

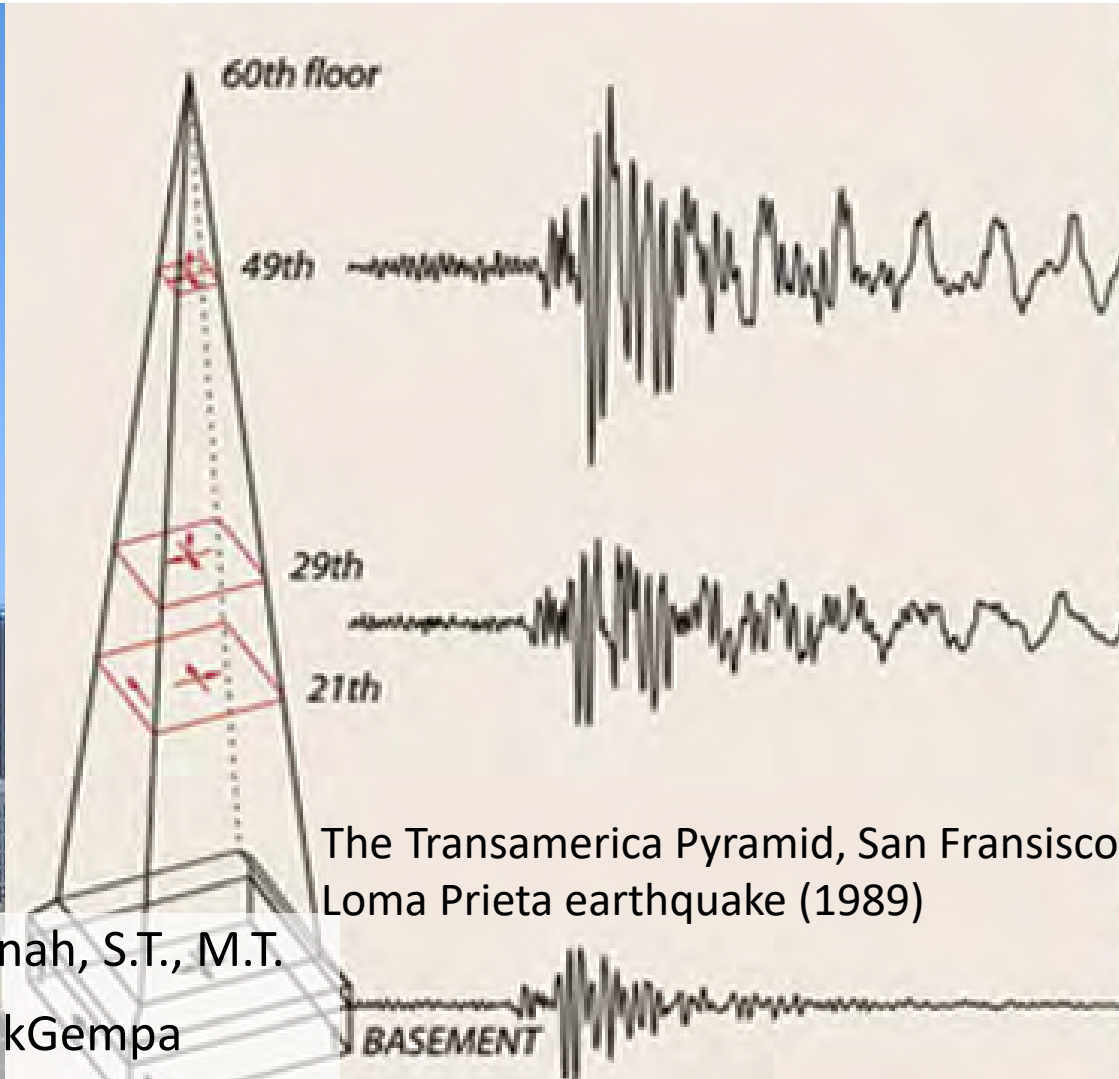


TKS 420214

M-08 Sistem Rangka  
Pemikul Momen

# Dinamika Struktur dan Gempa

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya



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

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

# Pengujian beban lateral siklik statik dan aksial konstan

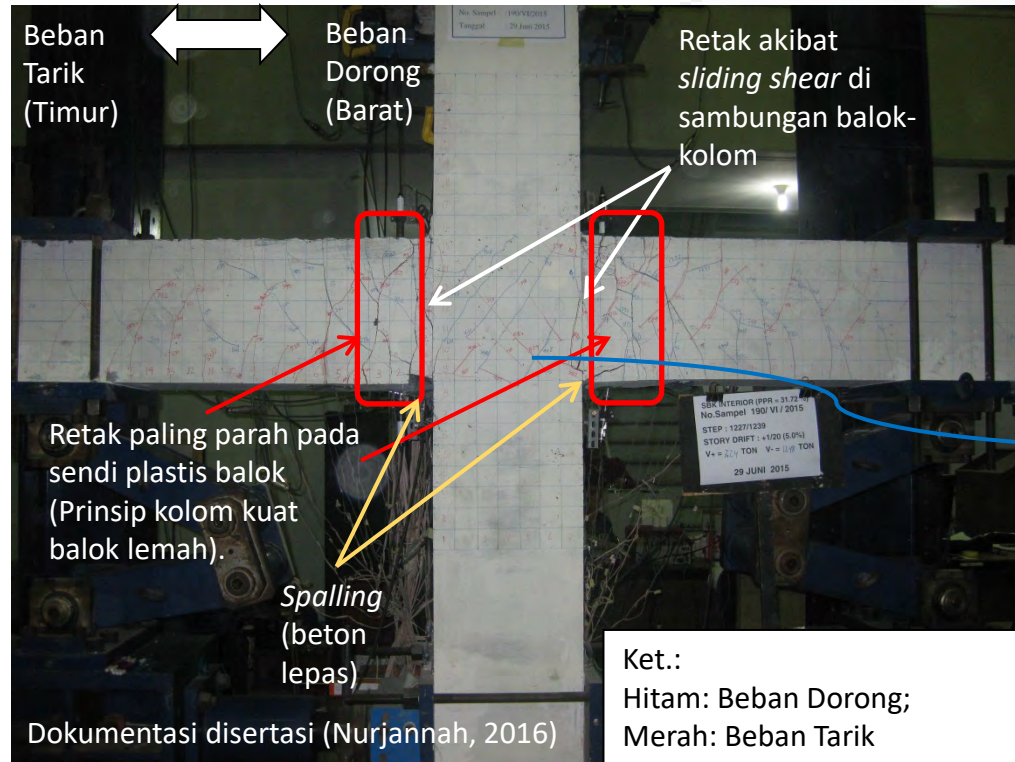
- Beban lateral siklik statik = beban gempa statik
  - Beban aksial konstan = beban gravitasi (*Dead Load, Live Load*)
  - Benda uji: *sub-assembly* balok kolom eksterior
- } Pada ujung atas kolom



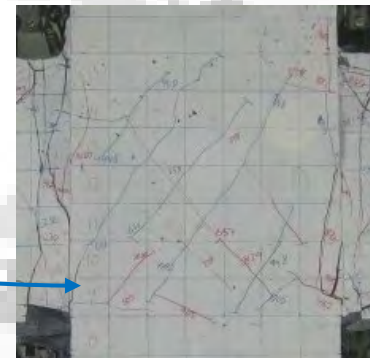
*Set up* pengujian *sub-assembly* balok kolom eksterior

Sumber: dokumentasi Puslitbang Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2007

# Perilaku *sub-assembly* balok kolom di bawah beban siklik statik



Pola retak *sub-assembly* balok kolom interior SBK-I-1A-33.79 sampai *drift ratio* 3,50% siklus ke-3



Pola Retak di Zona *Joint*

Aktuator yang memberikan beban siklik statik  
Aktuator yang memberikan beban tekan aksial konstan



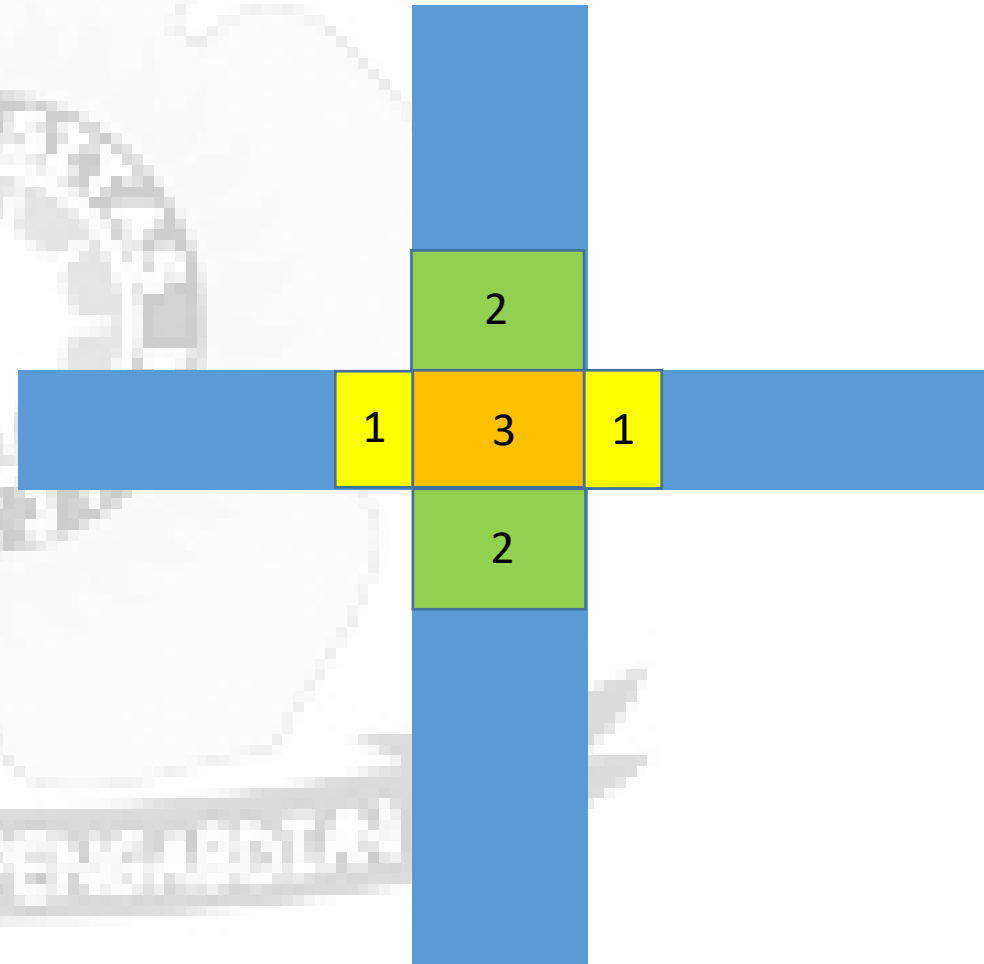
*Set up* pengujian siklik statik dan beban aksial konstan.

Lokasi: Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bangunan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat di Cileunyi, Kabupaten Bandung

# Prinsip kolom-kuat balok-lemah

Urutan kerusakan rangka terbuka:

1. Sendi plastis di balok (1)
2. Sendi plastis di kolom (2)
3. Zona *joint* (3)



# Sistem Rangka Pemikul Momen

Sumber: SNI 2847:2019

## 3.50.4

### rangka pemikul momen (RPM)

sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

**Sistem rangka pemikul momen (*Moment frame*)** — Rangka dimana komponen balok, pelat, kolom dan *joint* menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial.

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

**Sistem rangka pemikul momen biasa (*Ordinary moment frame*)** — Rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak dan memenuhi persyaratan 18.3.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

**Sistem rangka pemikul momen khusus (*Special moment frame*)** — Rangka balok kolom yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8. Untuk rangka balok kolom pracetak memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.9.

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

**Sistem rangka pemikul momen menengah (*Intermediate moment frame*)** — Rangka balok kolom atau rangka kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.4.

Tabel 12 Faktor  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_o$  dari SNI 1726-2019:

Tabel 12 – Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_o$  untuk sistem pemikul gaya seismik

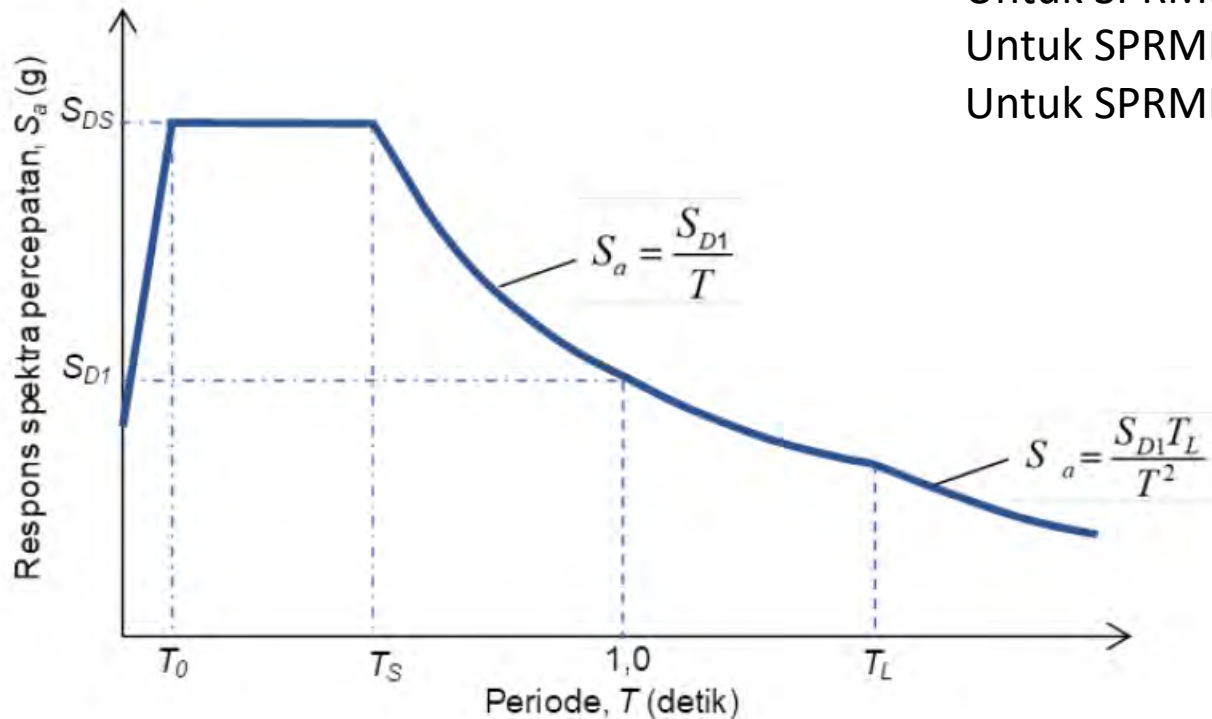
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_o^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>								
1. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail <sup>g</sup>	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa <sup>g</sup>	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah <sup>g</sup>	4	2½	4	TB	TB	12 <sup>i</sup>	12 <sup>i</sup>	12 <sup>i</sup>
6. Dinding geser pracetak biasa <sup>g</sup>	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¼	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20

Tabel 12 Faktor  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_o$  dari SNI 1726-2019 (lanjutan):

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_o^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>								
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>	3½	3 <sup>o</sup>	3½	10	10	10	10	10
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>								
<b>E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>								
<b>F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa<sup>q</sup></b>								
<b>G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :</b>								
<b>H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever</b>								



# Koefisien modifikasi respons (R)



Koefisien modifikasi respons

Untuk SPRMB :  $R = 3$

Untuk SPRMM :  $R = 5$

Untuk SPRMK :  $R = 8$

Gambar 3 – Spektrum respons desain

**awal (initial)**, sebelum direduksi dengan  $R$

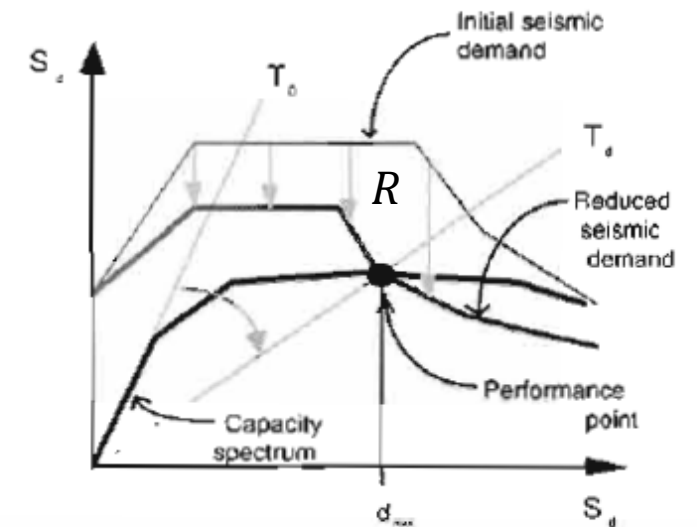
Sumber: SNI 1726:2019

## Capacity vs. Demand

Demand and capacity are mutually dependent.

As displacements increase, the period of the structure lengthens. This is reflected directly in the capacity spectrum.

Inelastic displacements increase damping and reduce demand. The capacity spectrum method reduces demand to find an intersection with the capacity spectrum where the displacement is consistent with the implied damping.

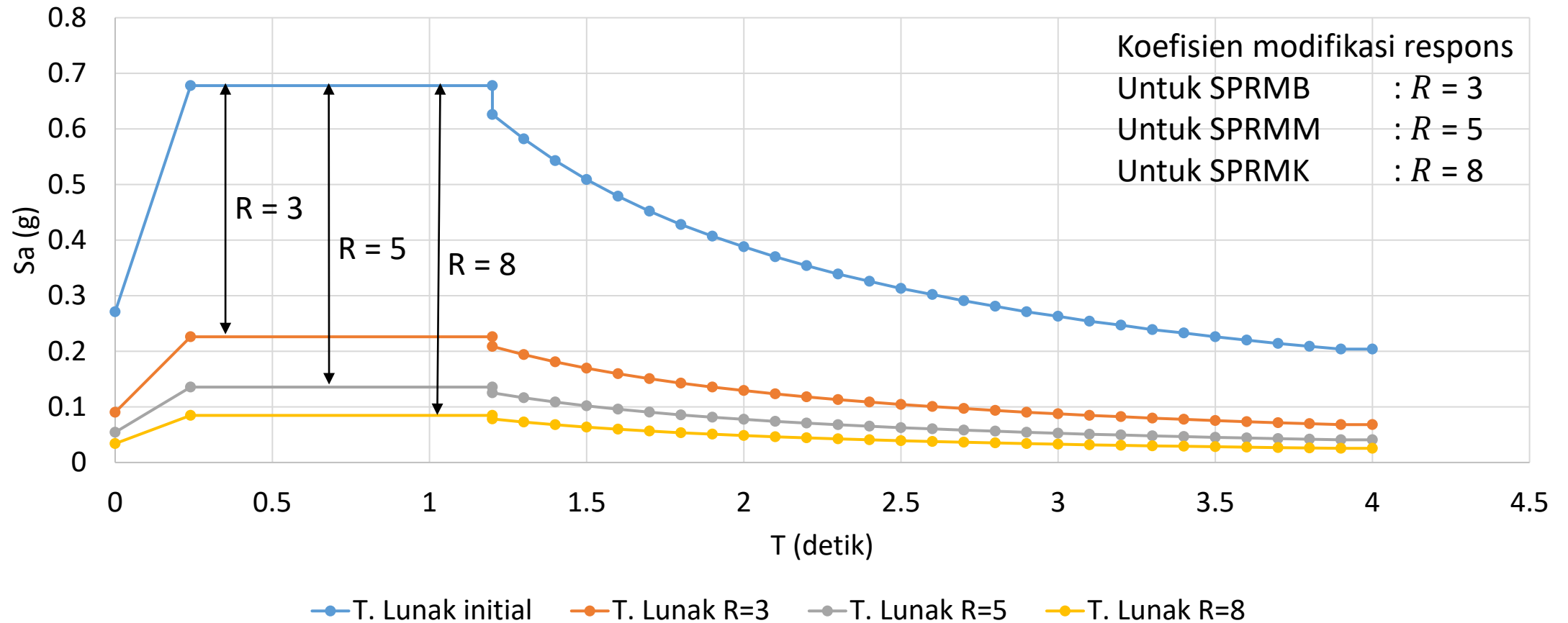


At the performance point, capacity and demand are equal.

The maximum displacement implies a unique damage state for the building related directly to a specific earthquake or intensity of ground shaking. The damage state comprises deformations for all elements in the structure. Comparison with acceptability criteria for the desired performance goal leads to the identification of deficiencies for individual elements.



# Contoh: Respons spektra kota Bengkulu





# Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

## 18.3- Sistem rangka pemikul momen biasa

### 18.3.1 Ruang Lingkup

**18.3.1.1** Pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen biasa yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.

**18.3.2** Balok harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik  $f_y$  pada muka tumpuan.

**18.3.3** Kolom yang mempunyai panjang tak tertumpu  $l_u \leq 5c_1$  harus memiliki  $\phi V_n$  setidaknya nilai terendah di antara a) dan b):



- Gaya geser yang terkait dengan terjadinya kekuatan momen nominal  $M_n$  pada setiap ujung dari panjang tak tertumpu kolom akibat lentur yang berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain, termasuk  $E$ , dengan  $\Omega_0 E$  sebagai pengganti  $E$ .



# Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

## 18.4 – Sistem rangka pemikul momen menengah

### 18.4.1 Ruang lingkup

**18.4.1.1** Pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah termasuk pelat dua arah tanpa balok yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.

### 18.4.2 Balok

**18.4.2.1** Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik  $f_y$  pada muka tumpuan.

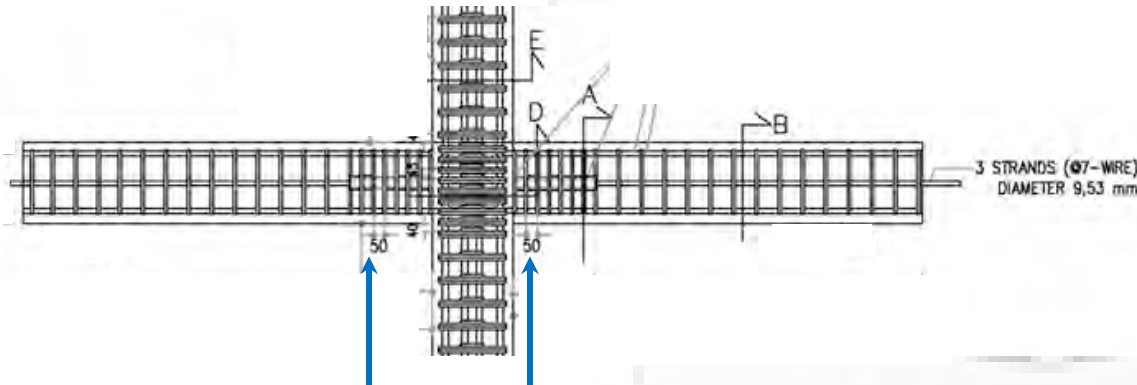
**18.4.2.2** Kekuatan momen positif pada muka *joint* tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka *joint* tersebut. Baik kekuatan momen negatif maupun positif pada sebarang penampang sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu *joint* pada bentang balok yang ditinjau.

**18.4.2.3**  $\phi V_n$  tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara (a) dan (b):

(a) Jumlah gaya geser terkait dengan tercapainya  $M_n$  pada muka *joint* di setiap ujung balok akibat lentur berbalik arah



(kurvatur ganda) dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor  
 (b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk  $E$ , dengan  $E$  ditetapkan sebesar dua kali nilai yang dipersyaratkan SNI 1726.



Tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom

Contoh sistem *sub-assembly* balok-kolom

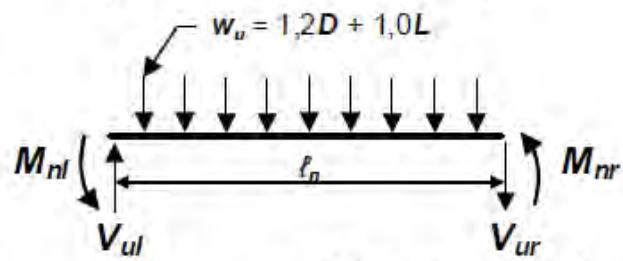
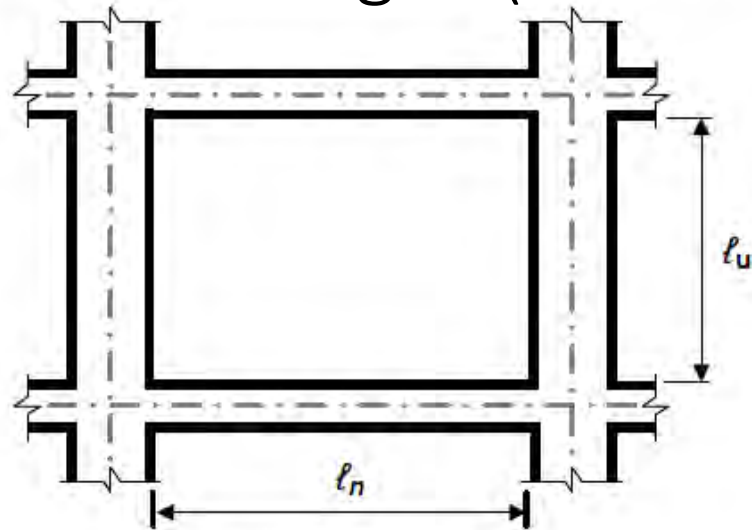
**18.4.2.4** Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari  $2h$  diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pengekan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

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

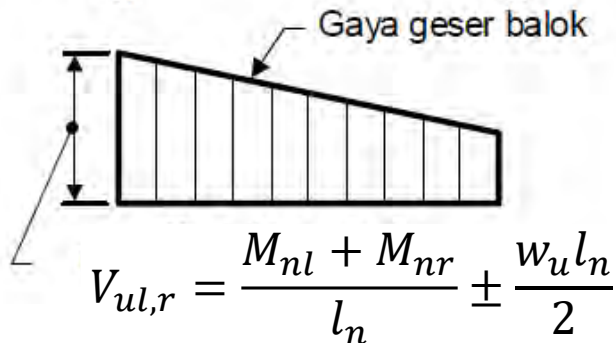
**18.4.2.5** Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.

**18.4.2.6** Pada balok yang memiliki gaya tekan aksial terfaktor melebihi  $A_g f_c' / 10$ , tulangan sengkang perlu berdasarkan 18.4.2.5 harus memenuhi **25.7.2.2** dan salah satu di antara **25.7.2.3** atau **25.7.2.4**.

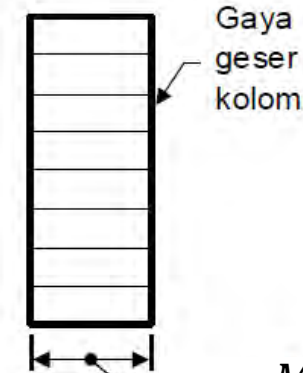
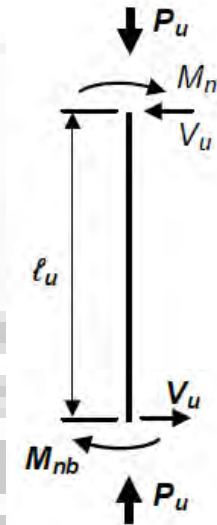
# Persyaratan kolom-kuat balok-lemah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)



Balok



Gambar R18.4.2 – Geser desain untuk rangka momen menengah



Kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

dengan:

$V_{ul,r}$ : gaya geser *ultimate* di balok kiri (*left*) atau kanan (*right*)

$M_{nl}$ : momen nominal balok sisi kiri (*left*)

$M_{nr}$ : momen nominal balok sisi kanan (*right*)

$w_u$ : beban merata terfaktor

$l_n$ : bentang bersih (*netto*) balok

$V_u$ : gaya geser *ultimate* di kolom

$M_{nt}$ : momen nominal kolom sisi atas (*top*)

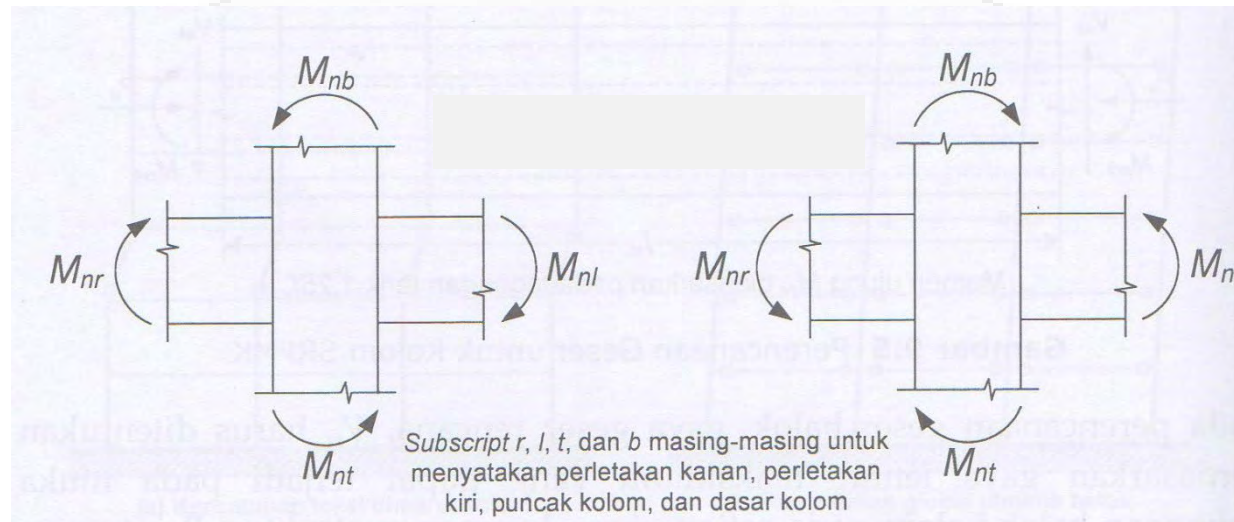
$M_{nb}$ : momen nominal kolom sisi bawah (*bottom*)

$l_u$ : tinggi bersih (*netto*) kolom

Sumber: SNI 2847:2019

# Persyaratan kolom-kuat balok-lemah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

$$(M_{nt} + M_{nb})_{kolom} \geq 1,0 (M_{nl} + M_{nr})_{balok}$$



Gaya dalam yang mempengaruhi zona *joint* SRPMM

*Image credit:* Imran dan Hendrik (2014)

Prinsip kolom kuat-balok lemah (*strong column-weak beam*) SRPMM:

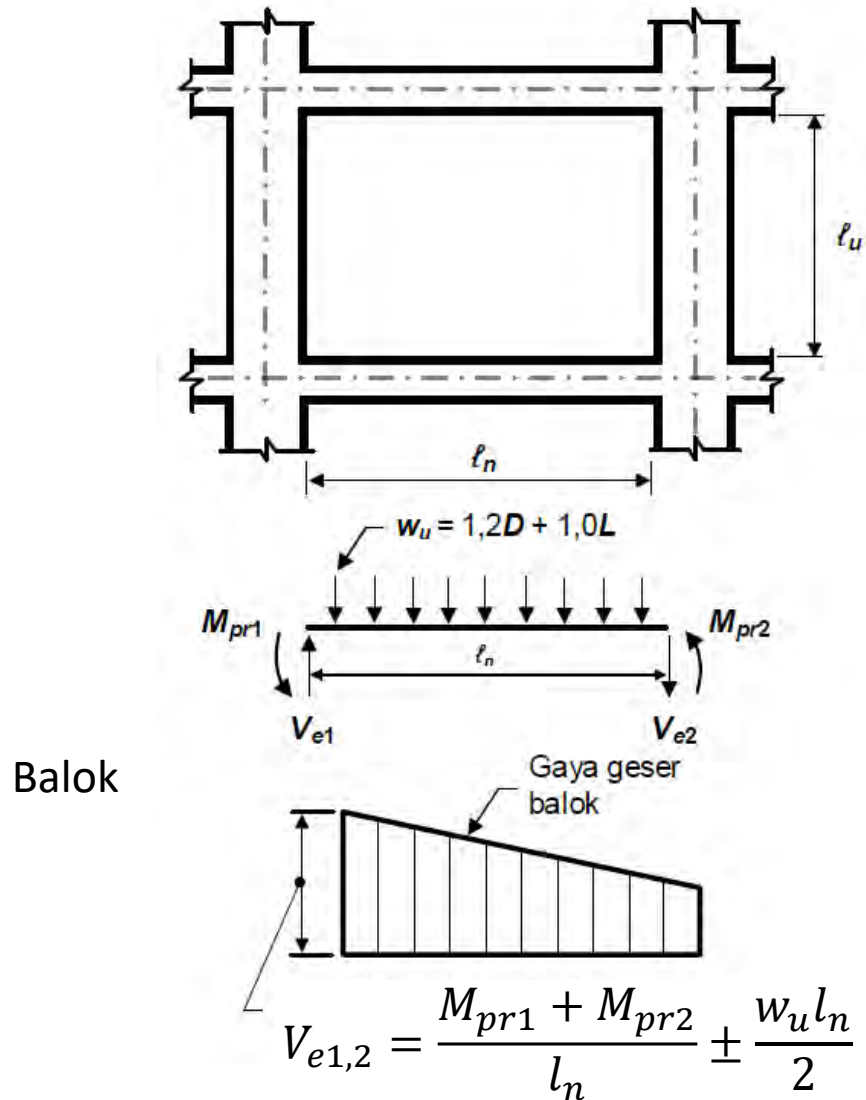
Jumlah momen nominal kolom atas dan bawah adalah 1,0 atau lebih dari jumlah momen nominal balok kanan dan kiri.



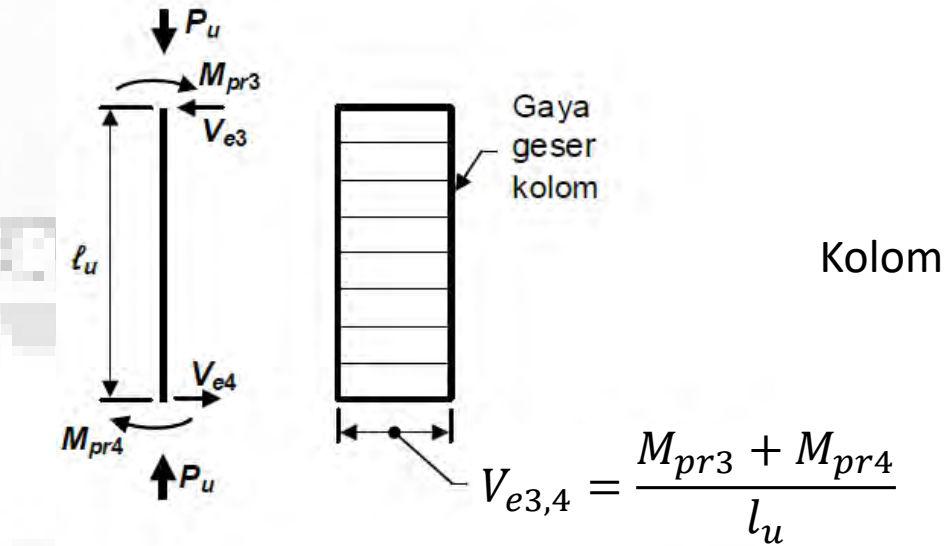


# Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

# Persyaratan kolom-kuat balok-lemah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)



Gambar R18.6.5 – Geser desain untuk balok dan kolom



dengan:

$V_{e1,2}$ : gaya geser efektif di balok kiri atau kanan

$M_{pr1}$ : momen yang mungkin terjadi (*probable moment*) balok sisi kiri

$M_{pr2}$ : momen yang mungkin terjadi (*probable moment*) balok sisi kanan

$w_u$ : beban merata terfaktor

$l_n$ : bentang bersih (netto) balok

$M_{pr3}$ : momen yang mungkin terjadi (*probable moment*) kolom sisi atas

$M_{pr4}$ : momen yang mungkin terjadi (*probable moment*) kolom sisi bawah

$l_u$ : tinggi bersih (netto) kolom

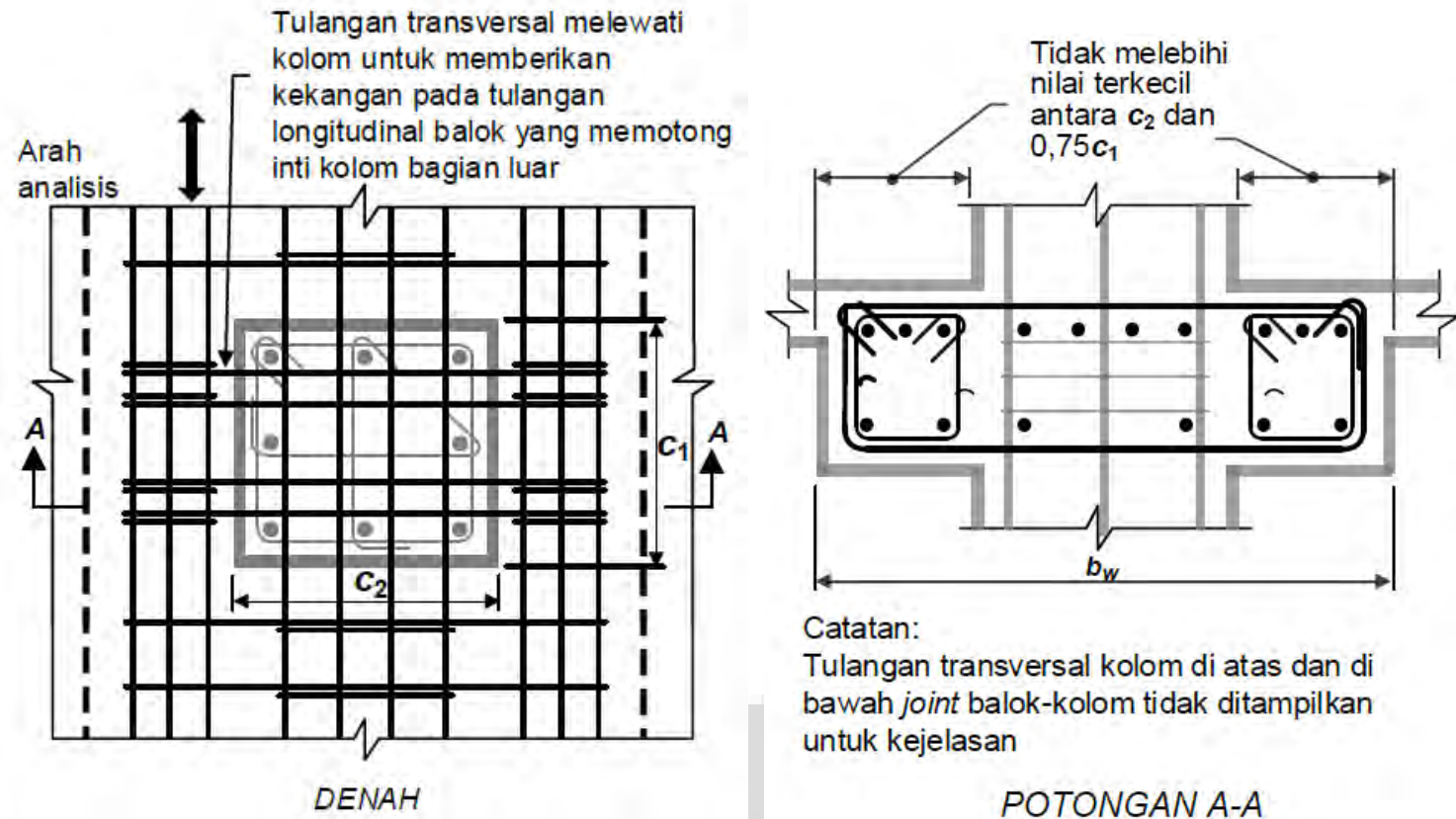
Sumber: SNI 2847:20139

# Balok

## 18.6.2 Batasan dimensi

18.6.2.1 Balok harus memenuhi (a) hingga (c):

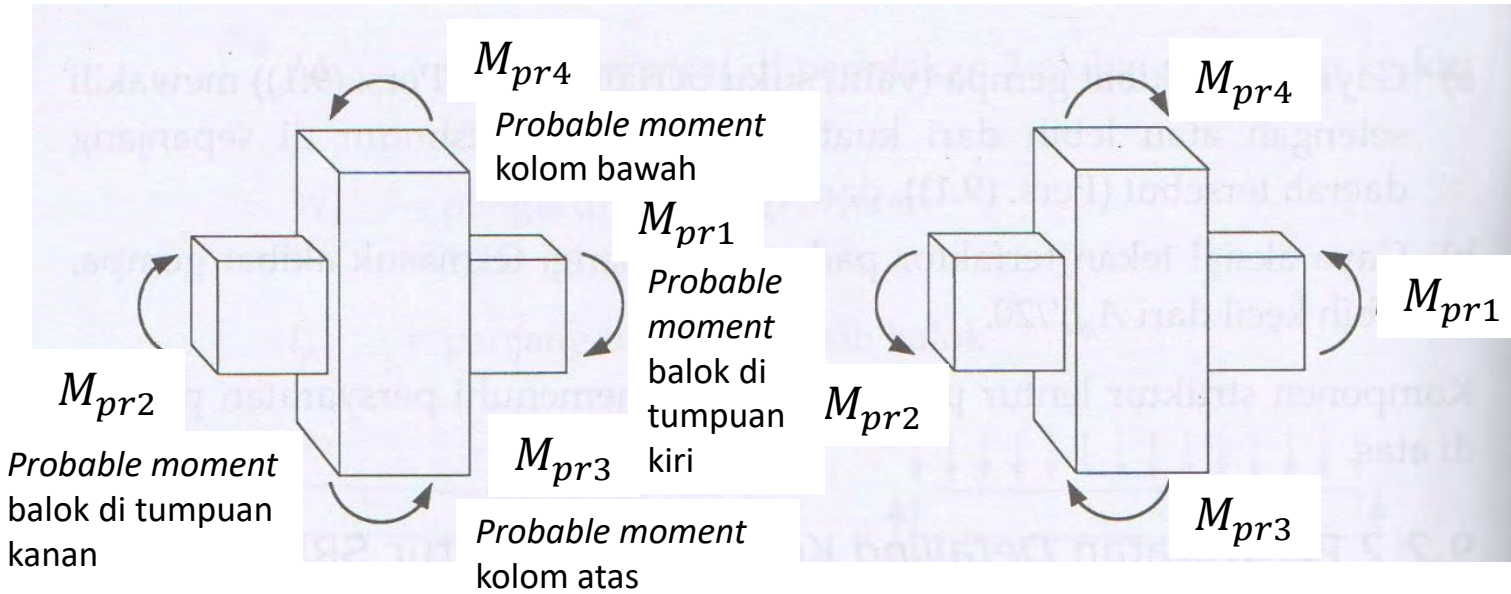
- Bentang bersih,  $\ell_n$ , harus minimal  $4d$
- Lebar penampang  $b_w$ , harus sekurangnya nilai terkecil dari  $0,3h$  dan 250 mm
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $c_2$  dan  $0,75c_1$  pada masing-masing sisi kolom.



Gambar R18.6.2 – Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal

# Persyaratan kolom-kuat balok-lemah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sumber: SNI 2847:2019



## Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMK)

Image credit: Imran dan Hendrik (2014)

$$(M_{pr3} + M_{pr4})_{kolom} \geq \frac{6}{5} (M_{pr1} + M_{pr2})_{balok}$$

**18.7.3.2 Kekuatan lentur kolom harus memenuhi**

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (18.7.3.2)$$

Prinsip kolom kuat-balok lemah (*strong column-weak beam*):

Jumlah momen yang mungkin terjadi (*probable moment*) kolom atas dan bawah adalah **6/5 (=1,2)** atau lebih dari jumlah *probable moment* balok kanan dan kiri.

$\sum M_{nc}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam kondisi tarik akibat momen-momen di muka *joint*, tulangan pelat dalam lebar efektif pelat sesuai 6.3.2 harus diasumsikan berkontribusi terhadap  $M_{nb}$  jika tulangan pelat tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritisnya.

# Beban aksial kolom SPRMK

Beban aksial terfaktor pada kolom SPRMK:

$$P_u \geq 0,1 f'_c A_g$$

dengan:

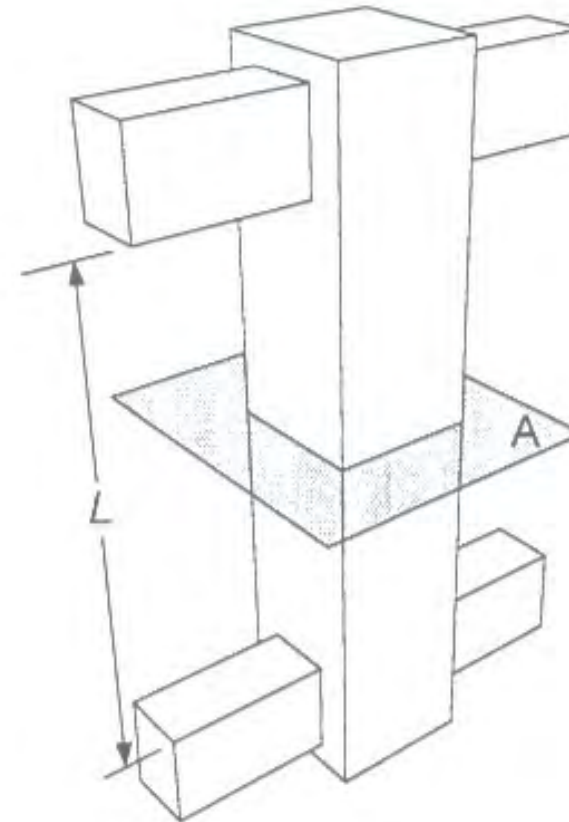
$P_u$  : beban aksial terfaktor (N)

$f'_c$  : kuat tekan beton (MPa)

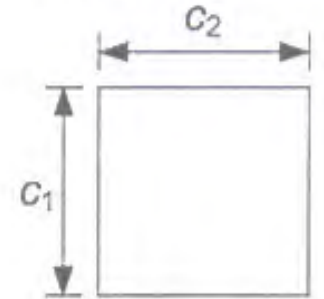
$A_g$  : luas penampang bruto kolom =  $b h$  (mm<sup>2</sup>)

Syarat geometri kolom SPRMK:

- Ukuran sisi penampang terkecil  $\geq 300$  mm
- Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus  $\geq 0,4$ .



Penampang A



$$c_1 \geq 300 \text{ mm}$$

$$c_2 \geq 300 \text{ mm}$$

Jika  $c_1 < c_2$ , maka

$$\frac{c_1}{c_2} \geq 0,4$$

Persyaratan geometri kolom

*Image credit: Imran dan Hendrik (2014)*

# Selimut (*cover*) beton untuk SPRMB, SPRMM, & SPRMK

**Tabel 20.6.1.3.1 – Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat**

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut, mm
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

**Tabel 20.6.1.3.2 Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton prategang yang dicor di tempat**

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk, dan dinding lainnya	Semua	25
		Semua	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk, dan dinding	Semua	20
		Tulangan utama	40
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	25



# *Joint* (Pertemuan balok dengan kolom)

# Output program akibat beban gempa dari arah lateral

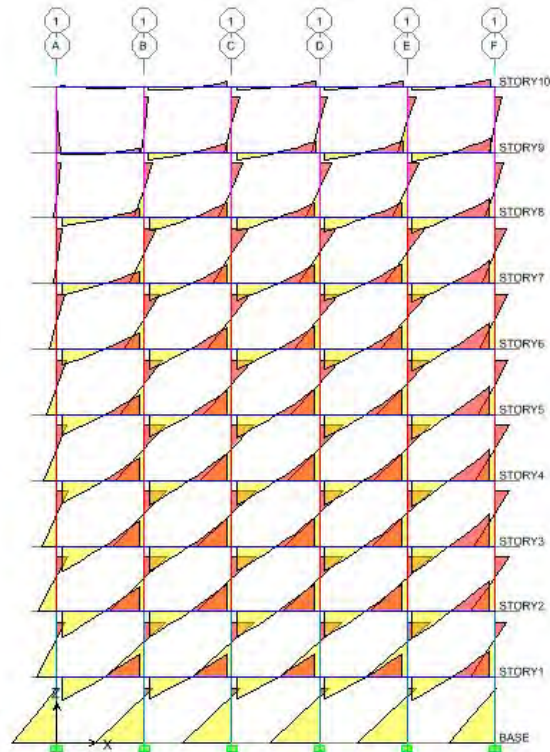


Diagram Momen

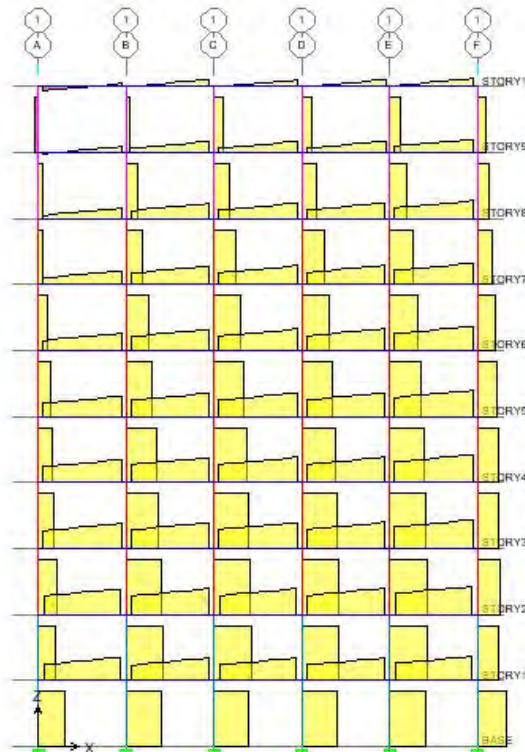


Diagram Gaya Geser

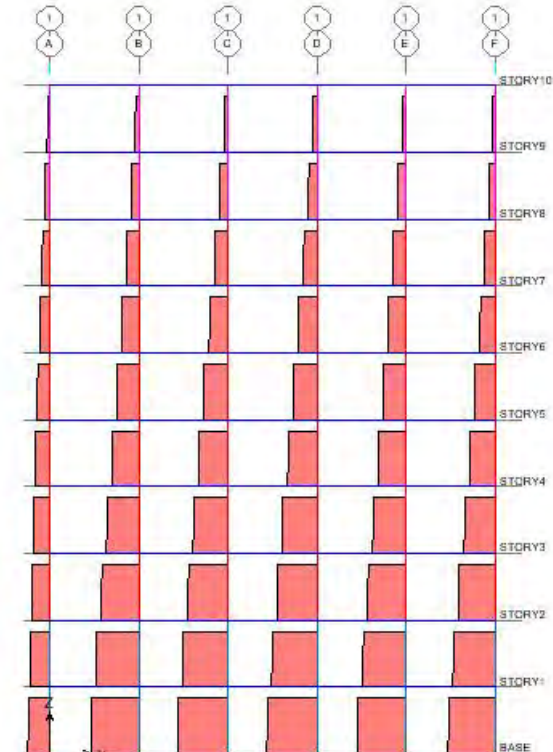


Diagram Gaya Aksial

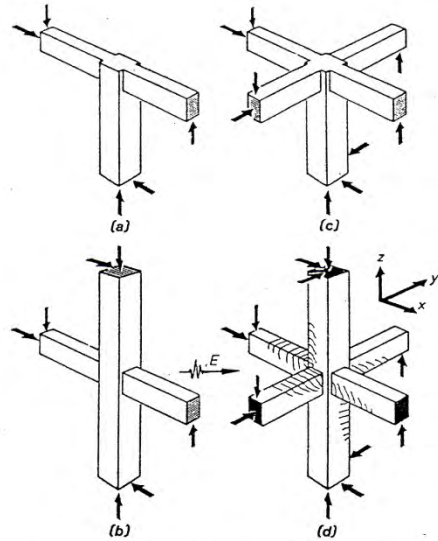
Gaya dalam yang terjadi akibat gempa pada **zona joint tidak diperlihatkan** dalam *output* program karena joint dianggap titik, bukan elemen struktur, maka perhitungan gaya dalam *ultimate* di zona joint harus dilakukan secara **manual**.



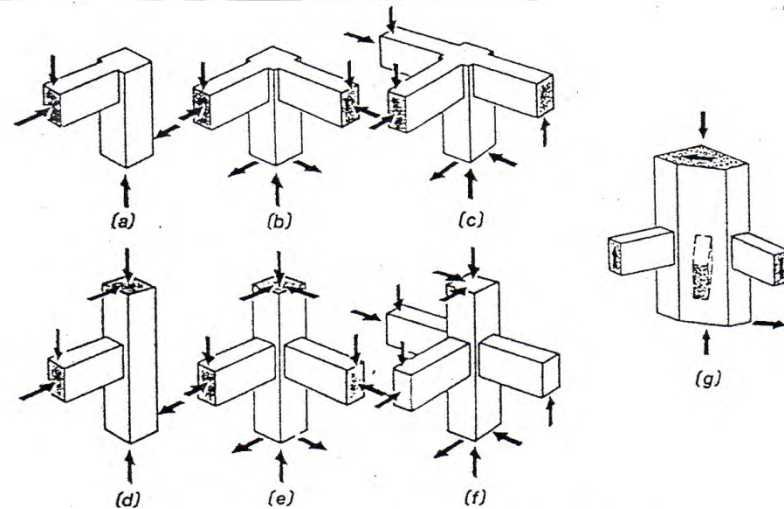
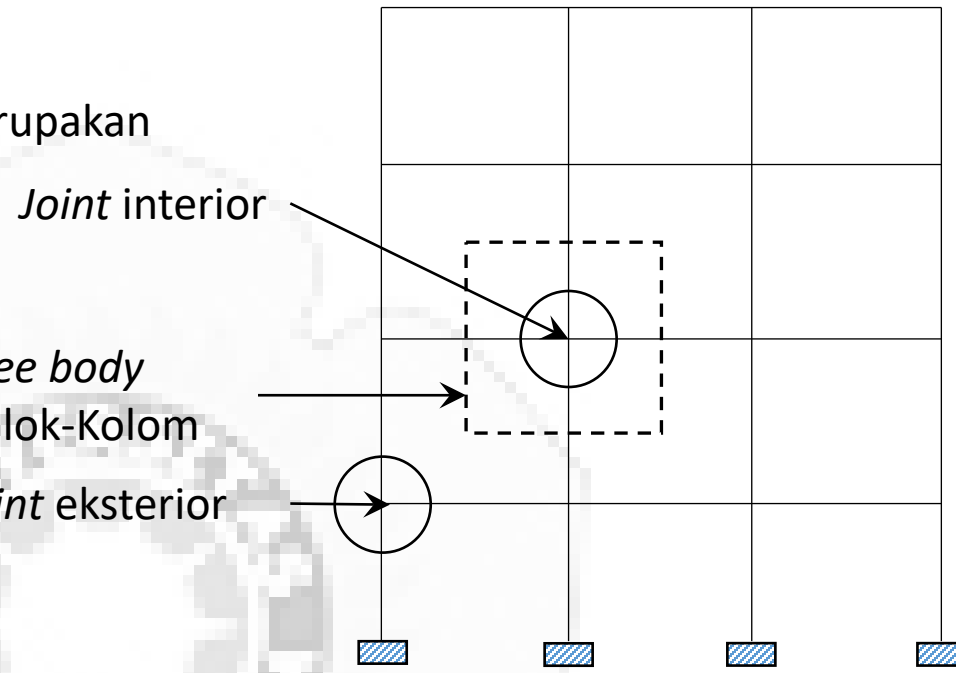
*Joint* adalah bagian dari kolom yang merupakan Pertemuan antara kolom dan balok

Jenis *joint*:

*Joint* interior dan *joint* eksterior



*Joint* Balok-Kolom Interior  
(Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)

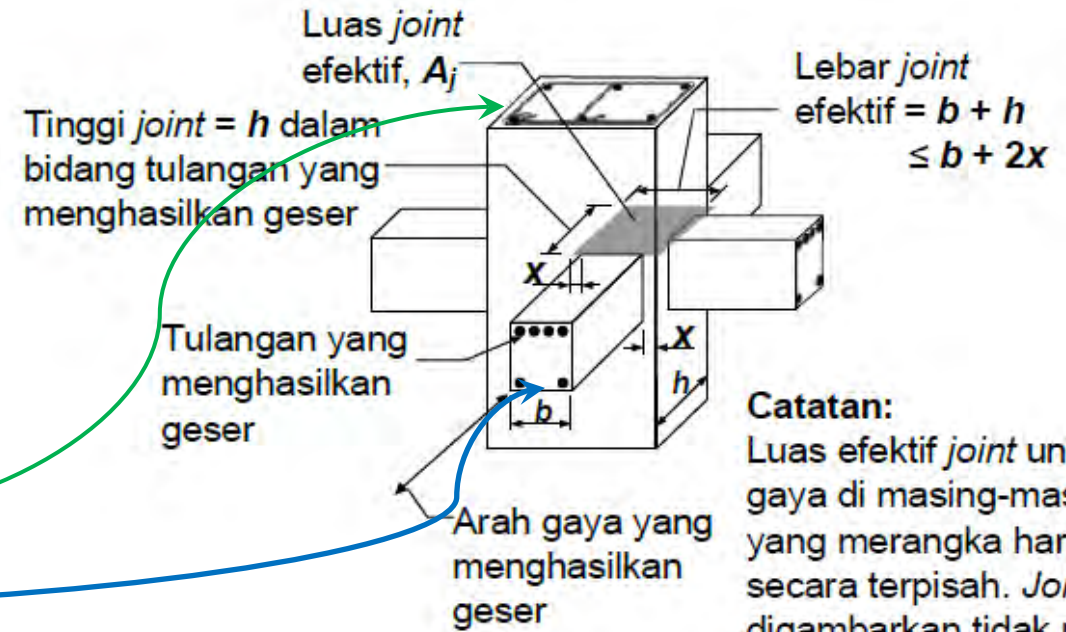


*Joint* Balok-Kolom Eksterior  
(Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)

### Joint (SNI 2847:2019)

- ❖ Joint adalah bagian kolom yang merupakan pertemuan antara balok dan kolom.
- ❖ Spasi tulangan sengkang yang dipasang pada zona joint lebih rapat daripada kolom untuk mengantisipasi gaya geser yang terjadi lebih besar daripada kolom di sekitarnya
- ❖ Gaya geser nominal minimum di dalam joint adalah:

$$V_{n,minimum} = 1,2 \sqrt{f'_c} A_j = 1,2 \sqrt{f'_c} b_{balok} h_{kolom}$$

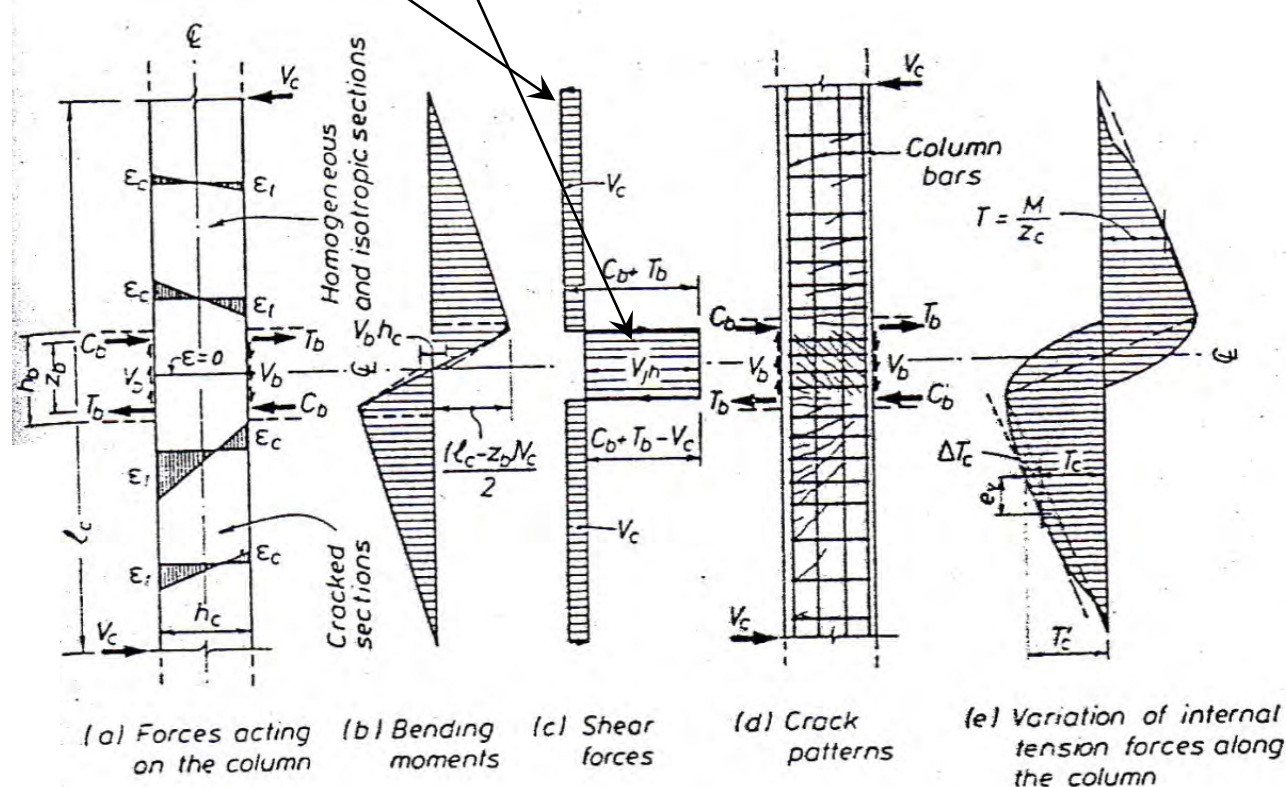


**Catatan:**  
Luas efektif joint untuk gaya-gaya di masing-masing arah yang merangka harus ditinjau secara terpisah. Joint yang digambarkan tidak memenuhi kondisi-kondisi berdasarkan 18.8.3.2 dan 18.8.4.1 perlu dianggap terkekang karena balok tidak menutupi paling sedikit  $\frac{3}{4}$  dari lebar setiap bidang muka joint.

**Gambar R18.8.4 – Luas joint efektif**

# Gaya geser yang terjadi pada *joint*

Gaya geser pada *joint* lebih besar daripada gaya geser pada kolom



## Tampilan Perilaku Kolom dan *Joint*

(Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)

Gaya geser kolom:  
 $C_b = T_b$

$$V_{col} = \frac{2T_b z_b + V_b h_c}{l_c}$$

$$V_{jh} = C_b + T_b - V_{col} = \left[ \frac{l_c}{z_b} - 1 \right] V_{col} - \frac{h_c}{z_b} V_b$$

dengan:

$T_b$  : gaya tarik baja tulangan balok (N)

$C_b$  : gaya tekan beton balok (N)

$V_b$  : gaya geser balok (N)

$z_b$  : lengan momen (mm)

$h_c$  : tinggi penampang kolom (mm)

Gaya geser horisontal *joint* ( $V_{jh}$ ):

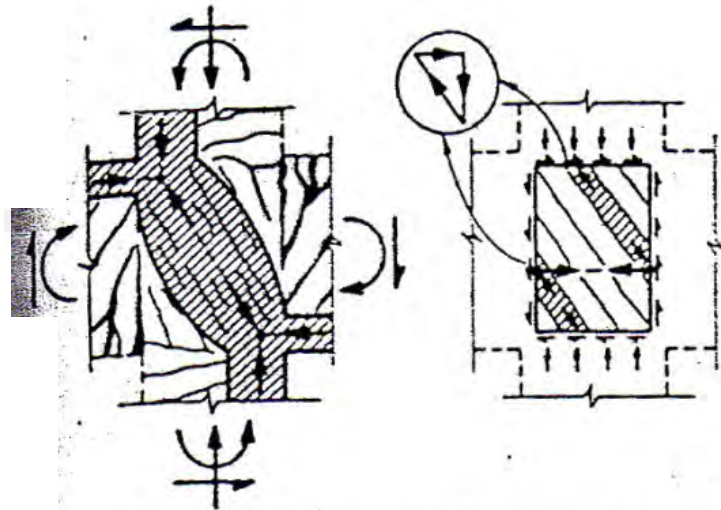
4 sampai dengan 6 kali gaya geser kolom ( $V_c$ )

# Mekanisme transfer gaya pada *joint*

Mekanisme gaya geser di *joint*:

Gaya geser pada beton menghasilkan *diagonal strut* (penopang diagonal) (Gambar a)

Gaya tekan beton dan tarik baja dari balok yang ditunjang oleh *bond* (lekatan antara beton dan baja tulangan) menghasilkan area tekan diagonal (Gambar b)

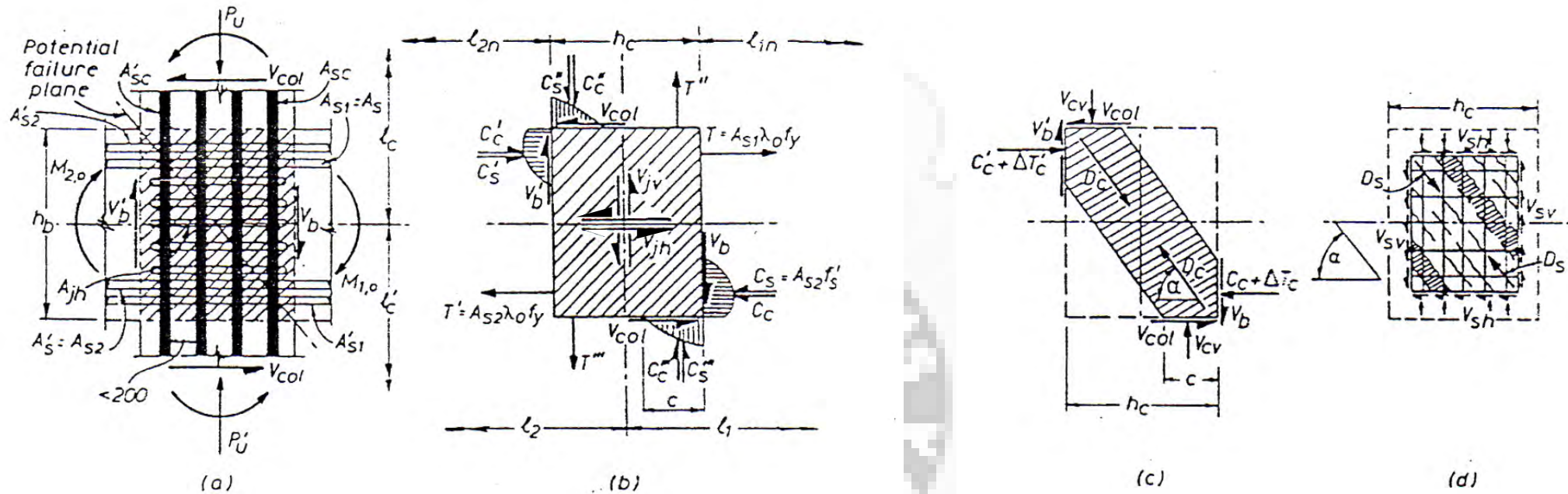


(a) *Concrete Strut*

(b) *Diagonal Compression Field*

Mekanisme transfer gaya geser pada *joint* interior  
(Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)

# Joint



Aksi Internal dan Resultan Tegangan Internal pada *Joint* Interior  
(Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)

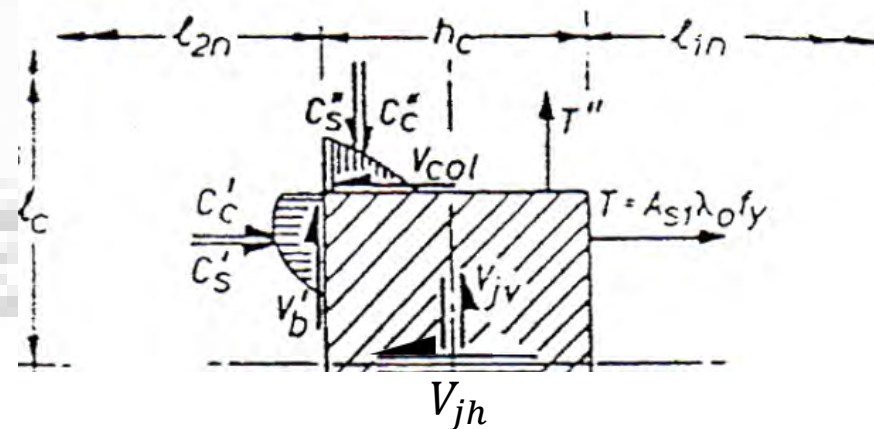
Tinjau setengah bagian atas zona *joint* gambar (b):

Gaya geser horisontal *joint*:

$$V_{jh} = T + C'_c + C'_s - V_{col} = T' + C_c + C_s - V_{col}$$

Karena  $T' = C'_c + C'_s$ , maka:

$$V_{jh} = T + T' - V_{col}$$



## Joint

Gaya geser horizontal maksimum pada *joint*:

$$V_{jh} = (A_{s1} + A_{s2})\lambda_o f_y - V_{col} = (1 + \beta)\lambda_o f_y A_{s1} - V_{col}$$

dengan:

$$\beta = \frac{A_{s2}}{A_{s1}}$$

Gaya geser kolom rata-rata di atas dan di bawah *joint*:

$$V_{col} \approx \frac{2 \left[ \frac{l_1}{l_{1n}} M_{1,o} + \frac{l_2}{l_{2n}} M_{2,o} \right]}{l_c + l'_c}$$

Gaya geser vertikal pada *joint*:

$$V_{jv} = \frac{h_b}{h_c} V_{jh}$$

dengan:

$\lambda_o$  : faktor *overstrength* kuat leleh baja

$\lambda_o = 1,10$  untuk  $f_y = 240 - 275$  MPa dan  $\lambda_o = 1,25$  untuk  $f_y = 400$  MPa  
(Park and Priestley, 1990, p. 118)

$V_{col}$  : gaya geser kolom rata-rata di atas dan di bawah *joint*

$M_{1,o}$  : momen nominal balok di sisi kanan zona *joint*

$M_{2,o}$  : momen nominal balok di sisi kiri zona *joint*

$l_1$  : panjang bentang balok kanan bawah (as ke as)

$l_2$  : panjang bentang balok kiri bawah (as ke as)

$l_{1n}$  : panjang bentang balok kanan atas (as ke as)

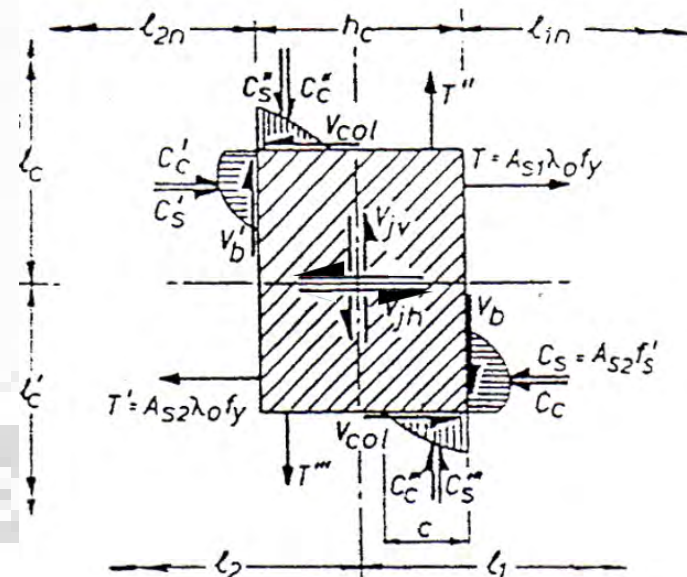
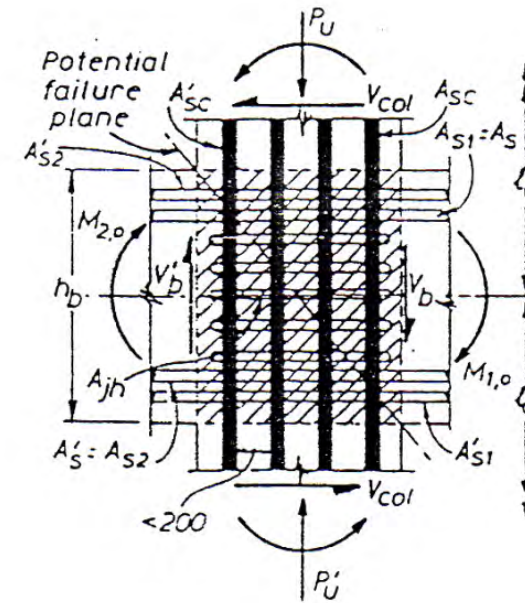
$l_{2n}$  : panjang bentang balok kiri atas (as ke as)

$l_c$  : tinggi kolom atas (as ke as)

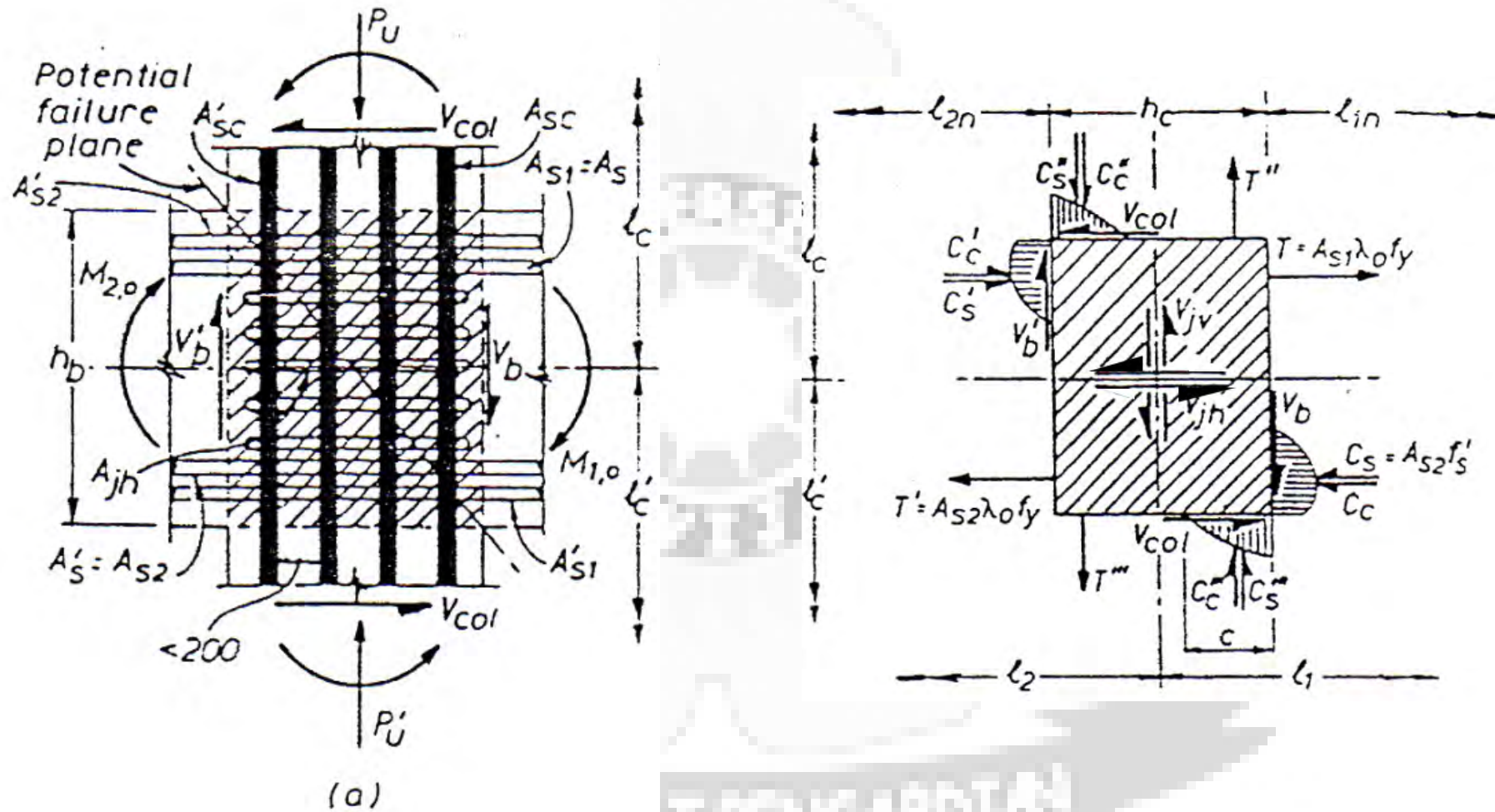
$l'_c$  : tinggi kolom bawah (as ke as)

$h_b$  : tinggi penampang balok

$h_c$  : tinggi penampang kolom = tinggi penampang *joint*



Aksi Internal dan Resultan Tegangan Internal pada *Joint Interior*  
(Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)



Aksi internal dan resultan tegangan internal pada *joint* interior  
 (Sumber: Paulay dan Priestley, 1990)

## Joint

- ❖ Sama seperti balok dan kolom, kapasitas geser zona *joint* yang disumbangkan oleh baja sengkang horisontal 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 (mm<sup>2</sup>)

$A_{sv}$  : luas satu batang tulangan sengkang (mm<sup>2</sup>)

$n$  : jumlah “kaki” sengkang pada suatu penampang joint

$f_y$  : kuat leleh baja tulangan sengkang (MPa)

- ❖ Kuat geser nominal dari kontribusi beton:

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

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

$$V_n = V_{jv} = V_c + V_s$$

Karena beton diasumsikan tidak menahan geser, maka  $V_{jv} = V_s$ .

Dari persamaan tersebut, diperoleh nilai spasi sengkang di zona *joint*.

- ❖ Persamaan untuk mendesain tulangan sengkang adalah:

$$\phi V_n \geq V_u$$

dengan:

$\phi$  : faktor reduksi geser = 0,75

$V_u$  : gaya geser terfaktor (N)

$V_n$  : kuat geser nominal (N)

$b_{joint}$  : = yang terkecil dari  $b_{kolom}$  dan  $h_{kolom}$



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	$s \leq \frac{3A_{vf}}{b_w}$ 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

# Referensi

- ACI Committee 318, (2019): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Applied Technology Council (ATC), (1996): *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, ATC, Sacramento, CA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Imran, I. dan Hendrik, F., (2014): *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Nurjannah, S.A., (2016): *Perilaku Histeretik Sub-assembly Balok-Kolom Reactive Powder Concrete Pra-tegang Parsial*, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Paulay, T. dan Priestly, M.J.N., (1990): *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, Inc.

ILMU ALAT PENGABDIAN

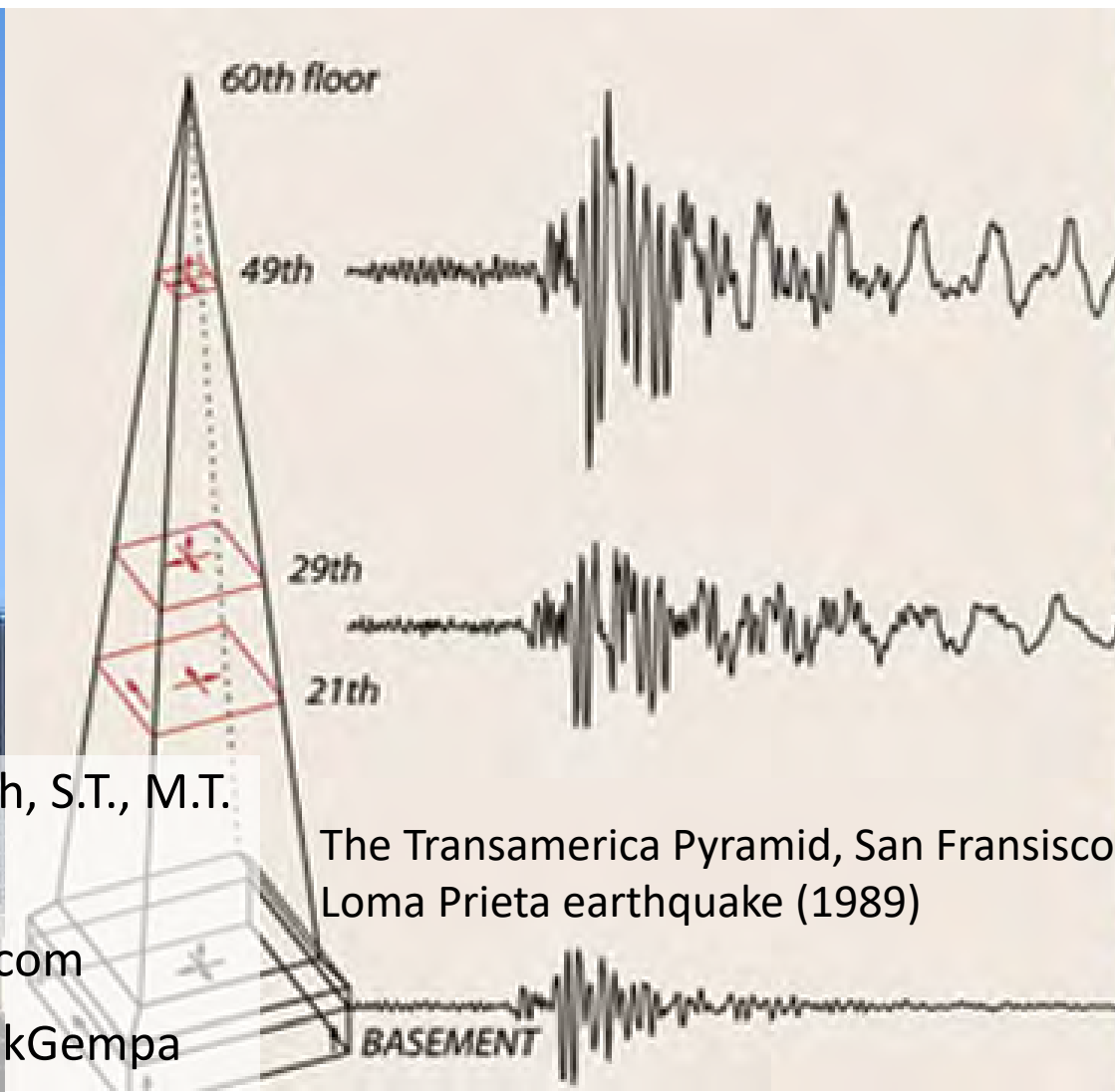


TKS 420214

M-09 Dinding geser  
(*shearwall*)

# Dinamika Struktur dan Gempa

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya



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

Phone: 081373672011

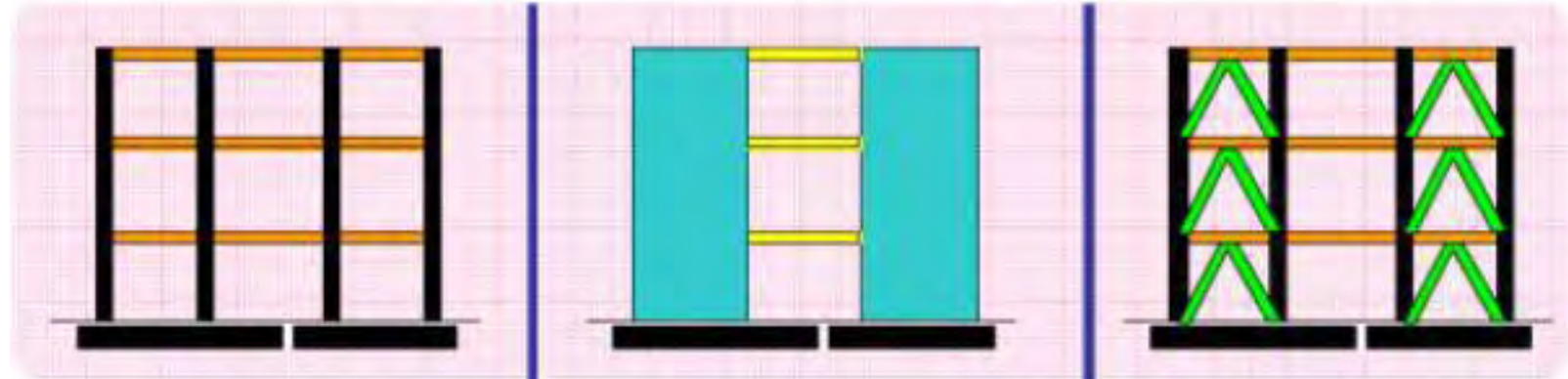
E-mail: hana.program.17@gmail.com

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

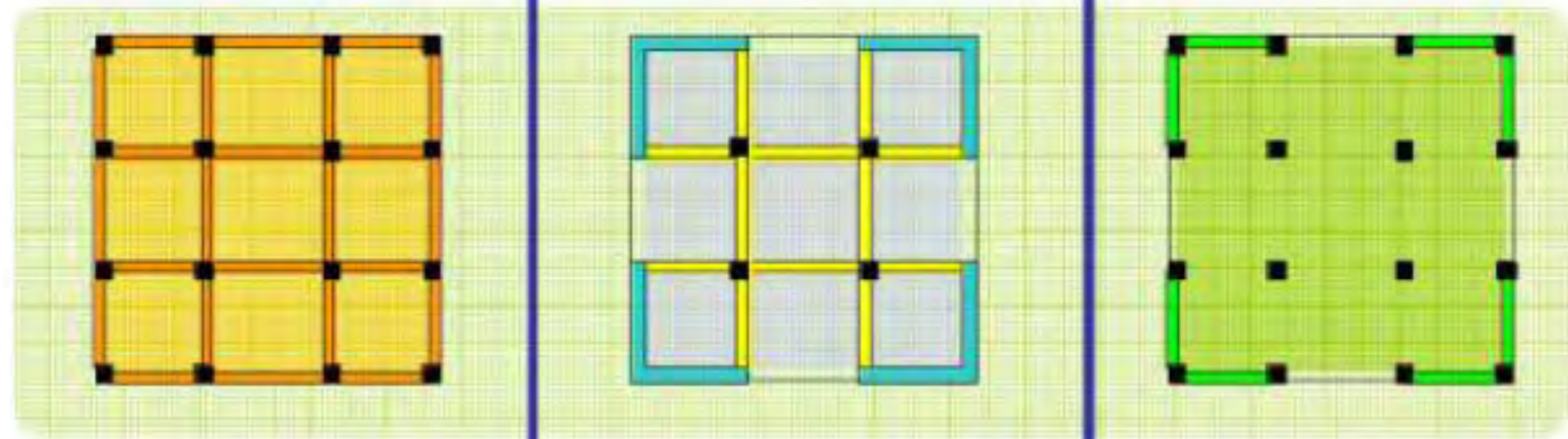
The Transamerica Pyramid, San Fransisco  
Loma Prieta earthquake (1989)

# Tiga sistem penahan beban lateral umum pada bangunan gedung beton bertulang

Tampak depan  
bangunan



Tampak atas  
bangunan



*Moment resisting frame*

*Shear wall*

*Braced frame*

# Lokasi penempatan *shear wall*

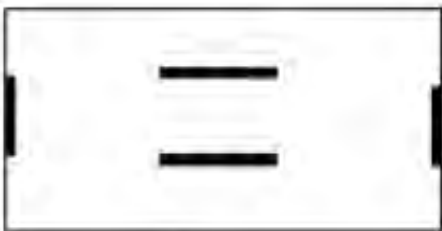
Penempatan *shear wall* harus simetris sehingga beban gempa ditahan relatif merata, sebagian besar oleh *shear wall*.



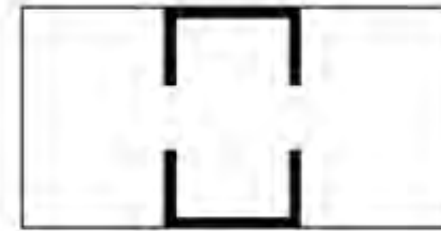
Good



Good



Fair



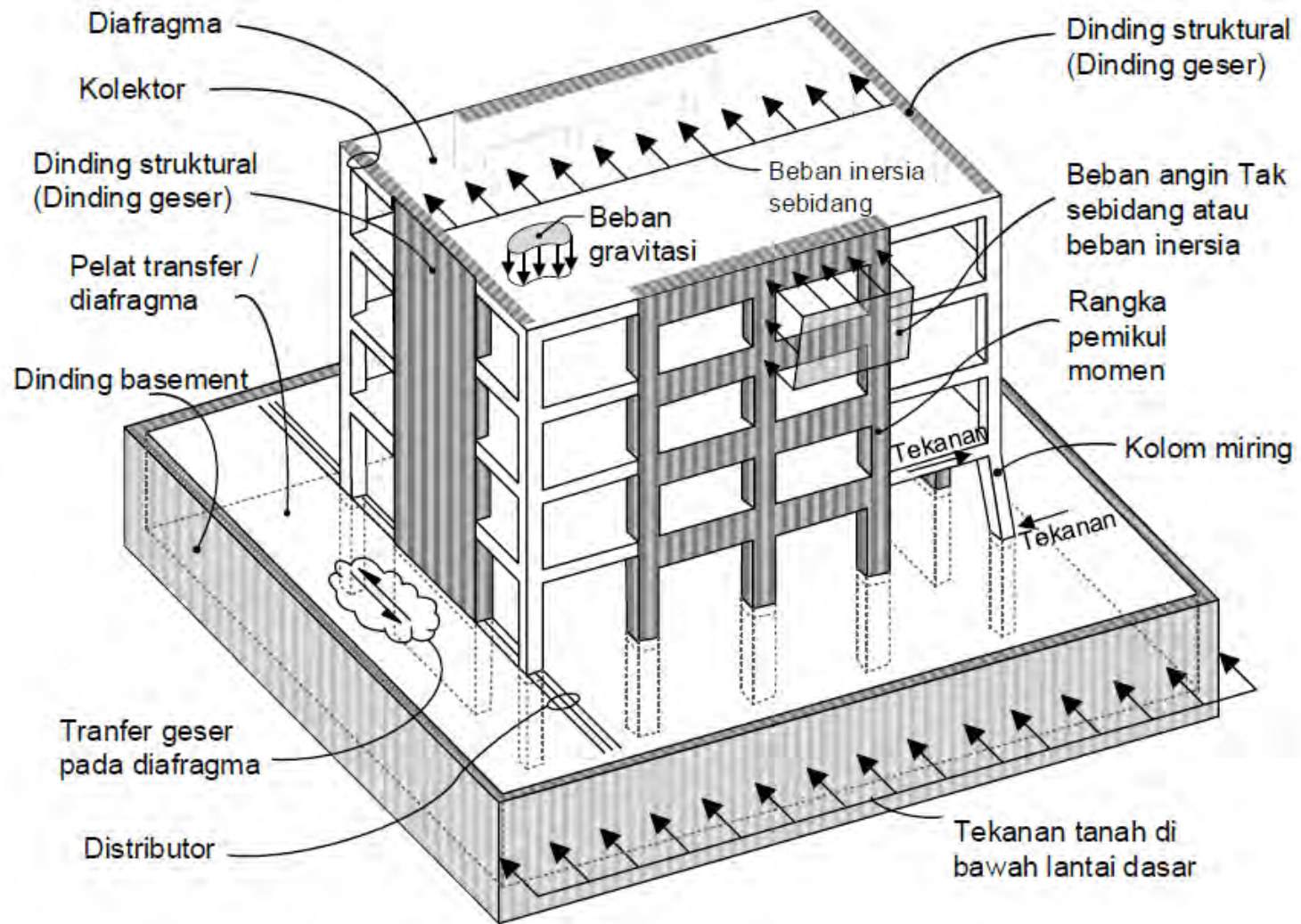
Fair



Poor



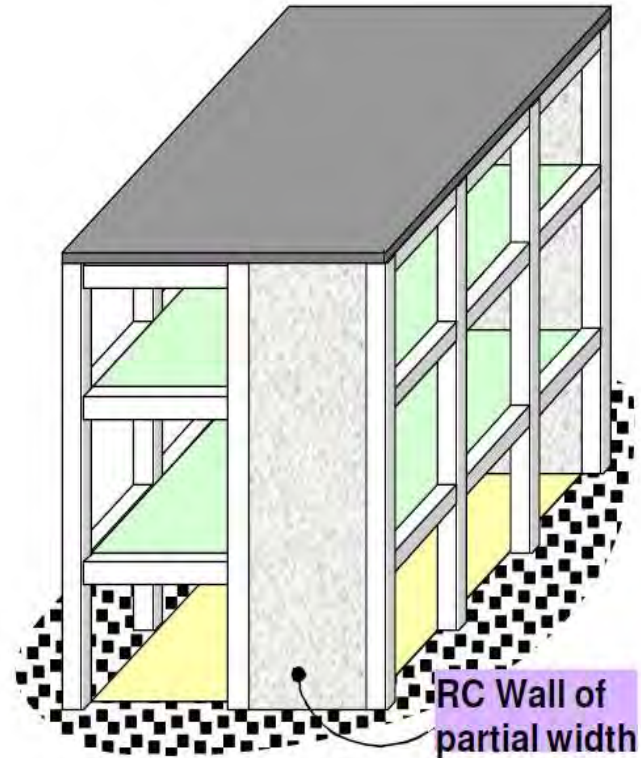
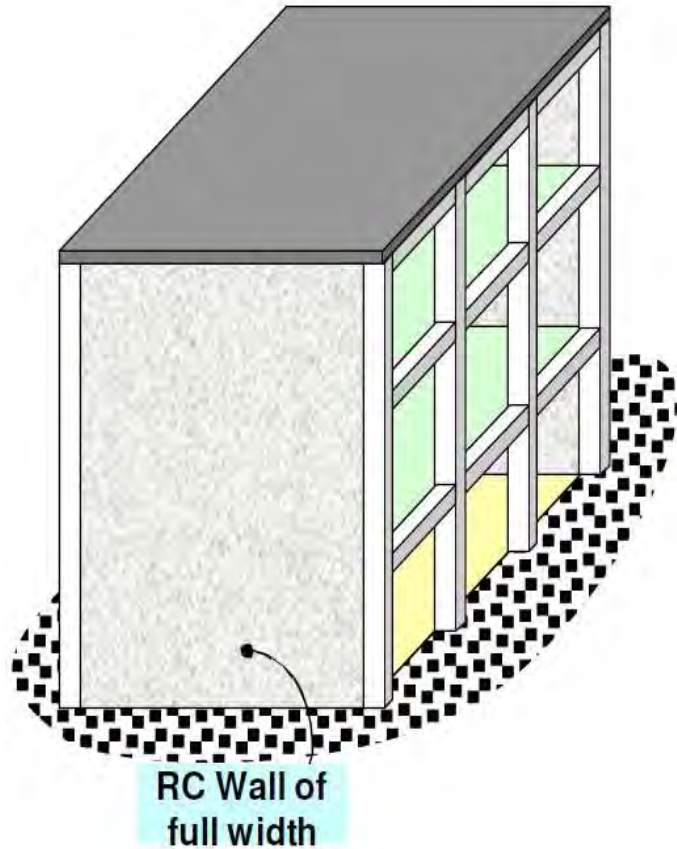
Poor



**Gambar 12.1.1 – Aksi diafragma tipikal**

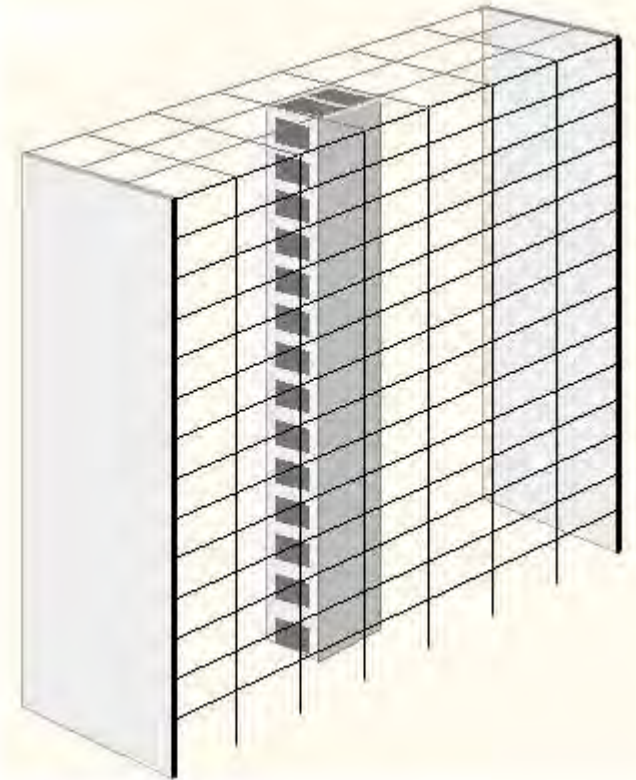
Sumber: SNI 2847:2019

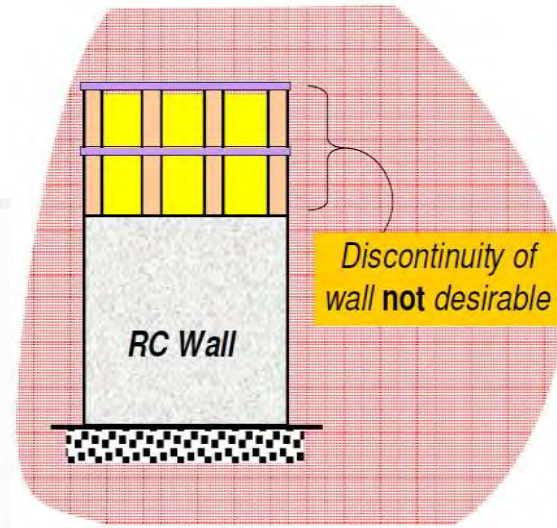
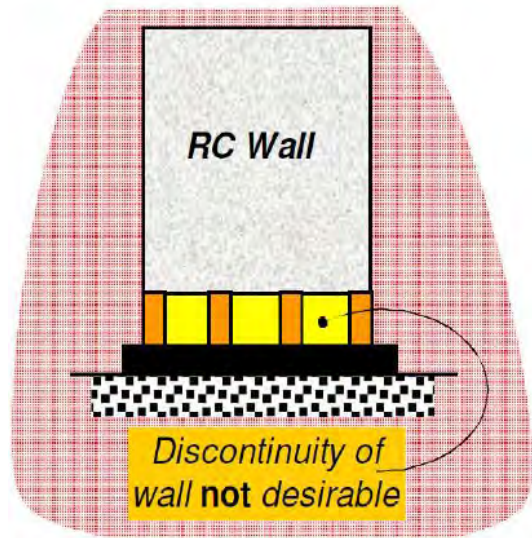
*Shear wall* dapat dibangun selebar atau sebagian lebar bangunan.



Sumber: Dagar (2017)

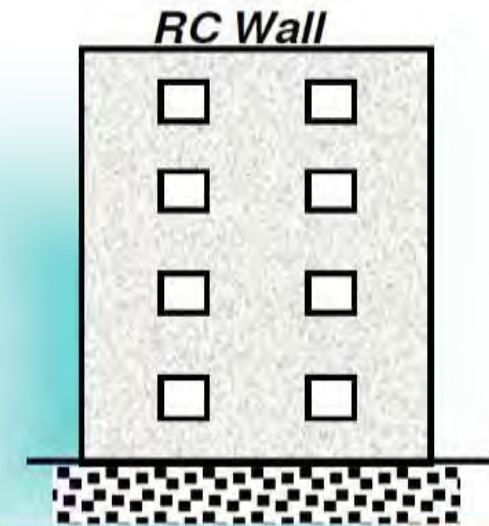
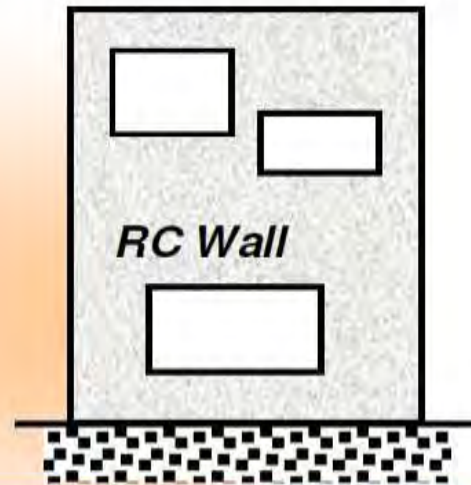
*Shear wall* dapat dibangun di tengah bangunan sebagai inti (*core*) dan sekaligus digunakan sebagai lokasi *lift*.





*Shear wall* tidak boleh terputus di sisi bawah ataupun atas.

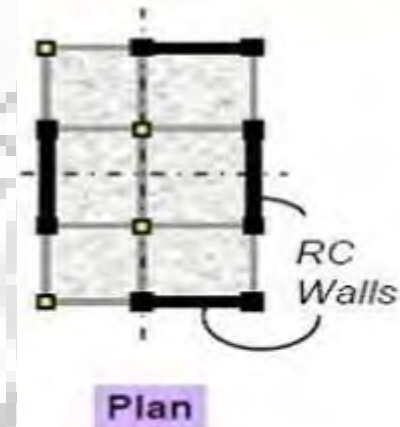
*Jumlah opening pada shear wall* sesedikit mungkin dan teratur.





## Dinding geser:

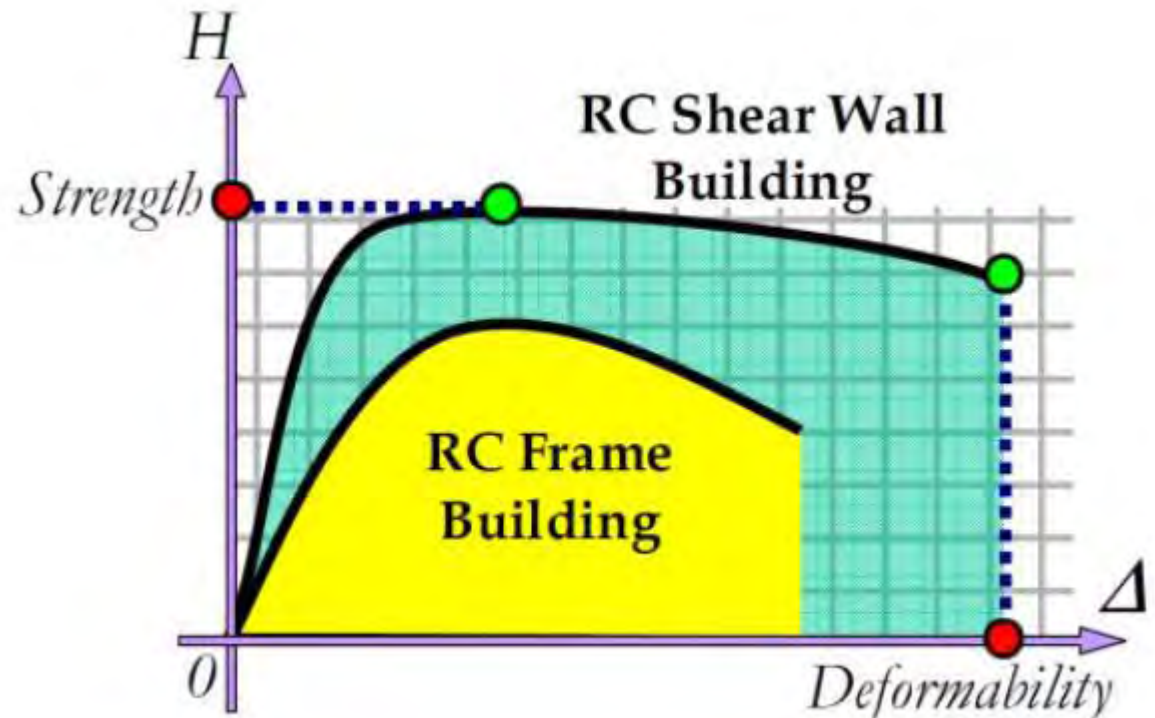
- Dipasang vertikal
- Umumnya dipasang di atas fondasi
- Tinggi *shear wall* sama dengan bangunan
- Untuk bangunan berketinggian sedang-tinggi ( $\geq 4$  lantai)



ILMU ALAT PENGARSIAN

Keunggulan struktur kombinasi *shear wall* + rangka beton bertulang dibandingkan dengan struktur rangka beton bertulang:

- Kekuatan lebih tinggi
- Kekakuan lebih tinggi
- Lebih daktail (berpindah jauh ke arah lateral sebelum runtuh akibat beban gempa)

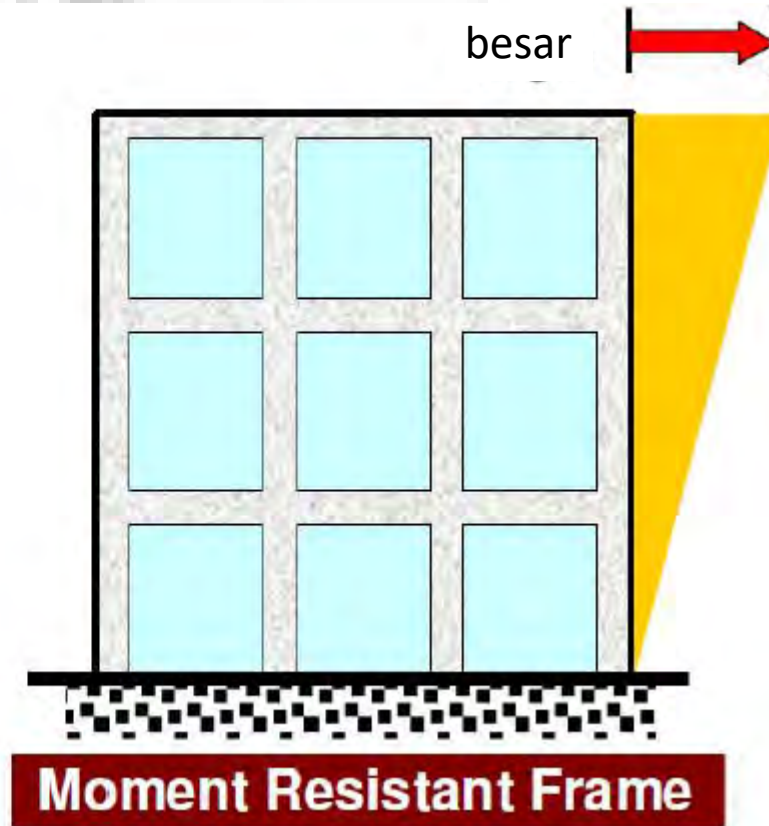
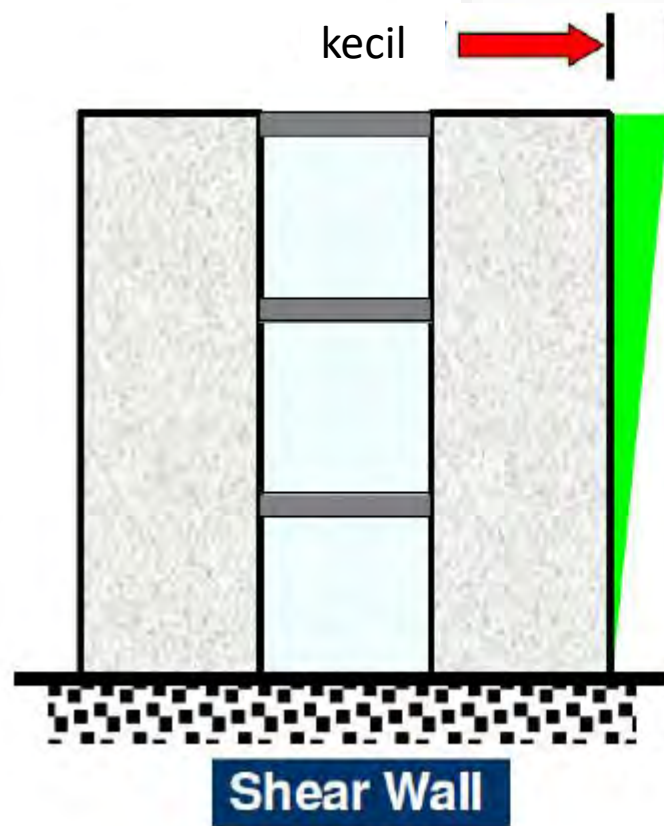


Kurva hubungan kekuatan dan kemampuan berdefromasi

Sumber: Dagar (2017)

Struktur *shear wall* atau *shear wall + rangka beton bertulang*:

berpindah (berupa *displacement*) ke arah lateral lebih kecil di bawah suatu beban gempa dibandingkan dengan **rangka beton bertulang**.



Rangka (beton bertulang) pemikul momen

# Jenis keruntuhan yang benar akibat gempa

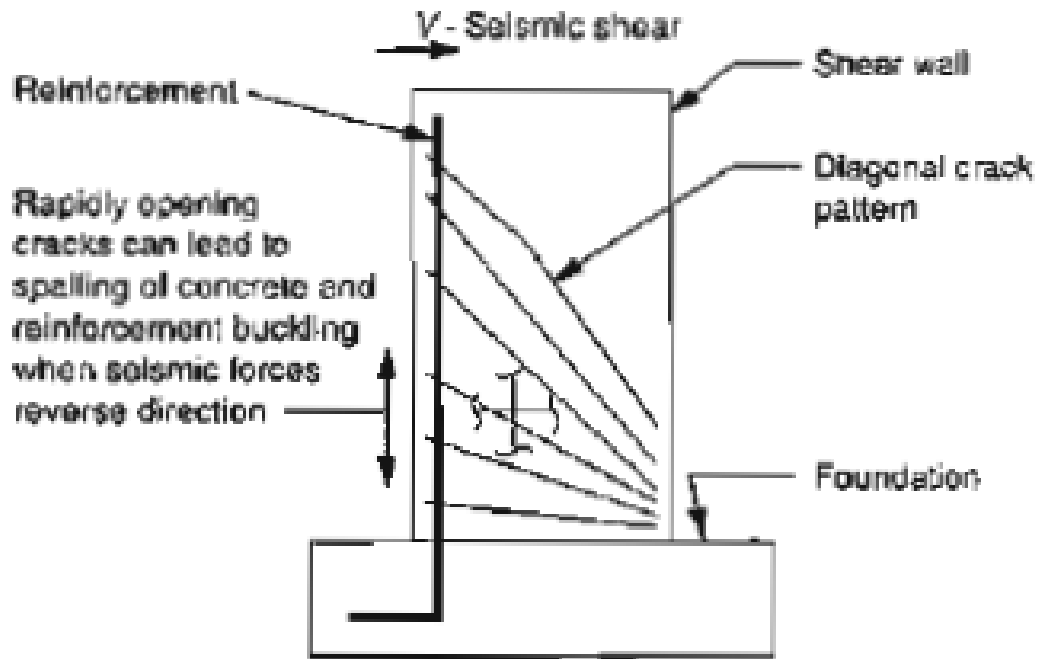
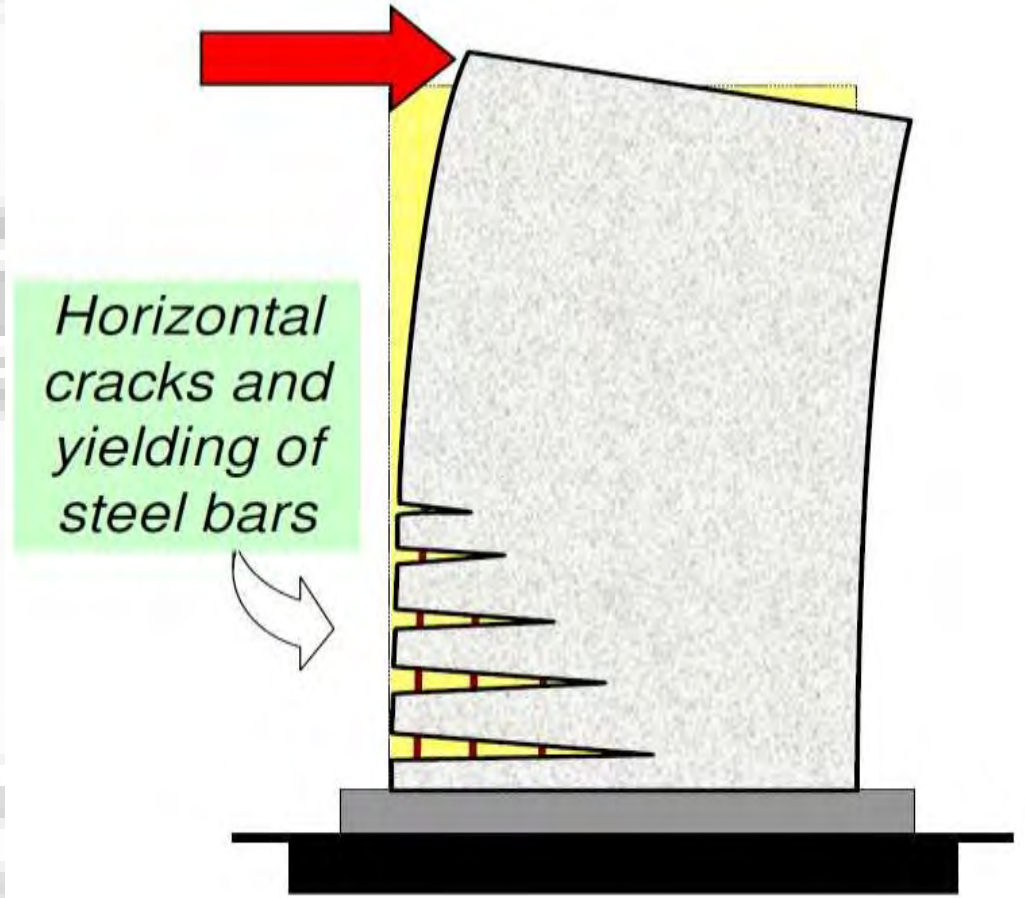


Figure 5-7. Typical Shear Cracking Pattern

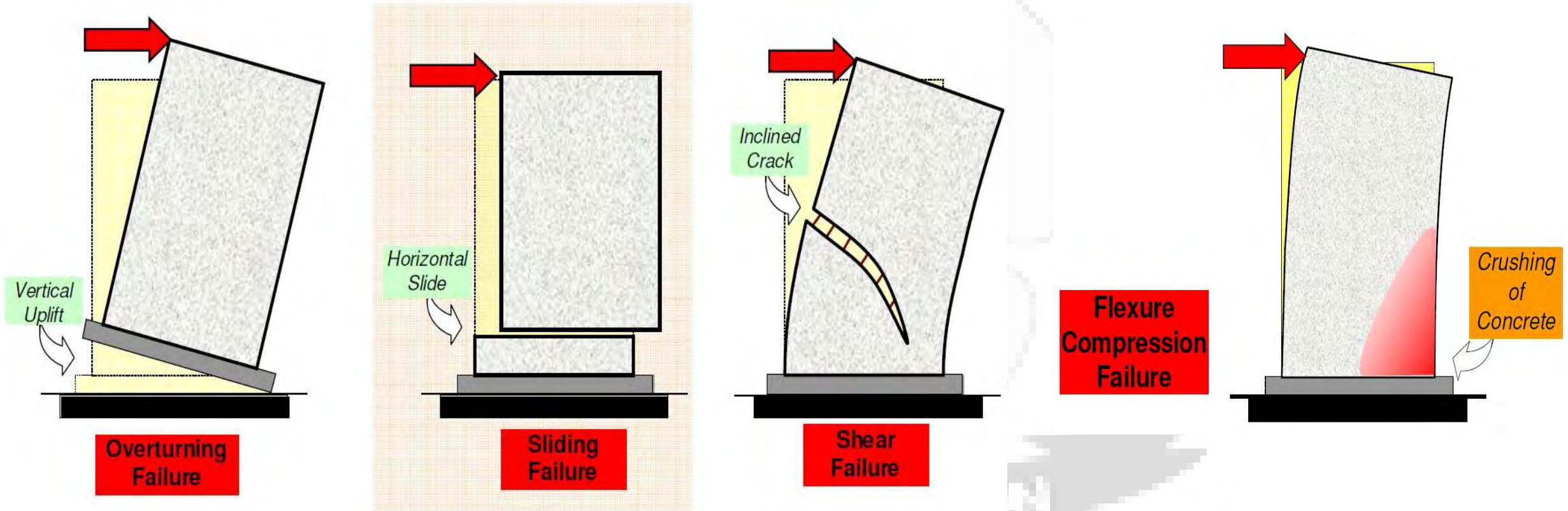
Sumber: ATC-40 vol. 1 (1996), p 5-10



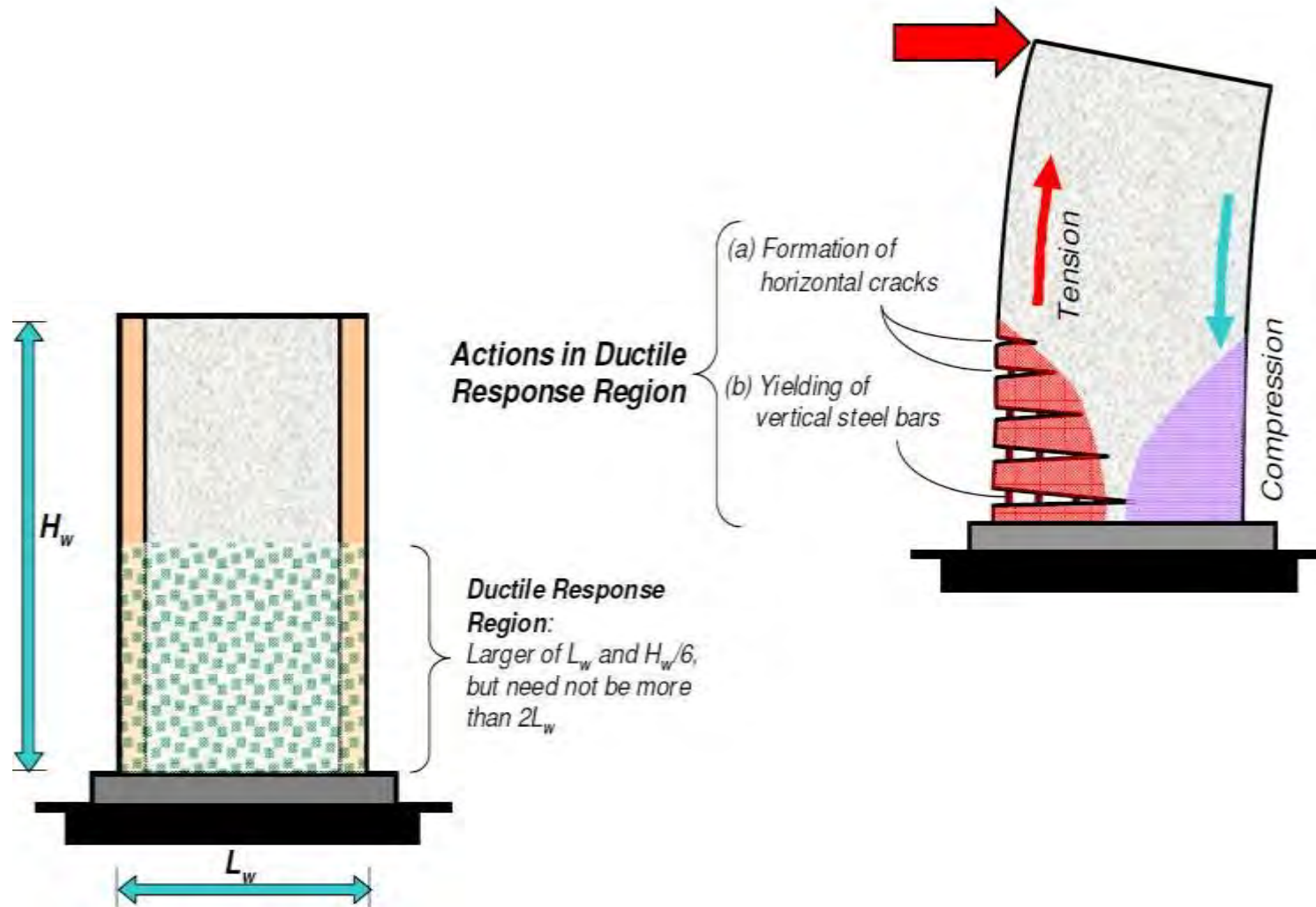
Keruntuhan tarik lentur

Sumber: Dangar (2017)

# Jenis keruntuhan yang salah akibat gempa

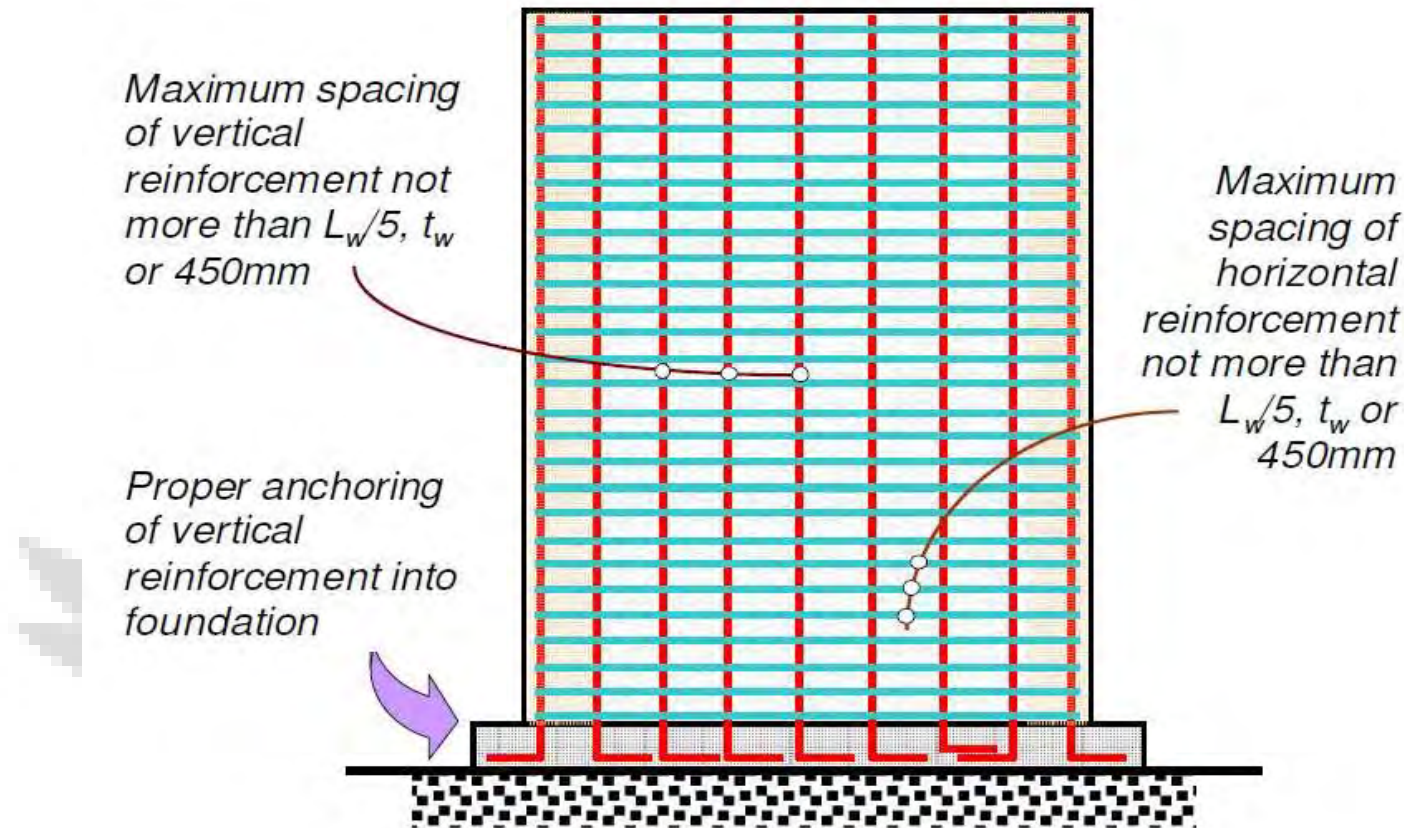


# Lokasi detail daktilitas



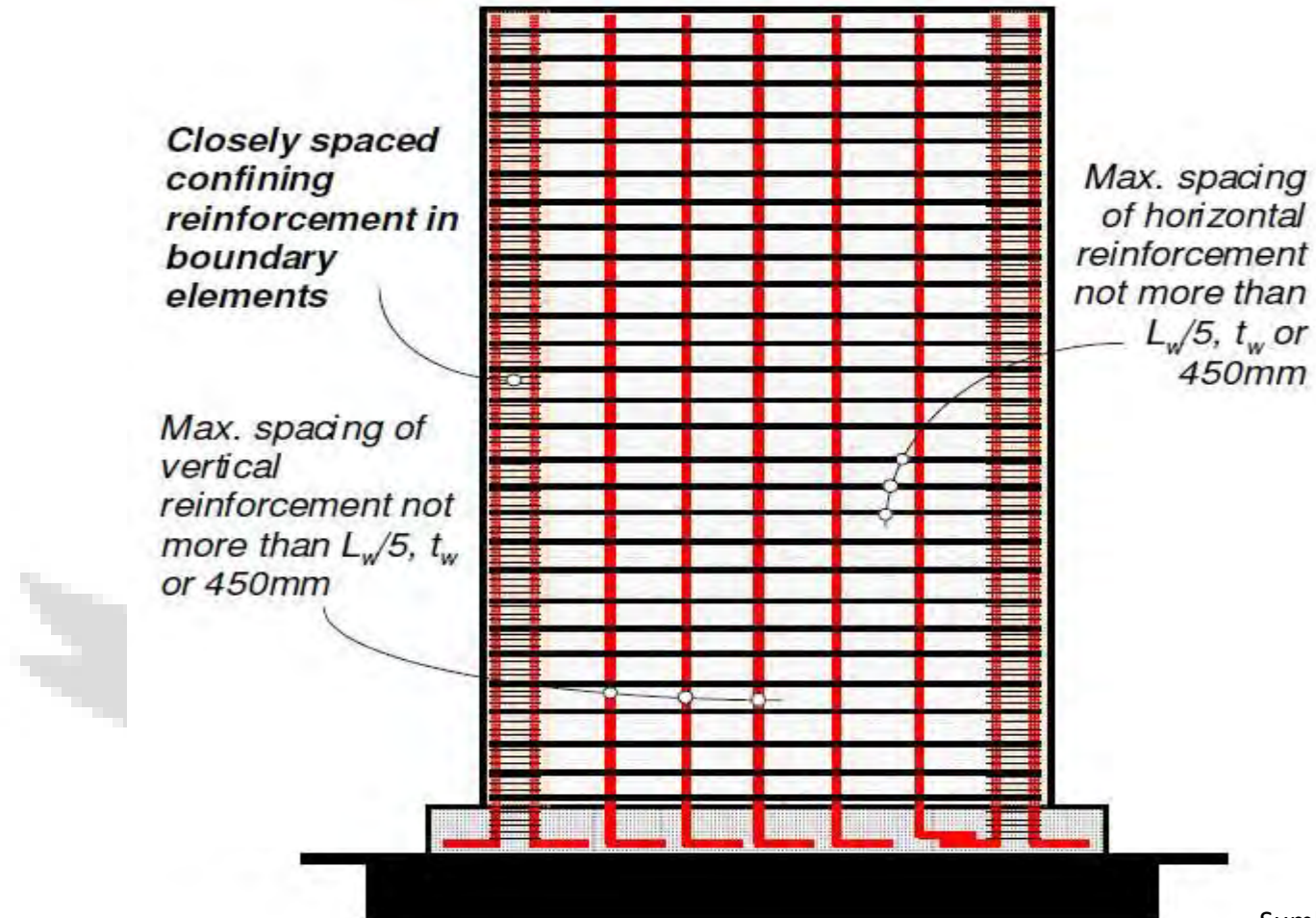
# Seismic Design of RC Walls

## Primary Reinforcement in Walls




# Seismic Design of RC Walls

## Detailing of Vertical and Horizontal Bars





# Coupled wall

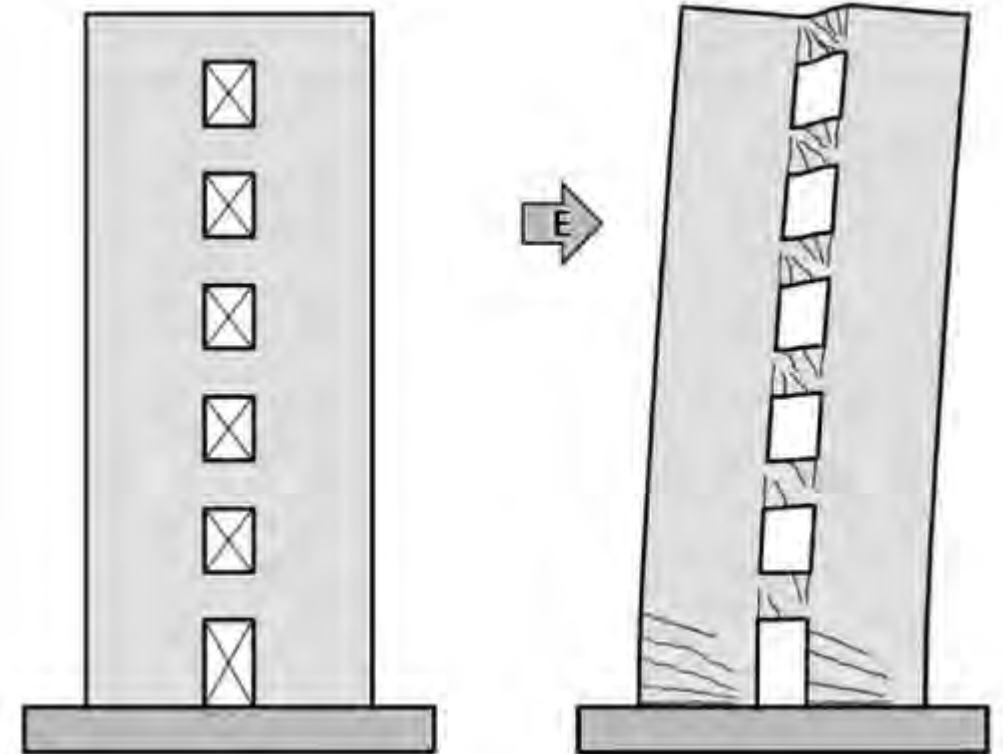
Dinding geser **retak** di bagian bawah membentuk **sendi plastis** (*plastic hinge*) di lokasi itu  **bagian terlemah** di seluruh bangunan.

Sendi plastis **berotasi** dan **mendisipasi** (memencarkan) energi gempa.

Saat **sendi plastis berotasi**, regangan tarik di kedua ujung dinding geser sangat tinggi sehingga perlu suatu **ikatan** di area tersebut.

Jika tulangan longitudinal kurang dan kekuatan beton kurang, maka dinding mudah melengkung dan seluruh kegagalan dinding geser dimulai dari lokasi tersebut.

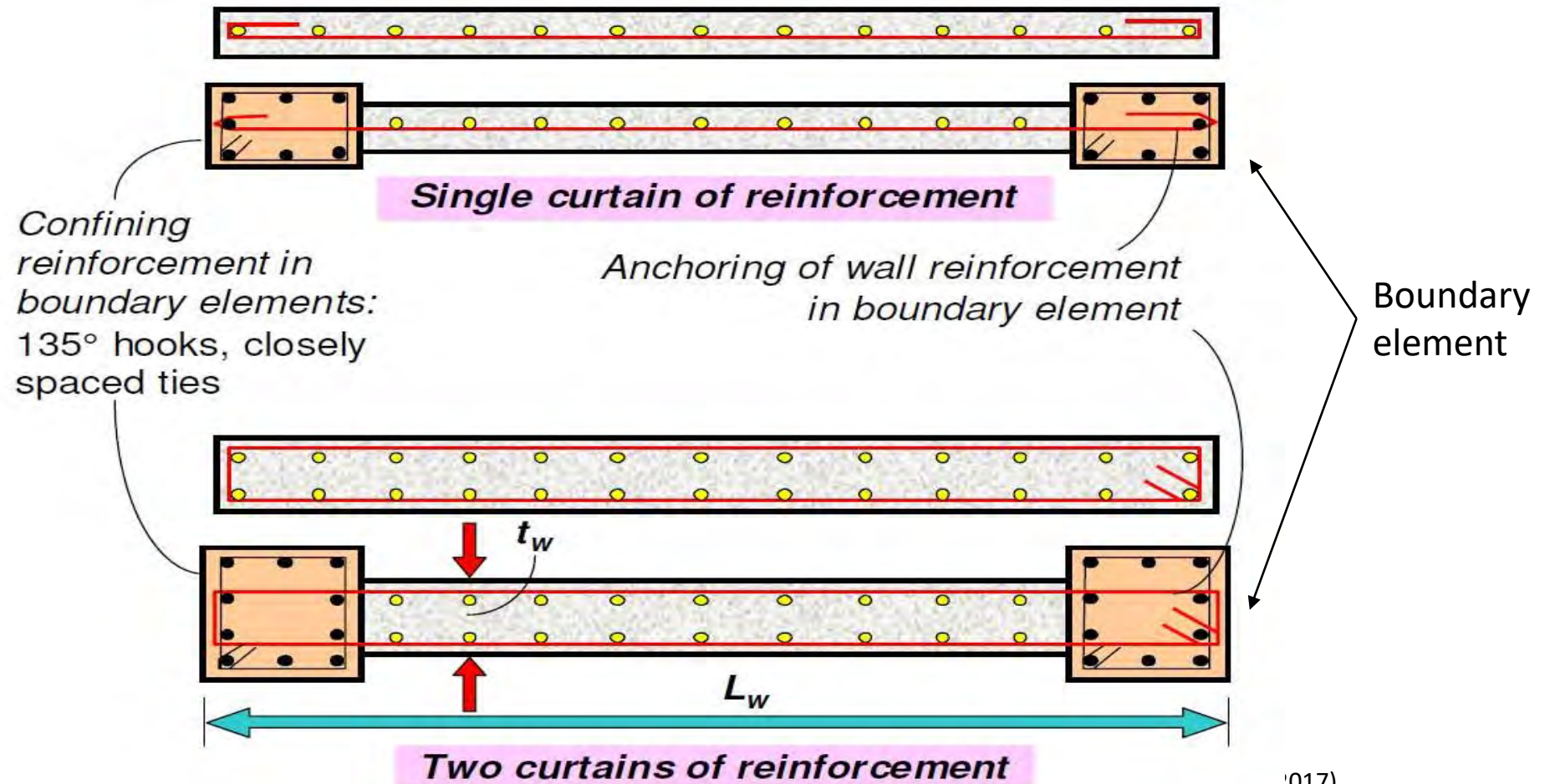
Untuk menghindari keretakan beton ini, maka perlu **sengkang dengan spasi tertentu pada kedalaman tertentu** di sepanjang dinding geser di kedua ujung dinding. Ketentuan ini disebut "persyaratan elemen batas (***requirement of boundary elements***)".



Geometri *coupled wall* dan mekanisme leleh target

# Seismic Design of RC Walls

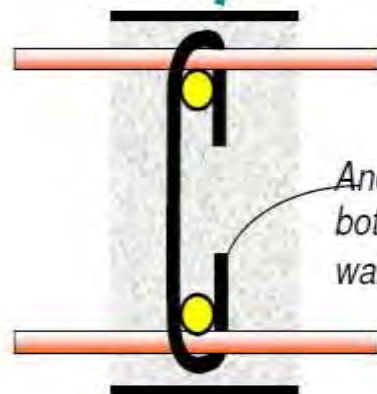
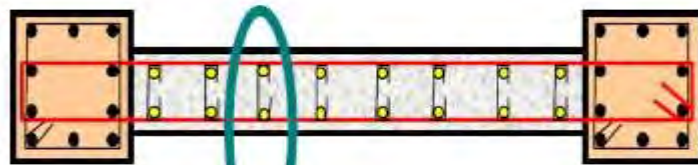
## Confining Steel in Boundary Elements



# Seismic Design of RC Walls

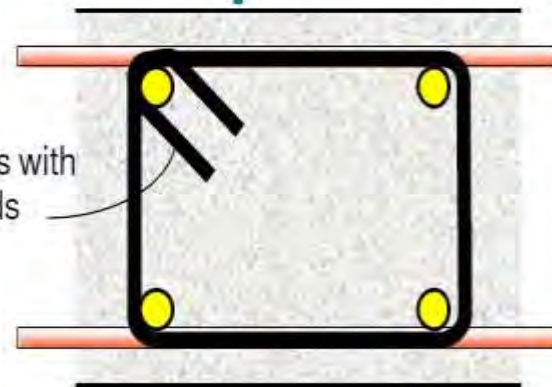
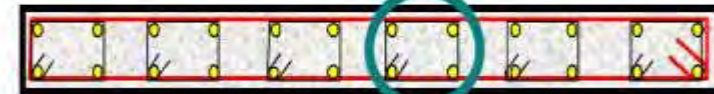
## Confining Wall Concrete

Open-leg Ties



Anchoring of ties around both vertical and horizontal wall reinforcement

Closed Loop Ties



Closed stirrups with 135° hook ends

# Dinding geser (*shearwall*)

Dinding: komponen struktur yang didesain menahan beban aksial, beban lateral atau keduanya dimana rasio Panjang arah horizontal terhadap ketebalannya lebih besar dari 3, digunakan untuk melingkupi atau memisahkan ruang.

Dinding struktural (*structural wall*): dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dinding geser adalah dinding struktural. Dinding struktural yang ditetapkan sebagai bagian **sistem penahan gaya gempa** bisa dikategorikan sebagai berikut:

- ❖ **Dinding struktural biasa beton polos** (*Ordinary structural plain concrete wall*) — Dinding yang memenuhi persyaratan Pasal 14.
- ❖ **Dinding struktural biasa beton bertulang biasa** (*Ordinary reinforced concrete structural wall*) — Dinding yang memenuhi persyaratan Pasal 11
- ❖ **Dinding struktural khusus** (*Special structural wall*) — Dinding cor di tempat yang memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.10 atau dinding pracetak yang memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.11.

Catatan:

**Beton polos (*Plain concrete*)** — Beton struktur tanpa tulangan atau dengan tulangan kurang dari jumlah minimum yang ditetapkan untuk beton bertulang.

**Beton struktural (*Structural concrete*)** — Semua beton yang digunakan untuk tujuan struktural termasuk beton polos dan bertulang.

Sumber: SNI 2847-2019 p. 38, 39

# Dinding struktural biasa beton polos

- Dinding beton polos umumnya digunakan untuk konstruksi dinding basemen gedung hunian dan Gedung komersial ringan pada daerah dengan gaya seismik kecil atau tidak ada sama sekali.
- Meskipun standar ini tidak menetapkan batasan tinggi maksimum untuk dinding beton polos, namun penggunaan beton polos untuk struktur yang sifatnya minor tidak boleh diekstrapolasi untuk struktur dengan banyak lantai dan struktur yang bersifat masif di mana perbedaan penurunan tanah, angin, gempa, atau beban tak terduga lainnya akan membutuhkan dinding yang mempunyai daktilitas dan kemampuan untuk mempertahankan integritas struktur saat retak. Untuk kondisi tersebut, Komite ACI 318 merekomendasikan penggunaan dinding yang didesain sesuai **Pasal 11**.

**14.3.1.1** Tebal minimum dinding penumpu harus sesuai dengan Tabel 14.3.1.1.

**Tabel 14.3.3.1 – Tebal minimum dinding penumpu**

Tipe dinding	Tebal minimum	
Umum	Terbesar dari:	140 mm
		1/24 yang terkecil dari panjang dan tinggi tak tertumpu
Basemen eksterior	190 mm	
Fondasi	190 mm	

# Dinding struktural biasa beton polos

## 14.5.2 Lentur

**14.5.2.1** Nilai  $M_n$  harus diambil yang terkecil dari Pers. (14.5.2.1a) yang dihitung pada muka tarik dan Pers. (14.5.2.1b) yang dihitung pada muka tekan:

$$M_n = 0,42\lambda\sqrt{f_c'}S_m \quad (14.5.2.1a)$$

$$M_n = 0,85\sqrt{f_c'}S_m \quad (14.5.2.1b)$$

dimana  $S_m$  adalah modulus elastisitas penampang.

## 14.5.3 Tekan aksial

**14.5.3.1** Nilai  $P_n$  dihitung dengan:

$$P_n = 0,60f_c' A_g \left[ 1 - \left( \frac{\ell_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (14.5.3.1)$$

## 14.5.4 Lentur dan tekan aksial

**14.5.4.1** Kecuali diizinkan oleh 14.5.4.2, dimensi komponen harus diproporsikan sesuai Tabel 14.5.4.1, dimana  $M_n$  dihitung sesuai 14.5.2.1(b) dan  $P_n$  dihitung sesuai 14.5.3.1.

**Tabel 14.5.4.1 – Kombinasi lentur dan tekan aksial**

Lokasi	Persamaan interaksi	
Muka tarik	$\frac{M_u}{S_m} + \frac{P_u}{A_g} \leq \phi 0,42\lambda\sqrt{f_c'}$	(a)
Muka tekan	$\frac{M_u}{\phi M_n} + \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1,0$	(b)

**14.5.4.2** Untuk desain dinding pada penampang solid persegi panjang dimana  $M_u \leq P_u \left( \frac{h}{6} \right)$ ,  $M_u$  boleh diabaikan.  $P_n$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_n = 0,45f_c' A_g \left[ 1 - \left( \frac{\ell_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (14.5.4.2)$$

# Dinding struktural biasa beton polos

## 14.5.5 Geser

**14.5.5.1** Nilai  $V_n$  harus dihitung sesuai Tabel 14.5.5.1.

**Tabel 14.5.5.1 – Kekuatan geser nominal**

Aksi geser	Kekuatan geser nominal $V_n$		
Satu arah	$0,11\lambda\sqrt{f_c'}b_w h$		(a)
Dua arah	Terkecil dari:	$\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\left(0,11\lambda\sqrt{f_c'}b_o h\right)^{[1]}$	(b)
		$2(0,11\lambda\sqrt{f_c'}b_o h)$	(c)

<sup>(1)</sup>  $\beta$  adalah rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat atau daerah perletakan.

## 14.5.6 Tumpu (bearing)

**14.5.6.1** Nilai  $B_n$  harus dihitung sesuai Tabel 14.5.6.1.

**Tabel 14.5.6.1 – Kekuatan tumpu nominal**

Kondisi geometri relatif	$B_n$		
Muka tumpuan lebih lebar dari pada semua sisi luas yang terbebani	Terkecil dari:	$\sqrt{A_2/A_1}(0,85f_c' A_1)$	(a)
		$2(0,85f_c' A_1)$	(b)
Lainnya	$0,85f_c' A_1$		(c)

- ❖ Dinding geser (*shear wall*) berfungsi untuk menahan gaya lateral, terutama akibat gempa.
- ❖ Bagian dari *shear wall*:
  - Komponen batas (*boundary element*) untuk membuat struktur tetap daktail saat menahan beban gempa. Sendi plastis terbentuk pada dinding geser.

*Boundary element* diperlukan jika:

$$f_{maks} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u l_w / 2}{I} > 0,2 f'_c$$

dengan:

$$A_g = l_w t_w$$
$$I = \frac{t_w (l_w)^3}{12}$$



- ❖ Panjang *boundary element* dari ujung serat terluar dinding:  
( $c - 0,1 l_w$ ) atau  $c/2$

dengan:

$$c = \frac{l_w}{600 \frac{\mathcal{L}}{h_w}} \text{ dan } \frac{\mathcal{L}}{h_w} = 0,007$$

- ❖ Ketebalan *shear wall* dengan metode empiris (pendekatan):

$$t \geq \frac{1}{25} h_w$$

$$t \geq \frac{1}{25} l_w$$

dengan:

$h_w$  : tinggi dinding (mm)

$l_w$  : panjang dinding (mm)

$\mathcal{L}$  : konstanta yang diperoleh dari  $\frac{\mathcal{L}}{h_w} = 0,007$

Sumber: Budiono dan Supriatna (2011)

# Referensi

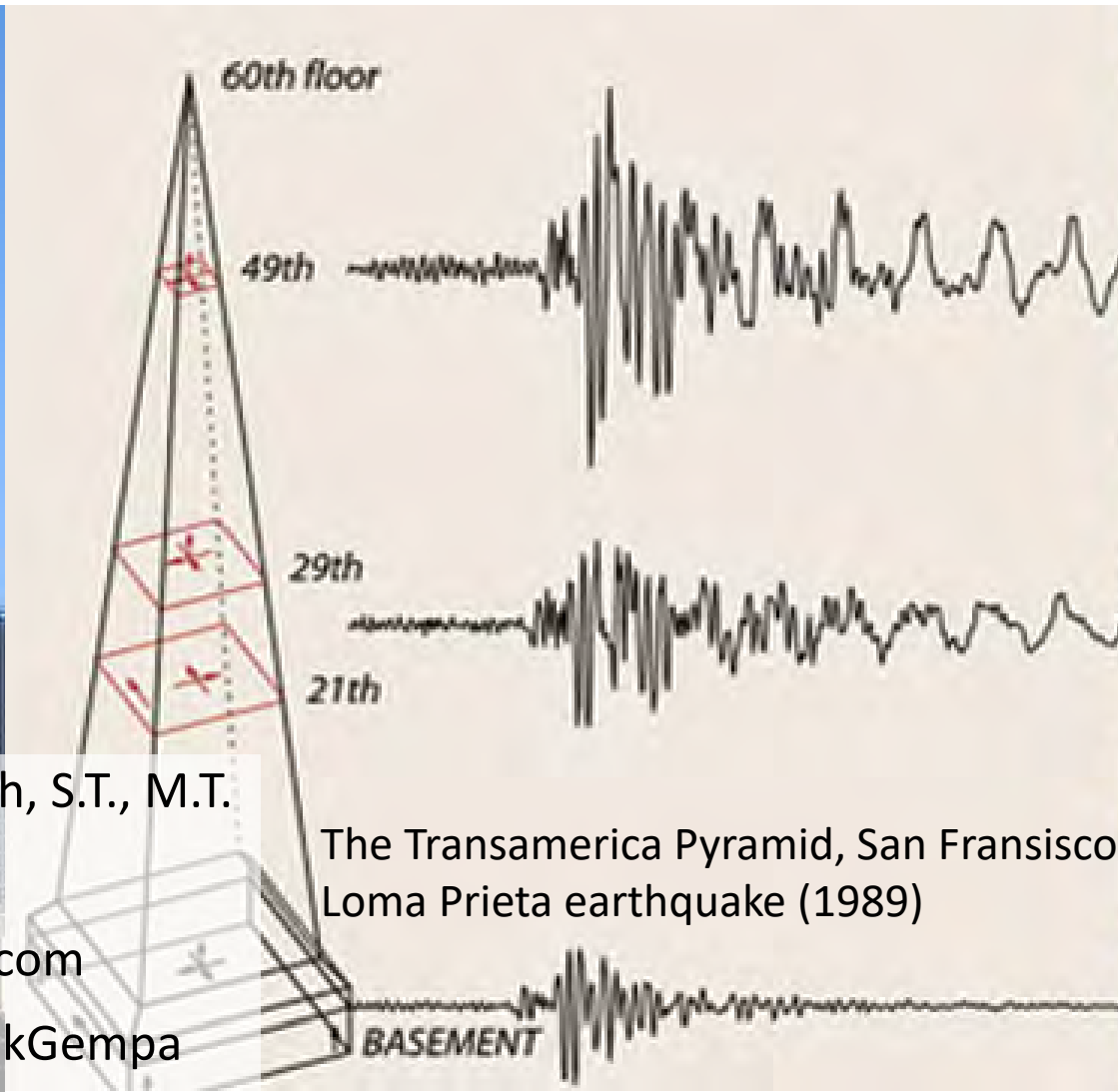
- Applied Technology Council (ATC), (1996): *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, ATC, Sacramento, CA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia
- Budiono, B dan Supriatna, L., (2011): *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa*, Penerbit ITB, Bandung.
- Dangar, P., (2017): Why are buildings with Shear Walls Preferred in seismic regions?, <https://www.slideshare.net/pradipdangar/shear-walls-76839228/1>
- Kalikavu, R. (2015): Shear wall, <https://www.slideshare.net/rashadbinabdulla/shear-wall-44526621>



# TKS 420214

## Dinamika Struktur dan Gempa

Jurusan Teknik Sipil, 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/DinstrukGempa>

The Transamerica Pyramid, San Fransisco  
Loma Prieta earthquake (1989)



# Referensi

- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2012): SNI 1726-2012 *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2013): SNI 2847-2013 *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia
- Budiono, B dan Supriatna, L., (2011): *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa*, Penerbit ITB, Bandung.
- Dangan, P., (2017): Why are buildings with Shear Walls Preferred in seismic regions?, <https://www.slideshare.net/pradipdangan/shear-walls-76839228/1>
- Kalikavu, R. (2015): Shear wall, <https://www.slideshare.net/rashadbinabdulla/shear-wall-44526621>