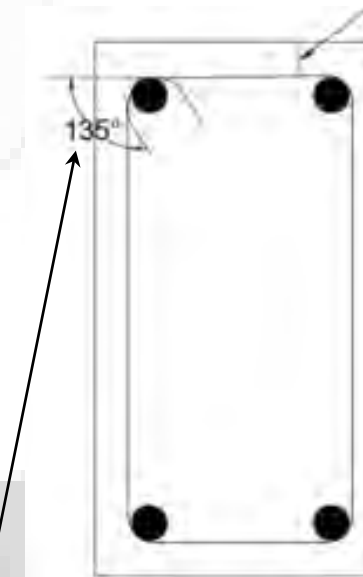


Tampak 3 dimensi tulangan sengkang



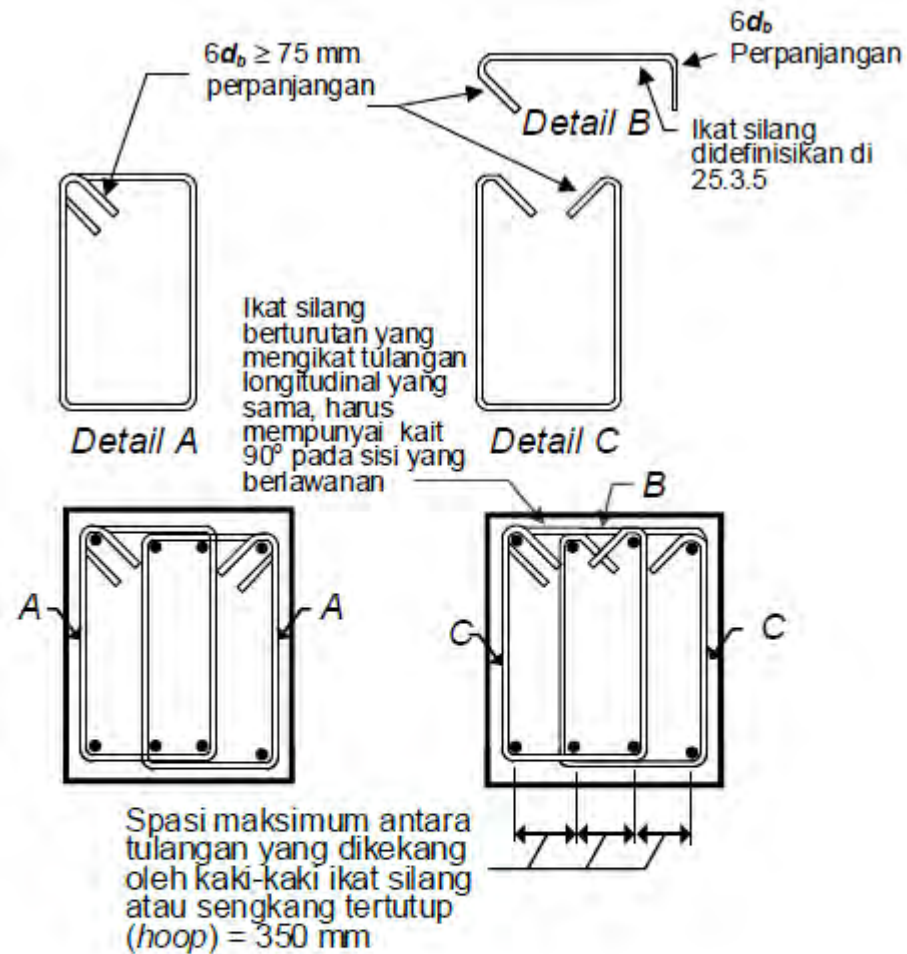
Contoh untuk baja tulangan $\phi 10$ sampai D25

Selimut (cover) beton

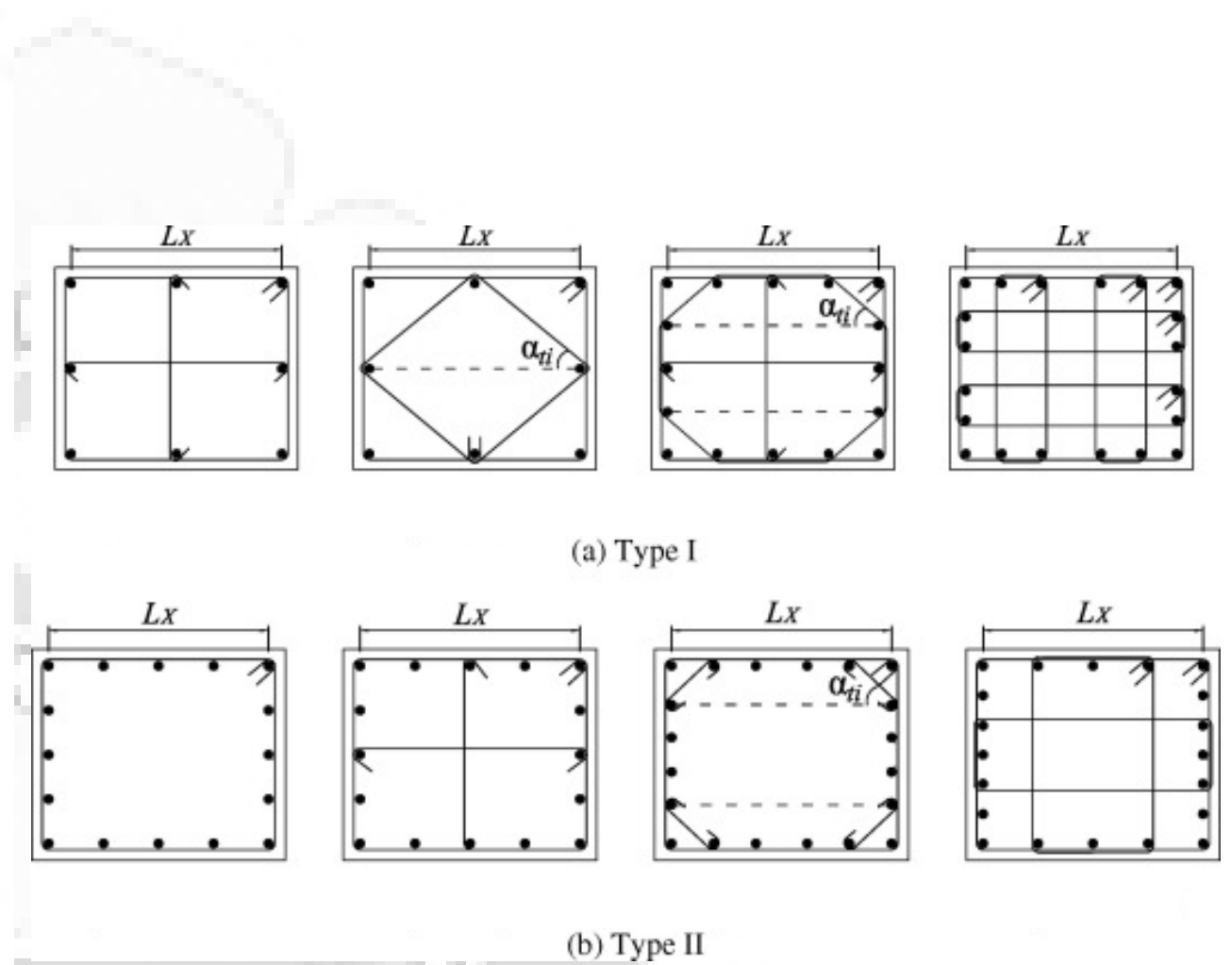


Ujung tulangan sengkang dibengkokkan 135°

Sumber: SNI 2847:2019



Gambar R18.6.4 – Contoh sengkang tertutup (hoop) yang dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal



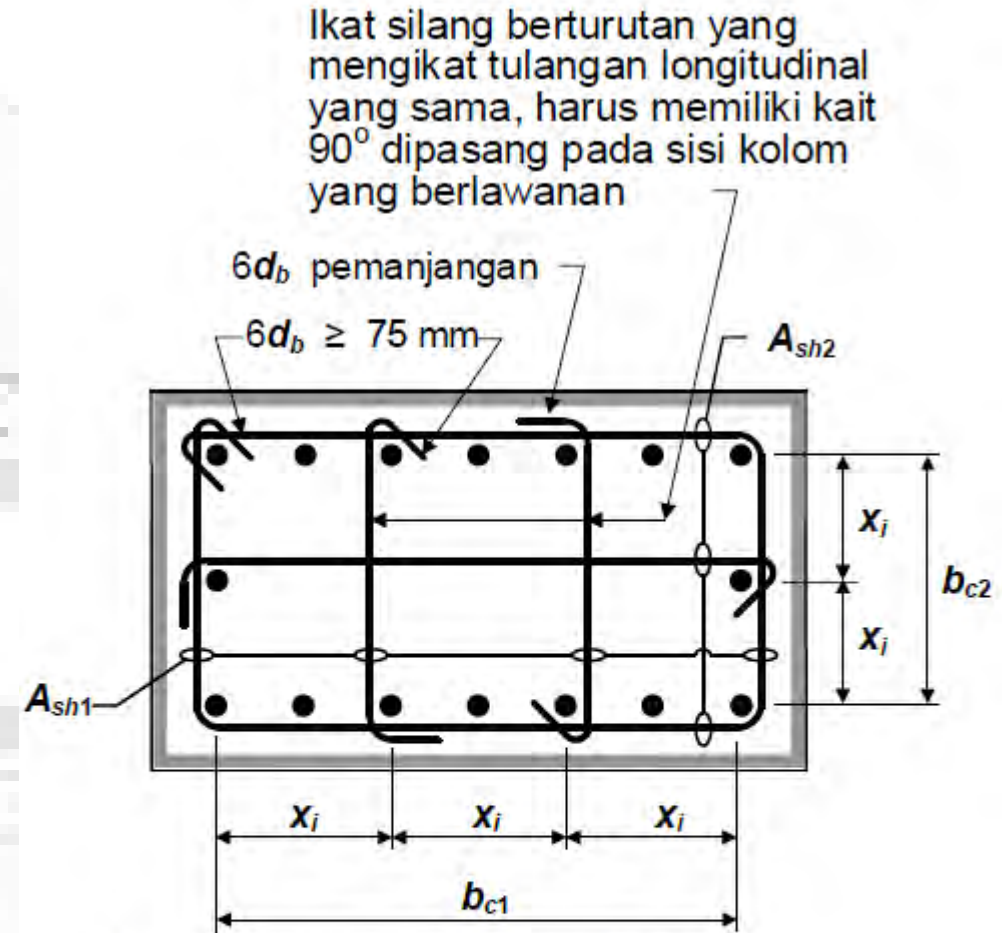
Contoh pemasangan tulangan sengkang pada kolom

Sumber: SNI 2847:2019

Tulangan sengkang kolom; **desain biasa**

Sumber: SNI 2847:2019

R18.7.5.2 Bagian 18.7.5.2 dan 18.7.5.3 memberikan persyaratan untuk konfigurasi tulangan transversal untuk kolom dan *joint* dari sistem rangka pemikul momen khusus. Gambar R18.7.5.2 menunjukkan contoh tulangan transversal yang disediakan oleh satu sengkang pengekok dan tiga ikat silang (*crossties*). Ikat silang dengan kait 90 derajat tidak seefektif ikat silang dengan kait 135 derajat ataupun sengkang pengekok dalam memberikan pengekokan. Untuk nilai $P_u/A_g f_c'$ yang rendah dan kekuatan tekan beton yang rendah, ikat silang dengan kait 90-derajat cukup memadai apabila ujung kaitnya dipasang selang-seling sepanjang kolom dan di sekeliling kolom.



Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 350 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

Gambar R18.7.5.2 – Contoh penulangan transversal pada kolom

Tulangan sengkang kolom; desain seismik di sendi plastis

Sumber: SNI 2847:2019

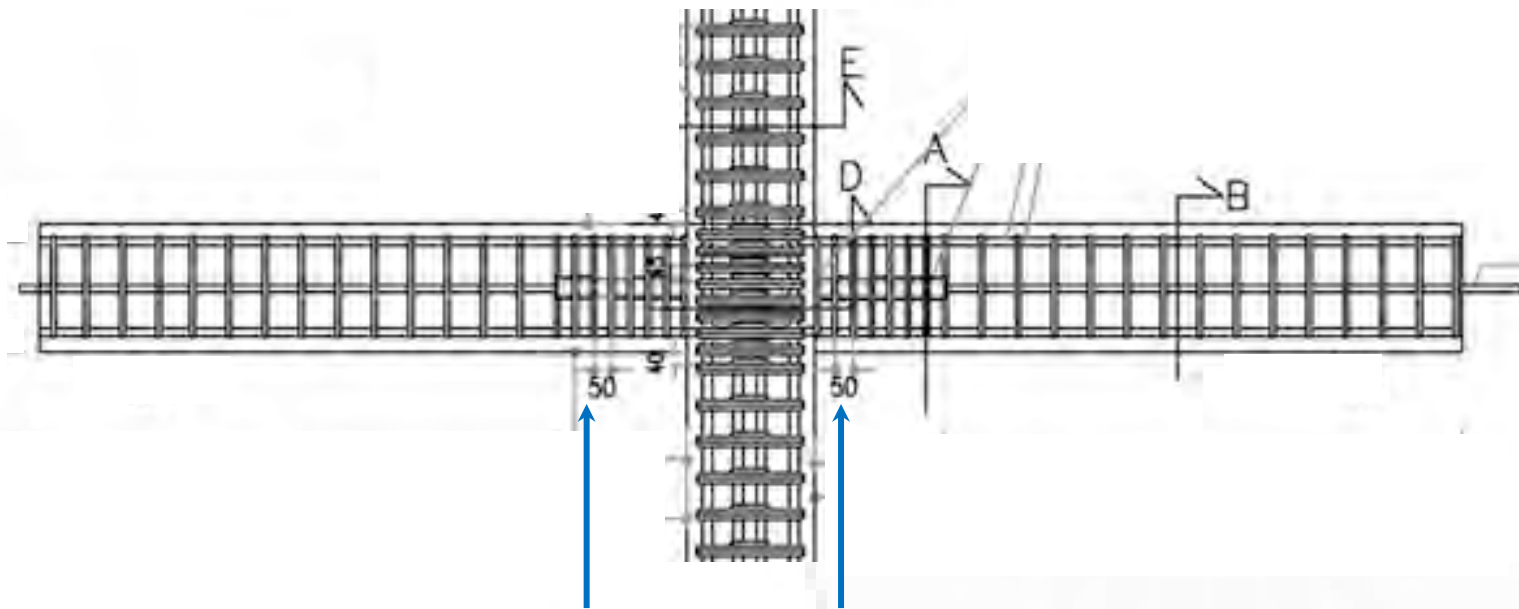
Untuk nilai $P_u/A_g f_c'$ yang lebih tinggi, dimana diharapkan terjadi perilaku yang terkontrol tekan (*compression controlled behavior*), dan untuk kekuatan tekan yang tinggi, dimana perilaku kolom cenderung lebih getas, peningkatan pengekangan yang disediakan dengan memiliki sudut dengan sengkang tertutup (*hoop*) atau kait seismik yang mendukung semua tulangan longitudinal adalah sangat penting untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Apabila kondisi ini berlaku, diperlukan ikat silang dengan kait seismik di kedua ujungnya. Batasan spasi sebesar 200 mm pada h_x juga dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja pada kondisi kritis.



Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 200 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

Gambar R18.7.5.2 f) – Contoh penulangan transversal pada kolom dengan $P_u > 0,3 A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ Mpa

Untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK):



Tidak lebih dari 50 cm dari muka kolom

Contoh sistem *sub-assembly* balok-kolom

18.4.2.4 Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pengekan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga d):

- $d/4$
- Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekan
- 300 mm

ILMU ALAT PENGABDIAN



Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Collins, M.P. dan Mitchell, D., (1994), “*Prestressed Concrete Structures*”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Imran, I. dan Zulkifli, E., (2014): *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nawy, E. G., (2009): *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, 6th edition, Pearson Education, Inc., New Jersey
- Wight, J. K. (2016): *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.