



Struktur Beton Lanjut (Kolom)

Arie Putra Usman

Pendahuluan

- ⊙ Material beton merupakan material yang getas. Kapasitas deformasi inelastik nya sangat rendah
- ⊙ Dengan adanya kekangan, material beton bisa bersifat daktil dan kekangan akan menaikkan mutu beton f_c' .

Kolom

- ⊙ Kolom (Column) — Komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. Untuk komponen struktur dengan perubahan dimensi lateral, dimensi lateral terkecil adalah rata-rata dimensi atas dan bawah sisi yang lebih kecil. (SNI Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung 2847:2013)

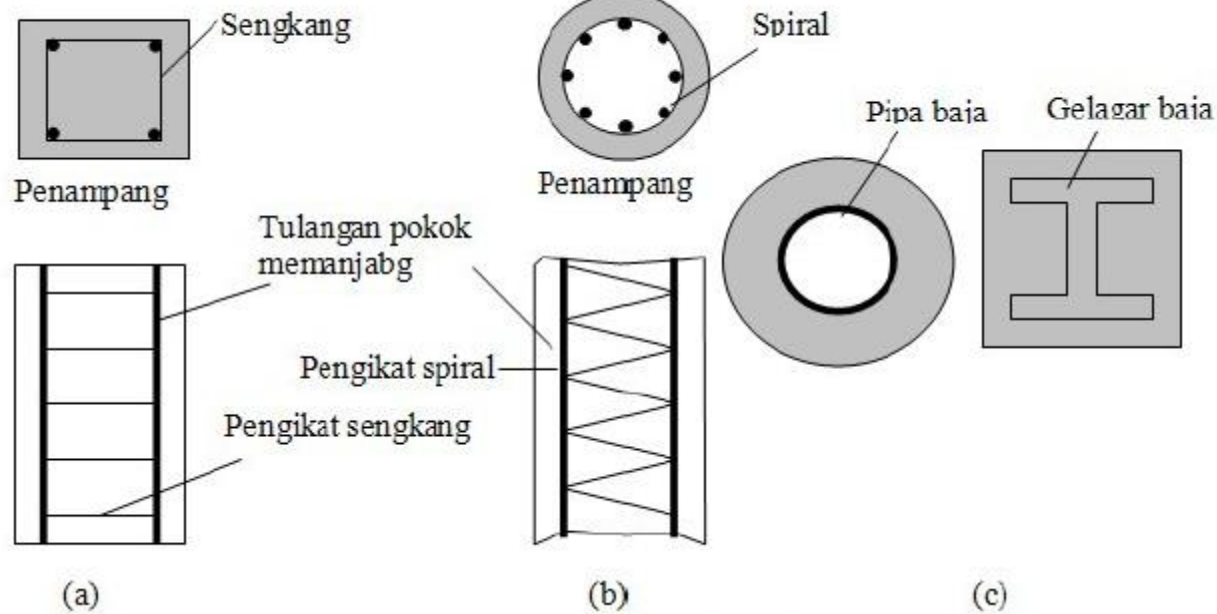
Fungsi Kolom :

- ⦿ Memikul gaya aksial dengan atau tanpa momen
- ⦿ Meneruskan beban-beban dari lantai dan atap ke pondasi

Gaya yang bekerja pada kolom adalah gaya aksial tekan sehingga keruntuhan kolom adalah keruntuhan tekan yang bersifat tiba-tiba tanpa ada aba-aba atau peringatan yang jelas. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur yang lain yang berhubungan dengannya. Oleh sebab itu komponen struktur kolom harus memiliki keamanan yang lebih tinggi

Jenis – Jenis Kolom

- a) Kolom dengan tulangan utama yang diikat oleh sengkang, dapat berbentuk persegi, bujur sangkar, atau lingkaran.
- b) Kolom dengan tulangan utama yang diikat oleh tulangan spiral, pada umumnya terdapat pada penampang lingkaran
- c) Kolom komposit



Perilaku Kolom Sengkang Persegi dan Spiral

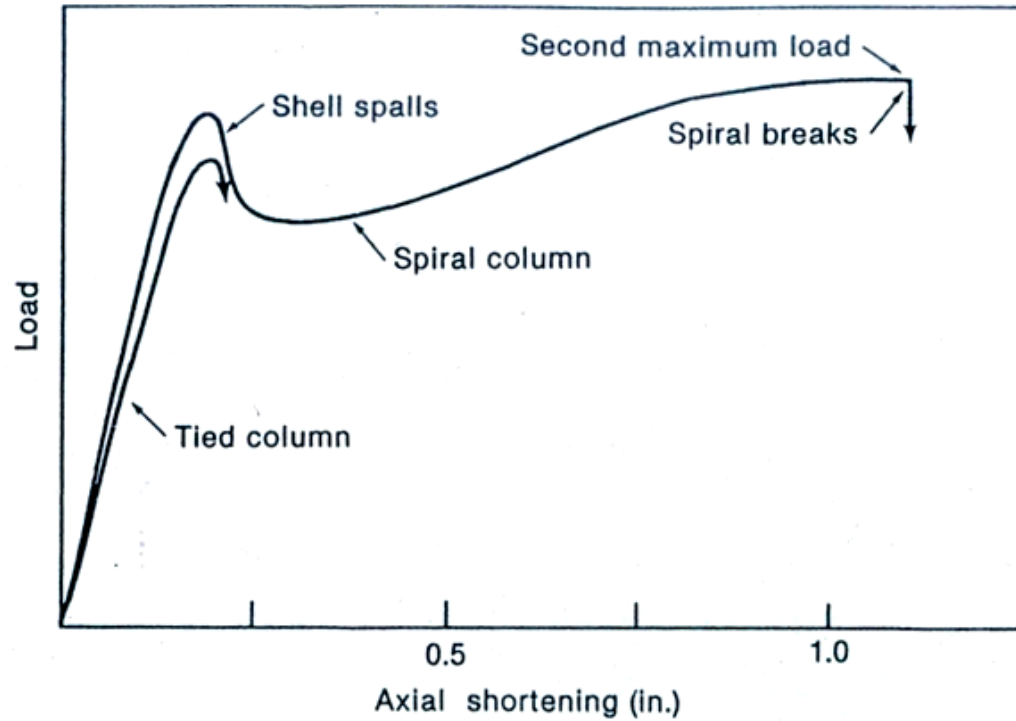
- © Tulangan sengkang pada kolom berfungsi mencegah tulangan longitudinal menekuk keluar dan menahan ekspansi lateral beton inti akibat menerima beban aksial

Perilaku Kolom Senggang Persegi

- ⦿ Pada kolom senggang persegi, tulangan senggang mempunyai jarak tertentu yang berarti juga merupakan jarak sokongan tulangan longitudinal, apabila kolom persegi diberi beban aksial sampai runtuh, mula-mula beton pembungkus (beton diluar tulangan senggang) akan pecah dan setelah itu tulangan longitudinal akan menekuk keluar karena beton pembungkus sudah hancur, tulangan senggang juga akan bengkok keluar Karena beton mengalami ekspansi, yang pada akhirnya menyebabkan kolom runtuh.

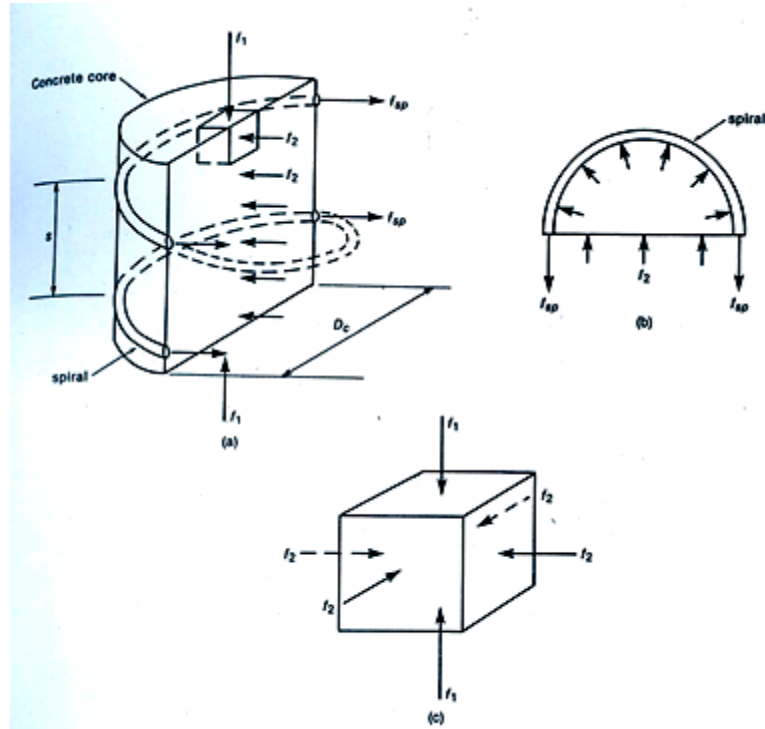
Perilaku Kolom Sengkang Spiral

- ⊙ Apabila kolom sengkang spiral diberi beban, ketika beton pembungkus mulai pecah, kolom tidak runtuh tiba-tiba, karena kekuatan beton inti masih bisa memberikan kontribusi menahan beban akibat sokongan tulangan spiral, yang selanjutnya kolom akan berdeformasi lebih lanjut sampai tulangan longitudinal leleh dan kolom runtuh



Axially loaded columns.

Keruntuhan kolom sengkang persegi dan spiral



Triaxial stresses in core of spiral column

Kontribusi tulangan spiral pada beton

Kekuatan Tulangan Spiral

$$P_s = 0.85 f'_c (A_g - A_c) \quad (1.1)$$

dimana A_g = Luas penampang beton, A_c = Luas beton inti

Kekuatan tulangan spiral adalah

$$T_s = 2 \rho_s A_c f_y \quad (1.2)$$

dimana ρ_s = persentase tulangan spiral

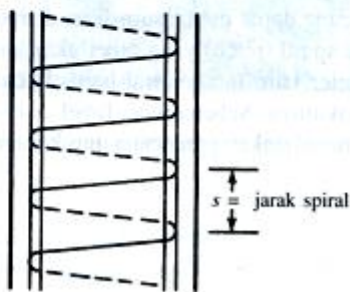
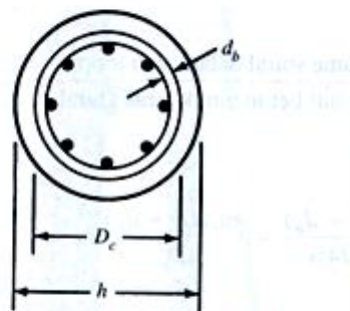
Persentase tulangan spiral **minimum** adalah (ACI 10-6)

$$\rho_s = 0.45 \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_y} \quad (1.3)$$

Tulangan sengkang spiral yang dibutuhkan adalah

$$\rho_s = \frac{4a_s(D_c - d_b)}{sD_s^2} \quad (1.4)$$

dimana D_c = diameter dari inti diameter luar spiral, a_s = luas penampang tulangan spiral dan d_b = diameter tulangan spiral



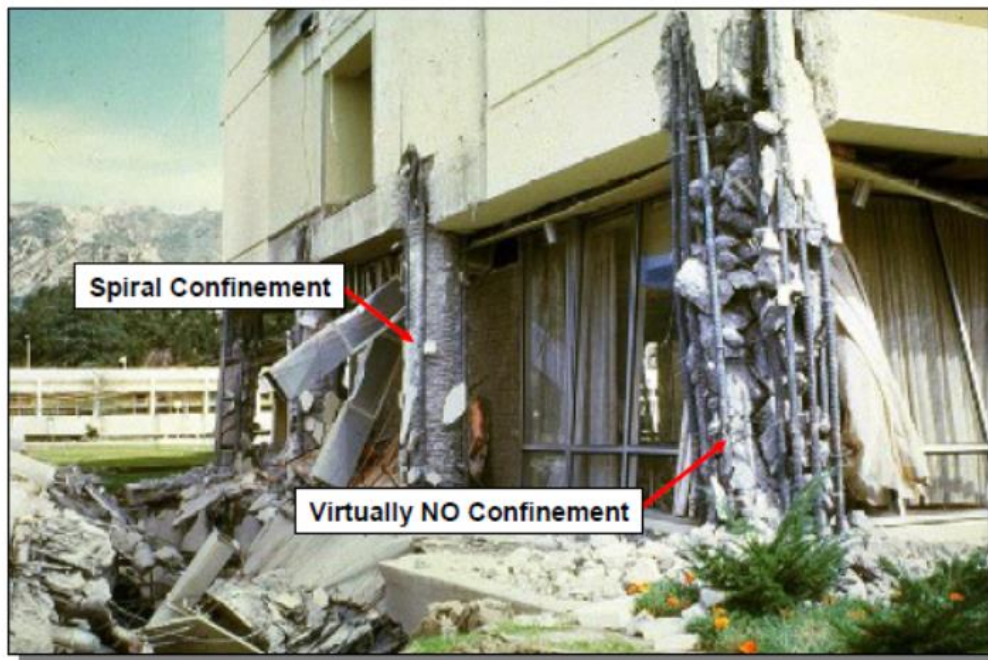
Contoh Kegagalan Kolom yang Tidak Terkekang dengan Baik



Kegagalan Kolom yang Tidak Terkekang



Benefits of Confinement



Olive View Hospital, 1971 San Fernando Valley earthquake









Kegagalan Kolom

⦿ Kegagalan Tekan

Ketika kolom diberi gaya secara aksial, maka beton dan baja akan mengalami gaya tekan. Ketika gaya yang diberikan lebih besar jumlahnya dibanding dengan luas penampang kolom, maka kolom akan mencapai tegangan leleh dan lalu mulai deformasi.



Kegagalan Kolom

© Kegagalan Tekuk

Kegagalan Tekuk umumnya terjadi pada kolom yang tinggi. Karena kolom sangat ramping, yang membuat daya dukung kolom berkurang sangat banyak

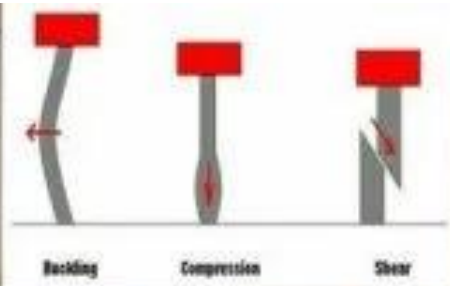


Kegagalan Kolom

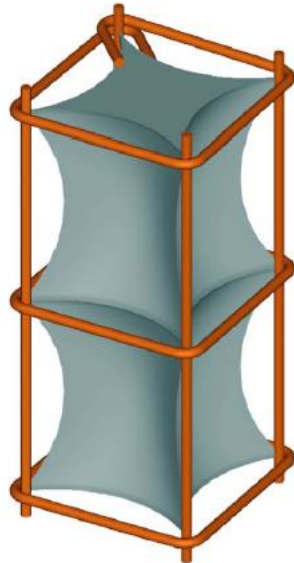
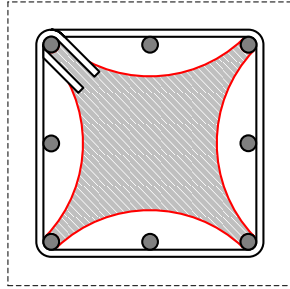
© Kegagalan Geser

kekuatan geser adalah kekuatan suatu bahan atau komponen terhadap hasil atau kegagalan struktur. Beban geser adalah gaya yang cenderung menghasilkan kegagalan geser pada material sepanjang bidang yang sejajar dengan arah gaya.

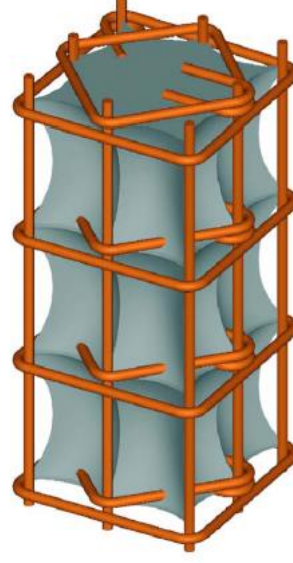
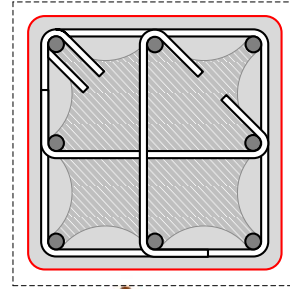




Zona Kekangan Efektif



(a) Kekangan tidak Efektif



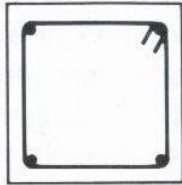
(b) Kekangan Efektif



Berbagai Penerapan Praktis Konsep Kekangan

Kekangan Pasif

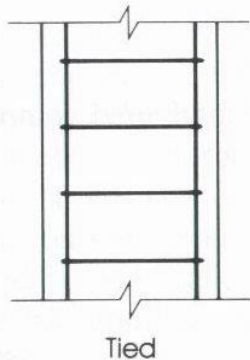
Kolom dengan sengkang ikat – umum digunakan



Spasi sengkang ikat $\cong h$ (kecuali untuk desain gempa)

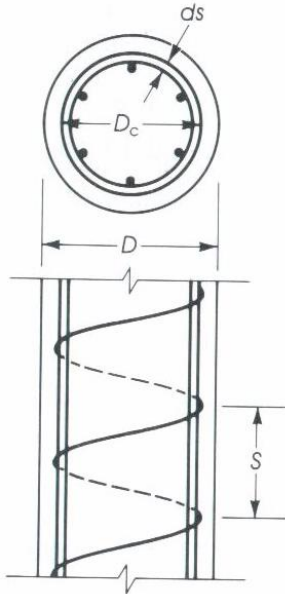
Sengkang ikat berfungsi:

- memberi tumpuan lateral pd tulangan longitudinal (mengurangi tekuk)
- memberi kekangan terhadap beton inti



Kekangan Pasif

Kolom berspiral – umum dijumpai pada kolom bundar



Spasi = min 25 mm hingga maks. 75 mm

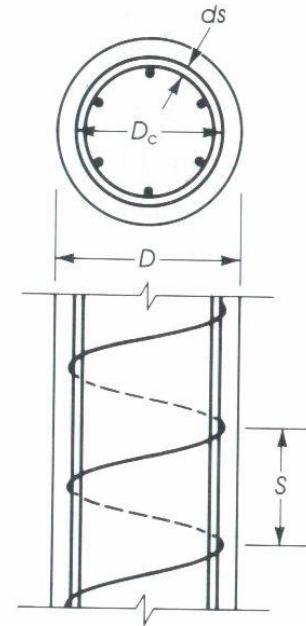
Fungsi spiral mirip dengan fungsi sengkang ikat, namun sebagai pengekang, spiral lebih efektif (membuat keruntuhan tekan menjadi lebih duktail)

Rasio Volumetrik

Rasio Tulang Spiral, ρ_s

$$\rho_s = \frac{\text{Volume Spiral}}{\text{Volume Core}} = \frac{4A_{sp}}{D_c s}$$

$$\left(\text{dari: } \rho_s = \frac{A_{sp} \pi D_c}{1/4 \pi D_c^2 s} \right)$$



Rasio Tulangan Spiral Minimum

Persyaratan rasio tulangan spiral minimum:

$$\rho_s = 0.45 * \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) * \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \quad \text{SNI Pers. 27}$$

dimana

A_{sp} = luas penampang tulangan spiral

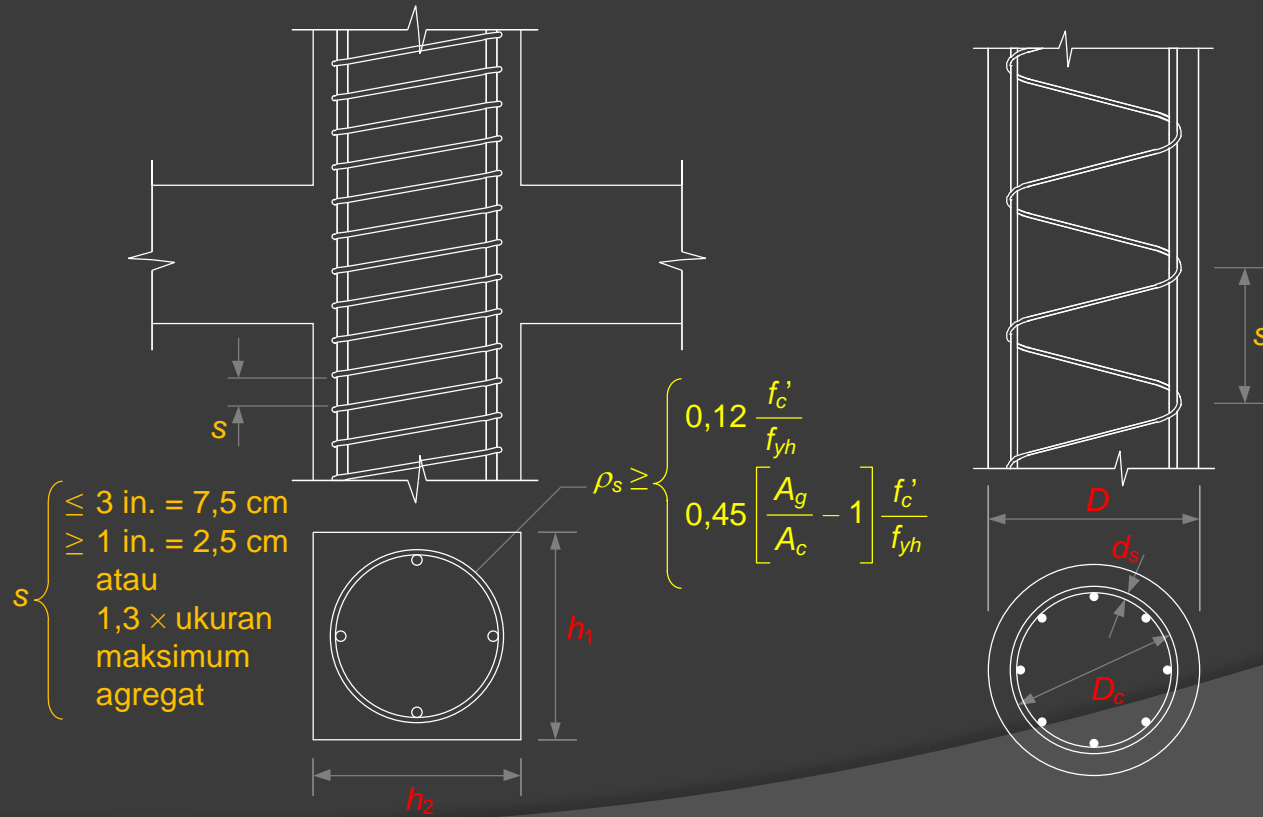
$$A_c = \text{luas inti beton} = \frac{\pi D_c^2}{4}$$

D_c = diameter inti : jarak tepi ke tepi spiral

s = spasi spiral (center to center)

f_y = kuat leleh tulangan spiral (≤ 400 MPa)

Tulangan Minimum untuk Pengekang Spiral

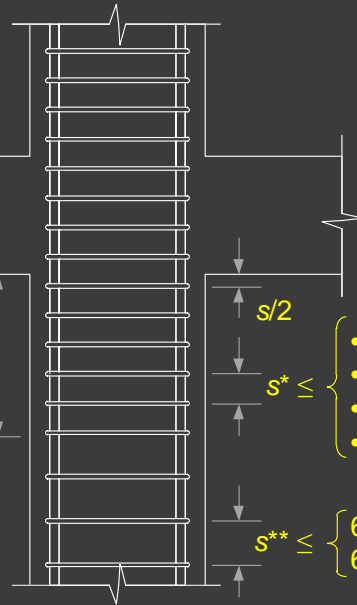


Tulangan Minimum untuk Pengekang Persegi

- Lebih besar dari h_1 atau h_2
- 1/6 bentang bersih
- 18 in. = 45 cm

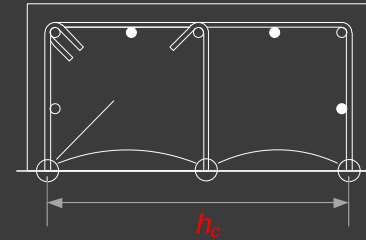
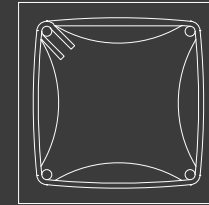
(a)

Sengkang tertutup persegi



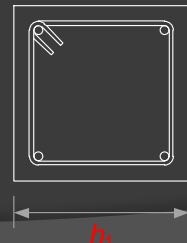
$$s^* \leq \begin{cases} h_1/4 \\ h_2/4 \\ 6d_b \\ s_x \end{cases} A_{sh}$$

$$s^{**} \leq \begin{cases} 6d_b \\ 6 \text{ in.} = 15 \text{ cm} \end{cases}$$



(b)

Tulangan pengekang

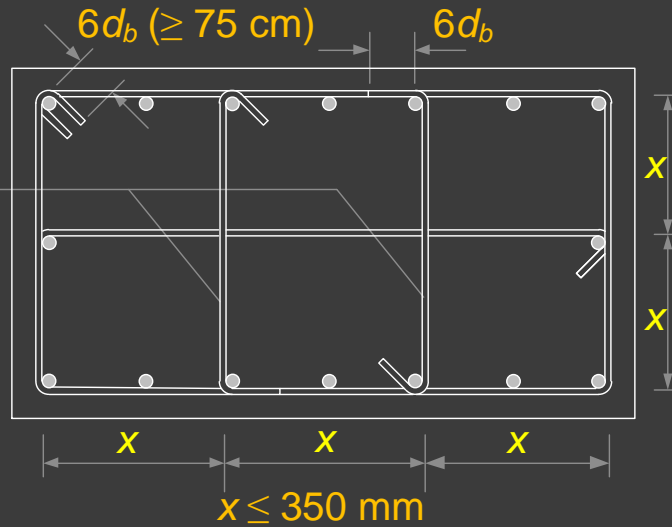


$$15 \text{ cm} \geq s_x = 10 + \frac{35 - h_x}{3} \geq 10 \text{ cm}$$

$$A_{sh} \geq \begin{cases} 0,3 sh_c \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_{yh}} \\ 0,09 sh_c \frac{f'_c}{f_{yh}} \end{cases}$$

Penulangan Transversal di Daerah Sendi Plastis

Dua pengikat silang berurutan yang mengikat tulangan longitudinal yang sama harus mempunyai kait 90° yang dipasang selang-seling



Contoh Penulangan yang “Benar” di Lapangan



Perkuatan Elemen Struktur Kolom

Perkuatan kolom terkadang diperlukan karena:

- ❑ Mutu beton sering mengalami drop saat pelaksanaan
- ❑ Pengekangan pada daerah sendi plastis yang belum memadai.
- ❑ Perubahan fungsi bangunan \Rightarrow penambahan beban layan

Salah satu bentuk perkuatan yang populer di industri konstruksi saat ini yaitu perkuatan dengan menggunakan bahan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP)

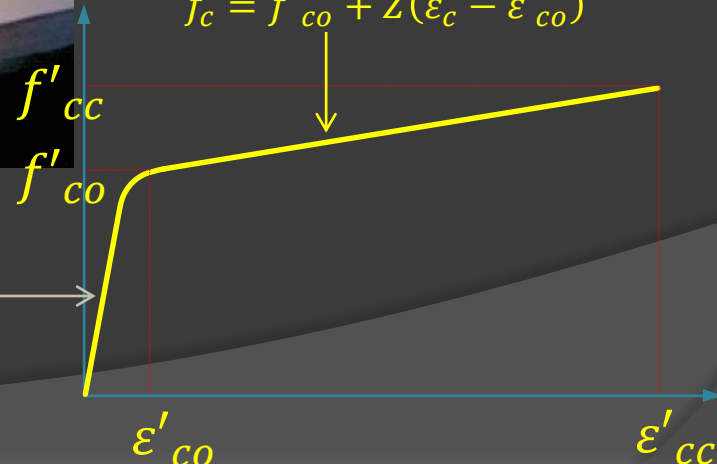
Perkuatan Kolom dengan FRP



Hubungan Tegangan-Regangan Beton yang Terkekang

$$f_c = f'_{co} + Z(\epsilon_c - \epsilon'_{co})$$

$$f_c = f'_{co} \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon'_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_{co}} \right)^2 \right]$$

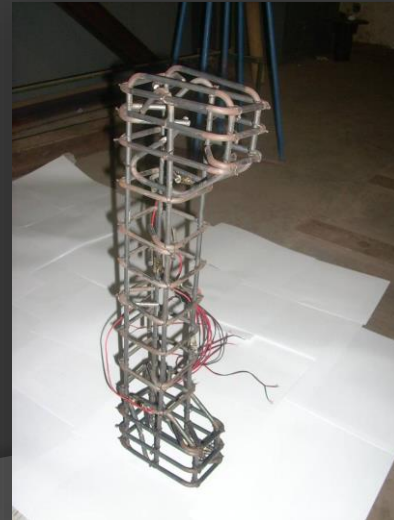


СОВЕТЫ ПО ВЫБОРУ И БЛАГОПРИЯТНОМУ ИСПОЛНЕНИЮ РАБОТ



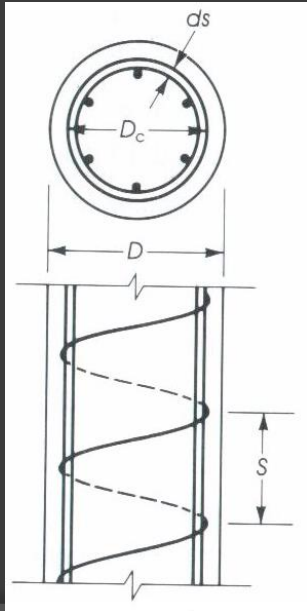
Pemanfaatan Bahan Baja Mutu Tinggi

- ❑ Penggunaan beton mutu tinggi dapat meningkatkan kerapatan tulangan pengekuat
- ❑ Solusi \Rightarrow menggunakan tulangan pengekuat baja mutu tinggi



Kekangan Pasif

Kolom berspiral – umum dijumpai pada kolom bundar



Spasi = min 25 mm hingga maks. 75 mm

Fungsi spiral mirip dengan fungsi sengkang ikat, namun sebagai pengekan, spiral lebih efektif (membuat keruntuhan tekan menjadi lebih daktail)

Persyaratan beton struktural untuk bangunan
gedung dan penjelasan

(ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)

ICS 91.080.40

STRUKTUR BETON LANJUT

Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T., M.T.

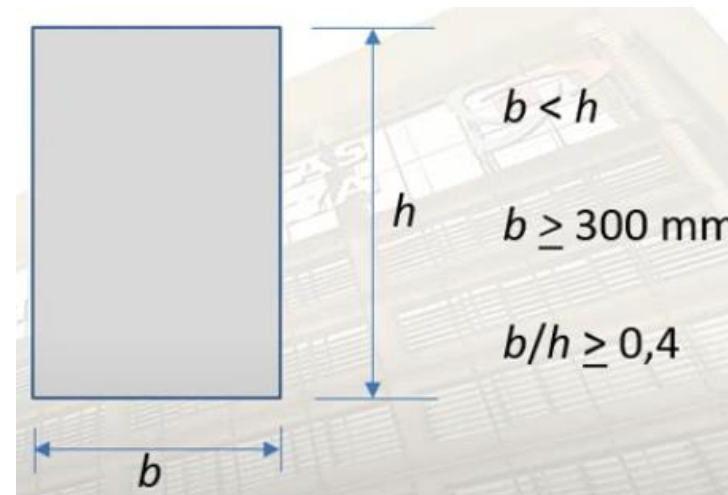
Desain Kolom
SRPMK
Sesuai SNI
2847:2019

Syarat Dimensi Penampang

SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1

Kolom-kolom harus memenuhi a) dan b):

- a) Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
- b) Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusinya tidak kurang dari 0,4.



Kuat Lentur Minimum

SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\Sigma M_{nb}$$

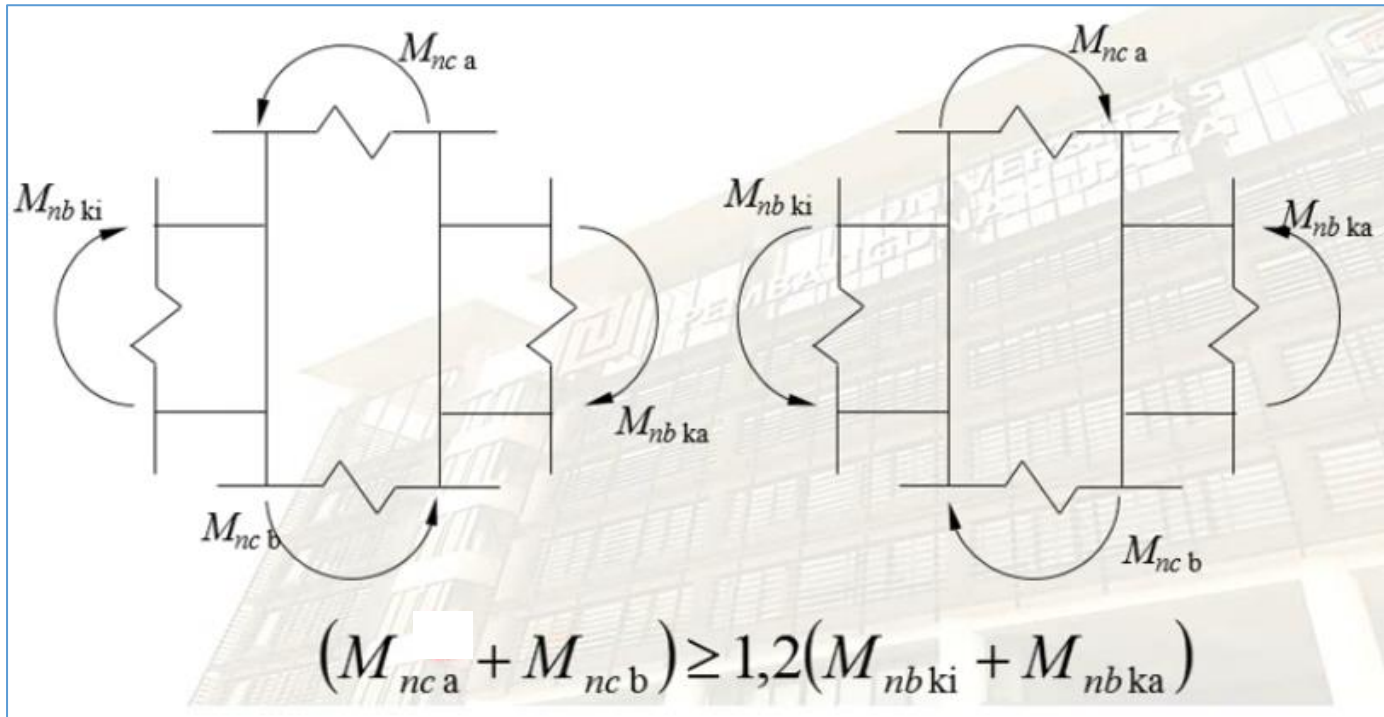
ΣM_{nc} adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

ΣM_{nb} adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

Kuat Lentur Minimum

SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2

Konsep Kolom Kuat- Balok Lemah (Strong Column-Weak Beam)



Tulangan Lentur

SNI 2847:2019 pasal 18.7.4

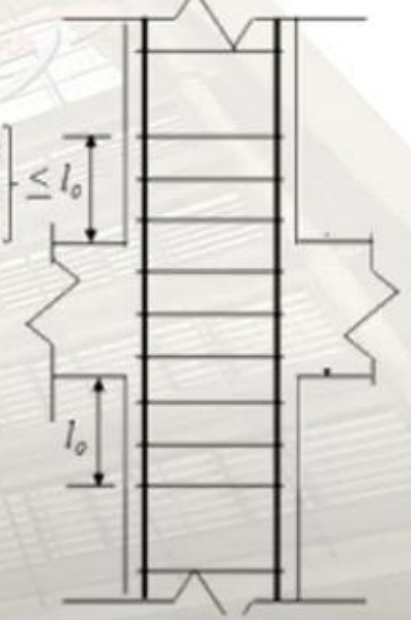
- Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.
- Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
- Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah **tengah tinggi kolom** dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal

Tulangan Transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1

Pada daerah sendi plastis kolom (daerah sepanjang l_o dari muka hubungan balok-kolom, di kedua ujungnya) **harus** disediakan tulangan transversal yang mencukupi. Panjang l_o daerah sendi plastis kolom, diambil tidak kurang dari :

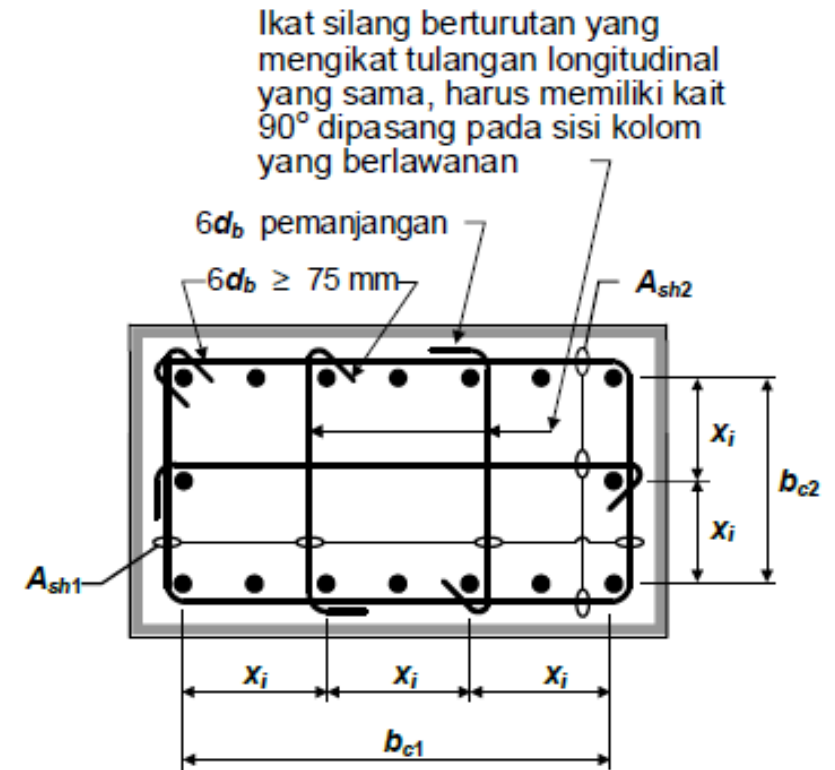
- Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang memiliki potensi terjadi leleh lentur
- 1/6 dari bentang bersih komponen struktur
- 450 mm

- 
- terbesar antara h_1 & h_2
 - 1/6 bentang bersih
 - 450 mm

Tulangan Transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2

- ❑ Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (overlap), sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
- ❑ Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- ❑ Ikat silang yang berurutan harus diselangseling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.



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 .

Tulangan Transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2

Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi h_x antara tulangan-tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekuat **tidak boleh melebihi 350 mm**.

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3

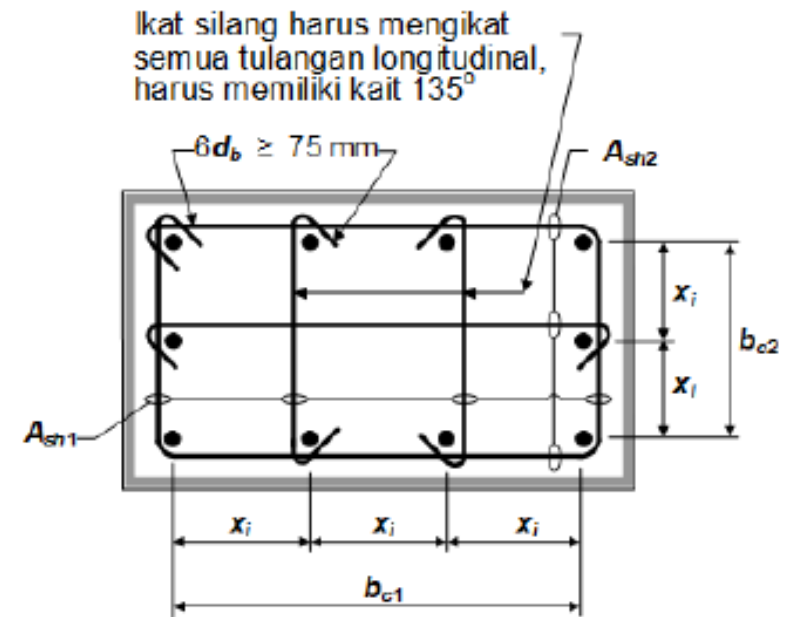
Jarak tulangan transversal pada daerah sepanjang l_o , harus diambil tidak melebihi nilai terkecil dari :

- $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur
- 6 kali diameter tulangan memanjang
- $100 \text{ mm} \leq s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \leq 150 \text{ mm}$

Tulangan Transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2

Ketika $P_u > 0,3A_gf'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa pada kolom dengan sengkang pengekuat, setiap batang atau bundle tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekuat ataupun oleh kait gempa, dan nilai h_x tidak boleh lebih dari **200 mm**. P_u harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk E



Dimensi x_l 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_l .

Tulangan Transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2}$$

n_e adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekan atau kait seismik

| Tulangan transversal | Kondisi | Persamaan yang berlaku | |
|---|---|----------------------------------|--|
| A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekan persegi | $P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa | Terbesar antara (a) dan (b) | $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (b) |
| | $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa | Terbesar antara (a), (b) dan (c) | $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c) |
| ρ_s untuk spiral ataupun sengkang lingkaran | $P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70$ MPa | Terbesar antara (d) dan (e) | $0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (d) $0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (e) |
| | $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa | Terbesar antara (d), (e) dan (f) | $0,35k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (f) |

Tulangan Transversal

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5

Di luar panjang l_0 , kolom harus diberi tulangan spiral atau sengkang dengan spasi s tidak melebihi nilai terkecil dari $6d_b$ dan 150 mm, kecuali bila jumlah tulangan transversal yang lebih besar disyaratkan oleh 18.7.4.3 atau 18.7.6

Kekuatan Geser

SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5

Tulangan transversal harus didesain untuk memikul gaya geser rencana, V_e , yang ditentukan menggunakan kuat momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja, P_u .

$$V_e = \frac{M_{pr\ a} + M_{pr\ b}}{l_c}$$

Indeks a dan b menyatakan sisi atas dan bawah dari kolom yang ditinjau, sedangkan l_c adalah panjang dari kolom tersebut.

Gaya geser rencana tersebut **tidak perlu lebih besar** daripada gaya geser rencana maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur balok yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut.

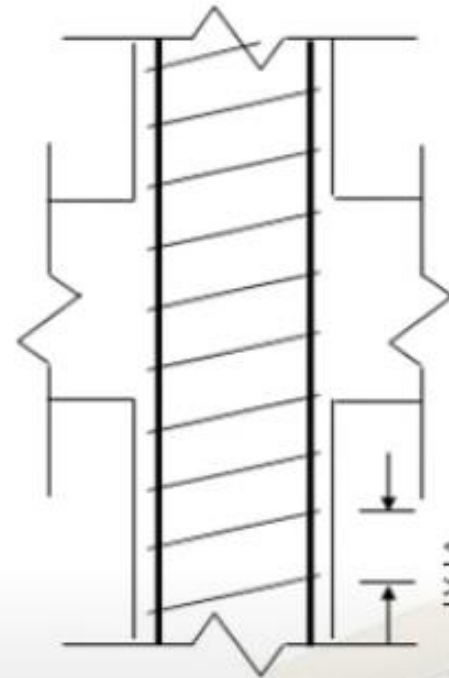
Gaya geser rencana, V_e , **tidak boleh lebih kecil** daripada geser terfaktor yang dihasilkan melalui perhitungan analisis struktur.

Kekuatan Geser

SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2

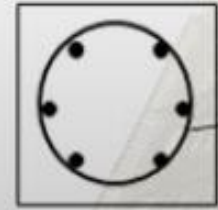
Tulangan transversal sepanjang ℓ_o berdasarkan 18.7.5.1, harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila a) dan b) terjadi:

- a. Gaya geser akibat gempa berdasarkan 18.7.6.1 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang l_o .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$

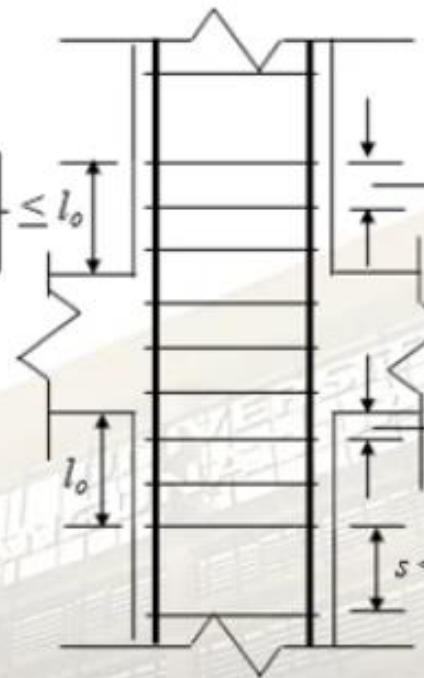


- terbesar antara h_1 & h_2
- 1/6 bentang bersih
- 450 mm

≤ 75 mm
 ≥ 25 mm atau
 4/3 ukuran agregat



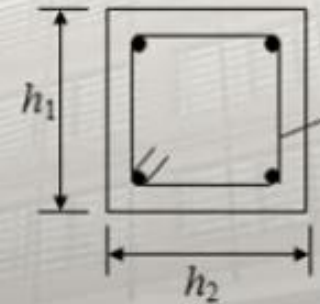
$$\rho_s \geq \begin{cases} 0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0,35 k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \end{cases}$$



- $\frac{1}{4} (h_1 \text{ atau } h_2)$
- $6d_b$
- s_o

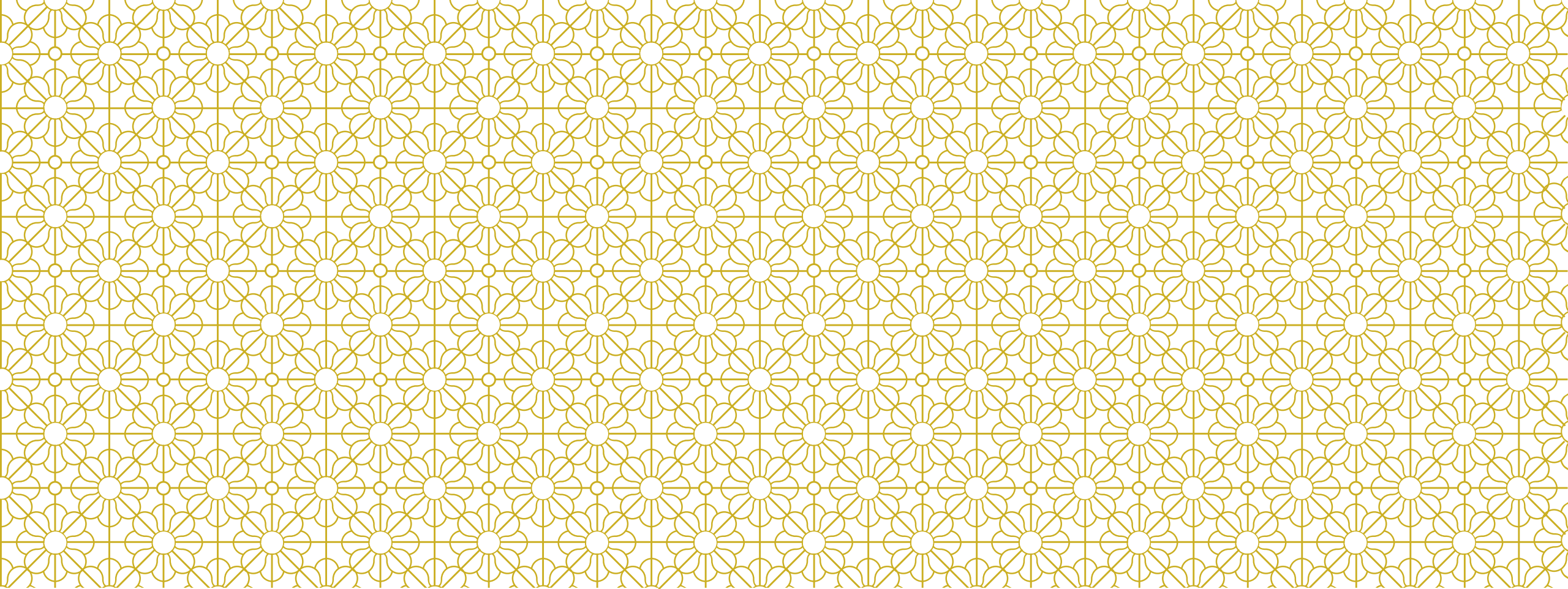
$s/2$

$s < 6d_b$ atau 150 mm



$$\frac{A_{ch}}{s b_c} \geq \begin{cases} 0,3 \frac{f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\ 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ 0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \end{cases}$$

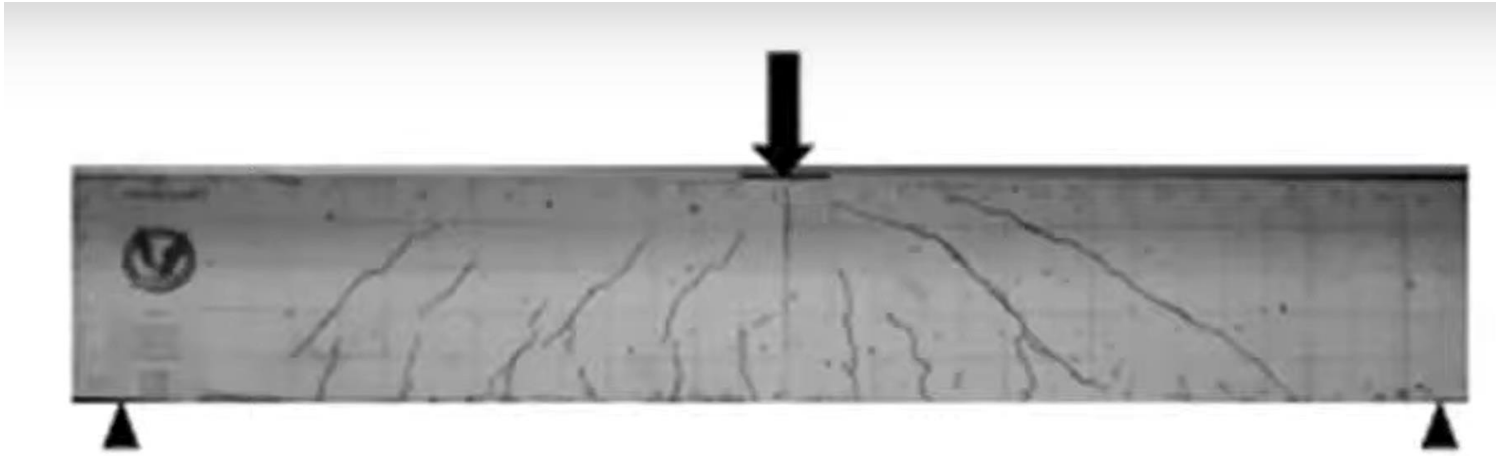
$$100 \text{ mm} \leq s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \leq 150 \text{ mm}$$



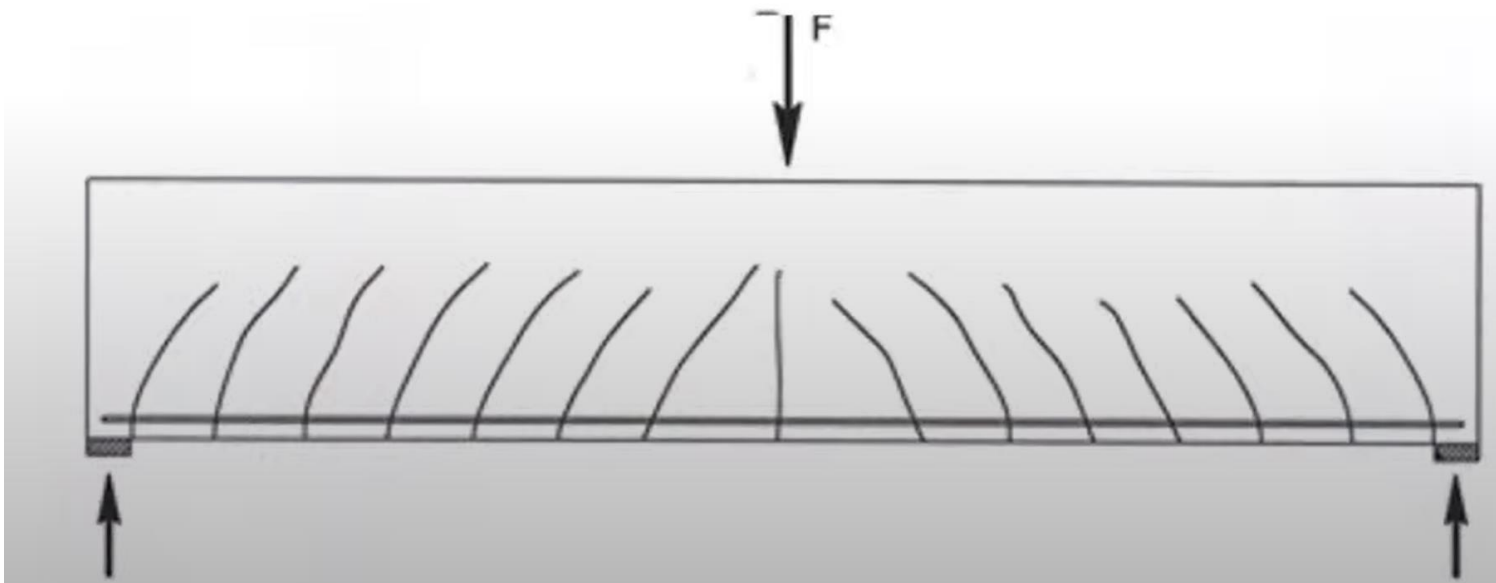
STRUKTUR BETON LANJUT

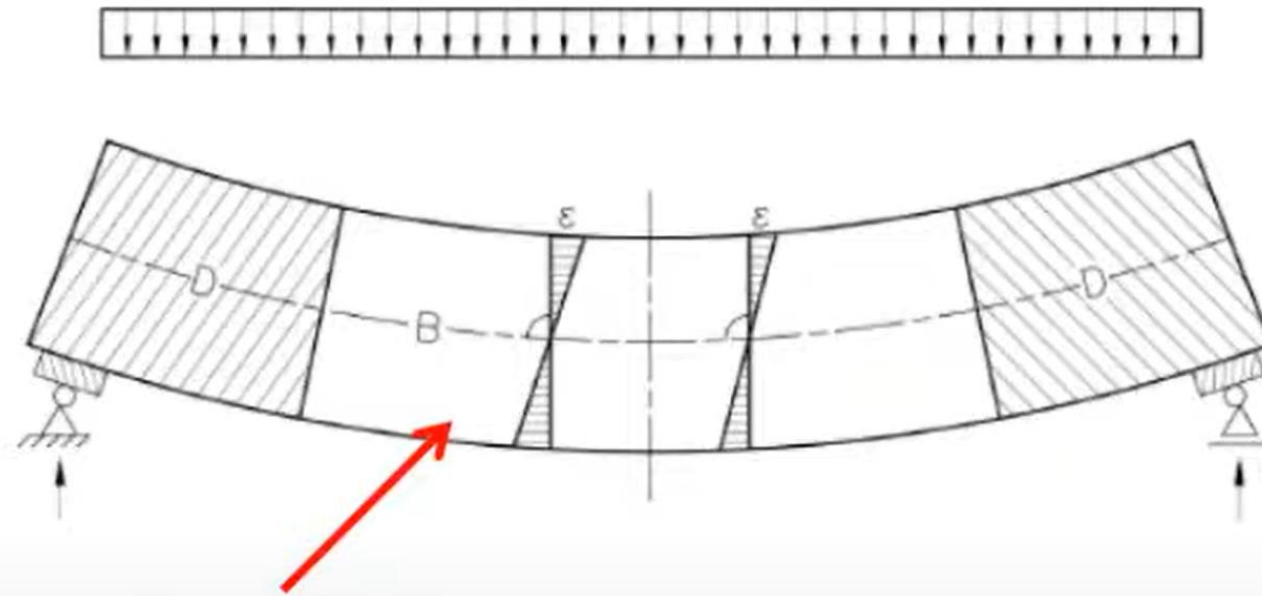
Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T., M.T.

Strut and Tie



Pola retak pada balok akibat beban F (momen dan gaya lintang)





Hypothesa Bernoulli

$$f = M/I \cdot Y$$
$$f = -N/A$$

SNI 2847 -2013 pasal 10.2.2 :

Regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari garis netral,

Menjadi Standard Penulangan untuk Beban Lentur dan Aksial
SNI 2847-2013 Bab 10.

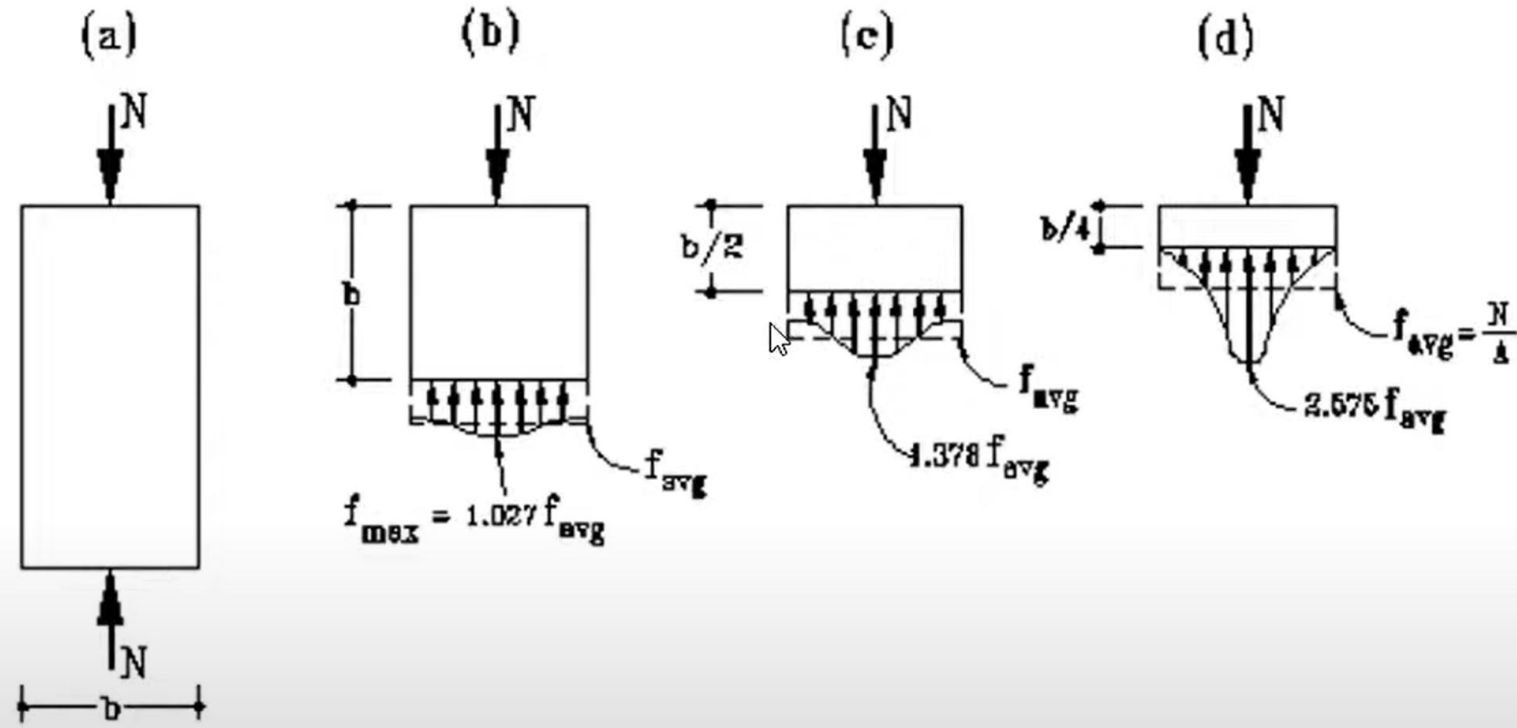
SNI 2847 – 2013:
Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung

SNI 2847 -2013 pasal 10.2.2 :

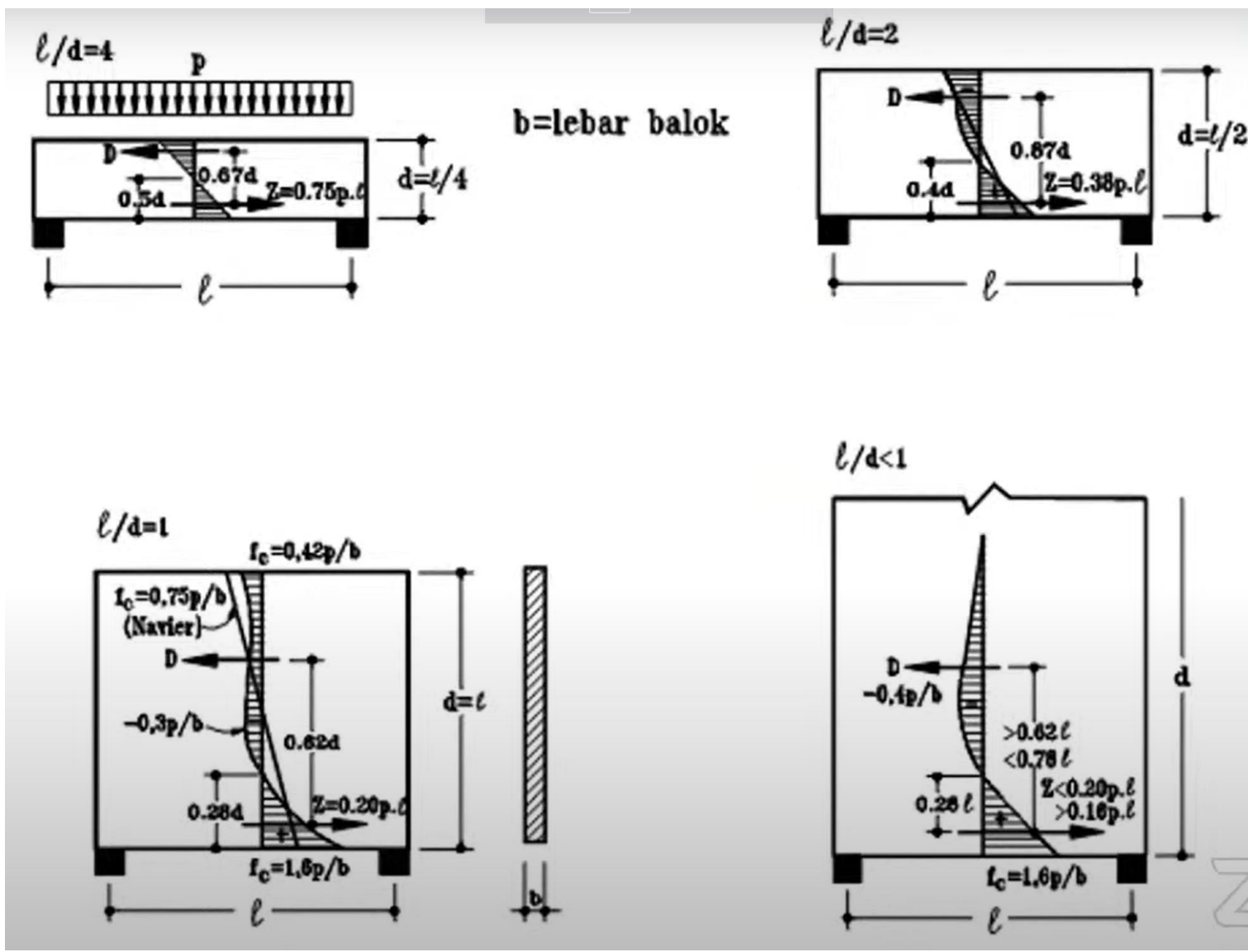
*Regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari garis netral, kecuali, untuk **balok tinggi** seperti yang didefinisikan dalam 10.7.1, analisis yang memperhitungkan distribusi regangan nonlinier harus digunakan. Alternatifnya diijinkan untuk menggunakan **model Strat dan Pengikat.***



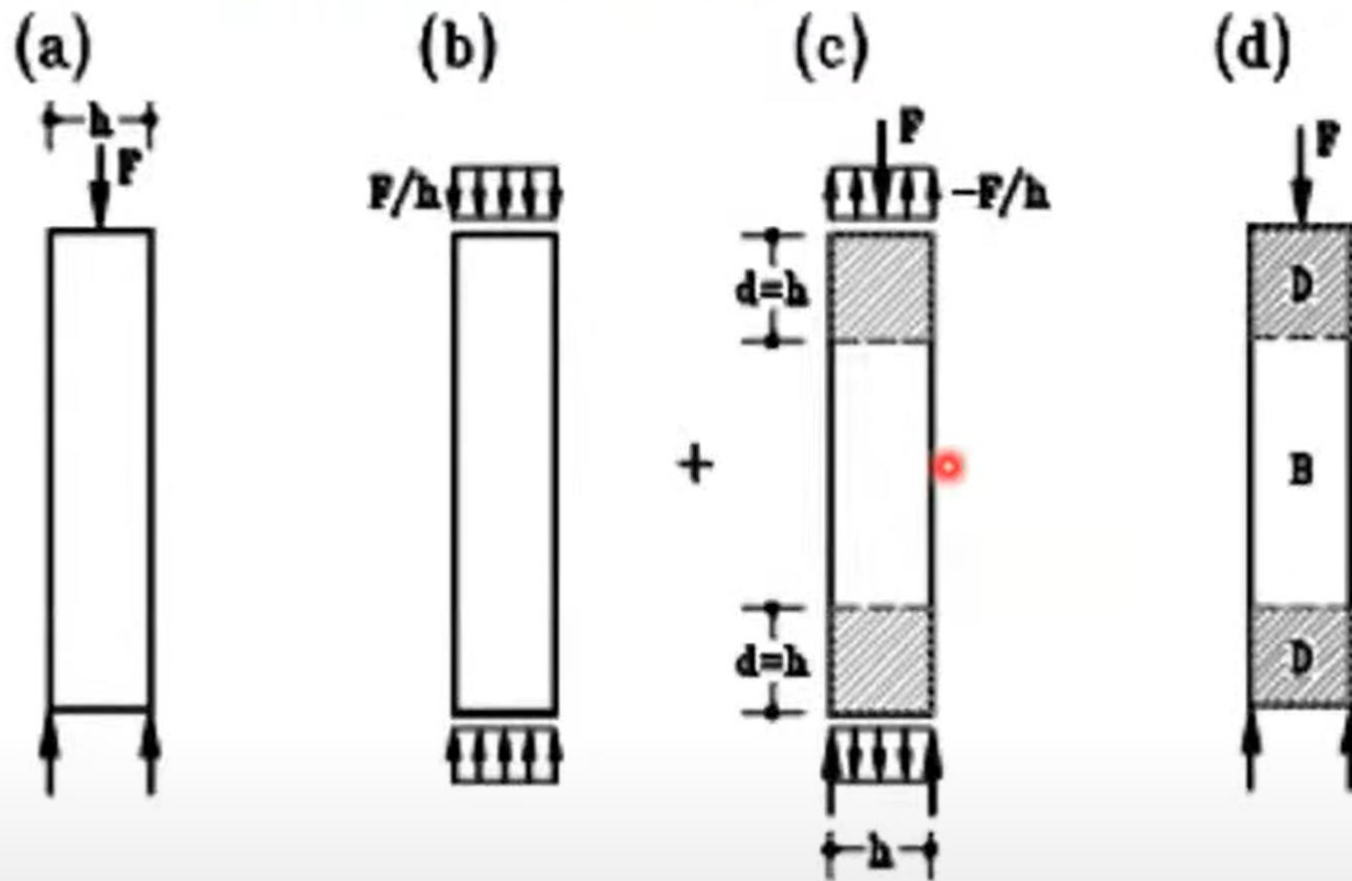
Prof Joerg Schlaich et.al (1982-1993) – University of Stuttgart
Perancangan Struktur Beton dapat dibedakan dalam dua Daerah yaitu **Daerah B dan D**, khusus perancangan pada **Daerah D dengan Strut-and-tie-model.**



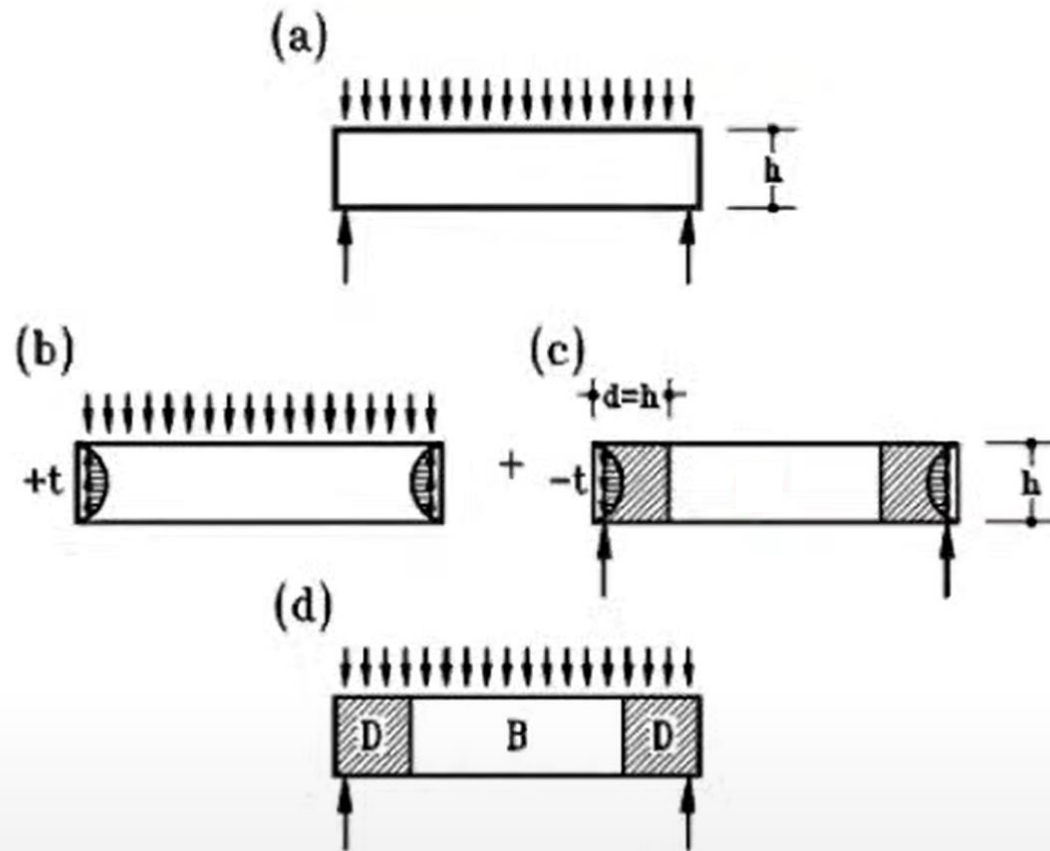
. Distribusi tegangan sekitar beban kerja terpusat.



Contoh Penentuan Batas Daerah D dan B berdasarkan prinsip Saint-Venant



Contoh Penentuan Batas Daerah D dan B berdasarkan prinsip Saint-Venant



Contoh Daerah D pada Konstruksi



Meng-KONSTRUKSI-kan Model Strat dan Pengikat

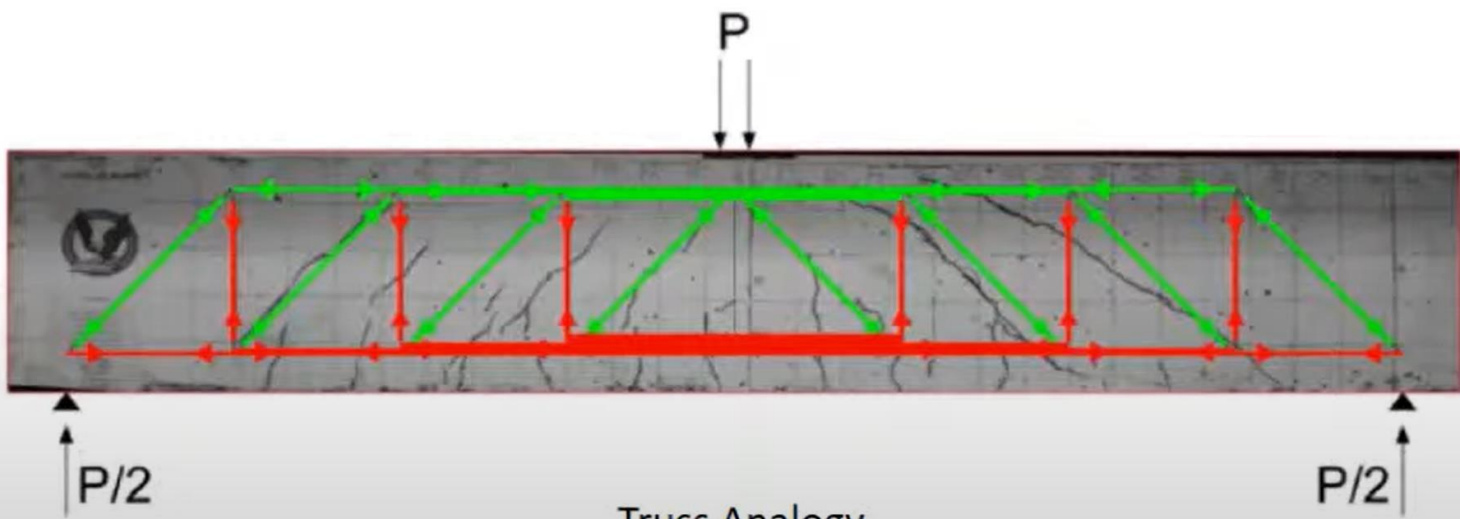
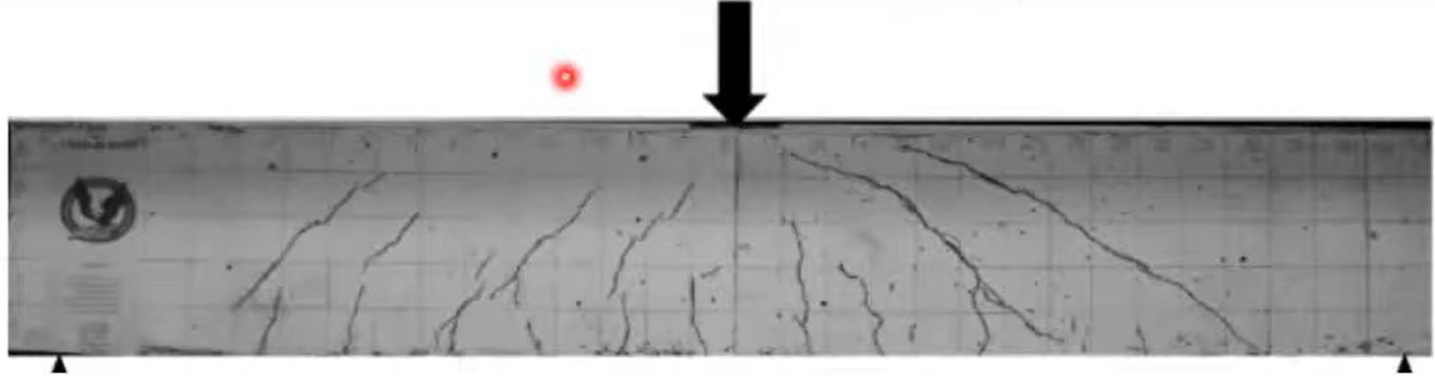
Trajektori tegangan utama adalah salah satu alat bantu dalam membentuk Model Strat dan Pengikat .

Di samping pemanfaatan trajektori tegangan utama, Schlaich (1982) memberikan alternatif lain, yaitu penggunaan metoda ALUR GAYA (**load-path method**).

Mengkonstruksikan perambahan gaya dari tempat AKSI nya, melalui badan struktur untuk sampai ke TUMPUAN (REAKSI), semuanya harus memenuhi syarat keseimbangan gaya.

Press Esc to exit full screen

Cikal Bakal Strut-and-Tie Model Ritter and Moersch (1902)



Truss Analogy

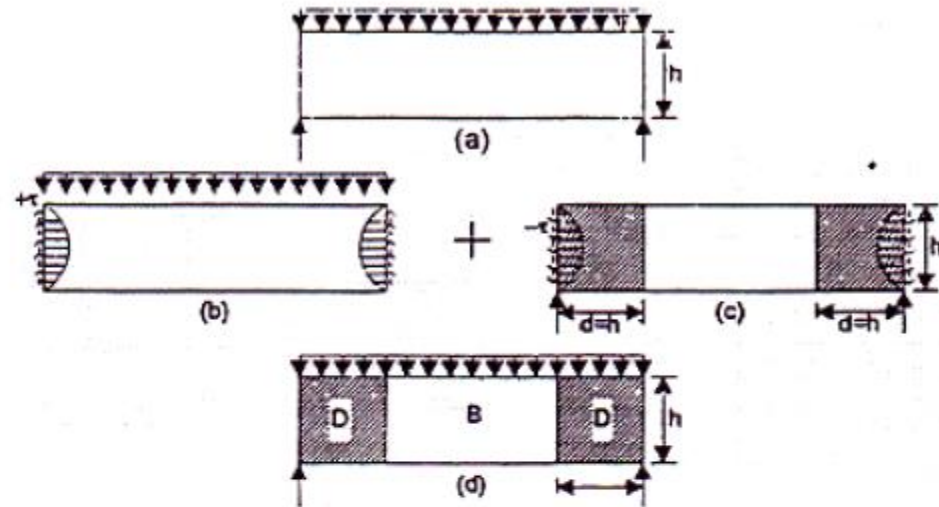
- Analogi Rangka Batang
- Batang Tekan- STRAT ----- CONCRETE
- Batang Tarik – PENGIKAT----- STEEL

PENDAHULUAN

Metode *Strut and Tie*, yang dikembangkan dari metode *analogi model truss* untuk balok, merupakan salah satu metode pendekatan untuk menganalisis struktur beton pada daerah-D. Metode Strut dan Tie adalah sebuah metode yang didasarkan pada sistem keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada sebuah struktur ketika dibebani. Komponen utama dari metoda strut dan tie ini terdiri atas daerah tekan (*compressive struts*), daerah tarik (*tension ties*), dan daerah nodal (*nodal zone*) sebagai daerah pertemuan.

PENDAHULUAN

- ◎ Strut-and tie model adalah sebuah **model struktur rangka** dari suatu elemen struktural atau dari sebuah **D-Region** dalam elemen tersebut, yang terdiri dari **batang batang desak dan batang-batang tarik** yang terhubung pada titik-titik nodal, dan yang mampu **meneruskan beban-beban** terfaktor ke titik-titik tumpuan atau ke **B-Region** di dekatnya (ACI 318-02 App. A).

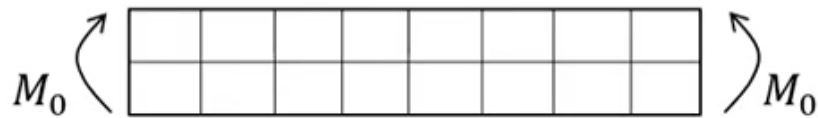


- Struktur yang dibebani gaya luar
- Beban dan reaksi sesuai dengan hipotesis Bernoulli
- Pengaruh gangguan ujung
- Struktur dengan daerah-B dan daerah-D

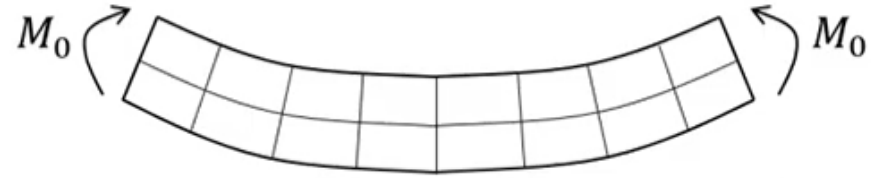
11.1 – Introduction

11.1.1 – B and D-Regions

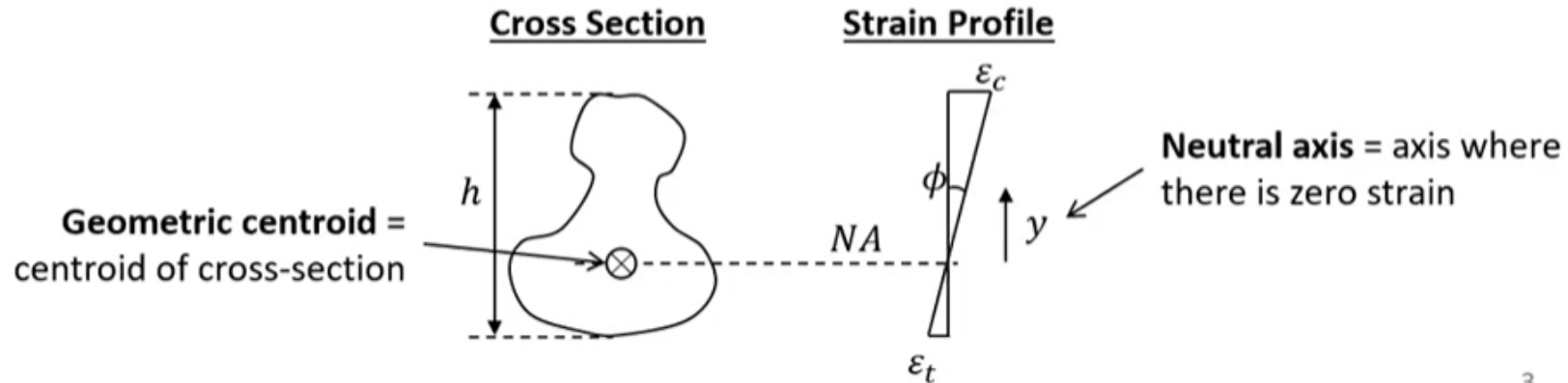
Typical sectional behavior is based on the Bernoulli hypothesis that axial strains vary **linearly** across the depth of the member



If moment applied to a beam with vertical and horizontal planes drawn on it.



When beam bends, vertical planes will remain linear.



Bernoulli-Euler Assumptions

The two primary assumptions made by the Bernoulli-Euler beam theory are that 'plane sections remain plane' and that deformed beam angles (slopes) are small.

The plane sections remain plane assumption is illustrated in [Figure 5.1](#). It assumes that any section of a beam (i.e. a cut through the beam at some point along its length) that was a flat plane before the beam deforms will remain a flat plane after the beam deforms (i.e. it will not curve out-of-its-own-plane as shown in the lower right image within [Figure 5.1](#)). This assumption is generally relatively valid for bending beams unless the beam experiences significant shear or torsional stresses relative to the bending (axial) stresses. Shear stresses in beams may become large relative to the bending stresses in cases where a beam is very deep and short in length.

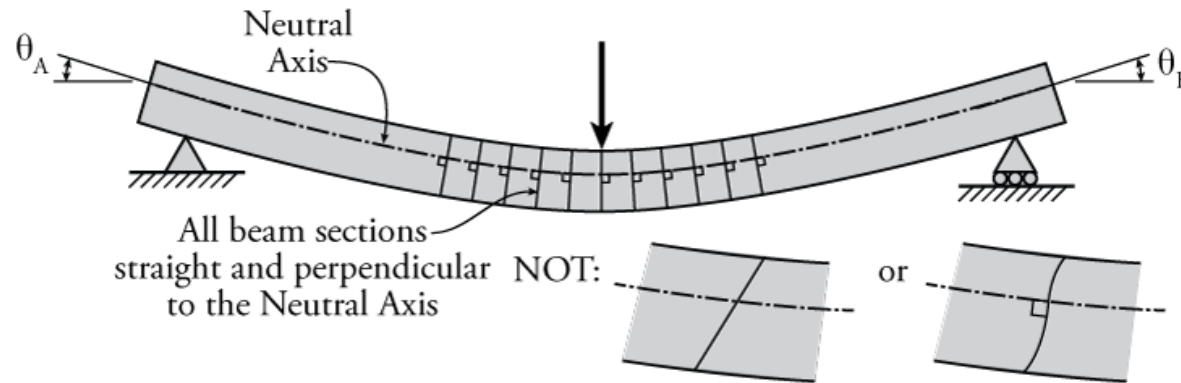



Figure 5.1: The Plane Sections Remain Plane Assumption

The plane sections remain plane assumption also assumes that any section of a beam that was perpendicular to the neutral axis before the beam deforms will remain perpendicular to the neutral axis after the beam deforms. Recall that, depending on the cross-sectional shape of the beam and its composition, the neutral axis may not be located at the mid-height of the beam.

STM (STRUT AND TIE MODEL)

- ⊙ Pada analisis struktur, biasanya digunakan asumsi Bernaulli yang menyatakan bahwa penampang tetap datar selama deformasi
- ⊙ Dalam kenyataannya, pada daerah kerja beban terpusat, tumpuan atau di mana terdapat konsentrasi tegangan yang besar, asumsi kondisi penampang tetap datar pada saat deformasi ini, umumnya tidak berlaku
- ⊙ Penampang struktur terbagi atas 2 tipe daerah, yakni daerah D dan daerah B

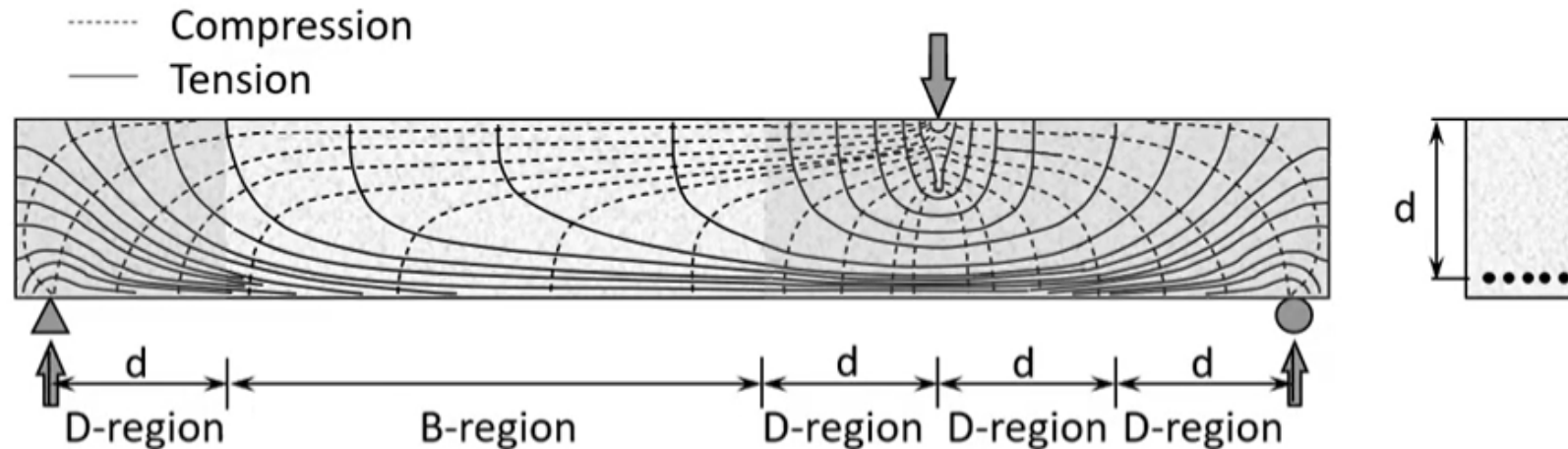
- ⦿ Daerah yang “tidak lagi datar”, disebut daerah D (Disturbed atau Discontinuity)
- ⦿ Pada daerah D ini luas D dapat ditentukan dengan St. Venant’s Principle. Perencanaannya menggunakan Model Strut and Tie (STM)

- 
- ⦿ Sedangkan daerah di mana berlaku hukum Bernaulli, disebut daerah B (Bending atau Bernaulli).
 - ⦿ Pada daerah B ini tegangan dapat dicari dengan menggunakan momen lentur

11.1 – Introduction

11.1.1 – B and D-Regions

A region is considered to be a D-region (disturbed or deep beam region) when the strains vary **nonlinearly** across the depth of the section



Strain across the depth of any section can be determined by taking a slice of the strain flow below

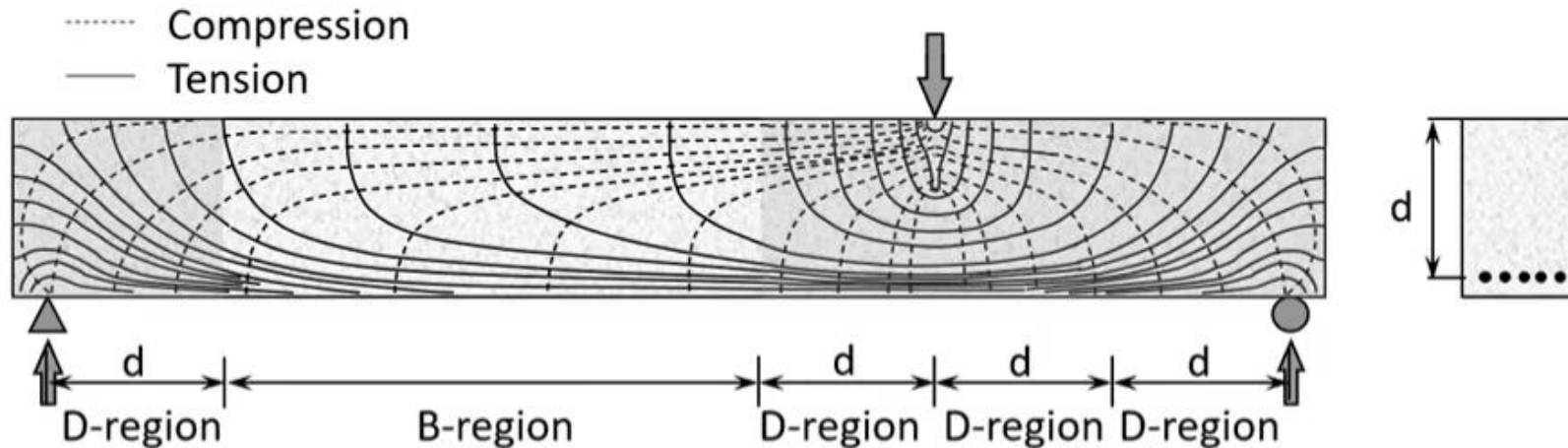
B-Regions: Plane sections remain plane

D-Regions: Plane sections DO NOT remain plane

11.1 – Introduction

11.1.1 – B and D-Regions

A region is considered to be a D-region (disturbed or deep beam region) when the strains vary **nonlinearly** across the depth of the section



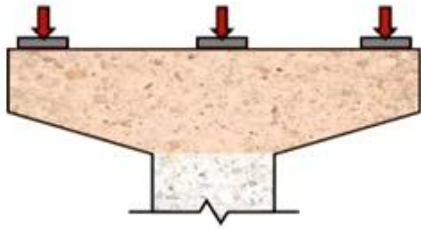
D-regions cannot be designed using B-region designs; they need to be designed either using empirically derived expressions or using **STM**

Note: STM can be used for both D and B-regions

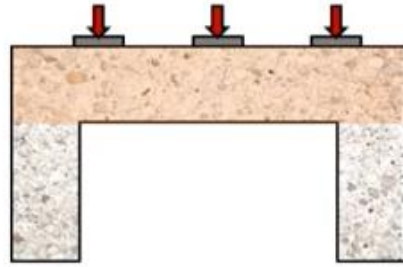
11.1 – Introduction

11.1.1 – B and D-Regions

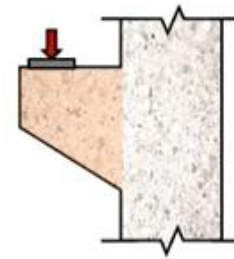
D-regions are caused by **abrupt changes in geometry** or **concentrated forces**. Here are several examples of common D-regions:



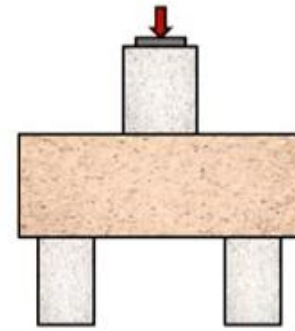
Hammerhead pier cap



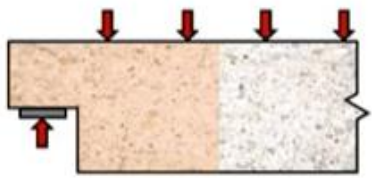
Bent cap



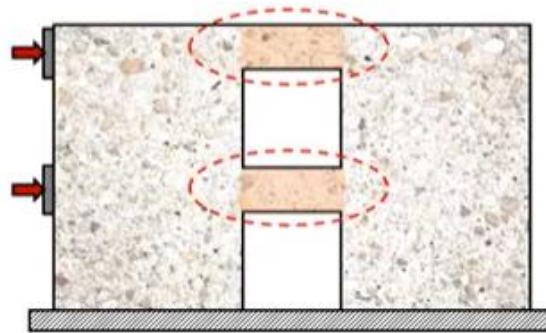
Ledged members



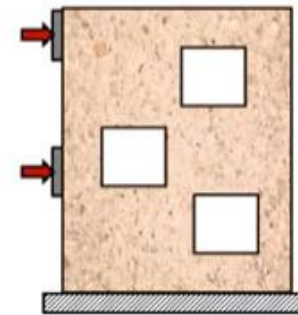
Pile cap



Dapped-end beams



Coupling beams



Walls with Openings

6

11.1 – Introduction

11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes

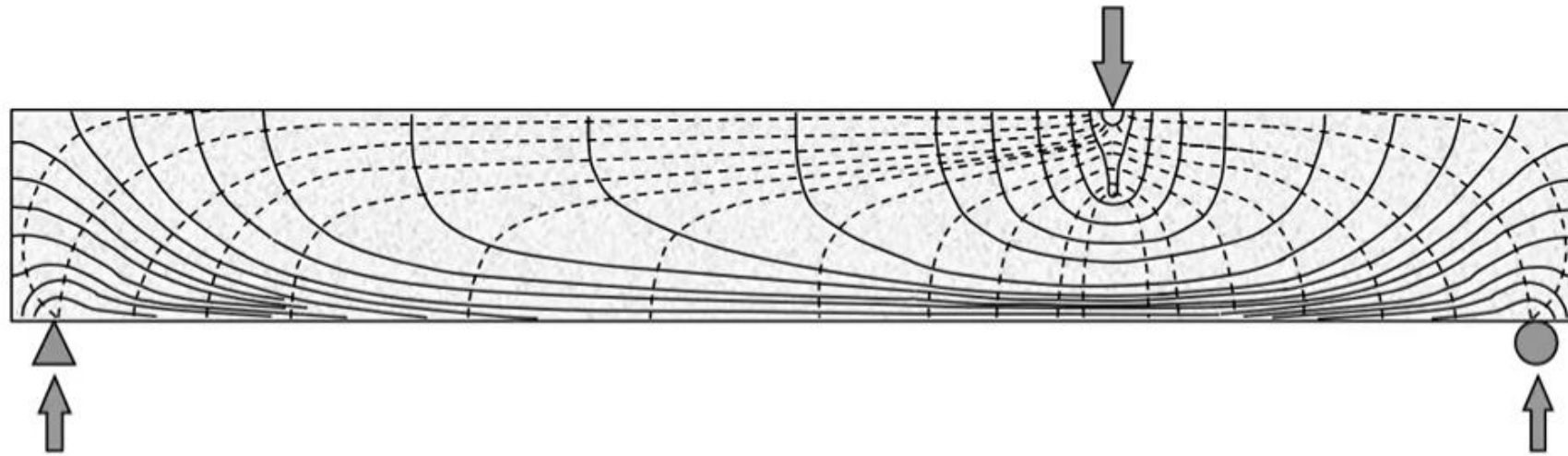
STM model is designed to simply model the flow of stresses through a structure



11.1 – Introduction

11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes

STM model is designed to simply model the flow of stresses through a structure

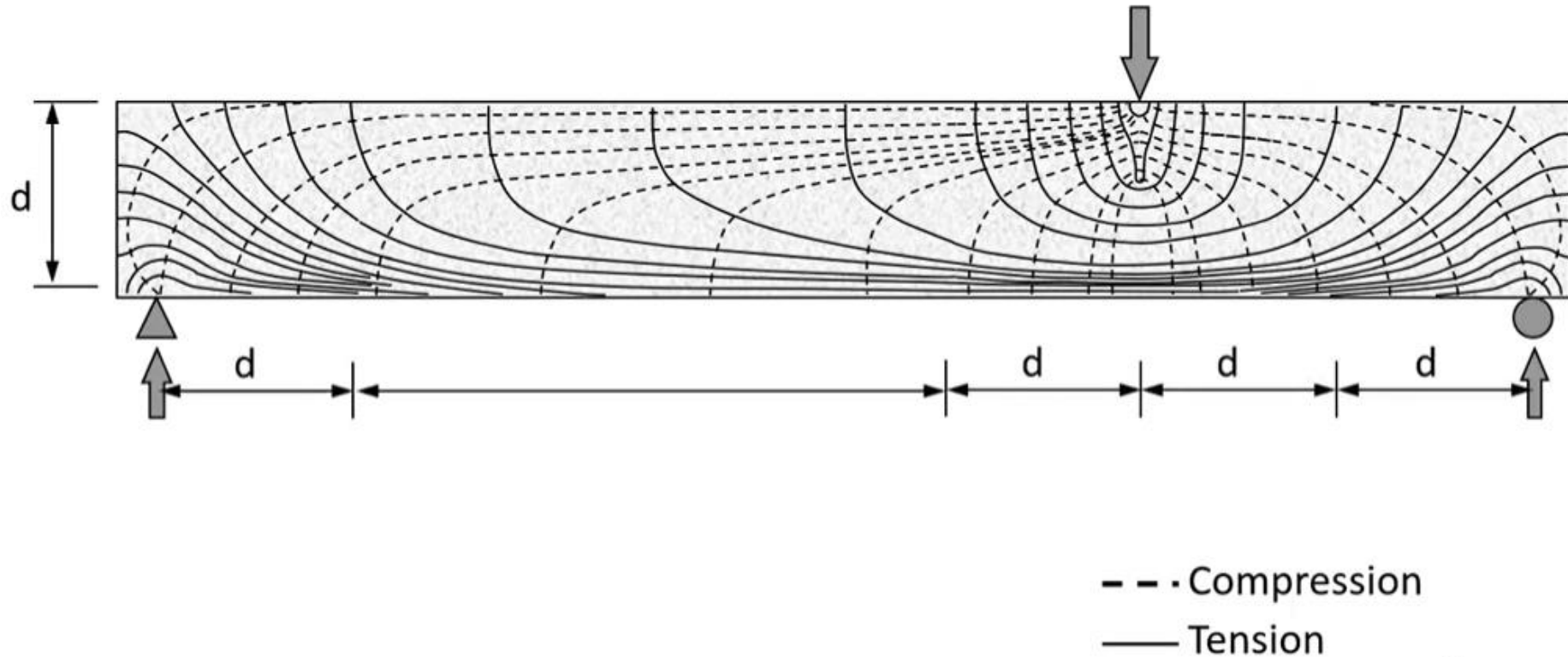


- - - Compression
— Tension

11.1 – Introduction

11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes

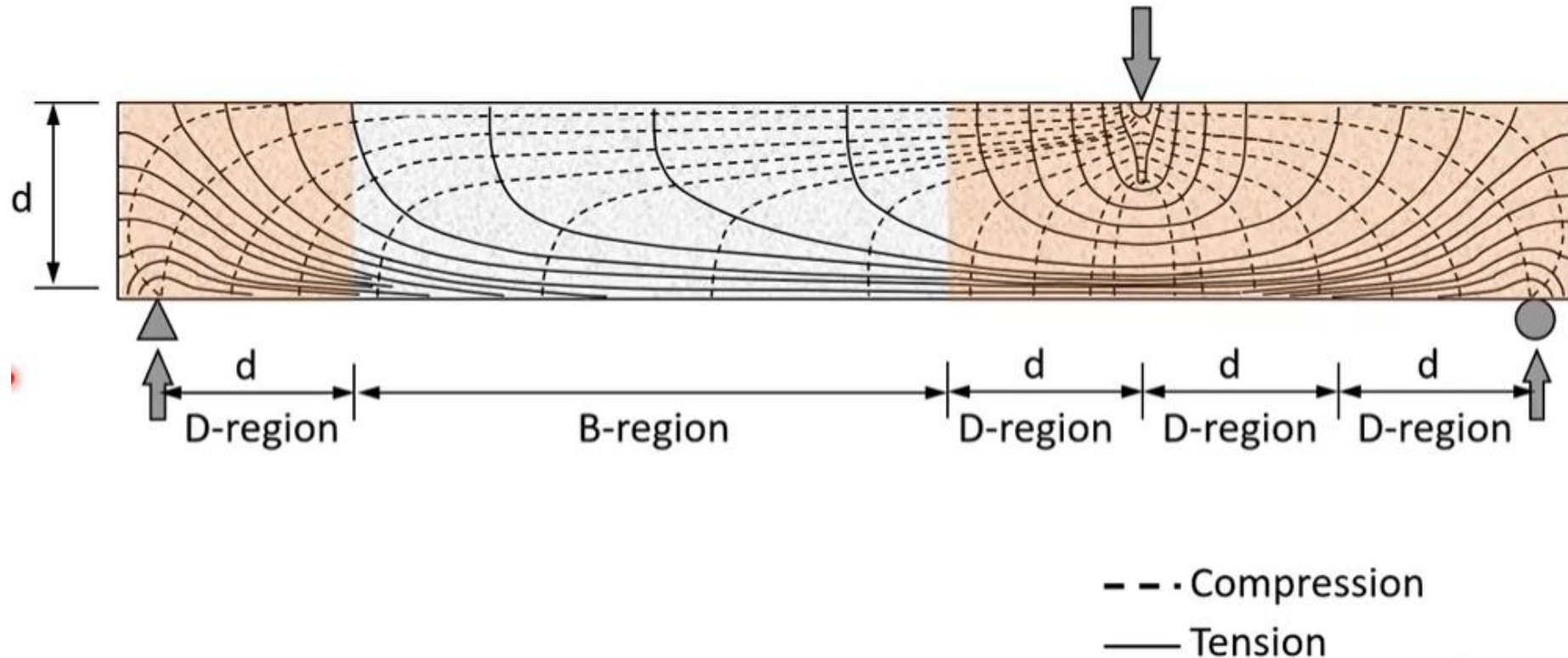
STM model is designed to simply model the flow of stresses through a structure



11.1 – Introduction

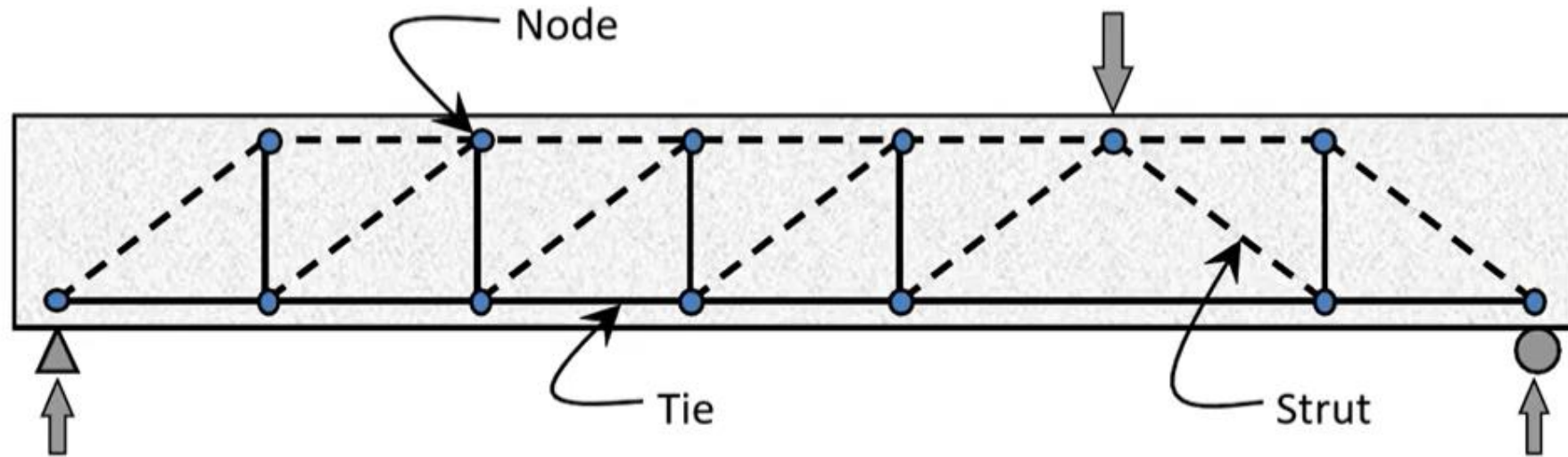
11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes

STM model is designed to simply model the flow of stresses through a structure



11.1 – Introduction

11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes



Theoretical truss or kinematic model where:

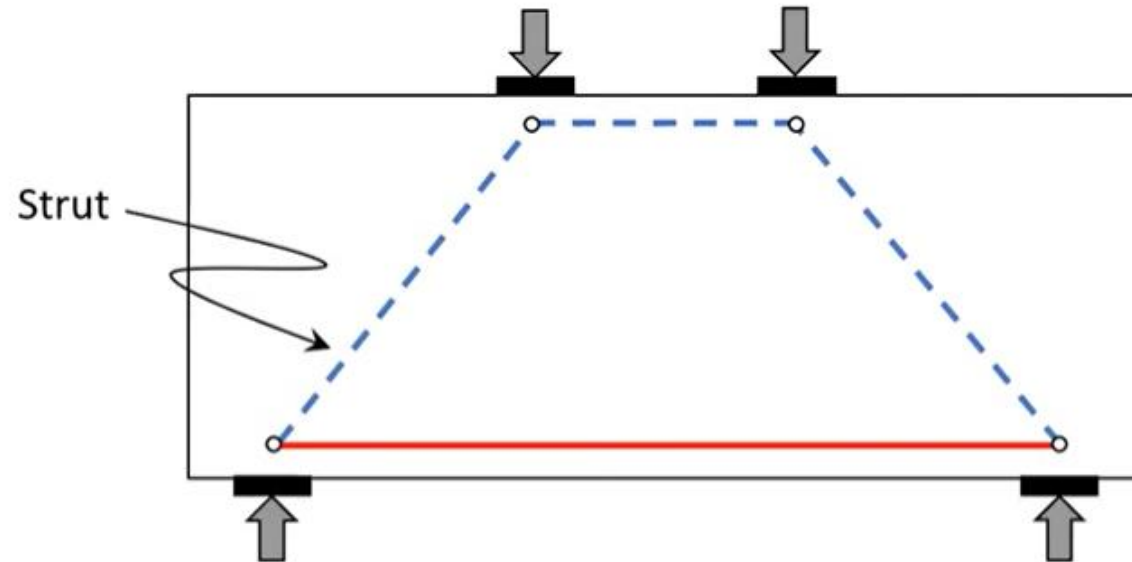
- Compression elements → **Struts**
- Tension elements → **Ties**
- Joints of truss → **Nodes**

11.1 – Introduction

11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes

Struts

Struts are compression elements in the theoretical truss, and are represented by straight, dotted lines



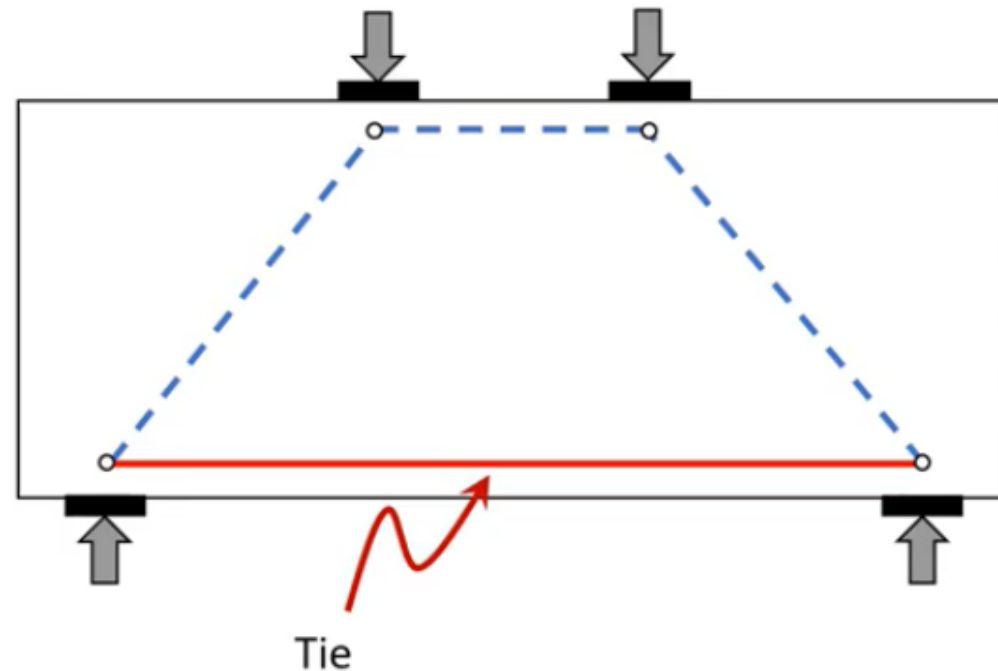
Struts have a three-dimensional shape dictated by the geometry of the member

11.1 – Introduction

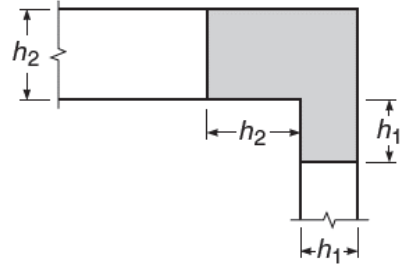
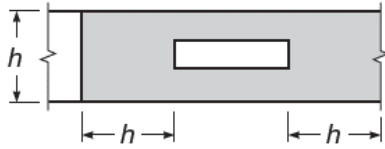
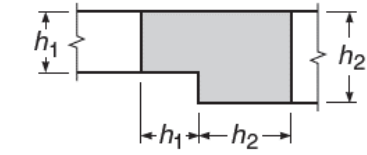
11.1.3 – Struts, Ties, and Nodes

Ties

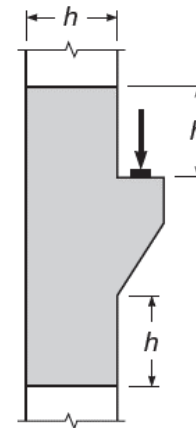
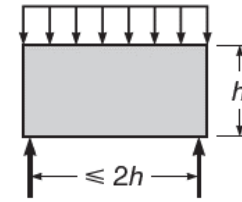
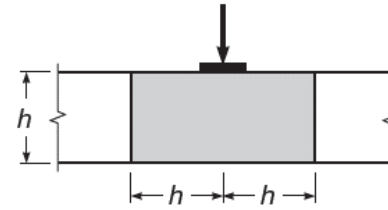
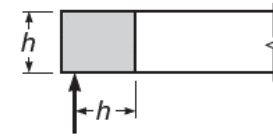
Ties are the tension elements in the STM and are represented by a solid line (typically red)



Geometric and load discontinuities for D-regions.

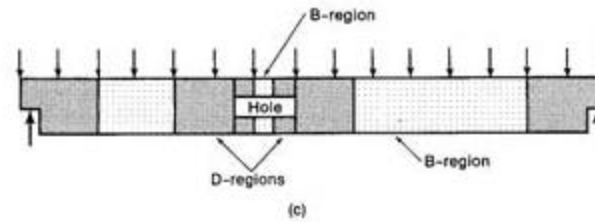
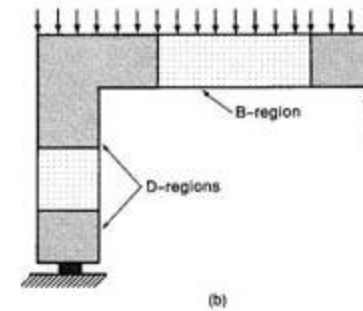
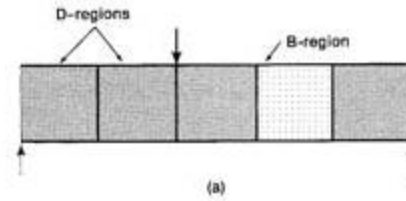


(a) Geometric discontinuities

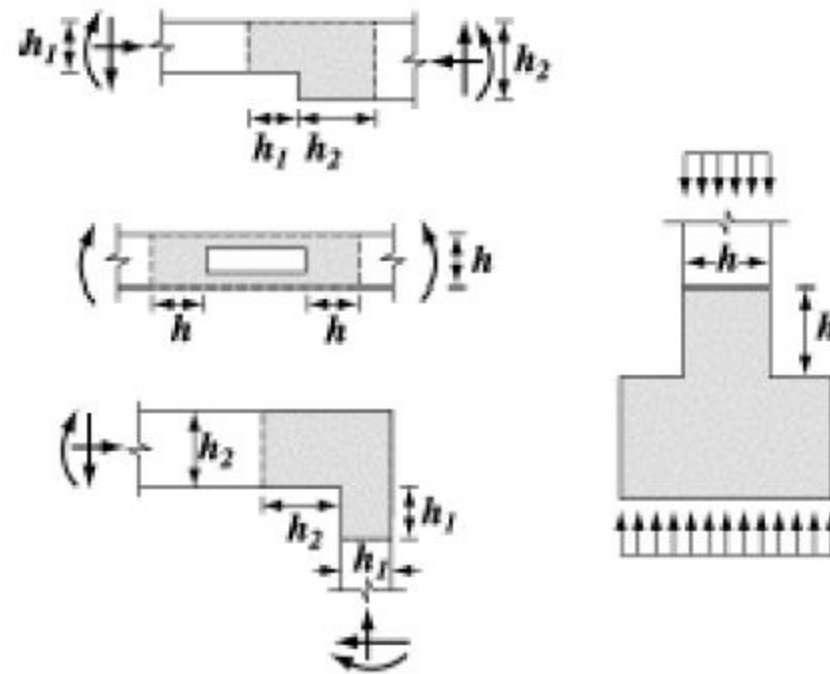


(b) Loading discontinuities

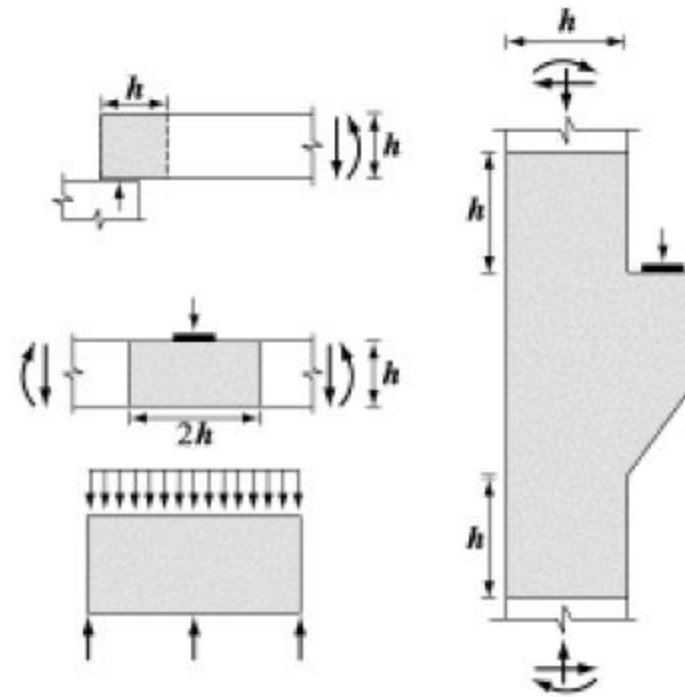
D-Region and B-Region



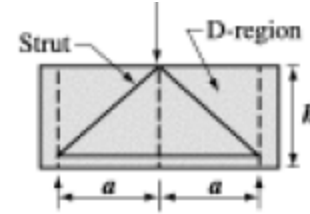
Geometric Discontinuities



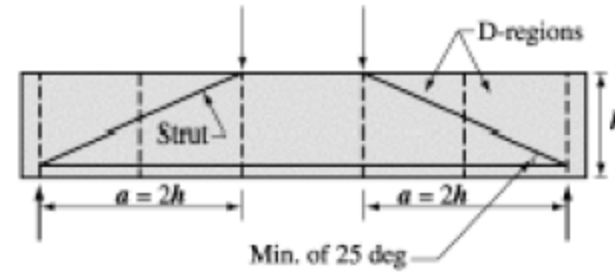
Loading Discontinuities



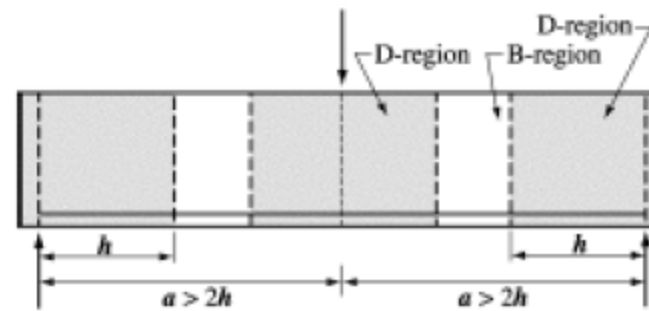
Batasan Balok Tinggi



(a) Shear span, $a < 2h$, deep beam



(b) Shear span, $a = 2h$, limit for a deep beam



(c) Shear span, $a > 2h$, slender beam

Analisis Daerah D

Analisis daerah-D dapat dilakukan secara dua dimensi dan tiga dimensi. Untuk struktur yang memiliki ketebalan yang sama, seperti balok; konsol dan bukaan pada pelat, kondisi yang terjadi merupakan kondisi tegangan bidang, sehingga analisis dapat disederhanakan menjadi dua dimensi. Sedangkan untuk struktur dimana kondisi tegangannya bersifat tiga dimensi seperti efek punching akibat beban terpusat pada pile cap maka analisis harus dilakukan secara tiga dimensi.

Pemodelan Strut-and-Tie

Merupakan suatu prosedur iterasi yang mencakup:

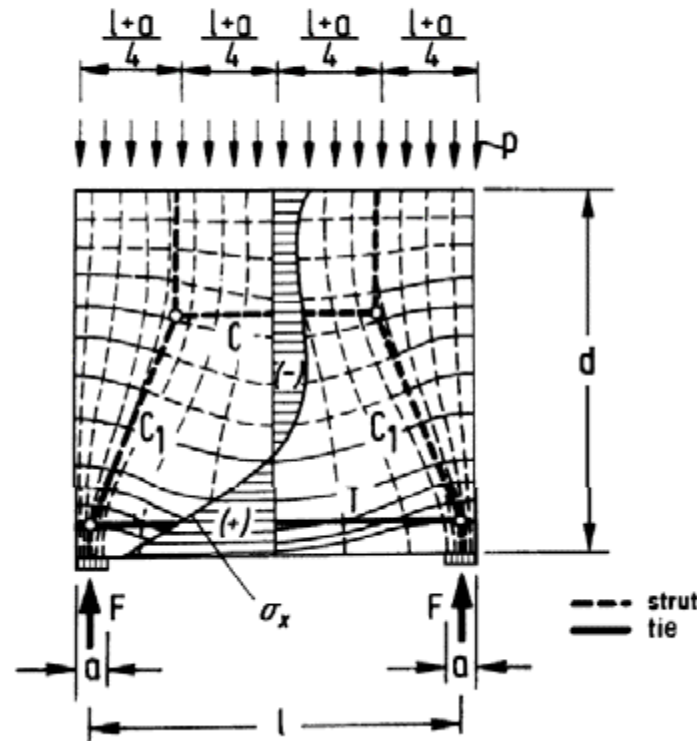
- Pemilihan model strut-and-tie “trial”.
- Pendimensian dan pendetailan struts, ties, dan nodes.
- Check dimension struts, nodes, dan tie untuk menjamin pilihan STM adalah benar.
- Lakukan iterasi model strut-and-tie bila diperlukan.

Pemilihan Model Strut-and-Tie

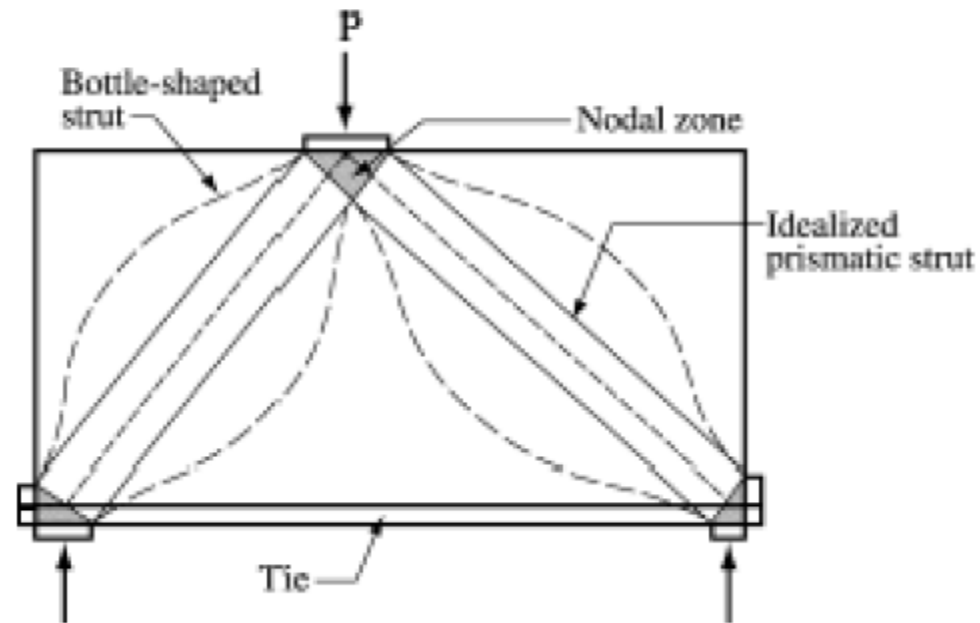
Pendekatan yang dapat dipakai untuk memudahkan pemilihan STMmodel adalah;

1. Metode Trayektori Tegangan Tekan
(*Compressive Stress Trajectories*).
2. Metode Lintasan Beban

Trajectori Teg pd Balok Tinggi




Gambaran Strut and Tie

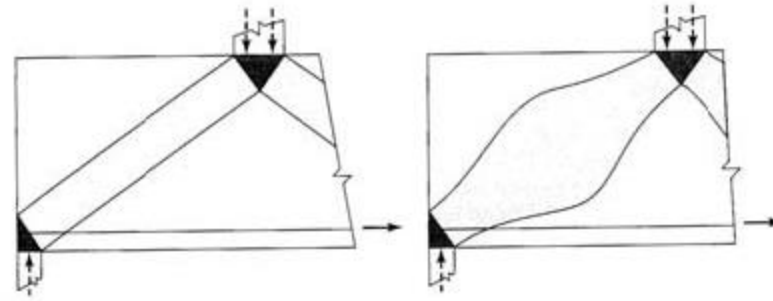


Prosedur Umum

1. Tentukan Model *Strut-Tie* yang akan digunakan, yaitu mulai dari penggambaran aliran gaya, pemilihan model dan optimasi model. Tentukan letak dari nodal, *strut* dan *tie*
2. Tentukan dimensi dari masing-masing elemen sesuai batasan geometrik struktur seperti tinggi pengangkuran, luas daerah perletakan dan daerah pembebanan. Kemudian hitung semua gaya luar yang terjadi pada struktur.
3. Tentukan geometrik model strut-tie. *Strut* digambarkan dengan garis lurus pada sumbu strut. *Tie* digambarkan sebagai garis lurus yang berimpit dengan sentroid tulangan. Nodal adalah daerah tempat perpotongan *strut*, *tie* dan garis kerja beban. Dimensi nodal dibatasi oleh keadaan geometrik struktur seperti luas daerah perletakan, tinggi pengangkuran dan luas pelat tumpu (*bearing plate*).

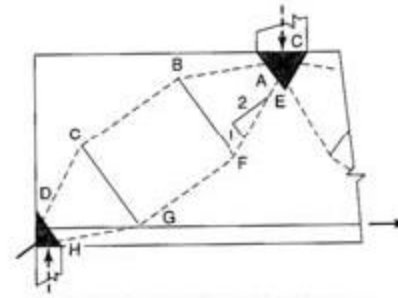
- 
4. Tentukan gaya-gaya dalam pada setiap elemen strut-tie. Untuk model strut-tie statis tak tentu, dilakukan estimasi terhadap kekakuan relatif struktur untuk menentukan gaya-gayanya.
 5. Periksa apakah tegangan pada tiap strut dan nodal memenuhi syarat kapasitas tegangan efektif.
 6. Tentukan luas tulangan yang dibutuhkan berdasarkan besarnya gaya pada tie dan luas daerah pengangkurannya.

Jenis Strut



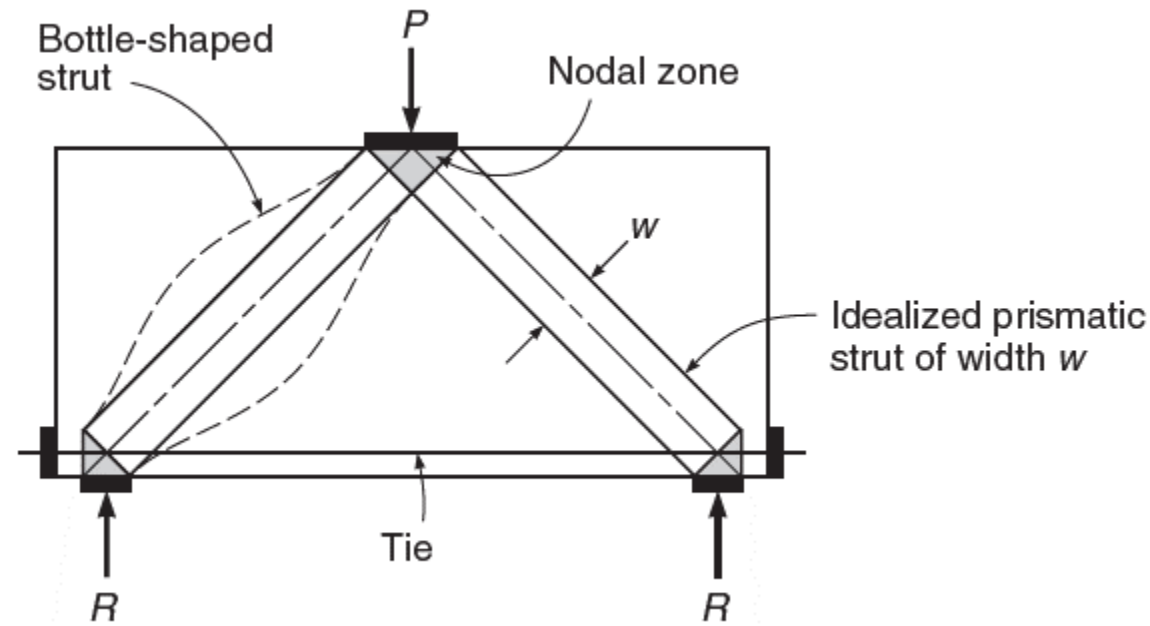
(a) Idealized prismatic strut.

(b) Bottle-shaped strut.



(c) Strut-and-tie model of a bottle-shaped strut.

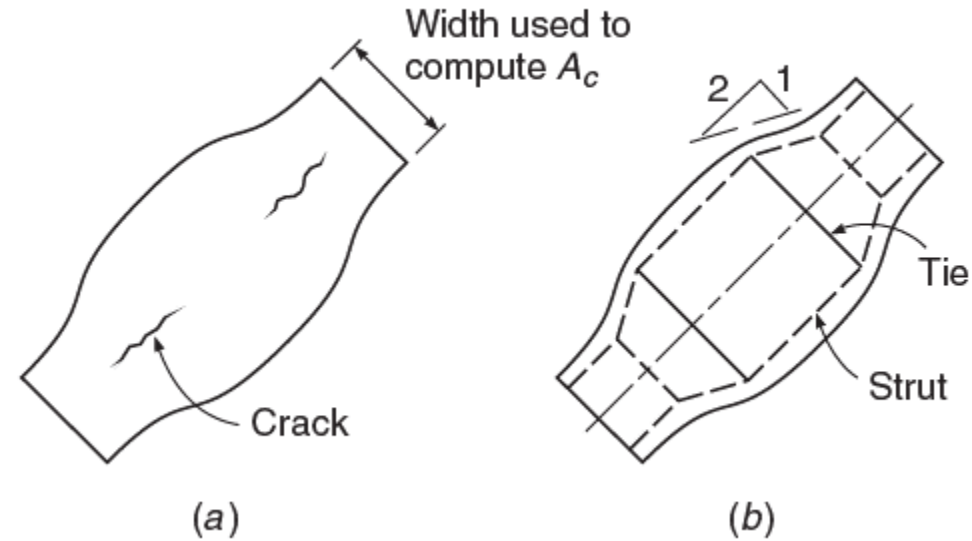
At low stresses, when the concrete is elastic and uncracked, the stresses within D-regions may be computed using finite element analysis or elasticity theory. When concrete cracks, the strain field is disrupted, causing a redistribution of the internal forces. Once this happens, it is possible to represent the internal forces within discontinuity regions using a statically determinate truss, referred to as a *strut-and-tie model*. This allows a complex design problem to be greatly simplified, producing a safe solution that satisfies statics. As shown in Fig. 17.2, strut-and-tie models consist of concrete compression *struts*, steel tension *ties*, and joints that are referred to as *nodal zones* (for consistency of presentation, struts are represented by dashed lines and ties are represented by solid lines).



Struts

A strut is an internal compression member. It may consist of a single element, parallel elements, or a fan-shaped compression field. Along its length, a strut may be rectangular or *bottle-shaped*, in which case the compression field spreads laterally between nodal zones, as shown in Fig. 17.3. For design purposes, a strut is typically idealized as a prismatic member between two nodes. While not preferred, a strut can also be idealized as a uniformly tapered compression member if the design criteria require different widths at the two ends of the strut. The dimensions of the cross section of the strut are established by the contact area between the strut and the nodal zone. Bottle-shaped struts are wider at the center than at the ends and form when the surrounding concrete permits the compression field to spread laterally. As the compression zone spreads along the length of bottle-shaped struts, tensile stresses perpendicular to the axis of the strut may result in longitudinal cracking. For simplicity in design, bottle-shaped struts are idealized as having linearly tapered ends and uniform center sections. The linear taper is taken at a slope of 1:2 to the axis of the compression force, as shown in Fig. 17.3*b*. The capacity of a strut is a function of the effective concrete compressive strength, which is affected by transverse stresses within the struts. Because of longitudinal splitting, bottle-shaped struts are weaker than rectangular struts, even though they possess a larger cross section at midlength. Transverse reinforcement is designed to control longitudinal splitting and proportioned using a strut-and-tie model that forms within the strut element, as shown in Fig. 17.3*b*.

FIGURE 17.3
Bottle-shaped strut.



Ties

A tie is a tension member within a strut-and-tie model. Ties consist of reinforcement (prestressed or nonprestressed) plus a portion of the concrete that is concentric with and surrounds the axis of the tie. The surrounding concrete defines the tie area and the region available to anchor the tie. For design purposes, it is assumed that

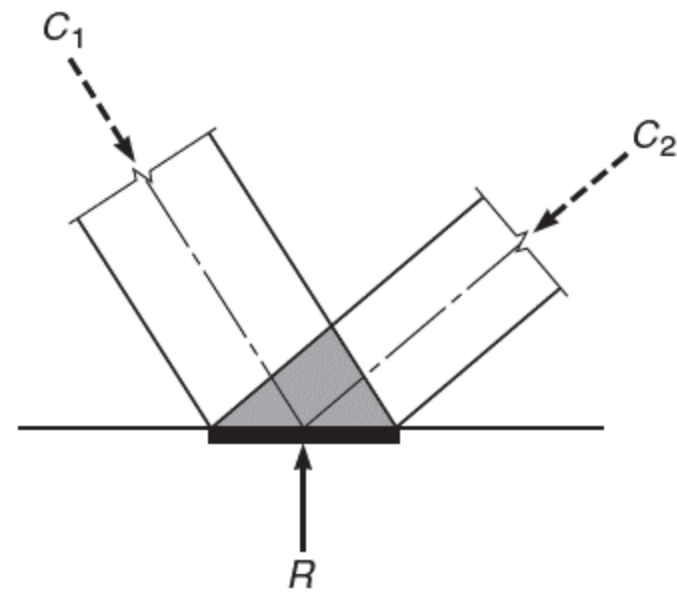
the concrete within the tie does not carry any tensile force. Even though the tensile capacity of the concrete is not used in design, it assists in reducing tie deformation at service load.

Nodal Zones

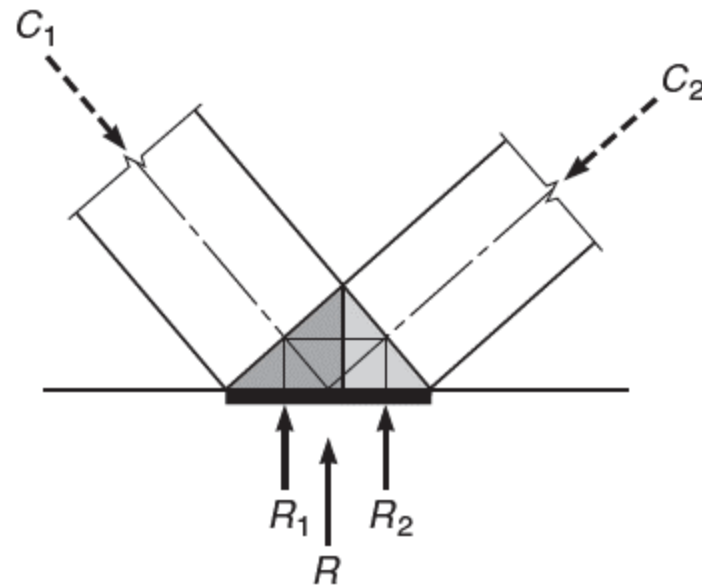
Nodes are points within strut-and-tie models where the axes of struts, ties, and concentrated loads intersect. A nodal zone is the volume of concrete around a node where force transfer occurs. A nodal zone may be treated as a single region or may be subdivided into two smaller zones to equilibrate forces. For example, the nodal zone shown in Fig. 17.4a is subdivided, as shown in Fig. 17.4b, where two reactions R_1 and R_2 equilibrate the vertical components of strut forces C_1 and C_2 .

For equilibrium, at least three forces must act on a node. Nodes are classified by the sign of these forces (Fig. 17.5). Thus, a *C-C-C* node resists three compressive forces, and a *C-C-T* node resists two compressive forces and one tensile force. Both tensile and compressive forces place nodes in compression because tensile forces are treated as if they pass through the node and apply a compressive force on the far side, or anchorage face. Thus, within the plane of a strut-and-tie model truss, nodal zones are considered to be in compression, as shown in Fig. 17.6a. If the nodal zone dimensions w_{n1} , w_{n2} , and w_{n3} are proportional to the applied compressive forces, the state of stress becomes one of *hydrostatic* compression. The dimension of one side of a nodal zone is often determined based on the contact area of the load, such as a bearing

FIGURE 17.4
Subdivision of nodal zones.

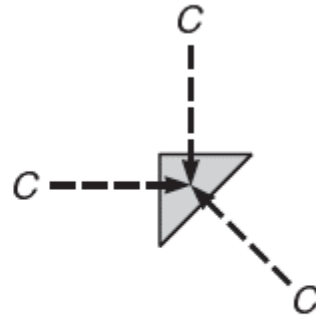


(a) Nodal zone

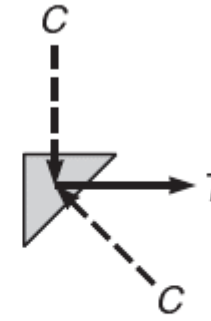


(b) Subdivided nodal zone

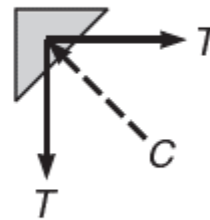
FIGURE 17.5
Classification of nodes.



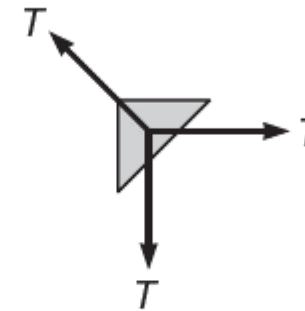
(a) *C-C-C* node



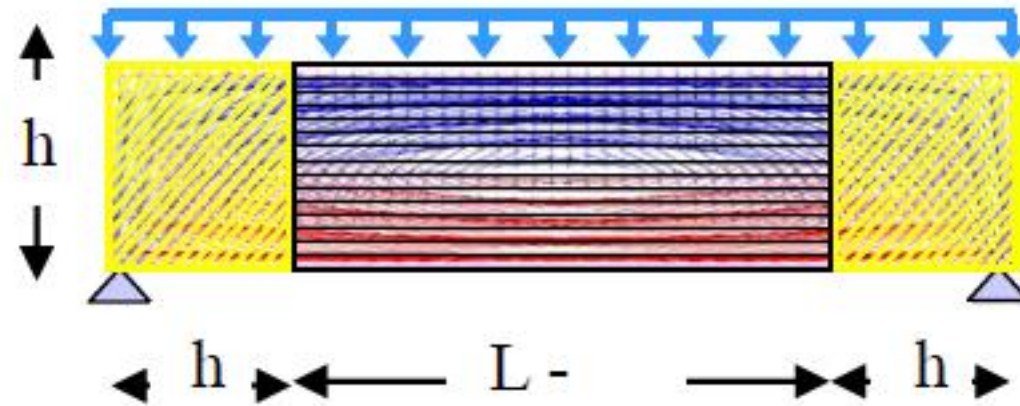
(b) *C-C-T* node



(c) *C-T-T* node



(d) *T-T-T* node



- ⊙ untuk daerah balok bentang h dengan ketinggian h merupakan daerah Disturb dimana terjadi distribusi tegangan yang tidak linier
- ⊙ Prinsip St. Venant menyatakan bahwa daerah tidak linier tersebut sejauh ketinggian balok (h) dari letak terjadinya gangguan
- ⊙ Sedangkan bentang sisahnya ($L-2h$) merupakan daerah Bernoulli, dimana distribusi tegangan yang terjadi linier

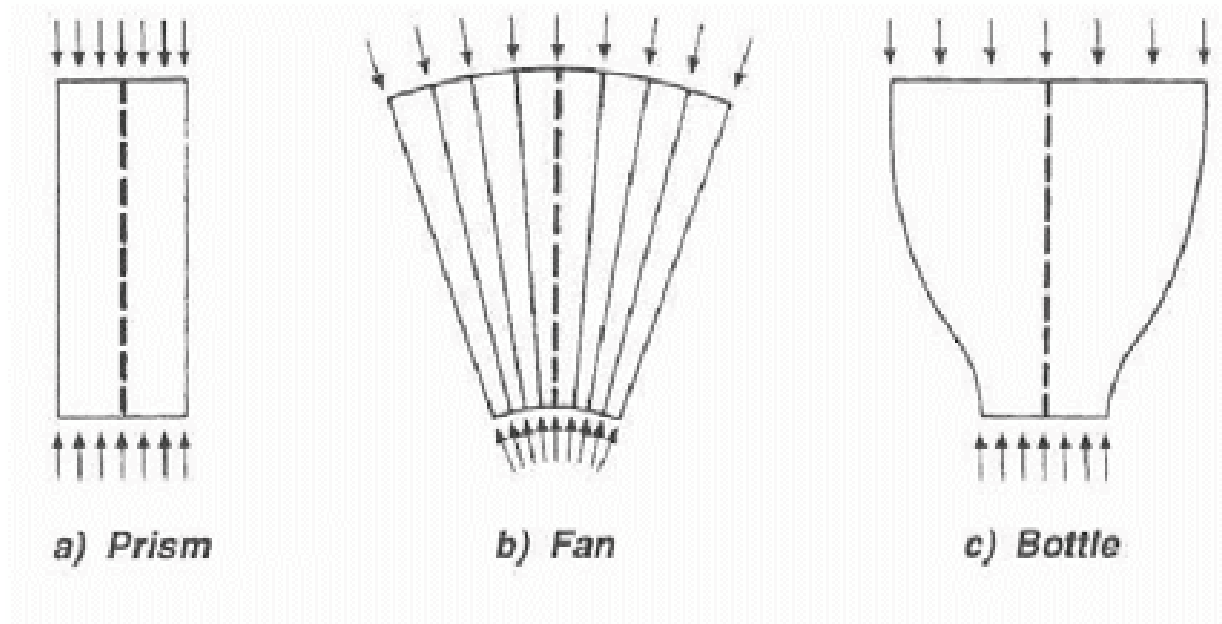
KONSEP DASAR PERENCANAAN STM

- ⊙ Menggunakan idealisasi bahwa tegangan yang terjadi akan dikonsepsikan kedalam sistem truss yang ada dimana perancangan batang desak (strut), batang tarik (tie) dan titik nodal (nodal zone) dalam STM harus didasarkan pada $\Phi F_n \geq F_u$
- ⊙ F_u adalah gaya pada strut atau tie, atau gaya yang bekerja pada salah satu permukaan titik nodal, yang diakibatkan oleh beban-beban terfaktor.
- ⊙ F_n adalah kuat nominal dari strut, tie atau titik nodal
- ⊙ ϕ adalah faktor reduksi kekuatan

PERANCANGAN BATANG DESAK (STRUT)

◎ Bentuk-bentuk batang desak :

- ↩ Prismatic Strut
- ↩ Fan Strut
- ↩ Bottle-shaped Strut



- ⊙ Kuat desak nominal dari batang desak tanpa tulangan memanjang harus diambil diantara nilai terkecil dari pada kedua ujung struts:

- ⊙ $F_{ns} = f_{cu} \cdot A_c$

- ⊙ A_c adalah luas penampang lintang pada salah satu ujung strut.
- ⊙ f_{cu} adalah nilai terkecil dari kuat desak efektif pada strut atau pada titik nodal.

Kuat Tekan Nominal Strut

- Kuat tekan nominal strut tanpa tulangan longitudinal dapat diambil sebagai nilai F_{ns} terkecil dikedua ujung strut, yaitu:

$$F_{ns} = f_{ce} A_{cs}$$

f_{ce} merupakan nilai kuat tekan terkecil antara strut dan daerah nodal.

⊙ Kuat desak efektif pada batang desak :

$$\odot f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_s \cdot F_c'$$

⊙ $\beta_s = 1,0$ untuk strut dengan luas penampang konstant (prismatik)

⊙ $\beta_s = 0,75$ untuk bottle-shape strut dengan tulangan melintang terhadap sumbu memanjangnya

⊙ $\beta_s = 0,60$ untuk bottle-shape strut tanpa tulangan melintang terhadap

⊙ $\beta_s = 0,40$ untuk strut di dalam batang²/daerah² sayap tarik.

⊙ $\beta_s = 0,60$ untuk kasus lainnya

f_{ce} untuk Strut

$$f_{ce} = 0.85\beta_s f'_c$$

- Untuk strut dengan penampang seragam disepanjang strut tsb $\beta_s = 1.0$
- Untuk strut dengan penampang tengah lebih besar drpd penampang ujung (bottle-shaped struts):
 - dgn tulangan $\beta_s = 0.75$
 - tanpa tulangan $\beta_s = 0.60\lambda$
- Untuk strut pada elemen tarik $\beta_s = 0.40$
- Untuk kasus lain $\beta_s = 0.60\lambda$

PERANCANGAN BATANG TARIK (TIE)

- ⊙ Kuat tarik nominal batang tarik (tie):
 - ⊙ $F_{nt} = A_{st}.f_y + A_{ps} \cdot (f_{se} + \Delta f_p)$
- ⊙ A_{st} adalah luas penampang baja tulangan
- ⊙ A_{ps} adalah luas penampang baja prategang
- ⊙ $(f_{se} + \Delta f_p)$ harus melampaui nilai f_{py}

Kuat Tarik Tie

- Kuat tarik nominal suatu tie, F_{nt} , dihitung sebagai:

$$F_{nt} = A_{ts}f_y + A_{tp}(f_{se} + \Delta f_p)$$

Kuat Tarik Tie

- Kuat tarik nominal suatu tie, F_{nt} , dihitung sebagai:

$$F_{nt} = A_{ts}f_y$$

- Sumbu tulangan dalam suatu tie harus sama dengan sumbu tie pada model STM
- Tulangan tie harus diangkur dengan mechanical devices, kait standar atau panjang penyaluran tulangan lurus.

PERANCANGAN TITIK NODAL

- ⊙ Kuat desak nominal daerah titik nodal:
 - ⊙ $F_{nn} = A_n \cdot f_{cu}$
- ⊙ f_{cu} adalah kuat desak efektif beton di daerah titik nodal
- ⊙ A_n adalah luas penampang pada titik nodal, tempat gaya F_u bekerja, diambil tegak lurus pada garis kerja F_u .

Kuat Tekan Nominal Nodal Zone

- Kuat tekan nominal nodal zone dapat diambil sebagai:

$$F_{nn} = f_{ce} A_{nz}$$

f_{ce} adalah kuat tekan efektif beton pada nodal zone. A_{nz} merupakan nilai terkecil dari:

- (a) Luas muka nodal zone padamana F_u bekerja (diambil tegaklurus thd garis kerja F_u)
- (b) Luas penampang yang memotong nodal zone (diambil tegaklurus thd garis kerja gaya resultan pada penampang).

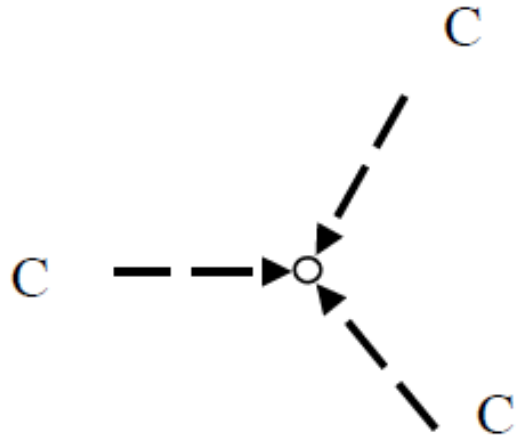
f_{ce} untuk Daerah Nodal

$$f_{ce} = 0.85\beta_n f'_c$$

- Untuk nodal zone yang dibatasi oleh strut atau bidang tumpu atau keduanya $\beta_n = 1.0$
- Untuk nodal zone yang menjadi tempat angkur satu tie $\beta_n = 0.80$
- Untuk nodal zone yang menjadi tempat angkur dua tie atau lebih $\beta_n = 0.60$

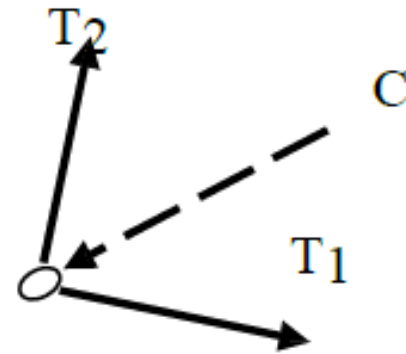
- ⊙ Kuat desak efektif beton: $f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c''$
- ⊙ $\beta_n = 1,0$ untuk titik nodal yg dikelilingi strut dan bearing area
- ⊙ $\beta_n = 0,8$ untuk titik nodal yang mempunyai satu batang tarik
- ⊙ $\beta_n = 0,6$ untuk titik nodal yang mempunyai dua atau lebih batang tarik

(1) CCC-Node:



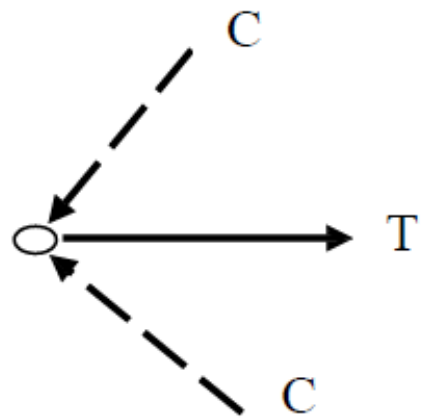
Dengan $\beta_n = 1,0$

(3) CTT-Node:



Dengan $\beta_n = 0,6$

(2) CCT-Node:



Dengan $\beta_n = 0,8$

(4) T T T-Node:

