

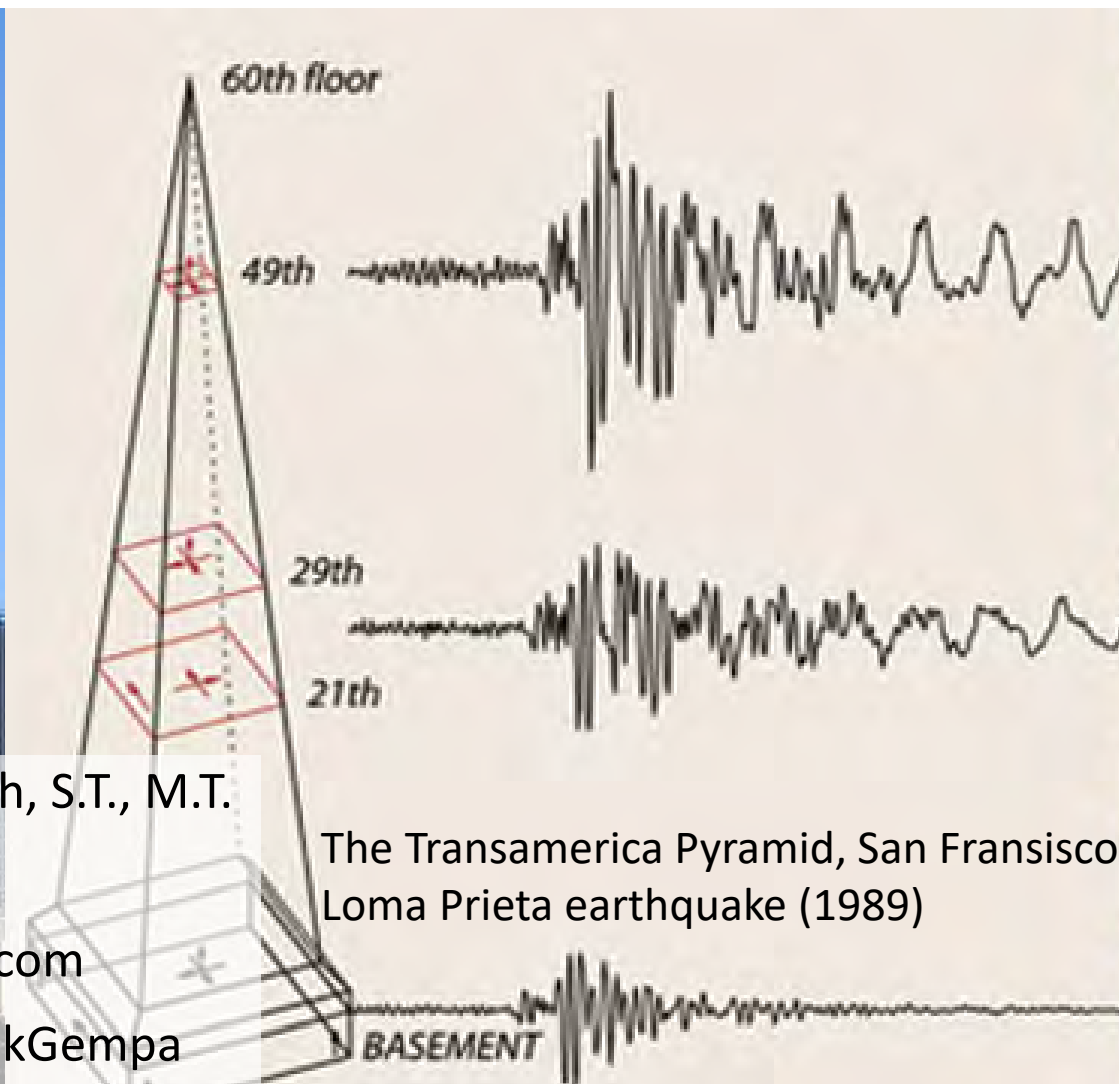


TKS 420214

M-08 Syarat Tulangan
Sengkang

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>

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

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

Zonasi **Spasi Maksimum** Penulangan Geser

Syarat tulangan sengkang

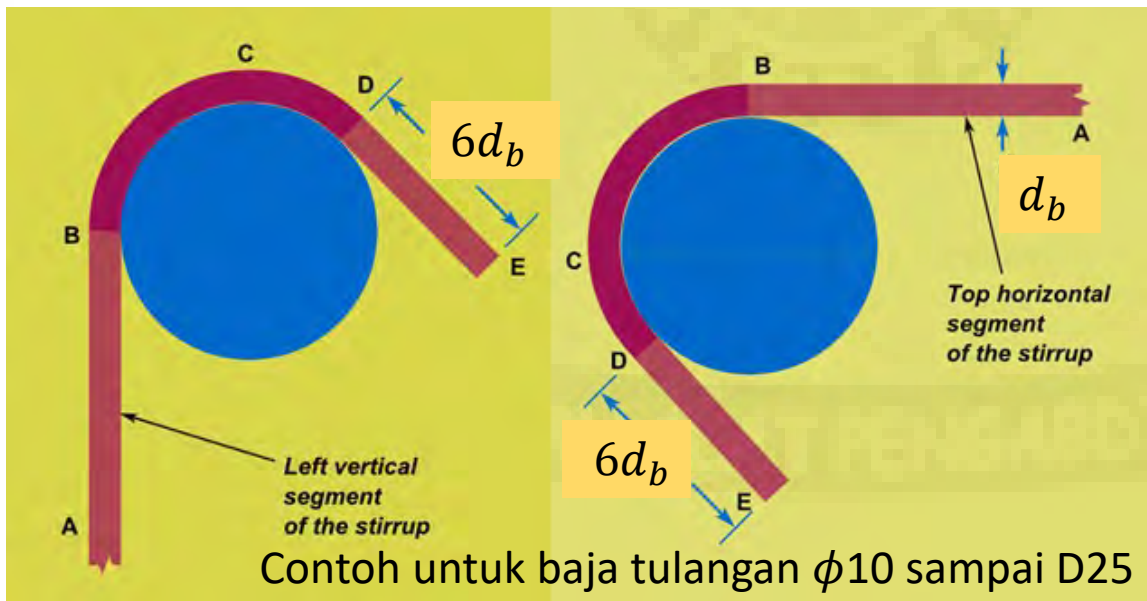
SNI 2847-2013 Pasal 7.2.3:

Tabel 7.2 Diameter minimum bengkokan

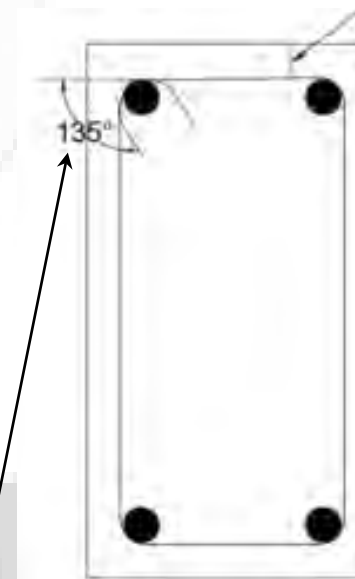
Ukuran batang tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai D-25	$6d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8d_b$
D-44 dan D-56	$10d_b$



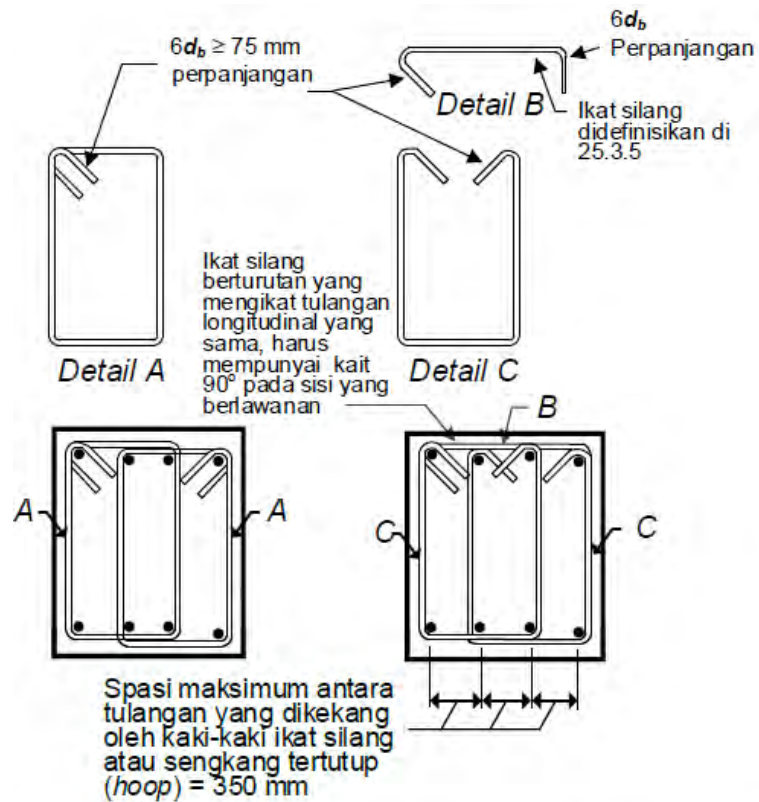
Tampak 3 dimensi tulangan sengkang



Selimut (*cover*) beton

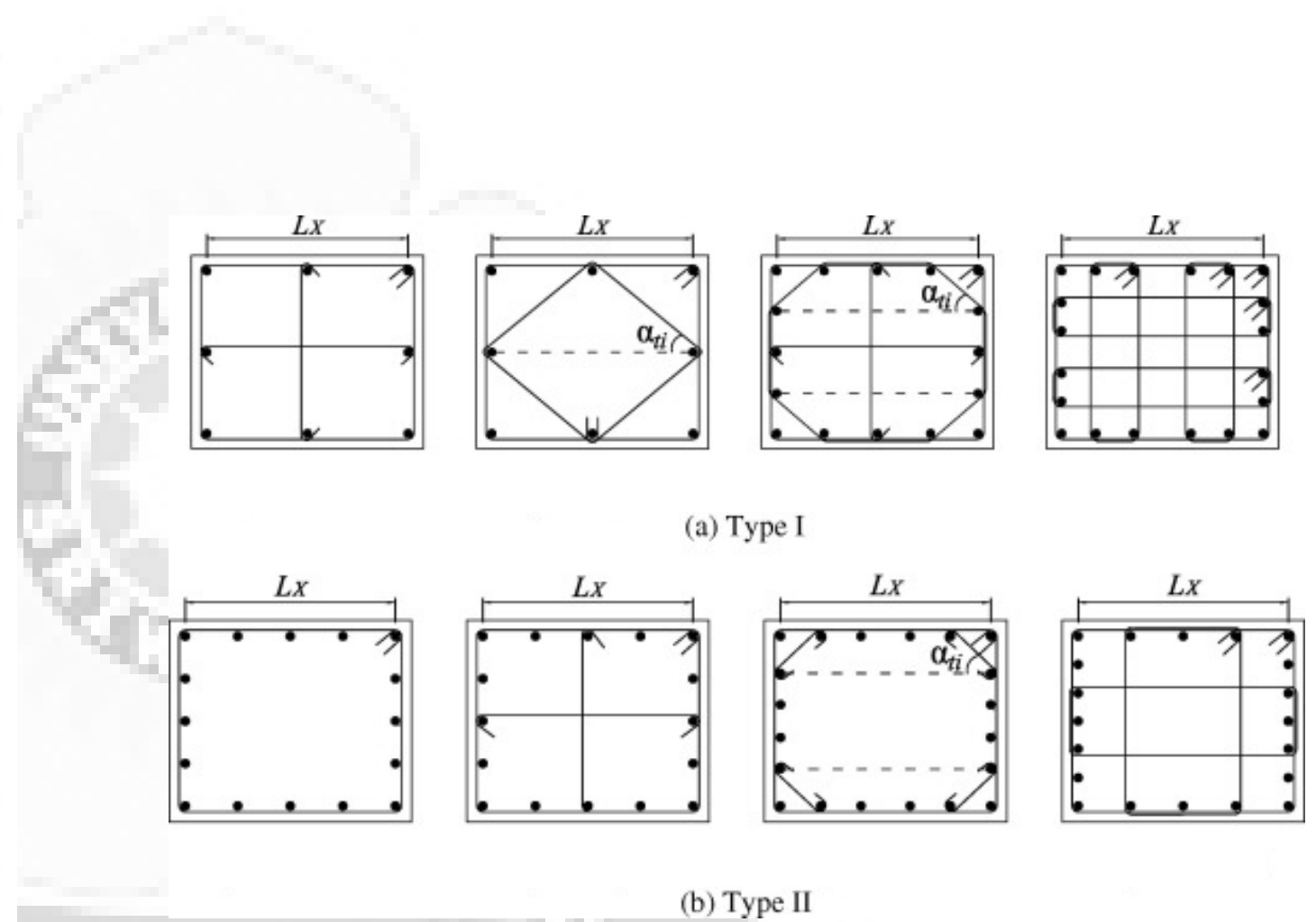


Ujung tulangan sengkang dibengkokkan 135°



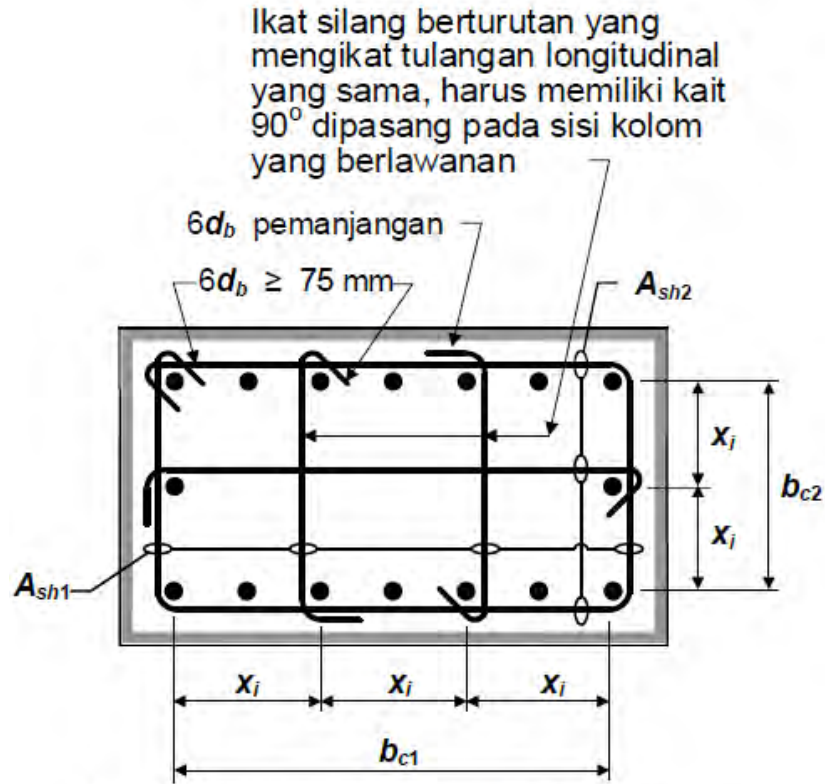
Gambar R18.6.4 – Contoh sengkang tertutup (*hoop*) yang dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal

Sumber: SNI 2847:2019



Contoh pemasangan tulangan sengkang pada kolom

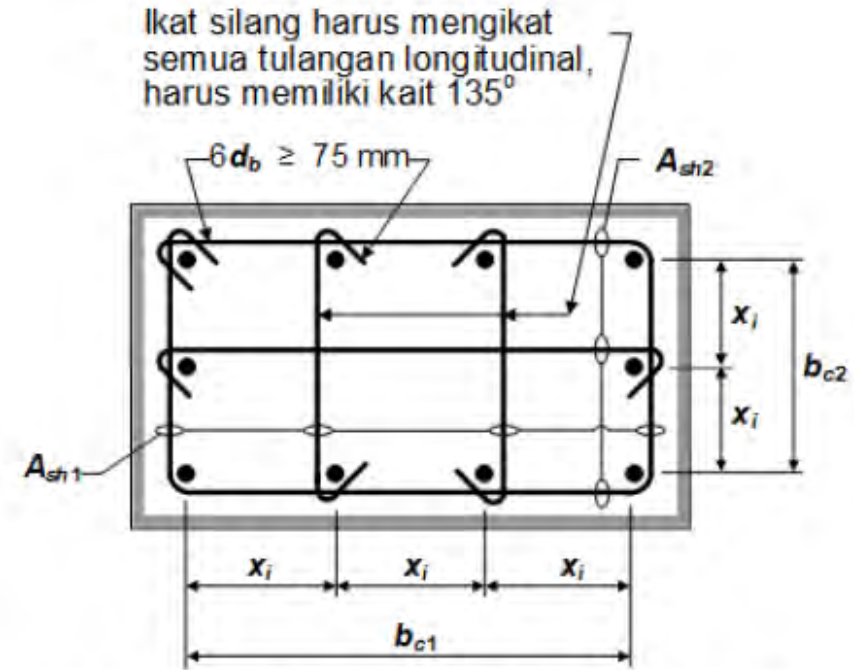
Tulangan sengkang kolom



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

Gambar R18.7.5.2 – Contoh penulangan transversal pada kolom

Kait seismik (gempa) untuk di daerah gempa lemah

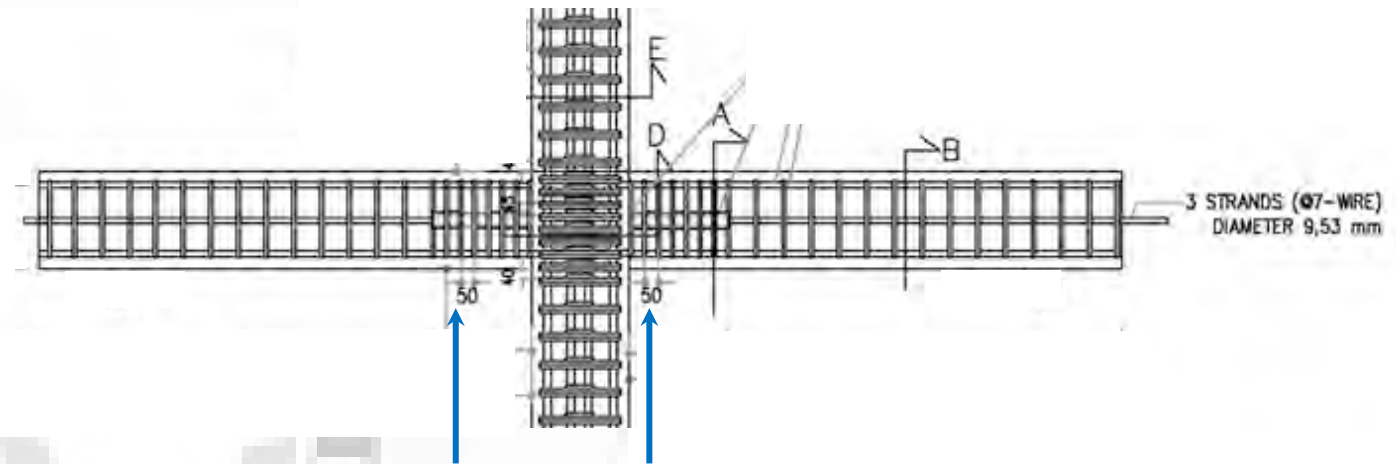


Dimensi x_j antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 200 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

Kait seismik (gempa) untuk di daerah gempa kuat

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

Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK):



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

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

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.

Tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom

Contoh sistem *sub-assembly* balok-kolom

Sumber: SNI 2847:2019

Referensi

- ACI Committee 318, (2014): *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): *SNI 1726:2019 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.
- 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.

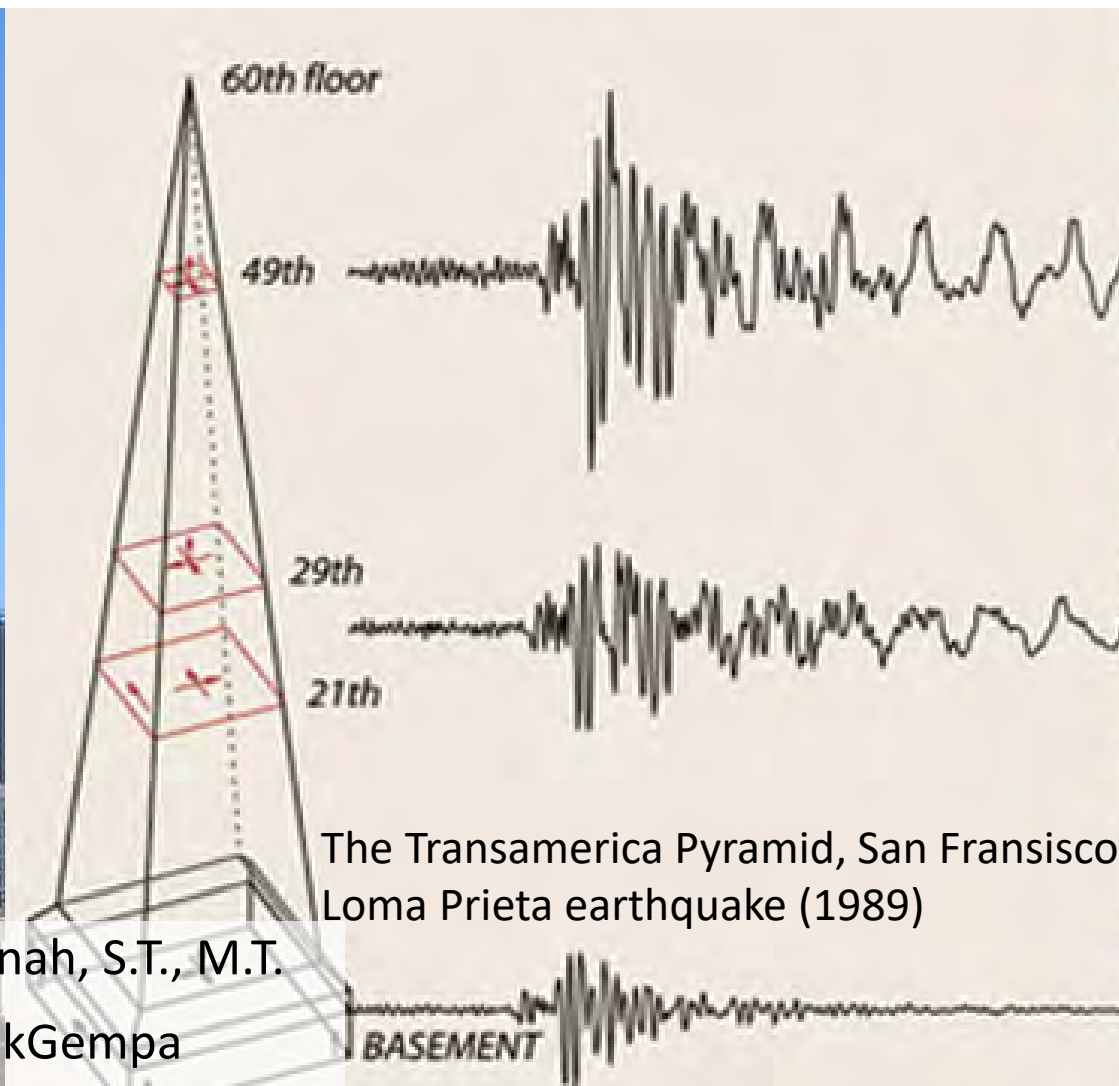


TKS 420214

M-11 Contoh Tulangan
Sengkang di Kolom

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>



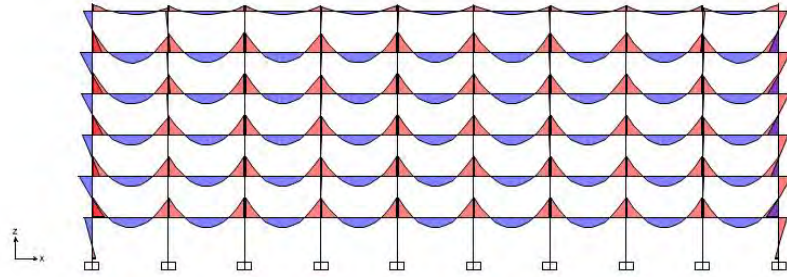
Tulangan Sengkang di Kolom

Catatan

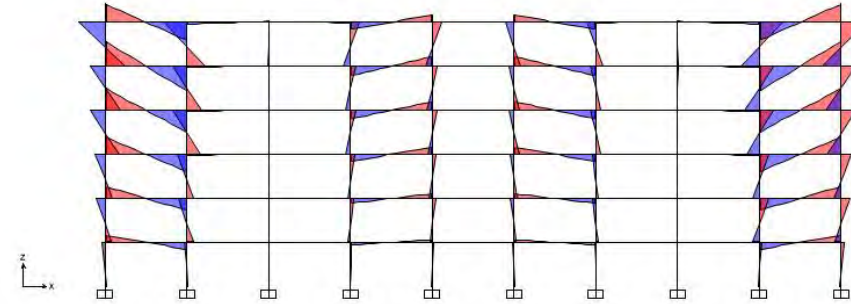
- Contoh cara mendesain kolom dan menghitung tulangan longitudinal kolom untuk menahan momen ada pada materi Konstruksi Beton.
- Dalam contoh soal ini, pembahasan meliputi desain tulangan sengkang kolom untuk menahan gaya geser yang merupakan bagian dari bangunan yang dominan menahan beban gempa.

Contoh soal

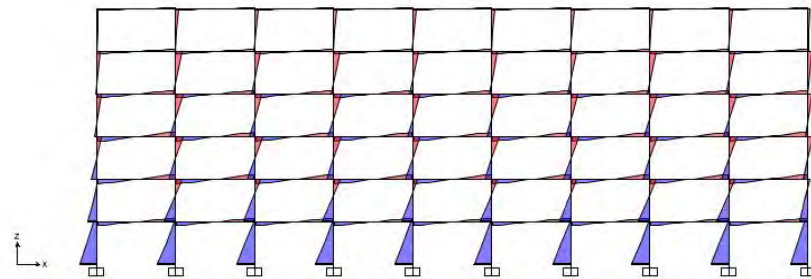
Kombinasi beban: dominan akibat gempa



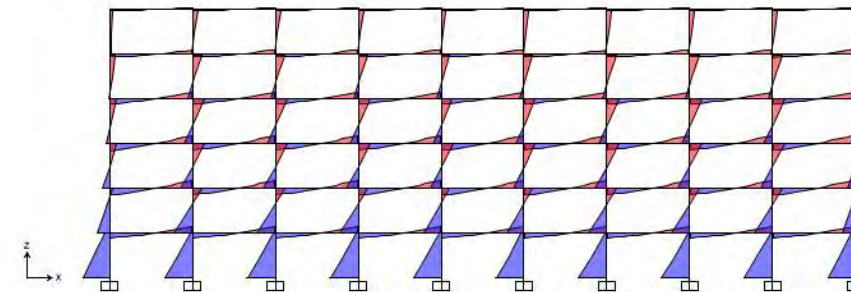
(a) Momen *ultimate* akibat **Dead Load**
DL = 450 kg/m pada balok (pasangan batu bata)
DL = 100 kg/m² pada pelat lantai



(b) Momen *ultimate* akibat **Live Load**
LL = 100 kg/m² pada pelat lantai



(c) Momen *ultimate* akibat beban **gempa** arah sumbu X



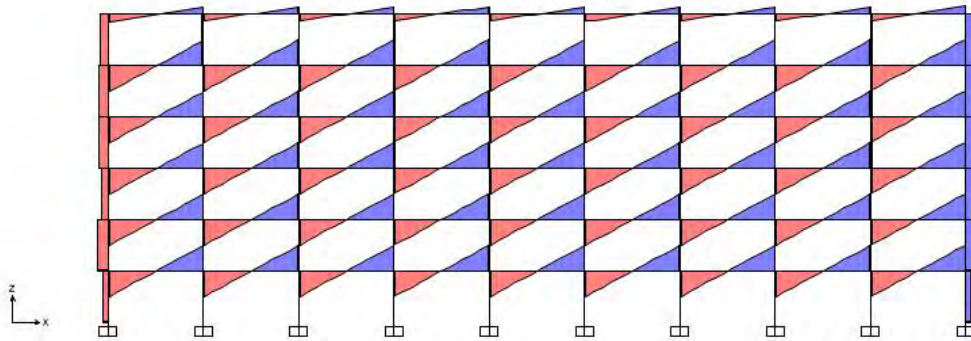
(d) Momen *ultimate* akibat **kombinasi beban**:
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Q_x (SNI 2847:2019)

Gaya-gaya dalam **momen *ultimate*** suatu portal

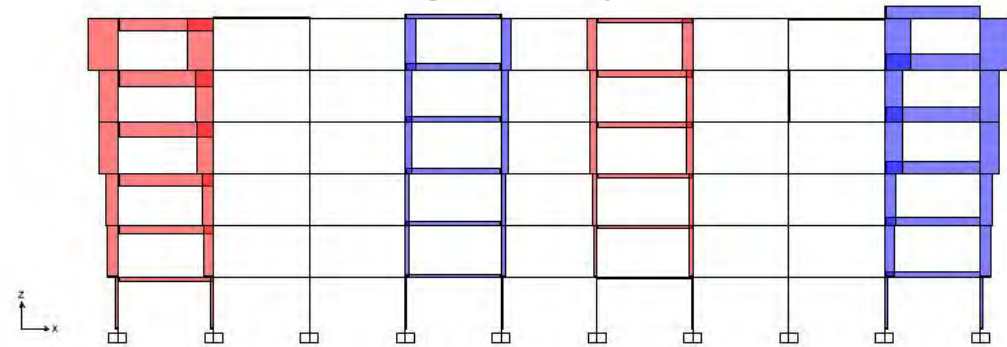
Terlihat bahwa pada kombinasi beban [gambar (d)], beban **gempa dominan** mempengaruhi struktur

Contoh soal

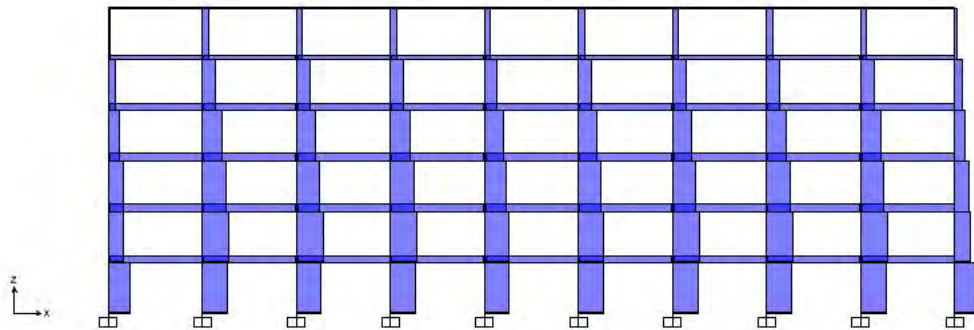
Kombinasi beban: dominan akibat gempa



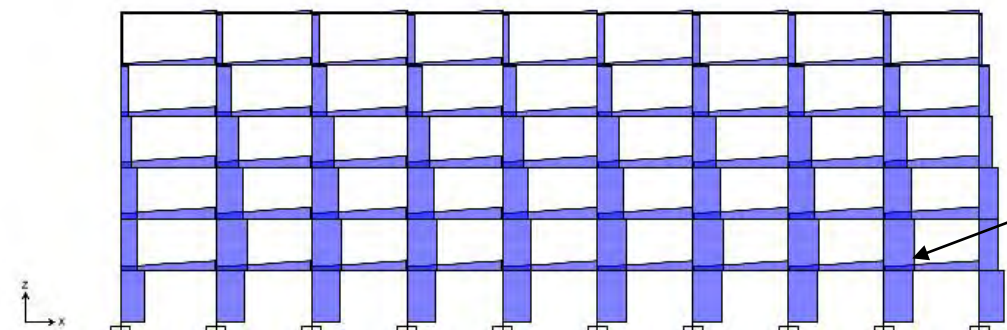
(a) Gaya geser *ultimate* akibat *Dead Load*
DL = 450 kg/m pada balok (pasangan batu bata)
DL = 100 kg/m² pada pelat lantai



(b) Gaya geser *ultimate* akibat *Live Load*
LL = 100 kg/m² pada pelat lantai



(c) Gaya geser *ultimate* akibat beban gempa arah sumbu X



(d) Gaya geser *ultimate* akibat kombinasi beban:
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Q_x (SNI 2847:2019)

Kolom yang memiliki V_u Terbesar = 230 kN

Gaya-gaya dalam geser *ultimate* suatu portal

Terlihat bahwa pada kombinasi beban [gambar (d)], beban **gempa dominan** mempengaruhi struktur

Contoh soal

Diketahui:

Beban geser: $V_u = 230 \text{ kN}$ (1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Q_x)

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{y,t} = 240 \text{ MPa (tulangan sengkang, polos)}$$

$$b_{kolom} = 500 \text{ mm} = b_w$$

$$h_{kolom} = 500 \text{ mm}$$

$$d_{kolom} = 450 \text{ mm}$$

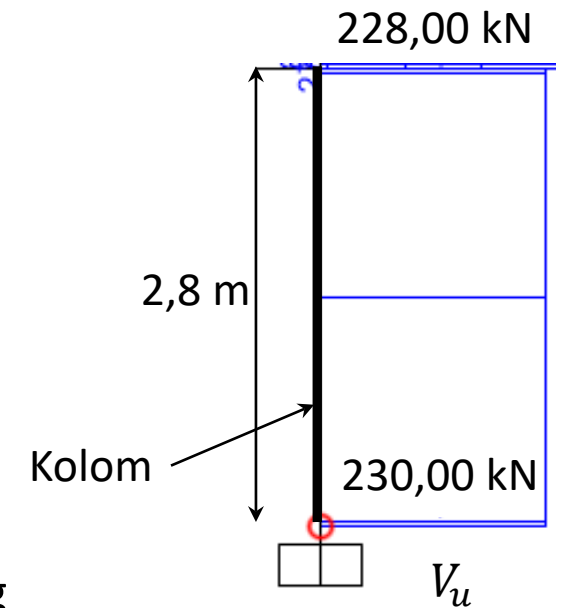
$$\text{Tulangan longitudinal kolom: } A_s + A'_s = 12 D 22$$

Lokasi penampang kritis adalah sejarak d_{kolom} dari perletakan. Pada penampang tersebut, diketahui bahwa gaya geser *ultimate*-nya adalah 230 kN.

$$\frac{V_u(x=450)}{\phi} = \frac{230}{0,75} = 306,67 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{6} \sqrt{30} (500)(450) = 205,40 \text{ kN dan } \frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} (205,40) = 102,70 \text{ kN}$$

Karena pada penampang kritis berjarak 450 mm dari tumpuan nilai $\frac{V_u(x=450)}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$, maka tulangan sengkang diperlukan untuk menahan geser.



Contoh soal

Tulangan sengkang berdiameter 10 mm ($\phi 10$)

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

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

- Pada salah satu perletakan, gaya geser *ultimate* terbesar: $V_U = 230,00 \text{ kN}$

$$s = \frac{\phi A_v f_{y,t} d}{V_U - \phi V_c} = \frac{0,75 (157,08)(240)(450)}{[230,00 - 0,75(205,40)](1000)} = 167,52 \text{ mm}$$

↑
konversi dari satuan kN ke N

Gunakan $s = 150 \text{ mm}$ untuk memudahkan pemasangan sengkang

- Karena nilai gaya geser *ultimate* di sepanjang kolom relatif sama pada *output* SAP (228 ~ 230 kN), maka **spasi sengkang sepanjang kolom** dibuat sama, yaitu **150 mm** untuk memudahkan pengukuran jarak saat pemasangan sengkang.

Contoh soal

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

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

Zonasi **Spasi Maksimum** Penulangan Geser

Contoh soal

❖ Dari hasil perhitungan sebelumnya: $V_c = 205,40 \text{ kN} = 205.400 \text{ N}$

❖ Cek zona spasi sengkang

$$0,50 V_c = 102,70 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} b_w d = 205.400 + \frac{75\sqrt{30}}{1200} (500)(450) = 282,42 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{1}{3} b_w d = 205.400 + \frac{1}{3}(500)(450) = 280,40 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = 205.400 + \frac{1}{3} \sqrt{30}(500)(450) = 616,19 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = 205.400 + \frac{2}{3} \sqrt{30}(500)(450) = 1026,98 \text{ kN}$$

Karena pada $x = d = 450 \text{ mm}$: $\frac{V_u(x=450)}{\phi} = 306,24 \text{ kN}$, maka termasuk zona III spasi sengkang.

❖ Spasi maksimum sengkang

Pada zona III, spasi maksimum sengkang:

$$s \leq \frac{A_v f_y d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right)} = \frac{(157,08)(240)(450)}{\left(\frac{230}{0,75} - 205,40\right)1000} = 167,52 \text{ mm} \quad \leftarrow \text{konversi dari satuan kN ke N}$$

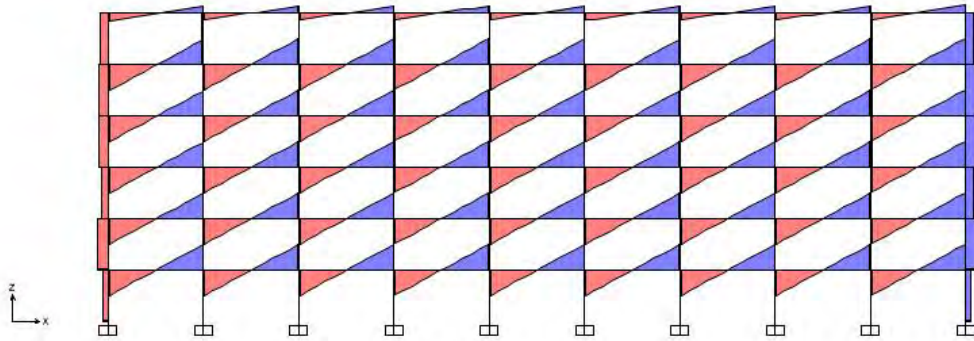
$$s \leq 0,5 d = 0,5 \times 450 = 225 \text{ mm}$$

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

Ambil nilai s terkecil sebagai **spasi maksimum**: $s = 167,52 \text{ mm}$

❖ Maka, penentuan jarak spasi sebesar 150 mm pada perhitungan sebelumnya sudah memenuhi syarat spasi maksimum.

Kombinasi beban: dominan akibat beban gravitasi *Dead Load* dan *Live Load*



Gaya geser *ultimate* akibat *Dead Load*

DL = 450 kg/m pada balok (pasangan batu bata)

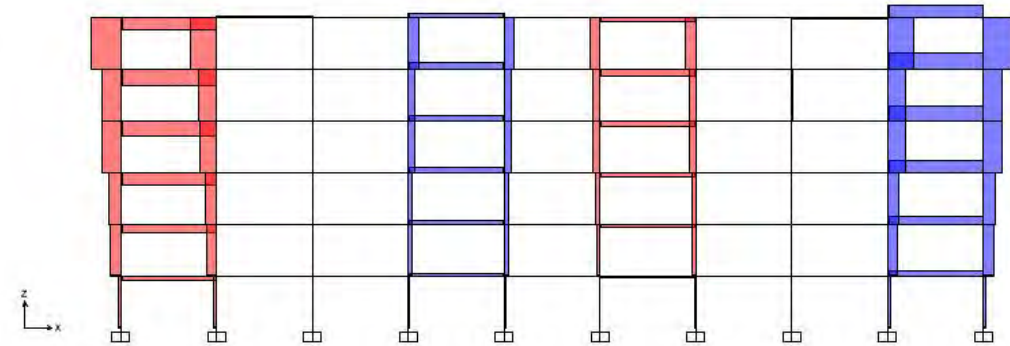
DL = 100 kg/m² pada pelat lantai

Gaya-gaya dalam **geser *ultimate*** suatu portal.

Kondisi **beban gempa tidak diperhitungkan** pada kombinasi pembebanan.

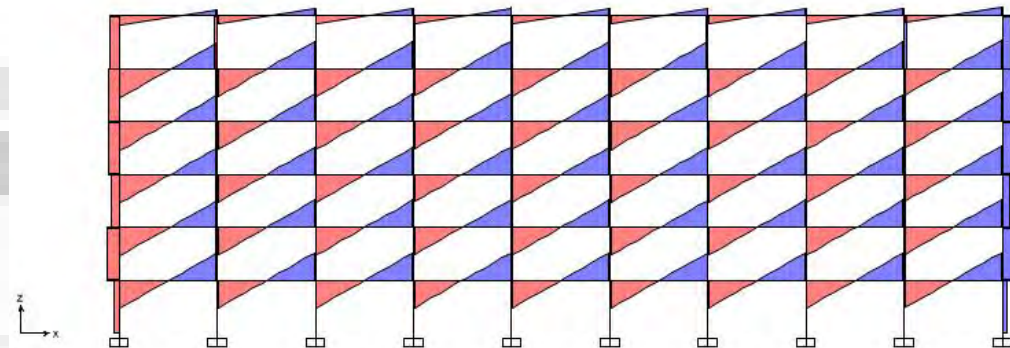
Desain tulangan sengkang dengan cara yang sama dengan memperhitungkan nilai V_u yang berubah di sepanjang tinggi kolom.

Contoh desain tulangan sengkang kolom dengan bentuk V_u seperti gambar di samping (1,2 DL + 1,6 LL) terdapat pada materi pelajaran **Konstruksi Beton file [Contoh Soal_Tulangan Sengkang.pdf](#)** (berupa balok dengan bentuk V_u yang tipikal).



Gaya geser *ultimate* akibat *Live Load*

LL = 100 kg/m² pada pelat lantai



Gaya geser *ultimate* akibat kombinasi beban:
1,2 DL + 1,6 LL (SNI 2847:2019)

Referensi

- ACI Committee 318, (2014): Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- ACI Committee 318, (2019): Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): SNI 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.

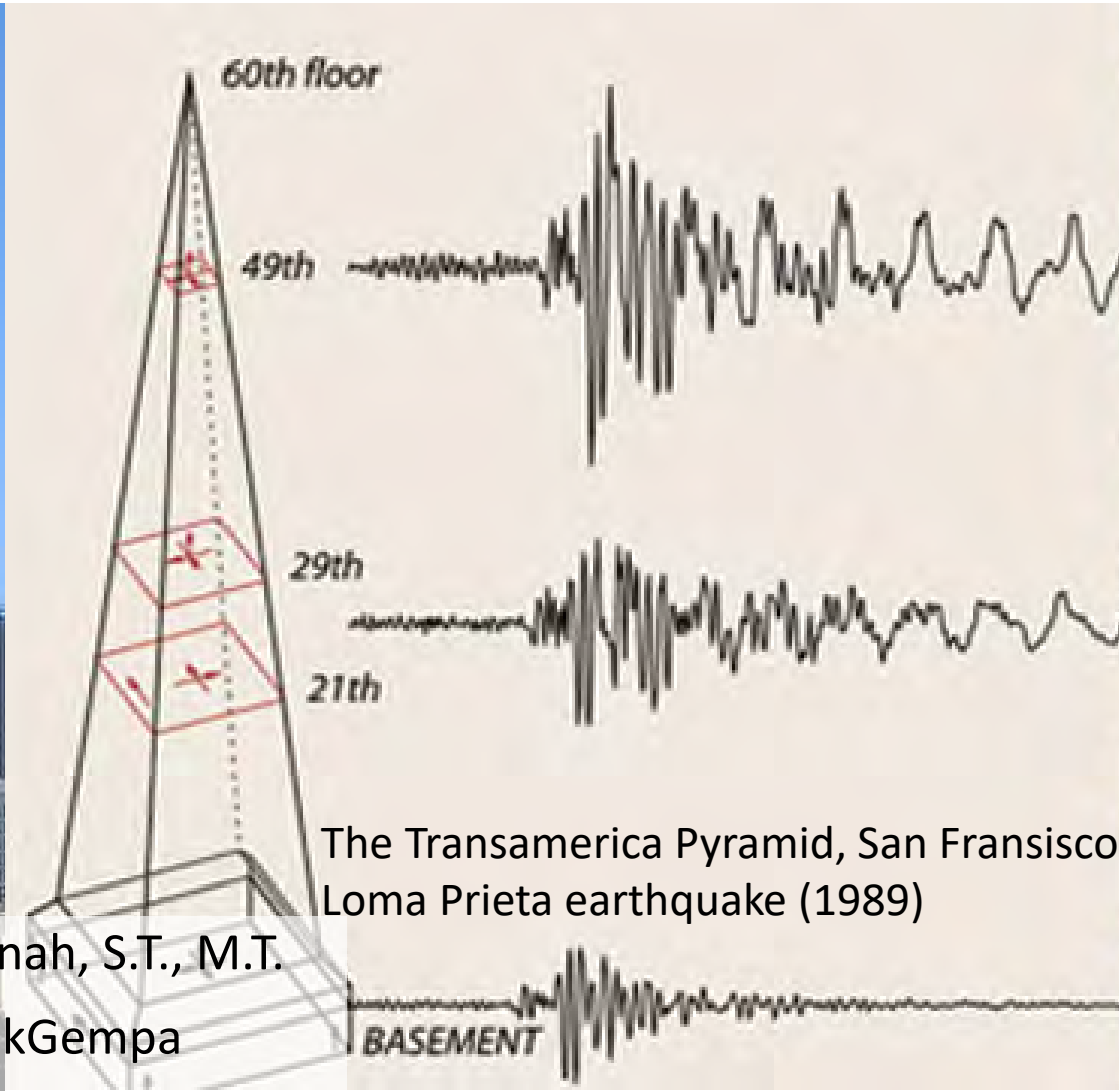


TKS 420214

M-12 Tulangan
Sengkang di Zona *Joint*

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>



Tulangan Sengkang di Zona *Joint*

Contoh soal

Diketahui:

Dimensi, tulangan, dan properti material balok di sisi kiri zona *joint* sama dengan dimensi, tulangan, dan properti material balok di sisi kanan zona *joint*, sehingga nilai $M_{pr1} = M_{pr2}$ (Catatan: Jika dimensi atau tulangan balok di sisi kiri zona *joint* didesain tidak sama dengan dimensi dan tulangan balok di sisi kanan zona *joint*, maka nilai $M_{pr1} \neq M_{pr2}$).

$$b_{balok} = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

$$h_{balok} = h_b = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm}$$

$$b_{kolom} = 0,35 \text{ m} = 350 \text{ mm}$$

$$h_{kolom} = h_c = 0,35 \text{ m} = 350 \text{ mm}$$

$$M_{pr1} = 33,83 \text{ kN.m (momen nominal balok di sisi kanan zona joint)}$$

$$M_{pr2} = 33,83 \text{ kN.m (momen nominal balok di sisi kiri zona joint)}$$

ILMU ALAT PENGABDIAN

Contoh soal

Diketahui (lanjutan):

Panjang balok ke arah sumbu x: $L_x = 3,9 \text{ m}$ (as ke as)

Panjang balok ke arah sumbu y: $L_y = 3,0 \text{ m}$ (as ke as)

Beban *Super Imposed Dead Load*: $q_{SIDL} = 172 \text{ kg/m}^2$

Untuk ruang pertemuan: $q_{LL} = 400 \text{ kg/m}^2$

Massa jenis beton bertulang: $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$

$f'_c = 30 \text{ MPa}$

Perhitungan:

Bentang balok bersih arah sumbu x: $l_n = L_x - b_{kolom} = 3,9 - 0,35 = 3,55 \text{ m}$

Tinggi bersih kolom: $l_u = 2,5 \text{ m}$

Dead Load (DL) = $\gamma_c b_{balok} h_{balok} = (24)(0,25)(0,3) = 1,8 \text{ kN/m}$

Super Imposed Dead Load (SIDL) = $q_{SIDL} b_{balok} h_{balok} / l_n = (172)(0,25)(0,3) / 3,55 = 3,63 \text{ kg/m} = 0,036 \text{ kN/m}$

Life Load (LL) = $(q_{LL} L_x L_y) / l_n = (400)(3,9)(3,0) / 3,55 = 1318,31 \text{ kg/m} = 13,18 \text{ kN/m}$

Contoh soal

Perhitungan (lanjutan):

$$w_u = 1,2 (DL + SIDL) + 1 LL = 1,2(1,8 + 0,036) + 1 (13,18) = 15,39 \text{ kN/m (persamaan dari SNI 2847:2019 yang merupakan turunan dari ACI 318-14 Pasal 18.6.5)}$$

Gaya geser nominal minimum di dalam zona *joint* adalah:

$$V_{n,minimum} = 1,2 \sqrt{f'_c} b_{balok} h_{kolom} = 1,2 \sqrt{30} (250)(350) = 575108,69 \text{ N} = 575,11 \text{ kN}$$

Syarat kolom-kuat balok-lemah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK):

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

$$(M_{pr3} + M_{pr4})_{kolom} \geq \frac{6}{5} (33,83 + 33,83)_{balok}$$

$$(M_{pr3} + M_{pr4})_{kolom} \geq 81,19 \text{ kN.m}$$

Karena kolom di sisi bawah dan sisi atas zona *joint* memiliki dimensi, tulangan, dan properti material yang sama, maka momen nominalnya sama, yaitu:

$$M_{pr3} = M_{pr4} \geq \frac{81,19}{2} = 40,60 \text{ kN.m}$$

Catatan: jika kolom di sisi bawah dan sisi atas zona *joint* didesain memiliki dimensi, tulangan, dan properti material yang berbeda, maka momen nominalnya berbeda.

Contoh soal

Perhitungan (lanjutan):

Cara mendesain kolom dan menghitung momen nominal kolom (M_n) ada dalam materi kuliah Konstruksi Beton. M_{pr3} dan M_{pr4} adalah momen-momen nominal kolom di sisi bawah dan atas zona *joint*.

Misalnya, dengan desain dimensi, tulangan, dan properti material tertentu, maka diperoleh momen nominal kolom di sisi bawah dan atas zona *joint*:

$$M_{pr3} = 45 \text{ kN.m} (\geq 40,60 \text{ kN.m}; \text{memenuhi syarat})$$

$$M_{pr4} = 45 \text{ kN.m} (\geq 40,60 \text{ kN.m}; \text{memenuhi syarat})$$

$$V_{col} = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} = \frac{45 + 45}{2,5} = 36 \text{ kN}$$

Data penampang balok bertulangan ganda (**contoh cara perhitungan C'_s , C'_c , dan T lihat file Contoh Soal 06_Portal, Balok Tul. Rangkap As' Tidak Leleh.pdf**, materi Konstruksi Beton):

$$C'_s = 148,40 \text{ kN}$$

$$C'_c = 170,16 \text{ kN}$$

$$T = 318,56 \text{ kN}$$

Gaya geser horisontal *joint*:

$$V_{jh} = T + C'_c + C'_s - V_{col} = 318,56 + 170,16 + 148,40 - 36 = 601,12 \text{ kN} > 575,11 \text{ kN (OK)}$$

Contoh soal

Perhitungan (lanjutan):

$$V_{jv} = \frac{h_b}{h_c} V_{jh} = \frac{300}{350} 601,12 = 515,25 \text{ kN}$$

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 $V_{jv} = V_s$.

$$V_s = V_{jv} = 515,25 \text{ kN}$$

Coba tulangan sengkang:

$$\Sigma \text{ "kaki" sengkang} = 3$$

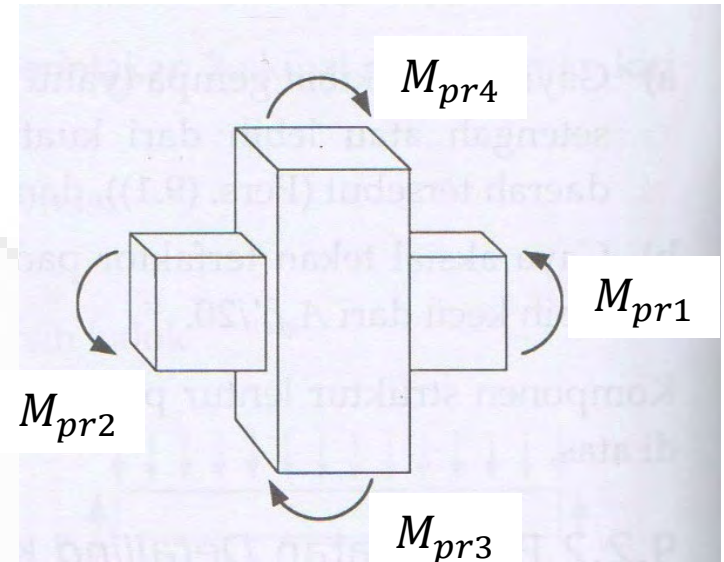
$$\phi_s = 12 \text{ mm}$$

$$f_{yt} = 240 \text{ MPa}$$

$$d_{kolom} = 301 \text{ mm}$$

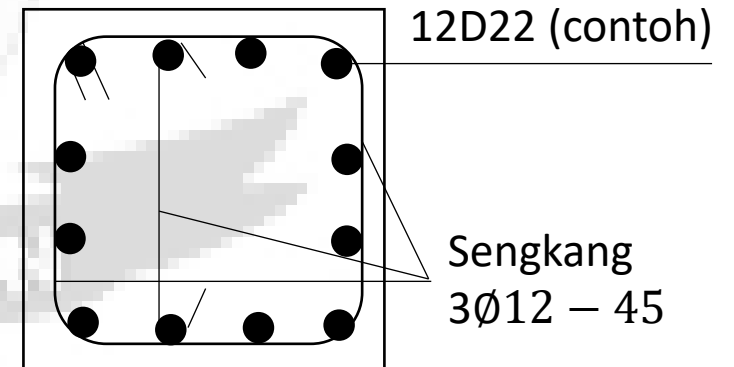
$$A_v = \Sigma \text{ "kaki" sengkang} \left(\frac{\pi}{4} \phi_s^2 \right) = 3 \left(\frac{\pi}{4} 12^2 \right) = 339,29 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = \frac{(339,29)(240)(301)}{515,25} = 47,57 \text{ mm. Ambil spasi: } s = 45 \text{ mm.}$$



Probable moment (momen nominal) di sekitar zona *joint*

Image credit: Imran dan Hendrik (2014)



Penampang zona *joint* untuk menahan beban gempa arah **sumbu X**

Contoh soal

Perhitungan (lanjutan):

Atau:

Σ "kaki" sengkang = 4

$\phi_s = 12 \text{ mm}$

$f_{yt} = 240 \text{ MPa}$

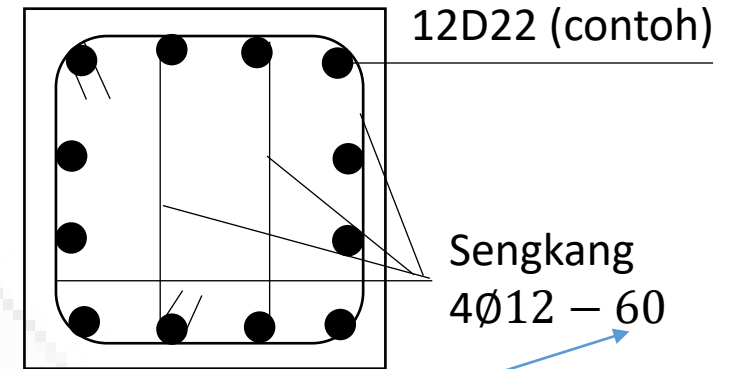
$d_{kolom} = 301 \text{ mm}$

$$A_v = \Sigma \text{ "kaki" sengkang } \left(\frac{\pi}{4} \phi_s^2 \right) = 4 \left(\frac{\pi}{4} 12^2 \right) = 452,39 \text{ mm}^2$$

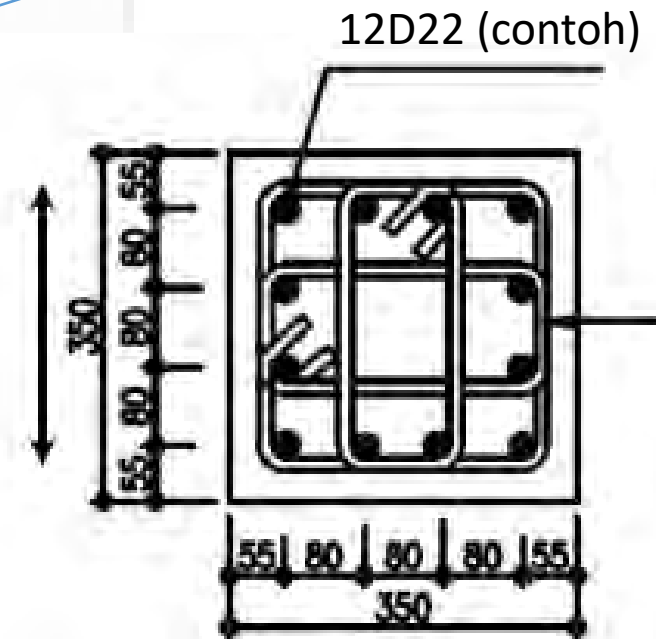
$$s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = \frac{(452,39)(240)(301)}{515,25} = 63,43 \text{ mm}$$

Ambil spasi: $s = 60 \text{ mm}$

Usahakan spasi tidak terlalu rapat sehingga mudah dipasang.



Penampang zona *joint* untuk menahan beban gempa arah **sumbu X**



Contoh sengkang zona *joint* yang diperhitungkan untuk menahan gaya gempa di arah **sumbu X dan Y**

Referensi

- ACI Committee 318, (2014): Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- ACI Committee 318, (2019): Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2019): SNI 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.

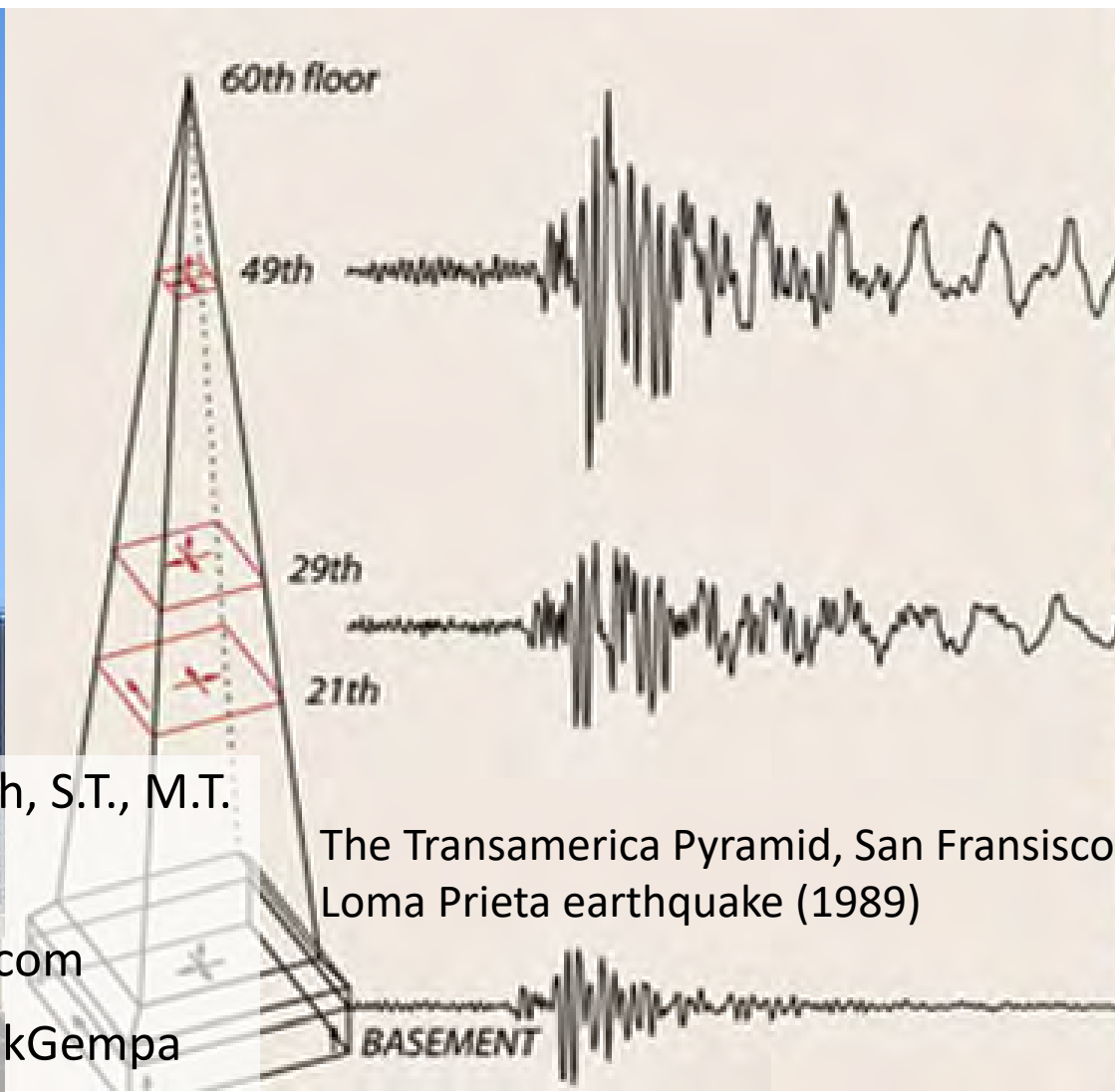


TKS 420214

M-13 Analisis Kegempaan:
*Response Spectrum Method
and Time History Analysis*

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)

Jenis prosedur analisis kegempaan:

- *Linear Static Analysis* atau *Equivalent Static Method* → 06 Analisis Gempa dan Linear Static Analysis.pdf
- *Nonlinear Static Analysis* atau *Pushover Analysis* → 07 Pushover-Performance based design.pdf
- *Linear Dynamic Analysis* atau *Response Spectrum Method*, terdiri dari:
 - *Absolute Sum Method*
 - *Square Root Sum of Squares (SRSS)*
 - *Complete Quadratic Combination (CQC)*
- *Nonlinear Dynamic Analysis* atau *Time History Analysis*

ILMU ALAT PENGABDIAN



Linear Dynamic Analysis **(disebut juga sebagai *Response Spectrum Method*)**

Terdiri dari:

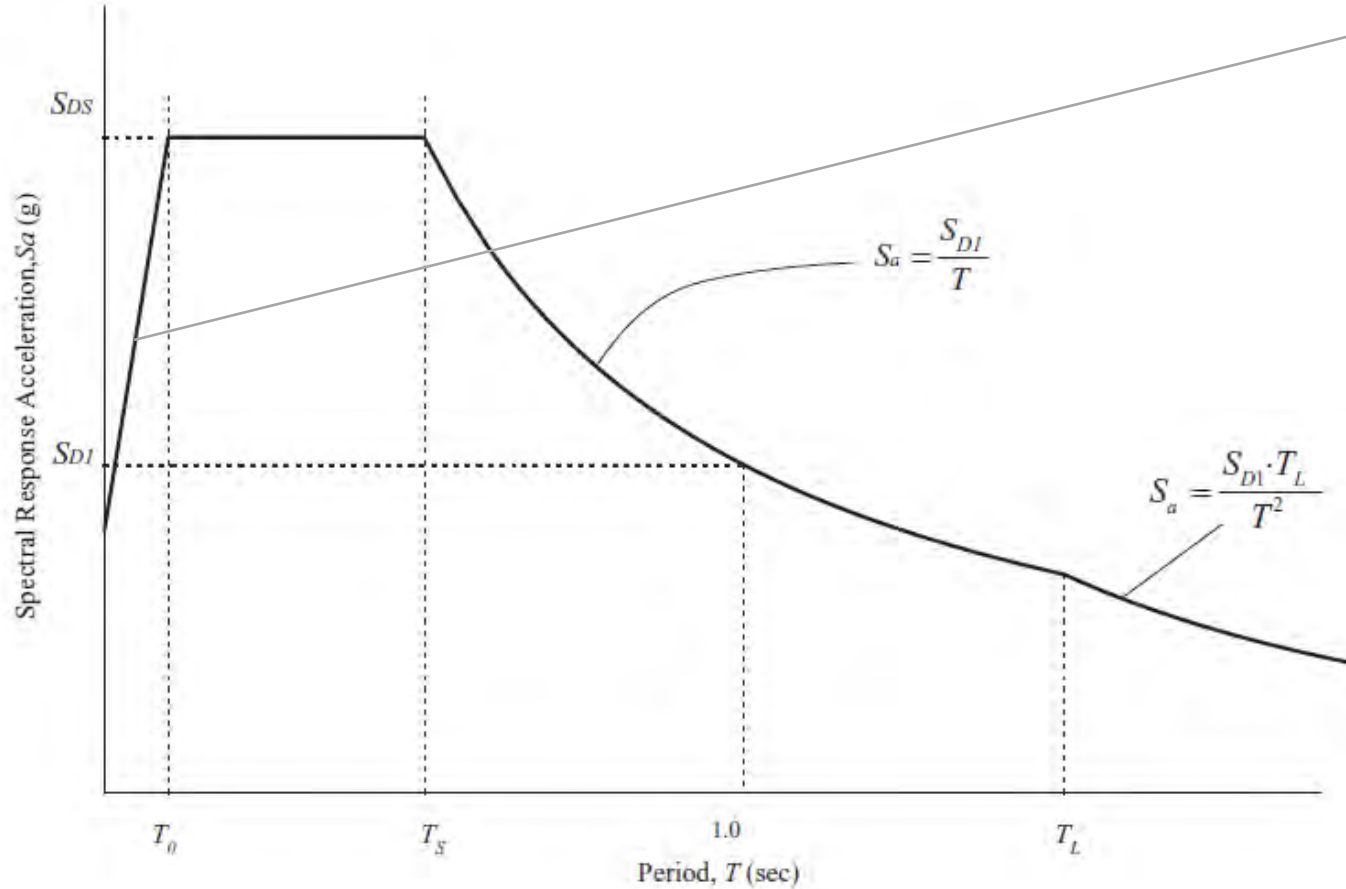
Absolute Sum Method (ASM)

Square Root Sum of Squares (SRSS)

Complete Quadratic Combination (CQC)

Data yang diperlukan untuk analisis dengan *Response Spectrum Method*:

- Kurva respons spektra desain



Respons spektra desain (*design respons spectrum*)

T spesifik untuk suatu struktur bangunan

Sumber: ASCE 7-10 (2010), hlm. 66

1. For periods less than T_0 , the design spectral response acceleration, S_a , shall be taken as given by Eq. 11.4-5:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (11.4-5)$$

2. For periods greater than or equal to T_0 and less than or equal to T_S , the design spectral response acceleration, S_a , shall be taken equal to S_{DS} .
3. For periods greater than T_S , and less than or equal to T_L , the design spectral response acceleration, S_a , shall be taken as given by Eq. 11.4-6:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (11.4-6)$$

4. For periods greater than T_L , S_a shall be taken as given by Eq. 11.4-7:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (11.4-7)$$

where

S_{DS} = the design spectral response acceleration parameter at short periods

S_{D1} = the design spectral response acceleration parameter at 1-s period

T = the fundamental period of the structure, s

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

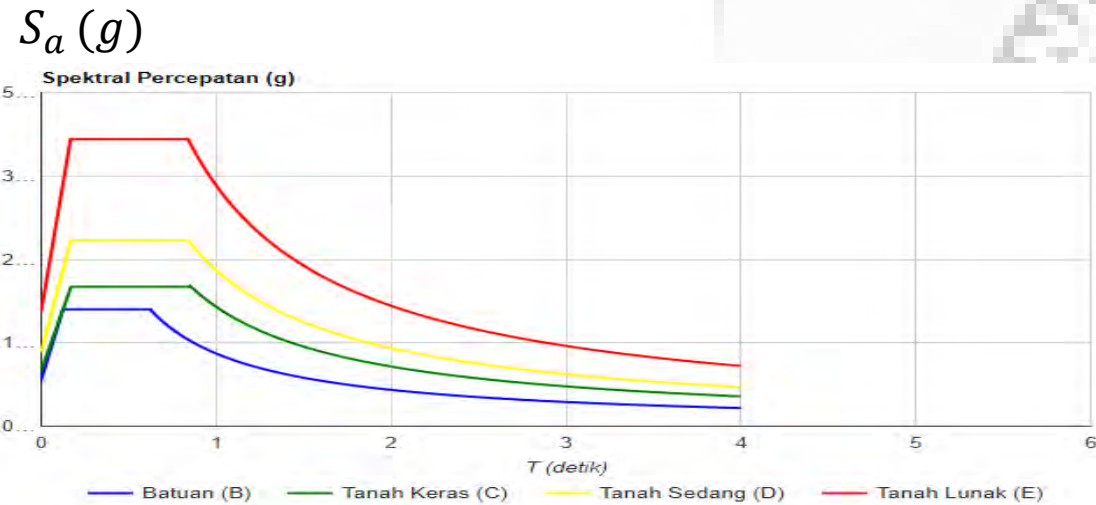
$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \text{ and}$$

T_L = long-period transition period (s) shown in Figs. 22-12 through 22-16.

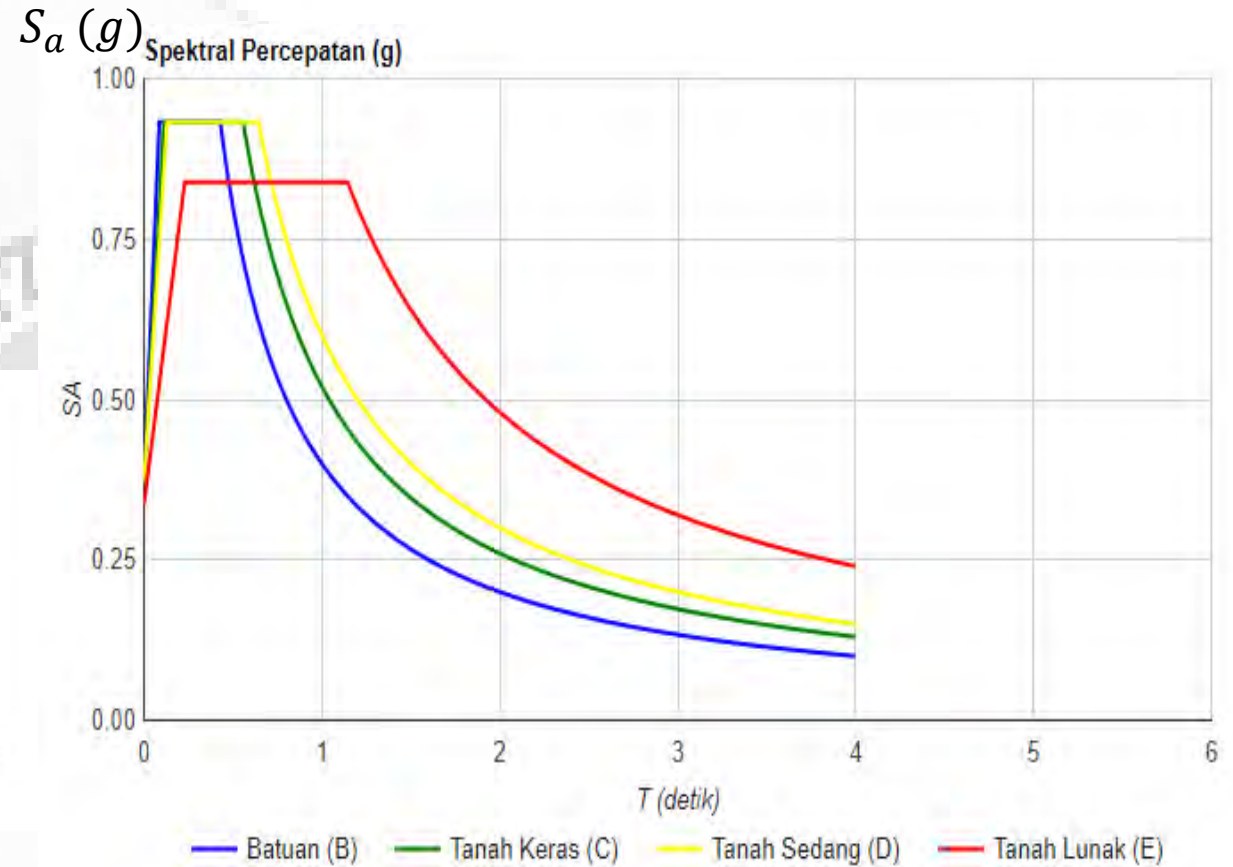
Contoh **respons spektra desain** (*design respons spectrum*) kota Palembang dan Padang dari

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/:

Kota Padang mempunyai **resiko gempa yang lebih besar** [nilai spektral percepatan (S_a) lebih besar] daripada kota Palembang.



Palembang



Padang

Untuk wilayah Indonesia, koefisien gempa ($S_S, S_1, S_{DS}, S_{D1}, T_0, T_S$, dan respons spektra desain dapat diperoleh di: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

Data yang diperlukan untuk analisis dengan *Response Spectrum Method* (lanjutan):

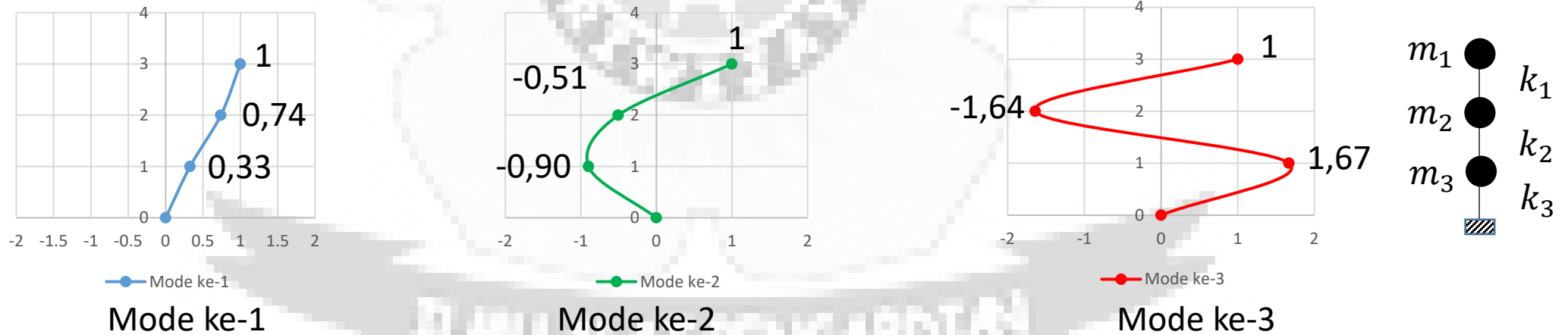
- *Mode shape* struktur bangunan

Contoh cara menghitung *mode shape* dapat dilihat dalam *file 04 Dinamika Struktur_MDOF Beban Impuls.pdf* halaman 14):

Vektor ragam getar 3 *Degrees of Freedom* yang diperoleh adalah:

$$[a] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0,74 & -0,51 & -1,64 \\ 0,33 & -0,90 & 1,67 \end{bmatrix}$$

Gambar *mode shape* 3 *Degrees of Freedom* yang diperoleh adalah:



Data yang diperlukan untuk analisis dengan *Response Spectrum Method* (lanjutan):

- Frekuensi ($f_1, f_2, f_3, \text{dst.}$) dan perioda ($T_1, T_2, T_3, \text{dst.}$) struktur gedung setiap *mode*
- Jika periode *mode* ke-1 tidak diketahui, dapat menggunakan persamaan:

$$T_1 = 0,085 H^{0,75} \quad \text{untuk portal baja}$$

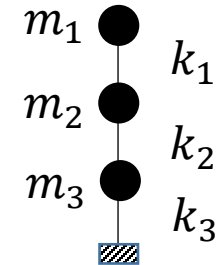
$$T_1 = 0,06 H^{0,75} \quad \text{untuk portal beton bertulang}$$

$$T_1 = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}} \quad \text{untuk struktur lain}$$

dengan:

H : tinggi struktur (meter)

B : lebar struktur dalam arah gempa yang ditinjau (meter)



- Massa struktur untuk dibentuk menjadi matriks massa modal. Contoh: $[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$

- Matriks kekakuan. Contoh: $[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}$

Untuk menghitung **respon total** struktur menggunakan metode **kombinasi modal** (lihat halaman berikut)

- ❖ Tiga cara menghitung **respon total** struktur menggunakan metode **kombinasi modal**:
 1. *Absolute Sum Method (ASM)*
 2. *Square Root Sum of Squares (SRSS)*
 3. *Complete Quadratic Combination (CQC)*
- ❖ Gaya geser desain (\bar{V}_b) dihitung dengan menggunakan prosedur analisis dinamik
- ❖ Gaya geser (V_b) dihitung dengan cara analisis statik (*Linear Static Analysis* atau *Equivalent Static Method*; lihat file 06 Analisis Gempa dan Linear Static Analysis.pdf).
- ❖ Jika $\bar{V}_b < 85\% V_b$, maka semua nilai beban lateral setiap lantai (F_i), gaya geser setiap lantai (V_i), simpangan (δ_i), gaya dalam elemen struktur (M, V, N), dan reaksi perletakan (M, V, N perletakan) harus dikalikan dengan $0,85 V_b / \bar{V}_b$.
- ❖ Bangunan gedung yang memiliki **bentuk denah dan bentuk vertikal tidak beraturan** tidak dapat dianalisis menggunakan metode *Linear Dynamic Analysis* (disebut juga sebagai *Response Spectrum Method*).
- ❖ Bangunan gedung tidak beraturan yang memiliki tinggi kurang dari 40 meter di zona tidak rawan gempa dapat dianalisis dengan metode *Linear Dynamic Analysis*.

Absolute Sum Method (ASM)

Analisis gaya geser (\bar{V}_b) dengan metode *Absolute Sum Method (ASM)*

$$\text{Massa: } m_i = \frac{[\sum_{i=1}^N w_i a_i]^2}{g \sum_{i=1}^N w_i (a_i)^2}$$

$$\text{Modal Participation Factor mode ke-}i: MPF_i = \frac{L_i}{M_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i a_i}{\sum_{i=1}^n m_i a_i^2}$$

Persamaan gaya $\{F\}^{(i)}$ dalam metode ASM sama dengan metode SRRS dan CQC.

Beban lateral di setiap tingkat lantai pada setiap *mode* ke-*i*:

$$F_i = S_a a_i MPF_i m_i$$

Gaya geser setiap tingkat lantai:

$$s_{in} = \sum_{i=1}^N MPF_i [m_i] \{a_i\}$$

Beban lateral di atap:

$$F_N = s_{iN}$$

Beban lateral di setiap tingkat lantai pada setiap *mode* ke-*i* dapat dinyatakan dalam:

$$F_i = s_i - s_{i-1}$$

dengan:

a_j : koefisien mode shape pada lantai ke-*j* mode ke-*i*

w_i : berat seismik lantai ke-*j*

S_a : spektra percepatan horisontal desain (dari respons spektra desain)

$i = 1$ s.d. N ; $n = 1$ s.d. N

i : mode

N : jumlah lantai struktur bangunan

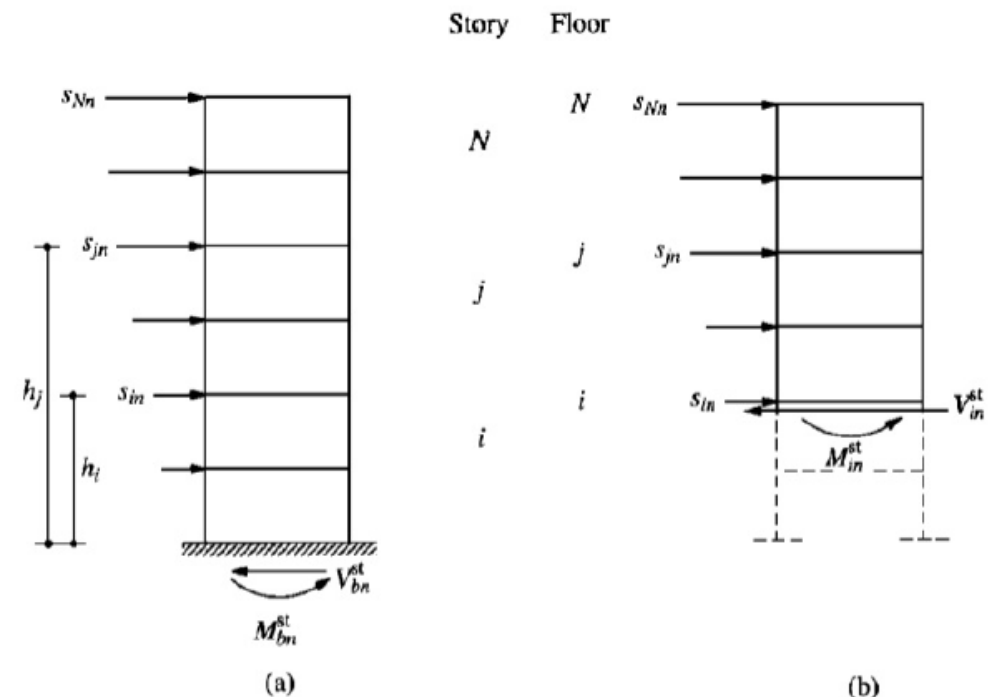


Figure 13.2.2 Computation of modal static responses of story forces from force vector s_n : (a) base shear and base overturning moment; (b) i th story shear and i th floor overturning moment.

Sumber: Chopra (1995)

Diketahui bahwa portal struktur bangunan 5 lantai tersebut mendapat beban lateral ($F_n^{(i)}$), mempunyai simpangan ($y_n^{(i)}$), dan gaya geser dasar ($V_b^{(i)}$) pada *mode* ke-1 s.d. 5 sebagai berikut:

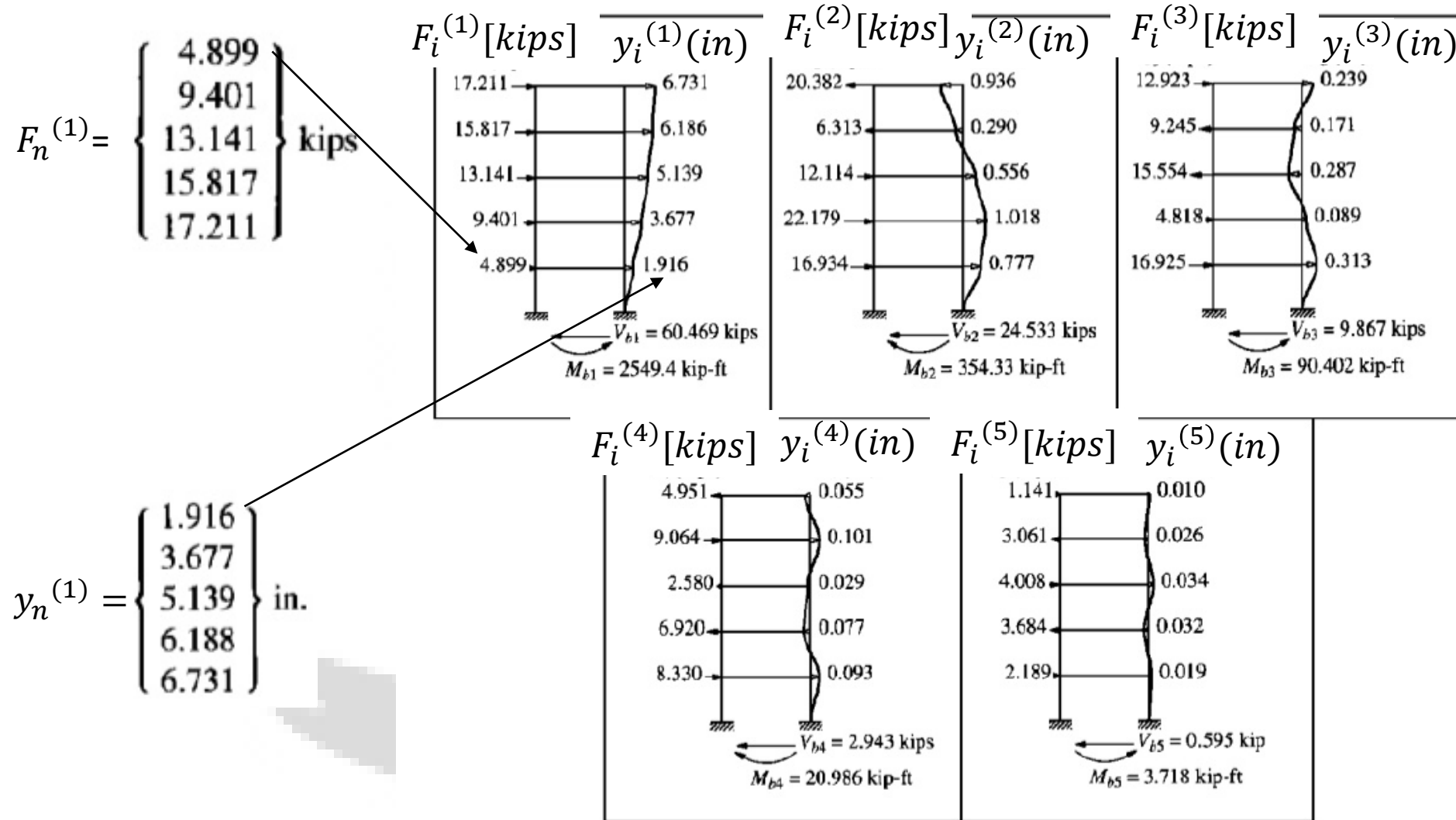


Figure 13.8.3 Peak values of displacements and equivalent static lateral forces due to the five natural vibration modes. Sumber: Chopra (1995)

Pada Fig. 13.8.3, gaya geser dasar mode ke-1 s.d. 5 adalah:

$$\begin{aligned}\bar{V}_{b1} &= F_1^{(1)} + F_2^{(1)} + F_3^{(1)} + F_4^{(1)} + F_5^{(1)} \\ &= 4,899 + 9,401 + 13,141 + 15,817 + 17,211 = 60,469 \text{ kips}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{b2} &= F_1^{(2)} + F_2^{(2)} + F_3^{(2)} + F_4^{(2)} + F_5^{(2)} \\ &= 16,934 + 22,179 + 12,114 + 6,313 + 20,382 = 24,533 \text{ kips}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{b3} &= F_1^{(3)} + F_2^{(3)} + F_3^{(3)} + F_4^{(3)} + F_5^{(3)} \\ &= 16,925 + 4,818 + 15,554 + 9,245 + 12,923 = 9,867 \text{ kips}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{b4} &= F_1^{(4)} + F_2^{(4)} + F_3^{(4)} + F_4^{(4)} + F_5^{(4)} \\ &= 8,330 + 6,920 + 2,580 + 9,064 + 4,951 = 2,943 \text{ kips}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{b5} &= F_1^{(5)} + F_2^{(5)} + F_3^{(5)} + F_4^{(5)} + F_5^{(5)} \\ &= 2,189 + 3,684 + 4,008 + 3,061 + 1,141 = 0,595 \text{ kips}\end{aligned}$$

Batas nilai gaya geser dasar mode ke-1 s.d. 5 dengan metode ASM:

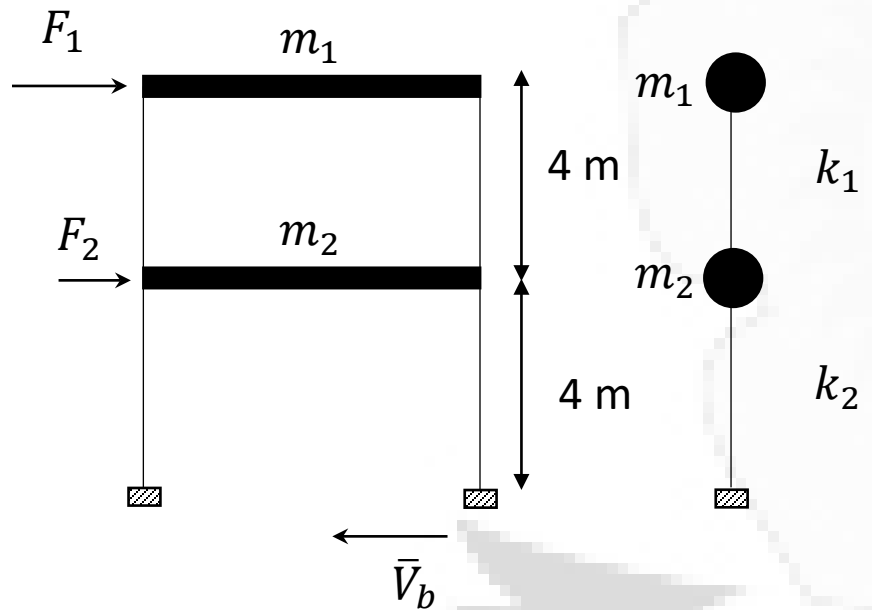
$$\begin{aligned}\bar{V}_b &\leq \sum_1^N |\bar{V}_b| \Leftrightarrow \bar{V}_b \leq \sum_1^5 |\bar{V}_b| \Leftrightarrow \bar{V}_b \leq |\bar{V}_{b1} + \bar{V}_{b2} + \bar{V}_{b3} + \bar{V}_{b4} + \bar{V}_{b5}| \\ &\Leftrightarrow \bar{V}_b \leq |60,469 + 24,533 + 9,867 + 2,943 + 0,595| \Leftrightarrow \bar{V}_b \leq 98,407 \text{ kips}\end{aligned}$$

Square Root Sum of Squares (SRSS)

Contoh analisis gaya geser (\bar{V}_b) dengan metode *Square Root Sum of Squares* (SRSS)

Contoh cara menghitung eigen values (λ_i) dan periode (T) lihat di *file* 04 Dinamika Struktur_MDOF Beban Impuls.pdf halaman 9-10.

Suatu portal struktur bangunan memiliki eigen values dan periode struktur bangunan sebagai berikut:



Data:

Eigen values (λ_i):

$$\begin{Bmatrix} \lambda_1^2 \\ \lambda_2^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 50 \\ 300 \end{Bmatrix} [\text{rad/detik}]^2$$

Periode struktur (T_i):

$$\begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,89 \\ 0,36 \end{Bmatrix} [\text{detik}]$$

Matriks massa:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 15 \end{bmatrix} [\text{ton}]$$

Matriks kekakuan:

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1500 & -1500 \\ -1500 & 3000 \end{bmatrix} [\text{kN/m}]$$

Vektor ragam getar (*eigen vector*):

$$[a_{ij}] = [a_{i1} \quad a_{i2}] = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 \\ 0,67 & -1,00 \end{bmatrix}$$

Kontribusi mode ke-1:

$$\mathcal{L}_1 = \sum_1^n m_i a_i = (10)(1,0) + (15)(0,67) = 20,05$$

$$M_1 = \sum_1^n m_i a_i^2 = (10)(1,0)^2 + (15)(0,67)^2 = 16,73$$

$$\text{Modal Participation Factor mode ke-1: } MPF_1 = \frac{\mathcal{L}_1}{M_1} = \frac{20,05}{16,73} = 1,20$$

$T_1 = 0,89$ detik. Dari respons spektra, diperoleh $S_{a1} = 1,26$ m/detik²

Persamaan $\{F\}^{(i)}$ dalam metode SRSS sama dengan metode ASM dan CQC.

Gaya lateral di setiap lantai struktur bangunan:

$$\{F\}^{(1)} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}^{(1)} = [m][a_{i1}](MPF_1)S_{a1} = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 15 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1,00 \\ 0,67 \end{Bmatrix} (1,20)(1,26) = \begin{Bmatrix} 15 \\ 15 \end{Bmatrix} [kN]$$

Gaya geser dasar mode ke-1:

$$\bar{V}_{b1} = (F_1 + F_2)^{(1)} = [1 \quad 1] \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = [1 \quad 1] \begin{Bmatrix} 15 \\ 15 \end{Bmatrix} = 30 \text{ kN}$$

Faktor dominasi:

$$\alpha_1 = \frac{\mathcal{L}_1^2}{(M_1)(25)} = \frac{(20,05)^2}{(16,73)(25)} = 0,96$$

Kontribusi mode ke-2:

$$\mathcal{L}_2 = \sum_1^n m_i a_i = (10)(1,0) + (15)(-1,0) = -5,0$$

$$M_2 = \sum_1^n m_i a_i^2 = (10)(1,0)^2 + (15)(-1,0)^2 = 25$$

$$\text{Modal Participation Factor mode ke-2: } MPF_2 = \frac{\mathcal{L}_2}{M_2} = \frac{-5,0}{25} = -0,20$$

$T_2 = 0,36$ detik. Dari respons spektra, diperoleh $S_{a2} = 2,55$ m/detik²

Gaya lateral di setiap lantai struktur bangunan:

$$\{F\}^{(2)} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}^{(2)} = [m][a_{i2}](MPF_2)S_{a2} = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 15 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1,00 \\ -1,00 \end{Bmatrix} (-0,20)(2,55) = \begin{Bmatrix} -5,10 \\ 7,65 \end{Bmatrix} [kN]$$

Persamaan $\{F\}^{(i)}$ dalam metode SRSS sama dengan metode ASM dan CQC.

Gaya geser dasar mode ke-2:

$$\bar{V}_{b2} = (F_1 + F_2)^{(2)} = [1 \quad 1] \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = [1 \quad 1] \begin{Bmatrix} -5,10 \\ 7,65 \end{Bmatrix} = 2,55 \text{ kN}$$

Faktor dominasi:

$$\alpha_2 = \frac{\mathcal{L}_2^2}{(M_2)(25)} = \frac{(-5,0)^2}{(25)(25)} = 0,04$$

Nilai $\sum_i^n \alpha$ harus = 1,0. Cek: $\alpha_1 + \alpha_2 = 0,96 + 0,04 = 1,00$ (Ok.)

➤ Dari semua *mode* (ke-1 dan 2), gaya geser dasar:

$$V_b = \sqrt{(V_{b1})^2 + (V_{b2})^2} = \sqrt{(30)^2 + (2,55)^2} = 30,11 \text{ kN (nilai gaya geser dasar didominasi mode ke-1).}$$

Complete Quadratic Combination (CQC)

Contoh cara menghitung frekuensi natural (ω_i) lihat di *file* 04 Dinamika Struktur_MDOF Beban Impuls.pdf halaman 10. Persamaan gaya $\{F\}^{(i)}$ dalam metode CQC sama dengan metode ASM dan SRRS.

Contoh analisis gaya geser (V_b) dengan metode *Complete Quadratic Combination* (CQC)

Data:

Suatu portal struktur bangunan 5 lantai memiliki frekuensi natural *mode* ke-1 s.d.5 sebagai berikut:

$$\omega_1 = 3,1416 \frac{\text{rad}}{\text{detik}}$$

$$\omega_2 = 9,1703 \frac{\text{rad}}{\text{detik}}$$

$$\omega_3 = 14,4561 \frac{\text{rad}}{\text{detik}}$$

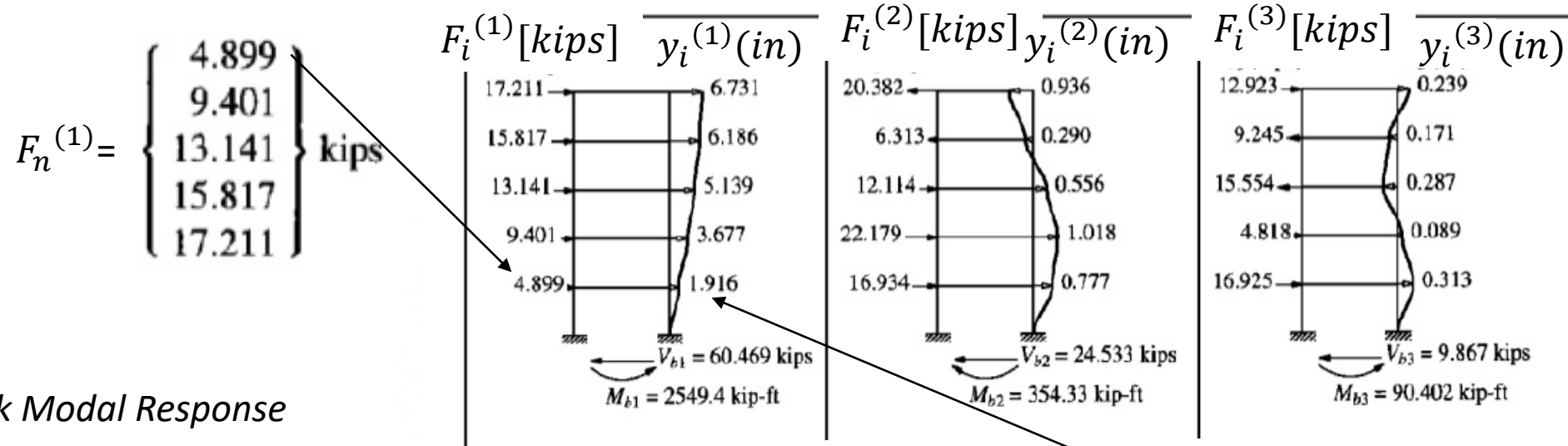
$$\omega_4 = 18,5708 \frac{\text{rad}}{\text{detik}}$$

$$\omega_5 = 21,1810 \frac{\text{rad}}{\text{detik}}$$

Redaman struktur (*modal damping*):

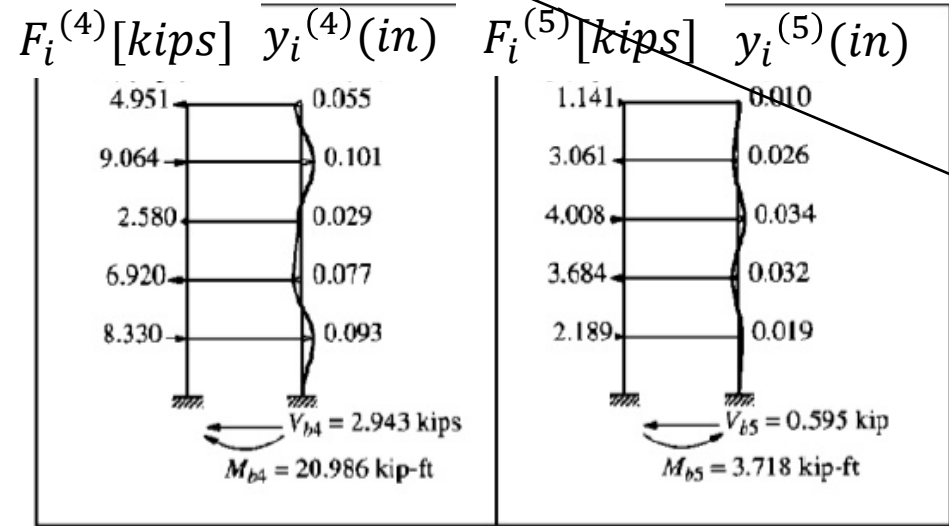
$$\zeta = 5\%$$

Diketahui bahwa portal struktur bangunan 5 lantai tersebut mendapat beban lateral ($F_n^{(i)}$), mempunyai simpangan ($y_n^{(i)}$), dan gaya geser dasar ($V_b^{(i)}$) pada *mode* ke-1 s.d. 5 sebagai berikut:



Tabel Peak Modal Response

Mode, i	V_b (kips)	V_5 (atap) (kips)	M_b (kip-ft)	u_5 (atap) (in)
1	60,469	17,211	2549,4	6,731
2	24,533	-20,382	-354,33	-0,936
3	9,867	12,923	90,402	0,239
4	2,943	-4,951	-20,986	-0,055
5	0,595	1,141	3,718	0,010



$$y_n^{(1)} = \begin{Bmatrix} 1.916 \\ 3.677 \\ 5.139 \\ 6.188 \\ 6.731 \end{Bmatrix} \text{ in.}$$

Sumber: Chopra (1995); Tabel 13.8.1.

Figure 13.8.3 Peak values of displacements and equivalent static lateral forces due to the five natural vibration modes. Sumber: Chopra (1995)

Dari data frekuensi natural, buat tabel nilai rasio frekuensi natural (β_{in}), dengan

$$\beta_{in} = \frac{\omega_i}{\omega_n}$$

dan $i = 1$ s.d. N ; $n = 1$ s.d. N

i : mode

N : jumlah lantai struktur bangunan

Tabel rasio frekuensi natural (β_{in})

Mode, i	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	ω_i (rad/detik)
1	1,000	0,343	0,217	0,169	0,148	3,1416
2	2,919	1,000	0,634	0,494	0,433	9,1703
3	4,602	1,576	1,000	0,778	0,683	14,4561
4	5,911	2,025	1,285	1,000	0,877	18,5708
5	6,742	2,310	1,465	1,141	1,000	21,1810

Sumber: Chopra (1995); Tabel 13.8.2.

Contoh:

$$\beta_{11} = \frac{3,1416}{3,1416} = 1,000; \beta_{12} = \frac{3,1416}{9,1703} = 0,343; \beta_{32} = \frac{14,4561}{9,1703} = 1,576$$

Buat tabel koefisien korelasi (ρ_{in}) dengan persamaan:

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{1,5}}{(1-\beta_{in}^2)^2 + 4\zeta^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2}$$

(Chopra, 1995, eq. 13.7.10)

Tabel koefisien korelasi (ρ_{in})

Mode, i	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	1,000	0,007	0,003	0,002	0,001
2	0,007	1,000	0,044	0,018	0,012
3	0,003	0,044	1,000	0,136	0,062
4	0,002	0,018	0,136	1,000	0,365
5	0,001	0,012	0,062	0,365	1,000

Sumber: Chopra (1995); Tabel 13.8.3.

Hitung nilai $\rho_{in} \times V_{bi} \times V_{bn}$

Untuk $n = 1$:

$$\text{Mode 1: } \rho_{11} \times V_{b1} \times V_{b1} = 1,000 \times 60,469 \times 60,469 = 3656,500$$

$$\text{Mode 2: } \rho_{21} \times V_{b2} \times V_{b1} = 0,007 \times 24,533 \times 60,469 = 10,172$$

$$\text{Mode 3: } \rho_{31} \times V_{b3} \times V_{b1} = 0,003 \times 9,867 \times 60,469 = 1,615$$

$$\text{Mode 4: } \rho_{41} \times V_{b4} \times V_{b1} = 0,002 \times 2,943 \times 60,469 = 0,306$$

$$\text{Mode 5: } \rho_{51} \times V_{b5} \times V_{b1} = 0,001 \times 0,595 \times 60,469 = 0,049$$

Untuk $n = 2$:

$$\text{Mode 1: } \rho_{12} \times V_{b1} \times V_{b2} = 0,007 \times 60,469 \times 24,533 = 10,172$$

$$\text{Mode 2: } \rho_{22} \times V_{b2} \times V_{b2} = 1,000 \times 24,533 \times 24,533 = 601,868$$

$$\text{Mode 3: } \rho_{32} \times V_{b3} \times V_{b2} = 0,044 \times 9,867 \times 24,533 = 10,687$$

$$\text{Mode 4: } \rho_{42} \times V_{b4} \times V_{b2} = 0,018 \times 2,943 \times 24,533 = 1,284$$

$$\text{Mode 5: } \rho_{52} \times V_{b5} \times V_{b2} = 0,012 \times 0,595 \times 24,533 = 0,178$$

Untuk $n = 3$:

$$\text{Mode 1: } \rho_{13} \times V_{b1} \times V_{b3} = 0,003 \times 60,469 \times 9,867 = 1,615$$

$$\text{Mode 2: } \rho_{23} \times V_{b2} \times V_{b3} = 0,044 \times 24,533 \times 9,867 = 10,687$$

$$\text{Mode 3: } \rho_{33} \times V_{b3} \times V_{b3} = 1,000 \times 9,867 \times 9,867 = 97,358$$

$$\text{Mode 4: } \rho_{43} \times V_{b4} \times V_{b3} = 0,136 \times 2,943 \times 9,867 = 3,943$$

$$\text{Mode 5: } \rho_{53} \times V_{b5} \times V_{b3} = 0,062 \times 0,595 \times 9,867 = 0,366$$

Tabel koefisien korelasi (ρ_{in}), ditulis ulang

Mode, i	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	1,000	0,007	0,003	0,002	0,001
2	0,007	1,000	0,044	0,018	0,012
3	0,003	0,044	1,000	0,136	0,062
4	0,002	0,018	0,136	1,000	0,365
5	0,001	0,012	0,062	0,365	1,000

Tabel *Peak Modal Response* (ditulis ulang)

Mode, i	V_b (kips)
1	60,469
2	24,533
3	9,867
4	2,943
5	0,595

Hitung nilai $\rho_{in} \times V_{bi} \times V_{bn}$

Untuk $n = 4$:

$$\text{Mode 1: } \rho_{14} \times V_{b1} \times V_{b4} = 0,002 \times 60,469 \times 2,943 = 0,306$$

$$\text{Mode 2: } \rho_{24} \times V_{b2} \times V_{b4} = 0,018 \times 24,533 \times 2,943 = 1,284$$

$$\text{Mode 3: } \rho_{34} \times V_{b3} \times V_{b4} = 0,136 \times 9,867 \times 2,943 = 3,943$$

$$\text{Mode 4: } \rho_{44} \times V_{b4} \times V_{b4} = 1,000 \times 2,943 \times 2,943 = 8,661$$

$$\text{Mode 5: } \rho_{54} \times V_{b5} \times V_{b4} = 0,365 \times 0,595 \times 2,943 = 0,640$$

Untuk $n = 5$:

$$\text{Mode 1: } \rho_{15} \times V_{b1} \times V_{b5} = 0,001 \times 60,469 \times 0,595 = 0,049$$

$$\text{Mode 2: } \rho_{25} \times V_{b2} \times V_{b5} = 0,012 \times 24,533 \times 0,595 = 0,178$$

$$\text{Mode 3: } \rho_{35} \times V_{b3} \times V_{b5} = 0,062 \times 9,867 \times 0,595 = 0,366$$

$$\text{Mode 4: } \rho_{45} \times V_{b4} \times V_{b5} = 0,365 \times 2,943 \times 0,595 = 0,640$$

$$\text{Mode 5: } \rho_{55} \times V_{b5} \times V_{b5} = 1,000 \times 0,595 \times 0,595 = 0,354$$

Susun dalam bentuk tabel (lihat halaman selanjutnya)

Tabel koefisien korelasi (ρ_{in}), ditulis ulang

Mode, i	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	1,000	0,007	0,003	0,002	0,001
2	0,007	1,000	0,044	0,018	0,012
3	0,003	0,044	1,000	0,136	0,062
4	0,002	0,018	0,136	1,000	0,365
5	0,001	0,012	0,062	0,365	1,000

Tabel *Peak Modal Response* (ditulis ulang)

Mode, i	V_b (kips)
1	60,469
2	24,533
3	9,867
4	2,943
5	0,595

Tabel gaya geser dasar (V_{bn} dan V_{bi})

Mode, i	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	3656,500	10,172	1,615	0,306	0,049
2	10,172	601,868	10,687	1,284	0,178
3	1,615	10,687	97,358	3,943	0,366
4	0,306	1,284	3,943	8,661	0,640
5	0,049	0,178	0,366	0,640	0,354

Sumber: Chopra (1995); Tabel 13.8.4.

Gaya geser dasar:

$$\bar{V}_b = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} V_{bi} V_{bn}}$$

Sumber: Chopra (1995); persamaan 13.8.5

Jumlah semua angka dalam tabel di atas = 4423,223

Diperoleh: $\bar{V}_b = \sqrt{4423,223} = 66,507 \text{ kips.}$

ILMU ALAT PENGABDIAN



Nonlinear Dynamic Analysis
(disebut juga sebagai *Time History Analysis*)

- ❖ *Nonlinear Dynamic Analysis (Time History Analysis/THA)* adalah analisis langkah demi langkah respons dinamik struktur terhadap beban yang besarnya berubah-ubah sejalan dengan waktu (beban merupakan fungsi waktu).
- ❖ THA digunakan untuk menentukan respons struktur di bawah beban dinamik (beban merupakan fungsi waktu) yang mewakili beban gempa.
- ❖ Dalam THA, respons struktur dianalisis dalam interval-interval waktu. Setiap interval menghasilkan respons struktur (gaya dalam momen, geser, aksial, dan simpangan).
- ❖ THA memerlukan data rekaman percepatan spektra gempa [$S_a(g)$] terhadap waktu (t).
- ❖ Model struktur diberi beban percepatan spektra gempa pada bagian dasar (tumpuan).
- ❖ THA dapat digunakan untuk analisis elastik dan inelastik.
- ❖ Dalam analisis elastik, karakteristik kekakuan (K) struktur diasumsikan konstan selama durasi kejadian gempa.
- ❖ Dalam analisis inelastik, kekakuan (K) struktur diasumsikan konstan hanya pada saat perpindahan interval waktu.

- ❖ Berbeda dengan THA, dalam *Linear Dynamic Analysis (Response Spectrum Method)*, tidak ada pembagian interval waktu, sehingga tidak dapat diketahui saat terjadinya respons struktur maksimum.

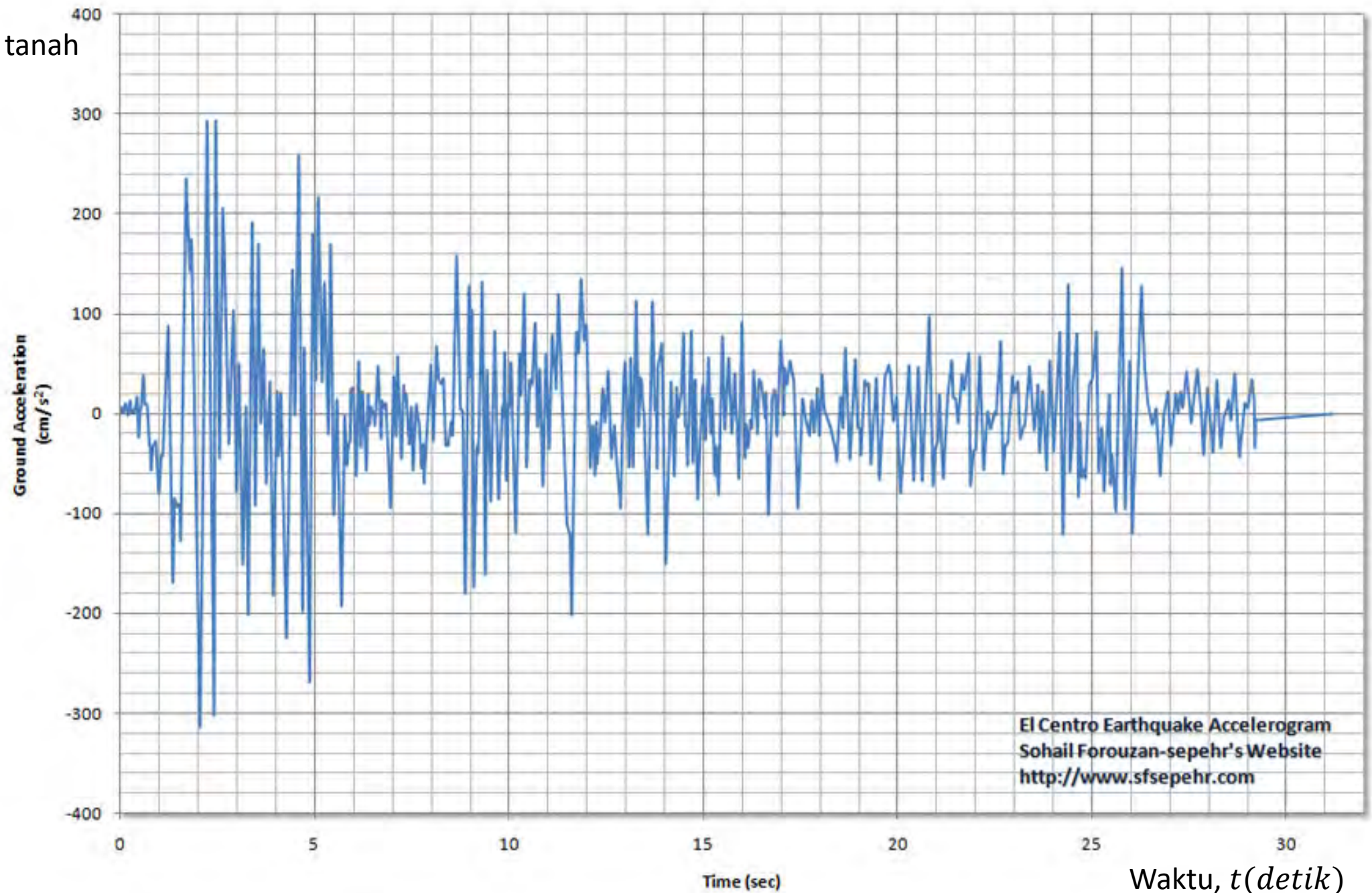
Prosedur *Time History Analysis*:

- ❖ Pilih suatu data rekaman percepatan gempa [$S_a(g)$] terhadap waktu (t). Umumnya, data **gempa El-Centro** dipilih karena **kekuatan gempa cukup besar** dan **durasinya cukup lama**.
- ❖ Gempa pertama El-Centro terjadi tanggal 18 Mei 1940 pukul 21.35 karena keruntuhan *Imperial Fault* di Imperial Valley. Kekuatan gempa adalah 7,1 skala Richter dan *Modified Mercalli Intensity* (MMI) X. Gempa kedua terjadi di hari yang sama pukul 22.51 dengan kekuatan gempa 5,5 skala Richter dan MMI IX.

Catatan:

Pengertian *fault*, skala Richter, dan MMI dapat dilihat di *file 05 Teori Kegempaan.pdf*.

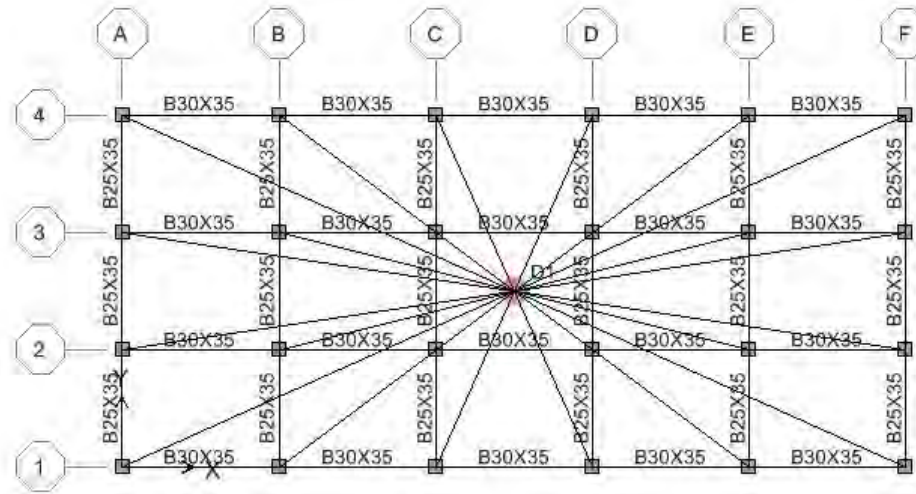
Percepatan tanah
 $S_a(g)$
Satuan g :
 $cm/detik^2$



Waktu, $t(detik)$

Prosedur *Time History Analysis* (lanjutan):

- ❖ Rekaman gempa dibagi dalam interval-interval waktu sekitar 1/40 – 1/25 detik.
- ❖ Buat model matematika struktur yang mempunyai *lumped mass* (massa terkumpul) di setiap lantai. Dalam program SAP/ETABS, kumpulan massa lantai dibuat dengan fasilitas *diaphragm* untuk menyatukan suatu lantai (balok dan pelat) menjadi satu kesatuan.



Diafragma pada suatu lantai struktur bangunan gedung

- ❖ Besarnya redaman struktur (*modal damping*) adalah proporsional terhadap kecepatan model struktur. Umumnya, redaman (*damping, ζ*) = 5%
- ❖ Percepatan gempa diaplikasikan ke tumpuan model struktur.

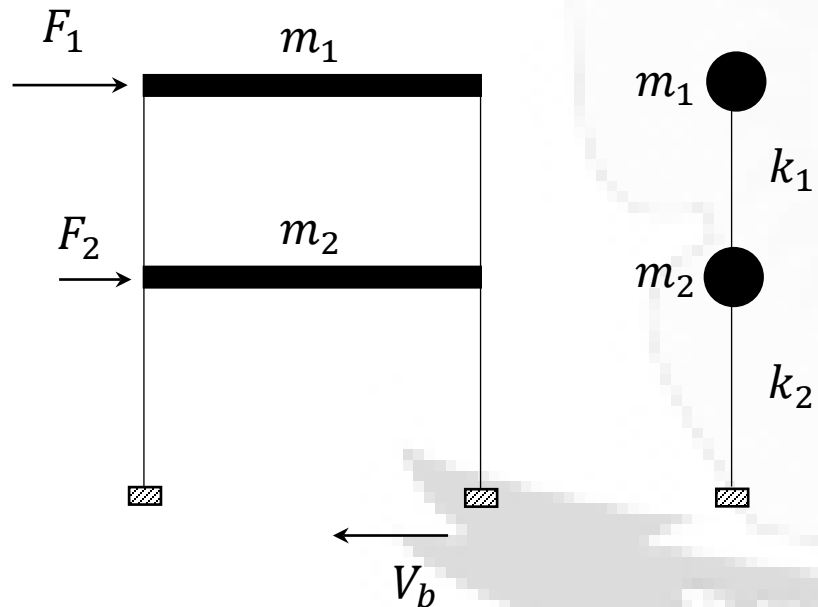
- ❖ Hitung simpangan struktur dengan menggunakan data percepatan gempa
Percepatan semu (*pseudo acceleration*): $S_a(g)$
Kecepatan semu (*pseudo velocity*): $S_v = S_d \omega = \frac{S_a(g)}{\omega}$
Simpangan semu (*pseudo displacement*): $S_d = \frac{S_a(g)}{\omega^2}$
- ❖ Langkah yang sama diaplikasikan pada berbagai nilai waktu t , sehingga didapat berbagai nilai simpangan struktur (x_i).
- ❖ Buat kurva hubungan waktu (t) dan simpangan struktur setiap lanti (x_i).



Contoh THA untuk struktur portal dua lantai

Cara perhitungan frekuensi sudut struktur *mode* ke- i (ω_i) dapat dilihat di *file* 04 Dinamika Struktur_MDOF Beban Impuls.pdf.

Suatu portal memiliki data sebagai berikut:



Frekuensi alami struktur *mode* ke-1 dan 2:

$$\begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 30,28 \\ 79,27 \end{Bmatrix} \text{ rad/detik}$$

Vektor ragam getar *mode* ke-1 dan 2:

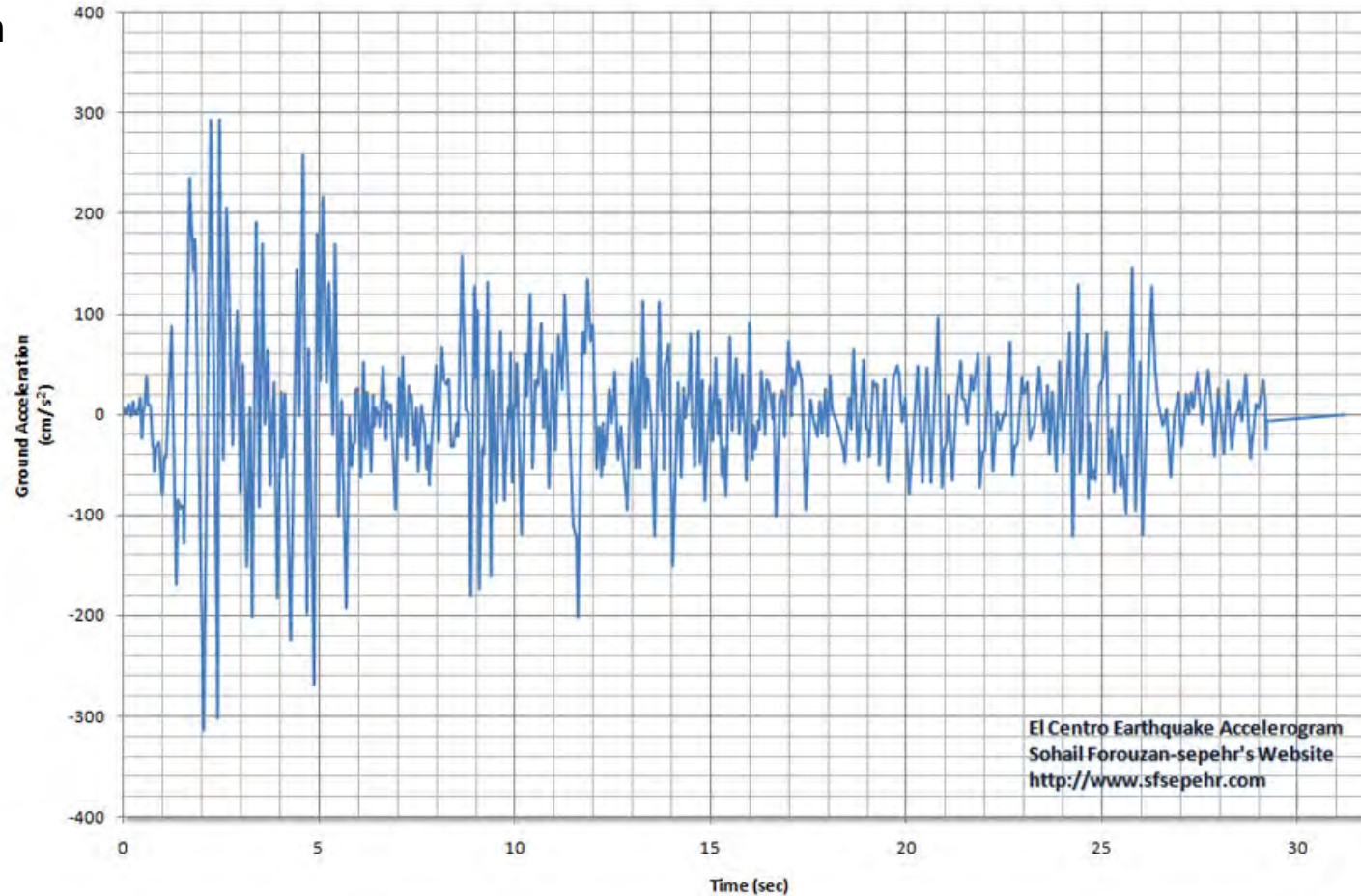
$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}^{(1)} = \begin{Bmatrix} 0,618 \\ 1,000 \end{Bmatrix} \text{ dan } \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}^{(2)} = \begin{Bmatrix} -1,618 \\ 1,000 \end{Bmatrix}$$

Periode struktur *mode* ke-1 dan 2:

$$T_1 = 0,2 \text{ detik dan } T_2 = 0,08 \text{ detik}$$

Dari data gempa El-Centro, pada suatu waktu t , terdapat percepatan semu tanah [$S_a(g)$].

Percepatan tanah
 $S_a(g)$
Satuan g :
 $cm/detik^2$



Waktu, t (*detik*)

Data percepatan tanah gempa El-Centro

Kontribusi mode ke-1:

Misalnya, pada suatu waktu $t = 4,8 \text{ detik}$, $S_a = 250 \text{ cm/detik}^2$

Kecepatan semu (*pseudo velocity*): $S_{v1} = S_{d1} \omega_1 = \frac{S_a}{(\omega_1)^2} \omega_1 = \frac{S_a}{\omega_1} = \frac{250 \text{ cm/detik}^2}{30,28 \text{ rad/detik}} = 8,26 \text{ cm/detik}$

Simpangan semu (*pseudo displacement*): $S_{d1} = \frac{S_{v1}}{\omega_1} = \frac{8,26 \text{ cm/detik}}{30,28 \text{ rad/detik}} = 0,27 \text{ cm}$

$$\mathcal{L}_1 = \sum_1^n m_i a_i = (10)(0,618) + (10)(1) = 16,18$$

$$M_1 = \sum_1^n m_i a_i^2 = (10)(0,618)^2 + (10)(1)^2 = 13,82$$

Modal Participation Factor mode ke-1: $MPF_1 = \frac{\mathcal{L}_1}{M_1} = \frac{16,18}{13,82} = 1,17$

Simpangan struktur:

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}^{(1)} = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}^{(1)} y_1 = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}^{(1)} MPF_1 S_{d1} = \begin{Bmatrix} 0,618 \\ 1,000 \end{Bmatrix} (1,17)(0,27) = \begin{Bmatrix} 0,197 \\ 0,319 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

ILMU ALAT PENGABDIAN

Kontribusi mode ke-2:

Dan pada suatu waktu $t = 4,8 \text{ detik}$, $S_a = 250 \text{ cm/detik}^2$

Kecepatan semu (*pseudo velocity*): $S_{v2} = S_{d2}\omega_2 = \frac{S_a}{(\omega_2)^2} \omega_2 = \frac{S_a}{\omega_2} = \frac{250 \text{ cm/detik}^2}{79,27 \text{ rad/detik}} = 3,15 \text{ cm/detik}$

Simpangan semu (*pseudo displacement*): $S_{d2} = \frac{S_{v2}}{\omega_2} = \frac{3,15 \text{ in/detik}}{79,27 \text{ rad/detik}} = 0,040 \text{ cm}$

$$\mathcal{L}_2 = \sum_1^n m_i a_i = (10)(-1,618) + (10)(1) = -6,18$$

$$M_2 = \sum_1^n m_i a_i^2 = (10)(-1,618)^2 + (10)(1)^2 = 36,18$$

Modal Participation Factor mode ke-2: $MPF_2 = \frac{\mathcal{L}_2}{M_2} = \frac{-6,18}{36,18} = -0,17$

Simpangan struktur:

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}^{(2)} = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}^{(2)} y_2 = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix}^{(2)} MPF_2 S_{d2} = \begin{Bmatrix} -1,618 \\ 1,000 \end{Bmatrix} (-0,17)(0,040) = \begin{Bmatrix} 0,011 \\ -0,007 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

ILMU ALAT PENGABDIAN

Kontribusi mode ke-1 dan 2:

❖ Cara biasa:

Simpangan pada m_1 dan m_2 adalah:

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}^{(1)} + \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}^{(2)} = \begin{Bmatrix} 0,197 \\ 0,319 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0,011 \\ -0,007 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,208 \\ 0,312 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

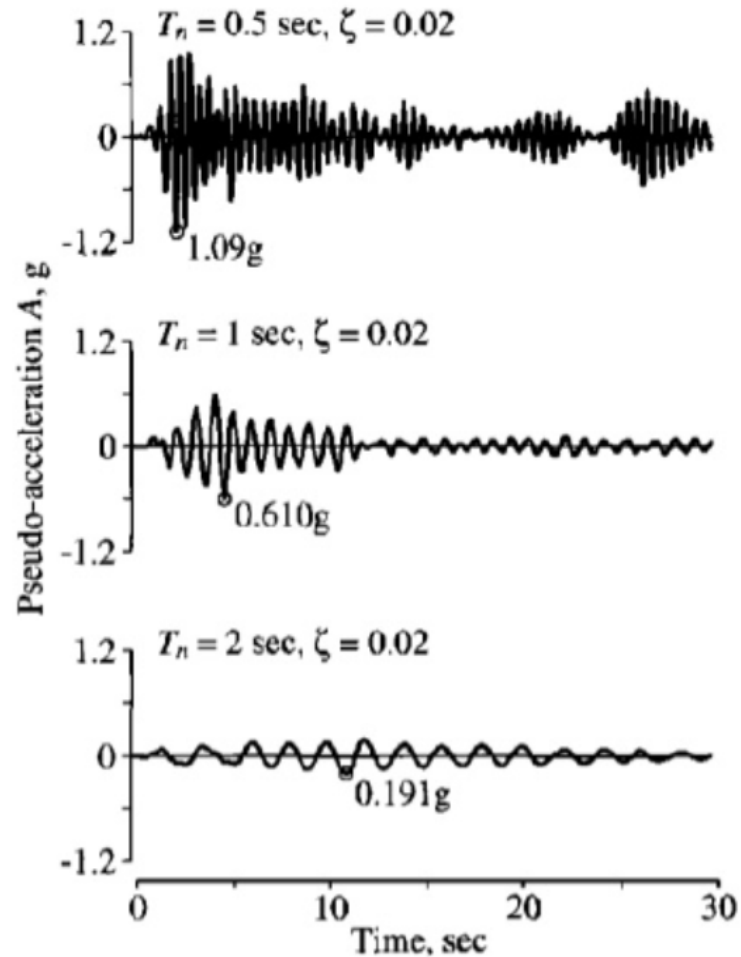
❖ Cara *Square Root Sum of Squares* (SRSS)

Simpangan pada m_1 dan m_2 adalah:

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sqrt{\left(x_1^{(1)}\right)^2 + \left(x_1^{(2)}\right)^2} \\ \sqrt{\left(x_2^{(1)}\right)^2 + \left(x_2^{(2)}\right)^2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sqrt{(0,197)^2 + (0,011)^2} \\ \sqrt{(0,319)^2 + (-0,007)^2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,197 \\ 0,319 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

- ❖ Langkah yang sama diaplikasikan pada berbagai nilai waktu t , sehingga didapat berbagai nilai simpangan struktur $\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}$.
- ❖ Buat kurva hubungan waktu (t) dan simpangan struktur setiap lantai (x_1) dan (x_2).

Contoh THA pada struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) di bawah beban gempa El-Centro



ζ : redaman

Fig. 6.4.3. Percepatan semu [*pseudo acceleration*, S_a (g)] suatu **struktur *Single Degree of Freedom*** (SDoF) dengan variasi perioda (T) akibat gerakan tanah gempa El-Centro

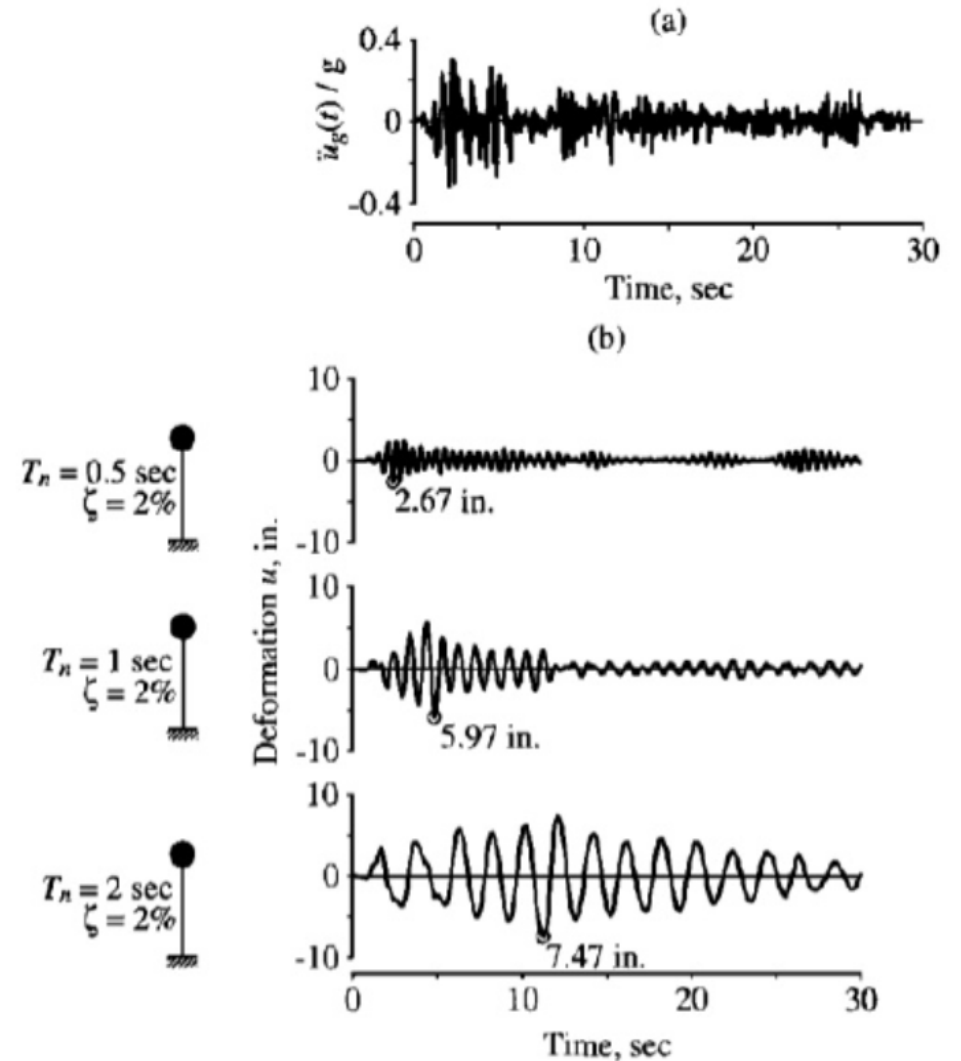
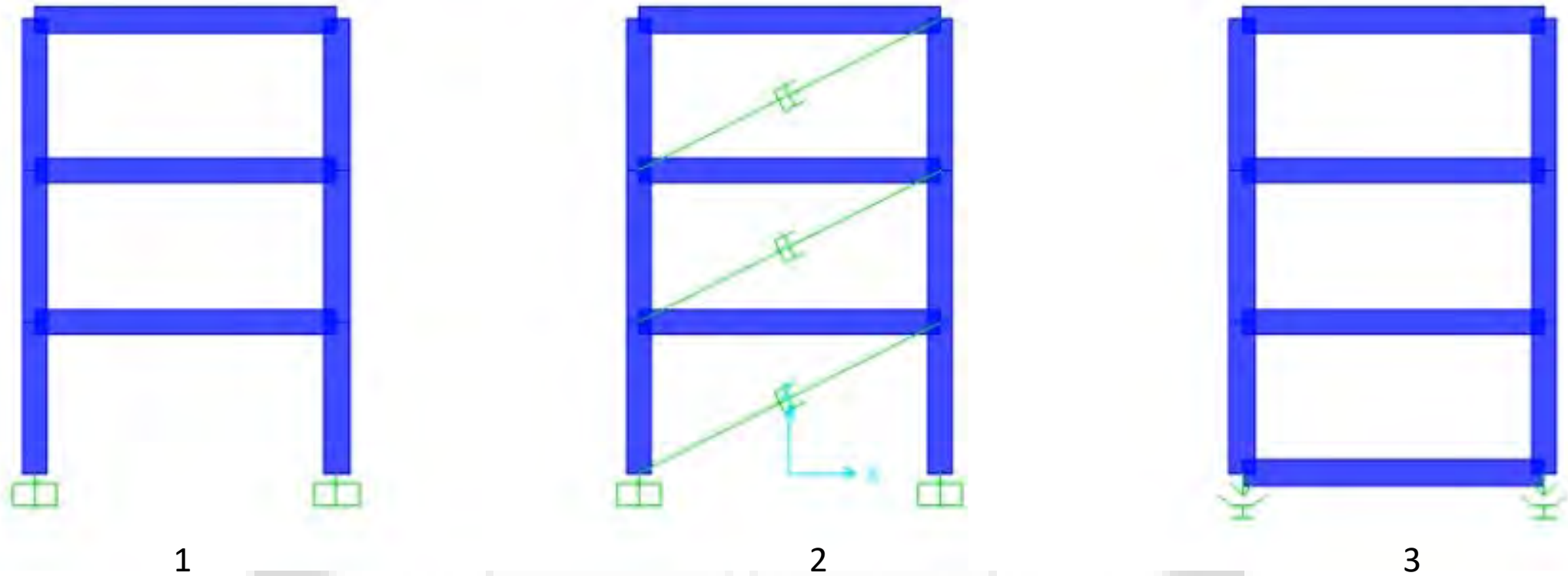


Fig. 6.6.1. (a) Percepatan tanah gempa El-Centro (b) respons struktur berupa deformasi suatu **struktur *Single Degree of Freedom*** (SDoF) dengan variasi perioda (T) akibat gerakan tanah gempa El-Centro

Contoh THA untuk struktur portal 3 lantai menggunakan program

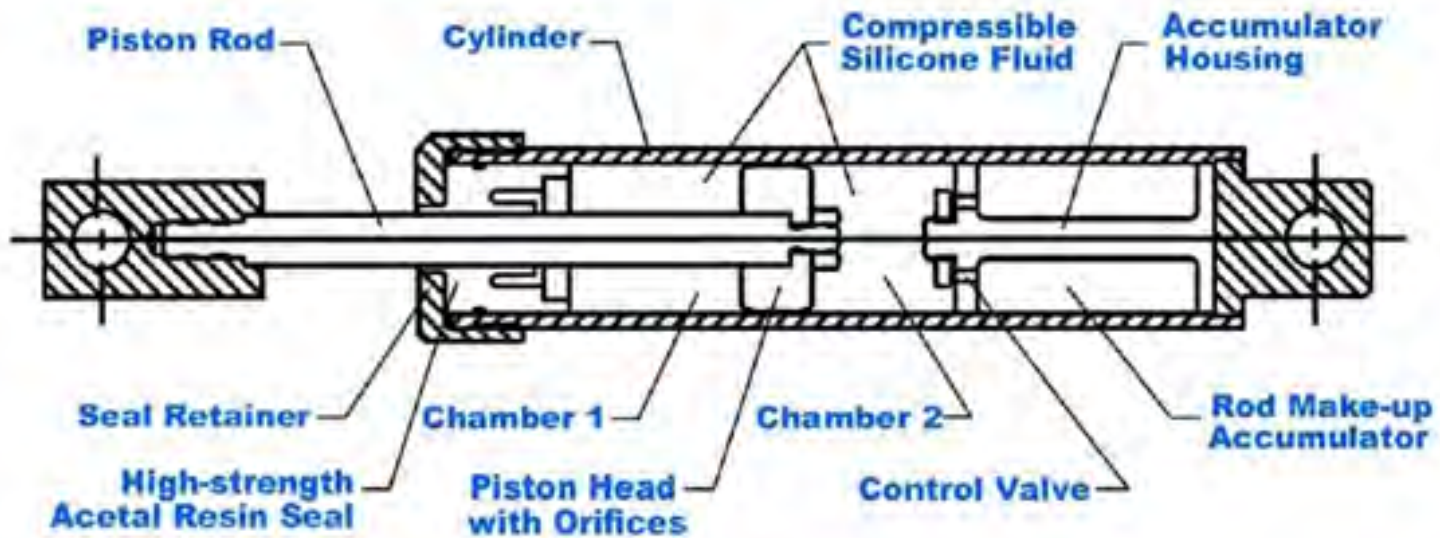
Tiga jenis model struktur portal dalam pemodelan dengan program SAP:



1. Portal
2. Portal yang diberi peredam *bracing*
3. Portal yang diberi *base isolation* di dasar kolom

Peredam (*damper*) mereduksi respons struktur

Contoh peredam yang dipasang antara elemen struktur: *fluid damper*



ILMU ALAT PENGABDIAN

Peredam (*damper*) mereduksi respons struktur

Peredam (*damper*) diaplikasikan pada:

- *Diagonal bracing*

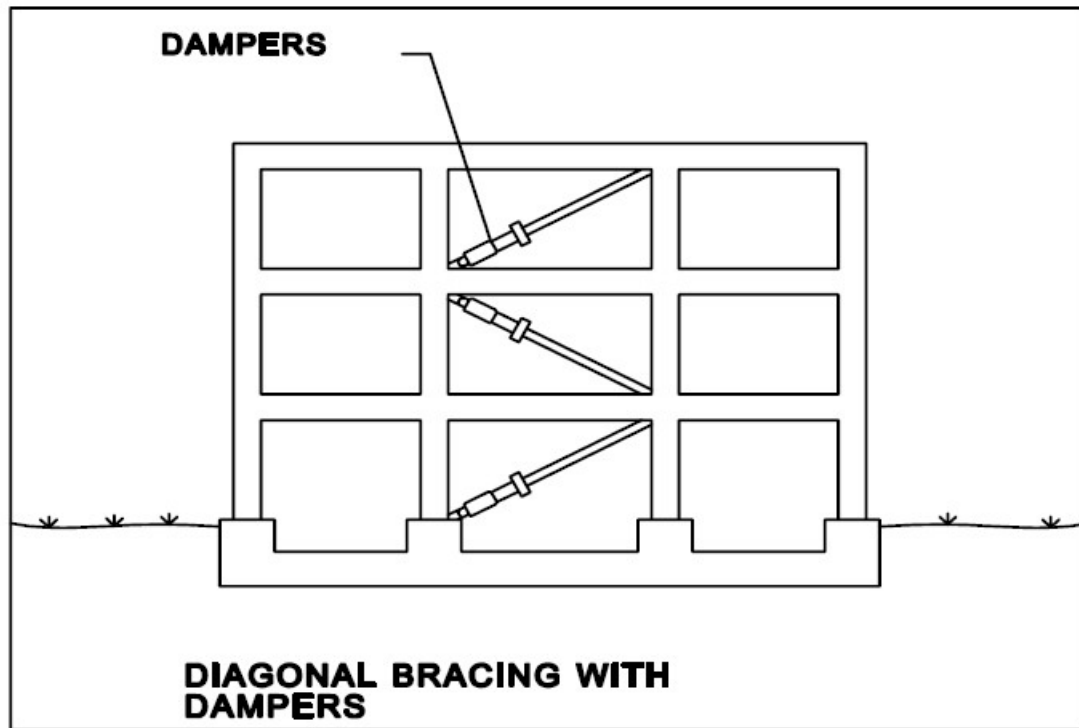


FIGURE 30
SAN FRANCISCO CIVIC CENTER
DAMPER INSTALLATION

Peredam (*damper*) mereduksi respons struktur

Peredam (*damper*) diaplikasikan pada:

- *Diagonal bracing*

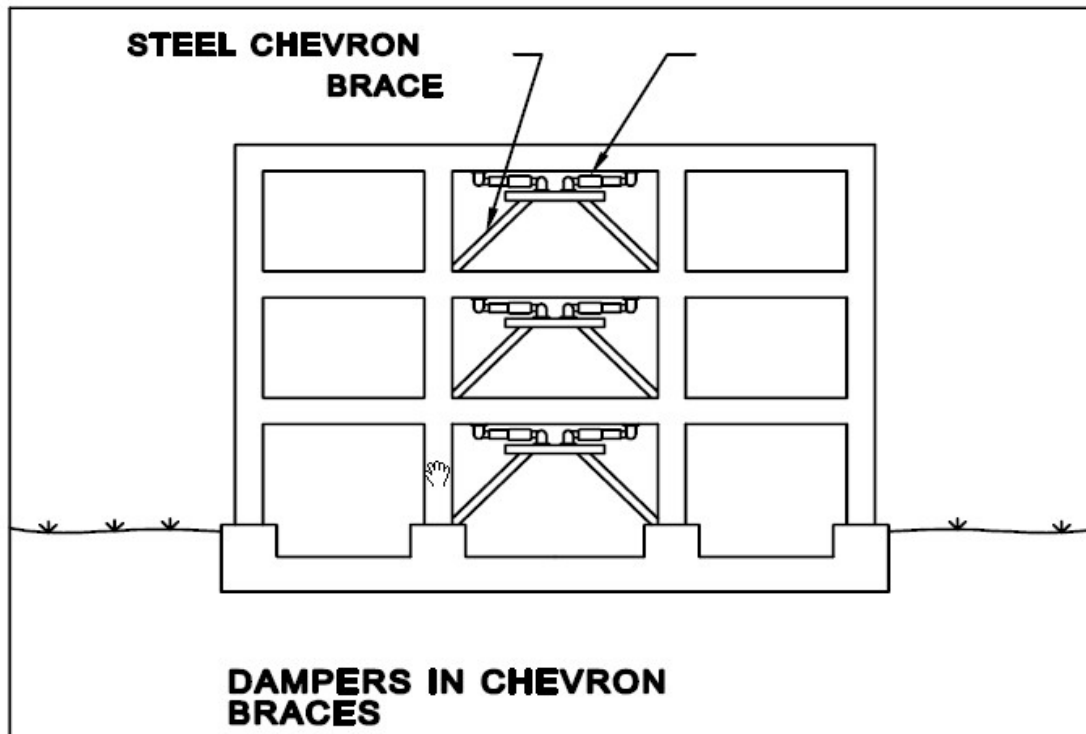


FIGURE 33
HOTEL WOODLAND - INSTALLATION OF DAMPERS

Base isolation mereduksi respons struktur secara signifikan

Peredam (damper) diaplikasikan pada:

- *Base isolation*

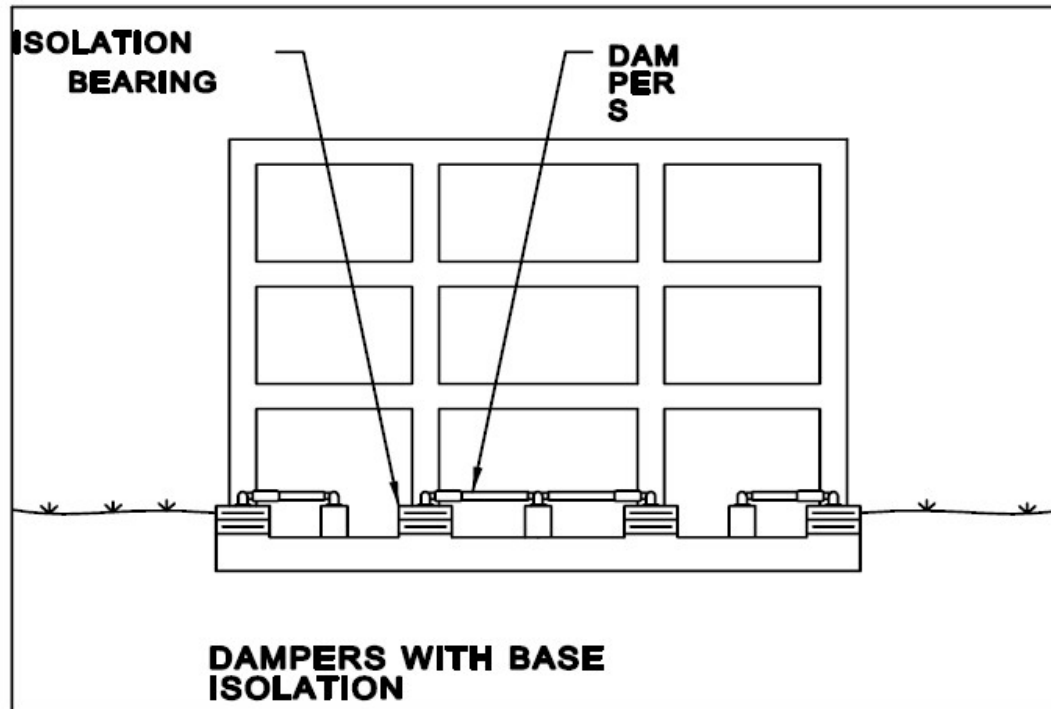
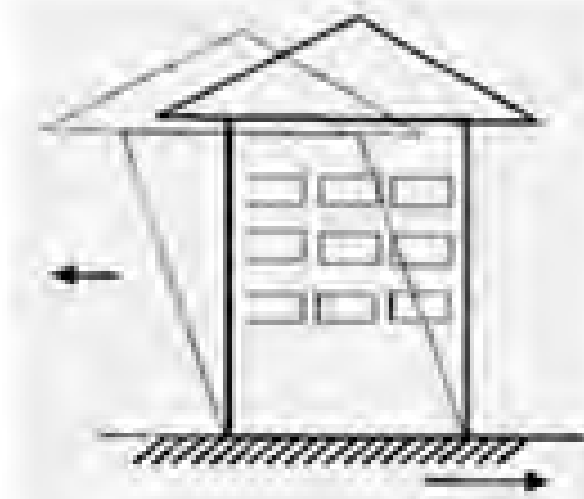
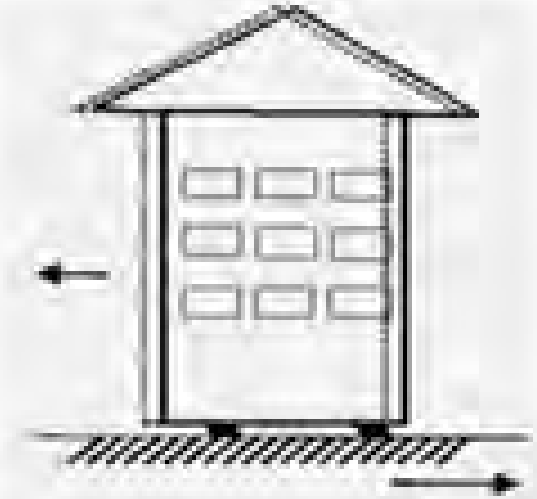


FIGURE 27
ARROWHEAD REGIONAL MEDICAL CENTER
INSTALLATION OF DAMPER

Base isolation mereduksi respons struktur secara signifikan



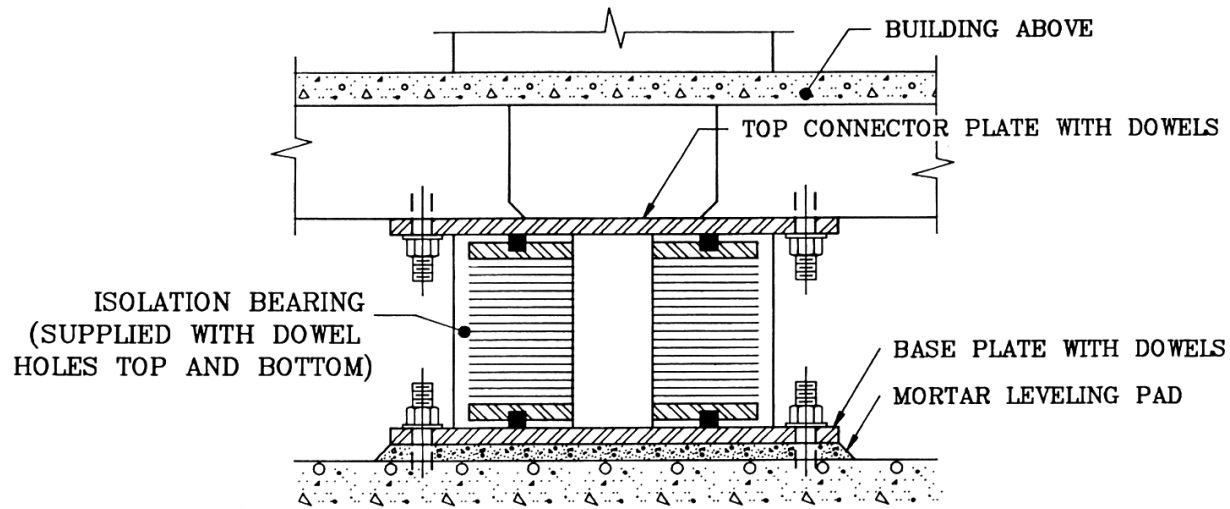
Simpangan struktur tanpa *base isolation*



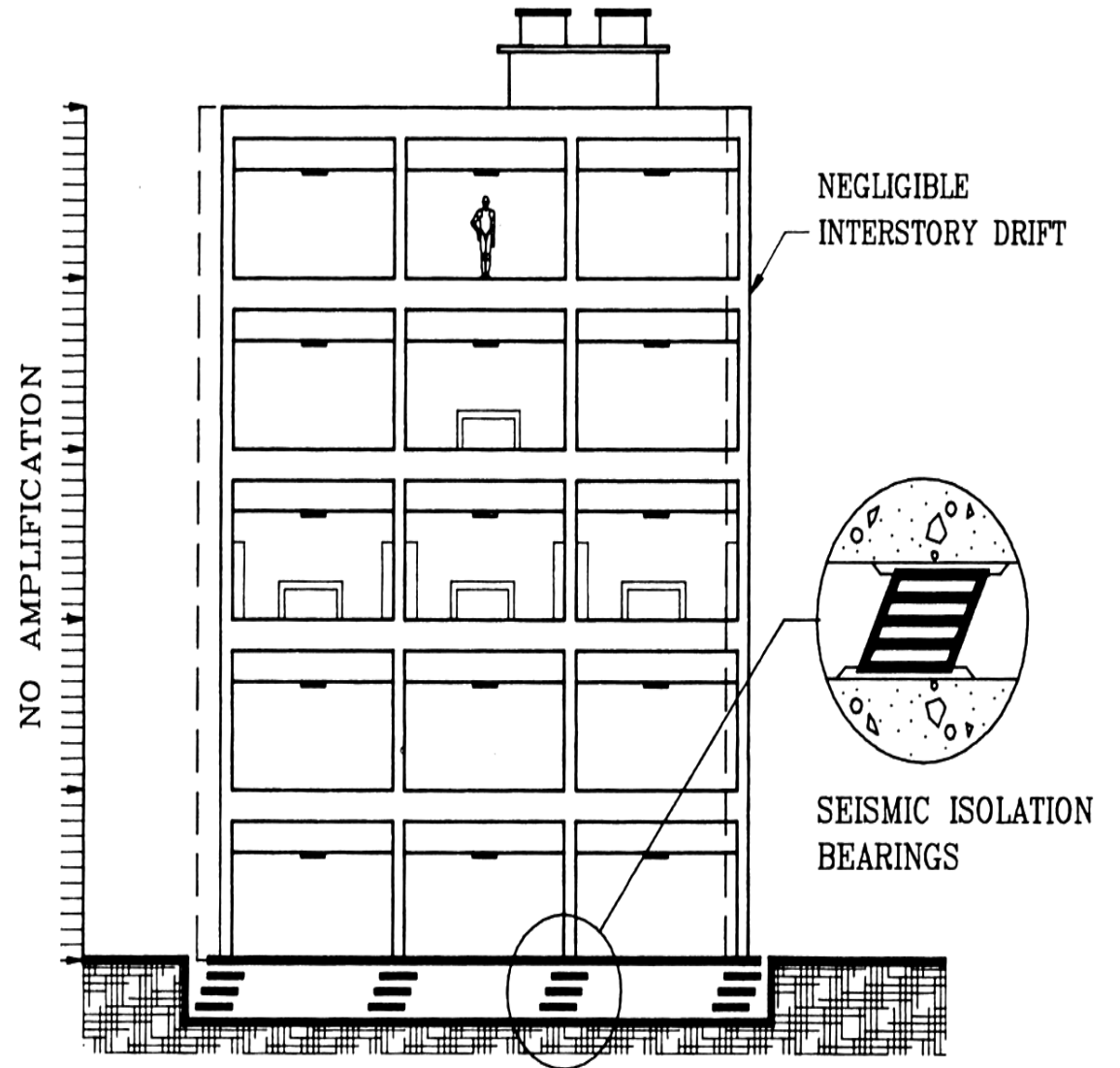
Simpangan struktur dengan *base isolation*

ILMU ALAT PENGABDIAN

Base isolation mereduksi respons struktur secara signifikan



Sumber: Budiono, 2013



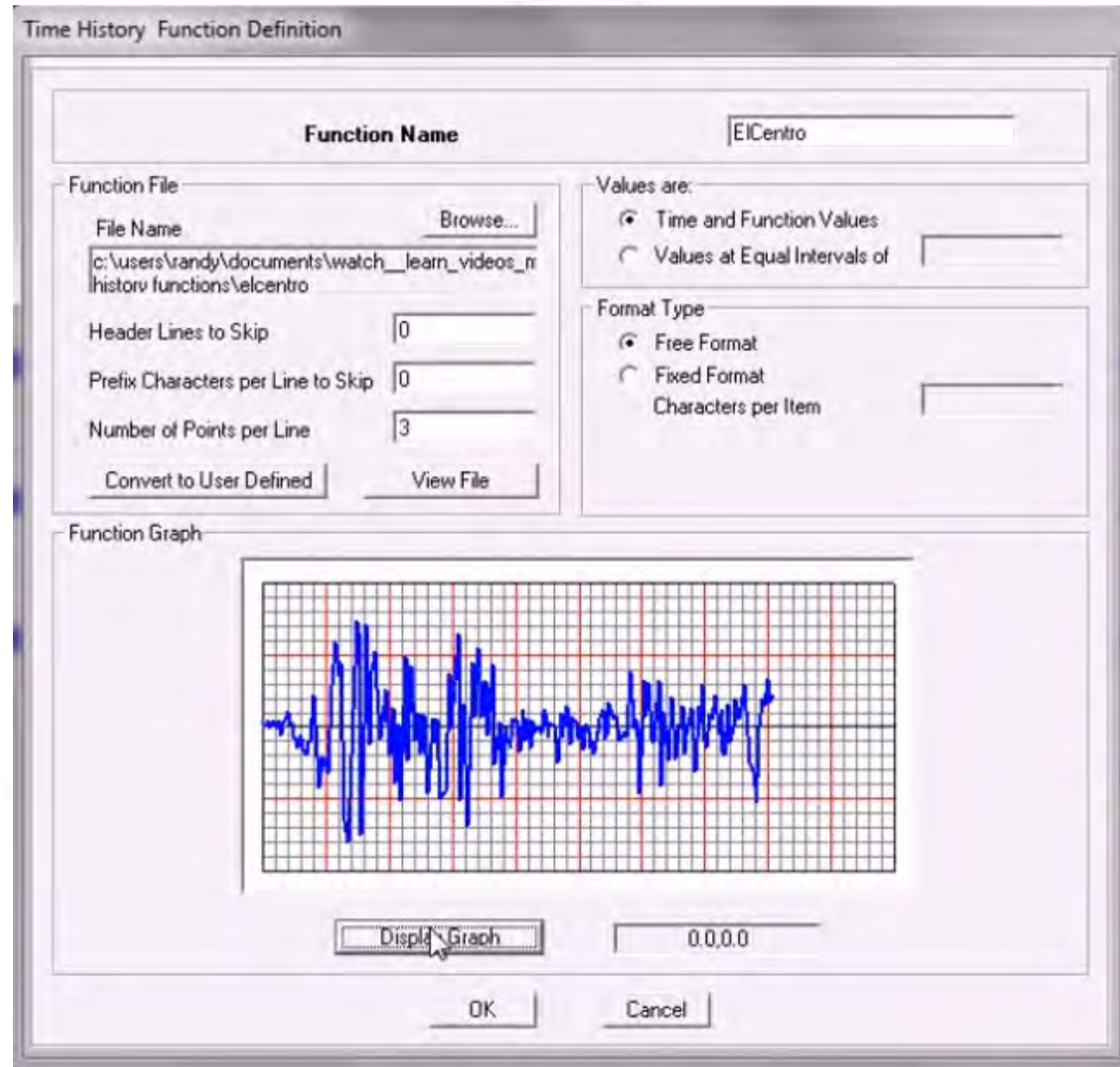
Base isolation mereduksi respons struktur secara signifikan



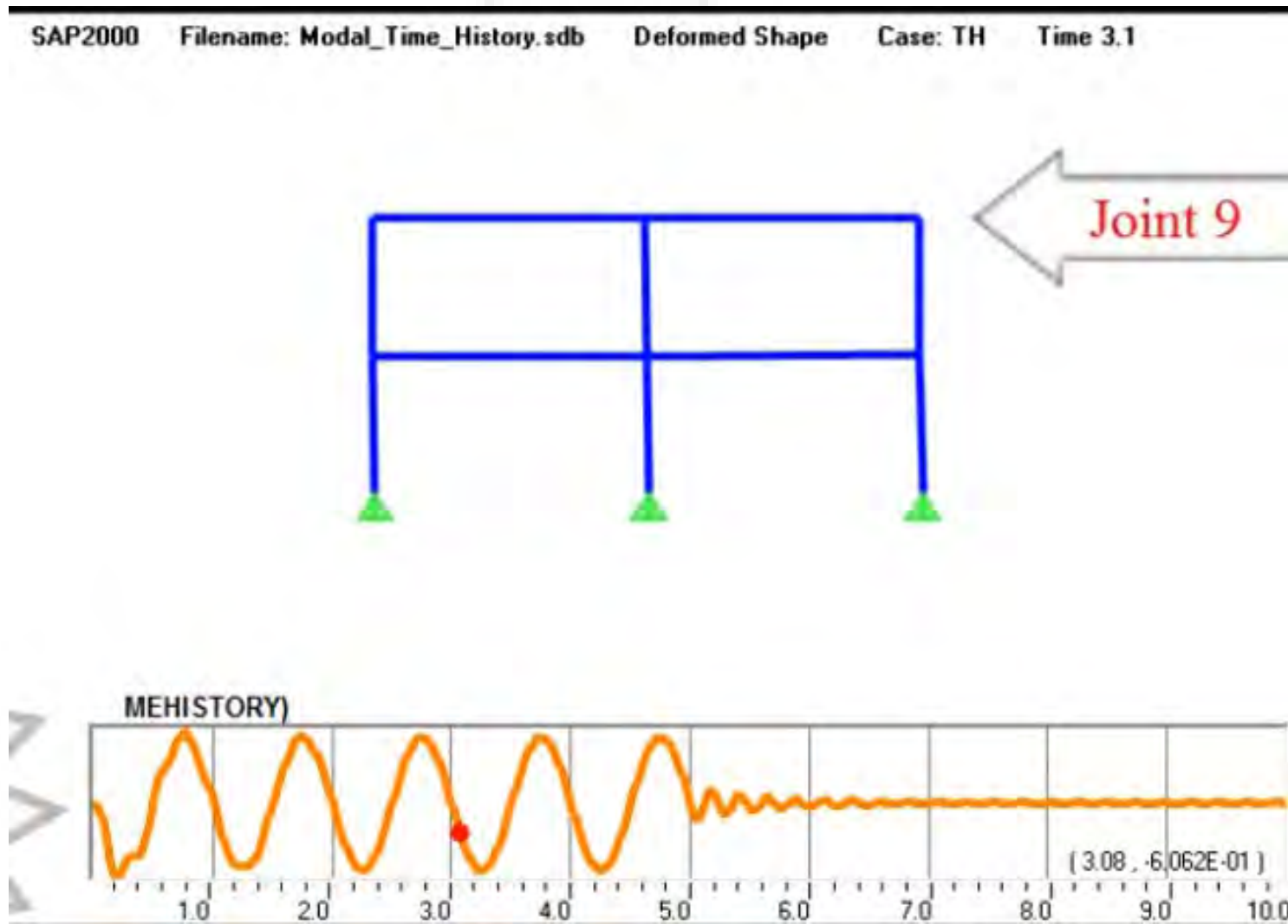
Sumber: Budiono, 2013



Input beban gempa El-Centro dalam program SAP

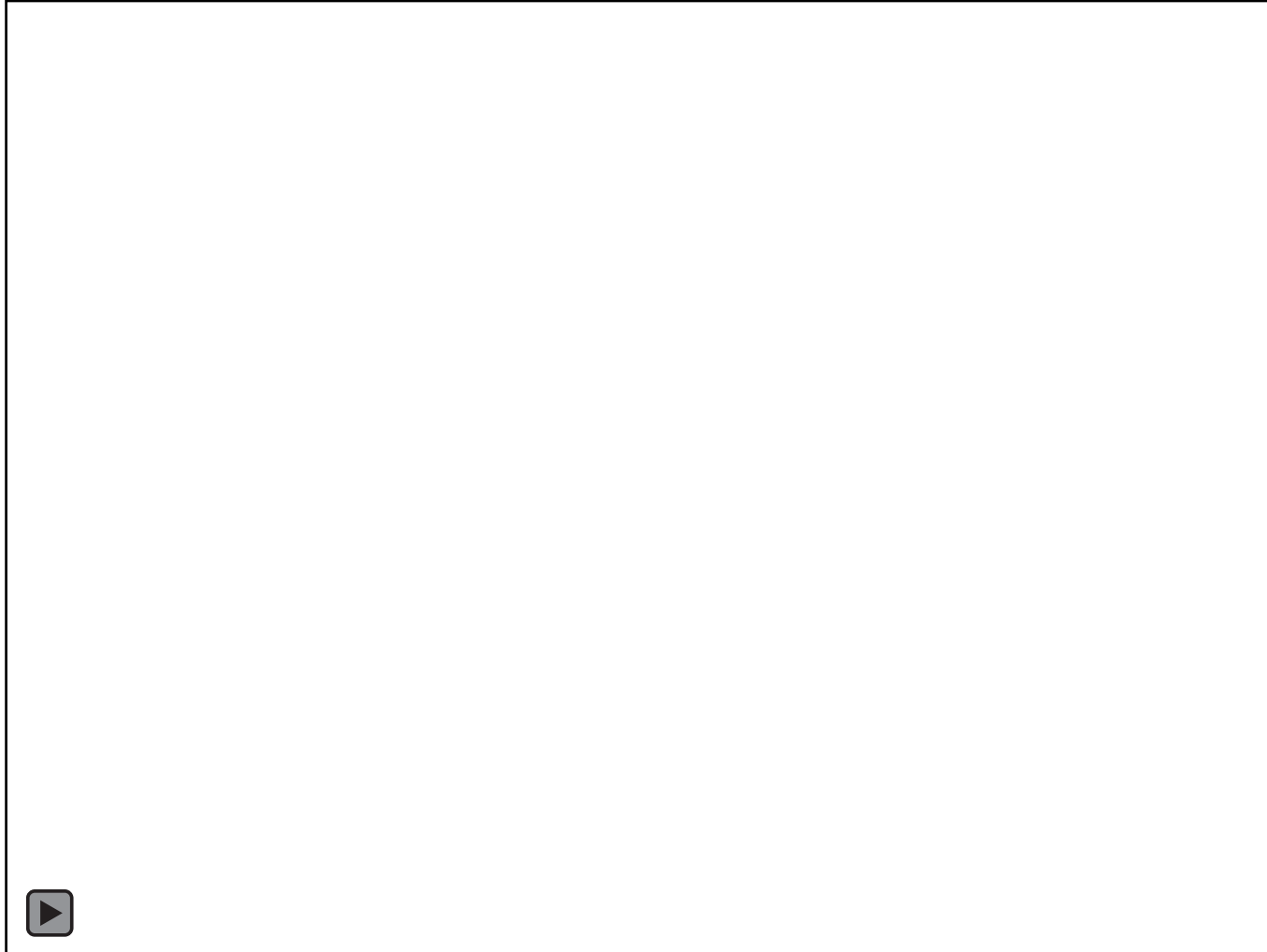


Contoh respons struktur portal pada *joint 9* yang diberi beban gempa El-Centro.



Simpangan pada *joint 9*

Contoh perbedaan respons bangunan ketiga jenis portal dengan *Time History Analysis*



- *Bracing* mereduksi respons struktur
- *Base isolation* mereduksi respons struktur secara signifikan

1. Portal
2. Portal yang diberi peredam *bracing*
3. Portal yang diberi *base isolation* di dasar kolom



Referensi

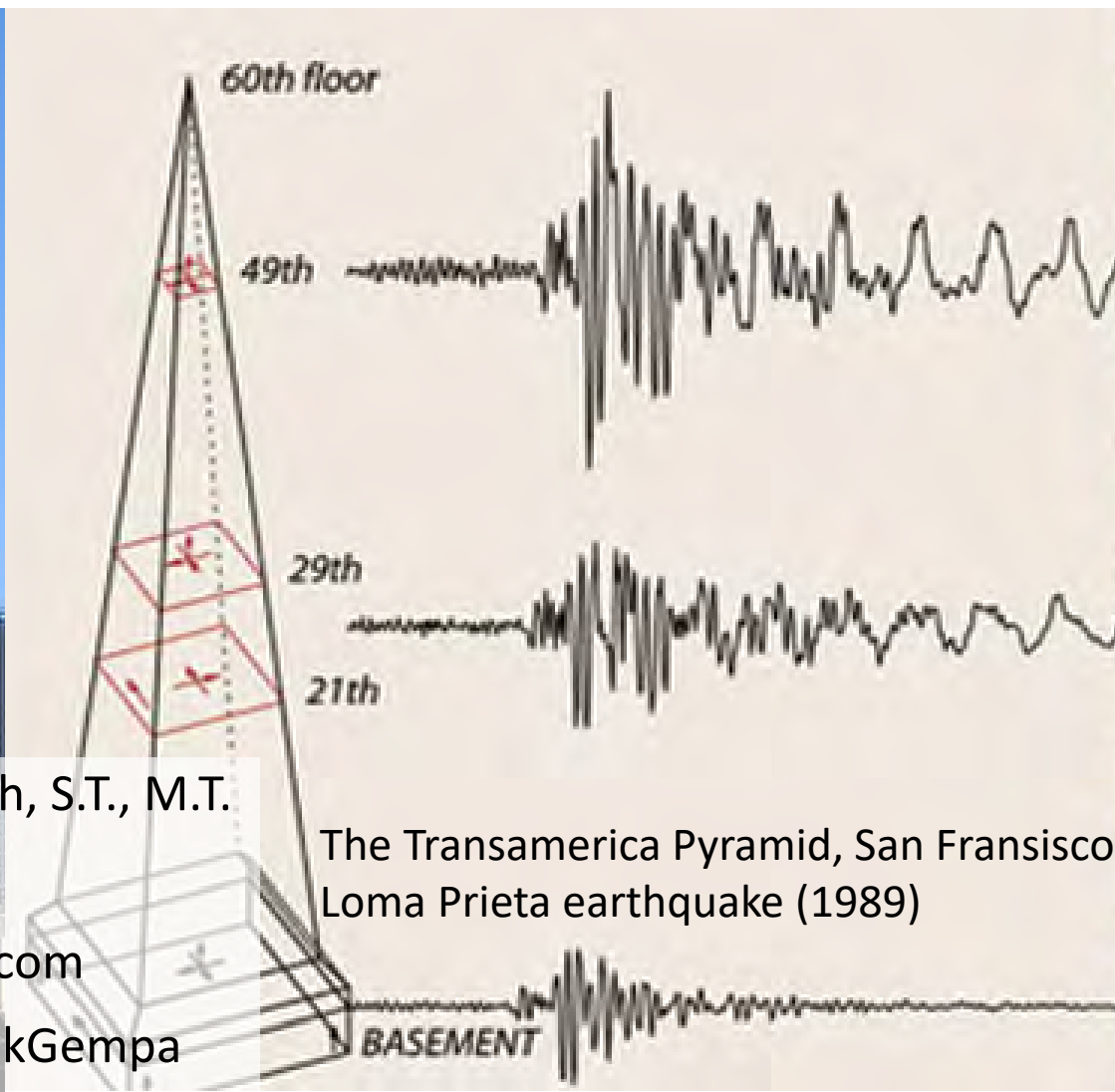
- American Society of Civil Engineers (ASCE), (2000): *Federal Emergency Management Agency (FEMA) 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA, Washington, D.C.
- American Society of Civil Engineers (ASCE), (2010): *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Virginia.
- Applied Technology Council (ATC), (1996): *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, ATC, Sacramento, CA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2012): *SNI 1726-2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- Budiono, B, (2013): *materi kuliah Rekayasa Gempa*, Pasca Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Chopra, A.K., (1995): *Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New-Jersey.



TKS 420214

Dinamika Struktur dan Gempa

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya



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

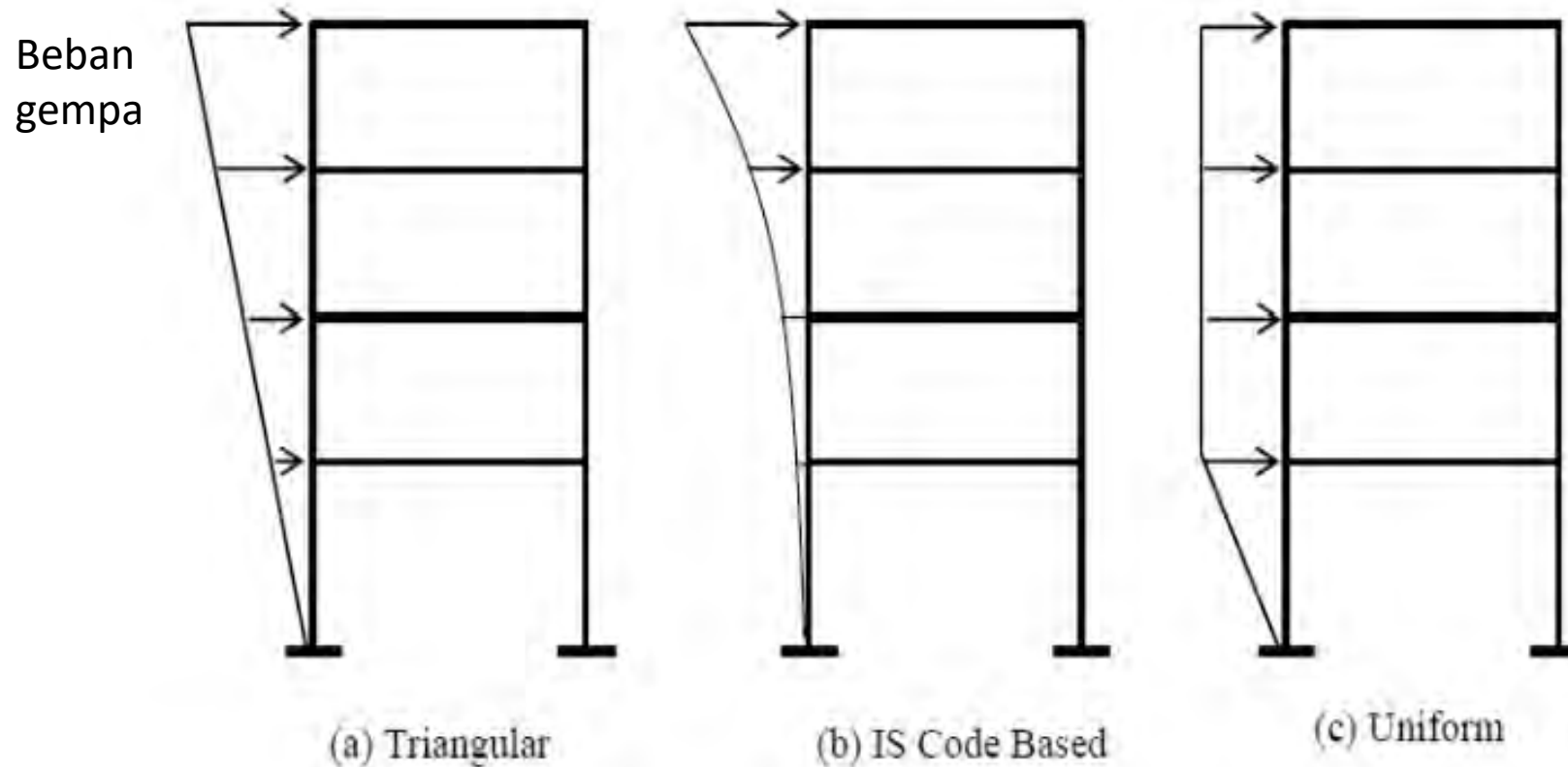
Phone: 081373672011

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

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

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

Beban gempa di arah lateral

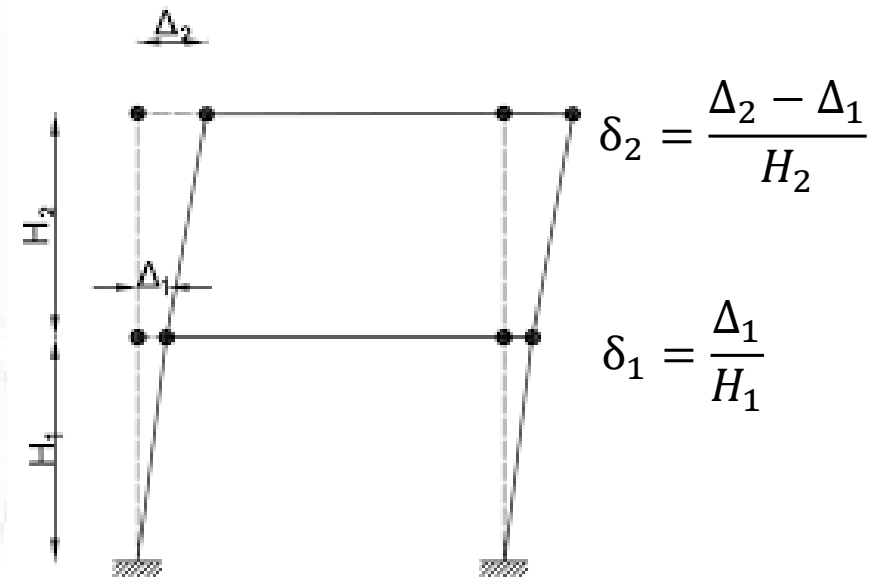


Gambar 1 Beberapa jenis pola beban lateral
(Sumber: FEMA 356)

Linear Static Analysis atau Equivalent Static Method

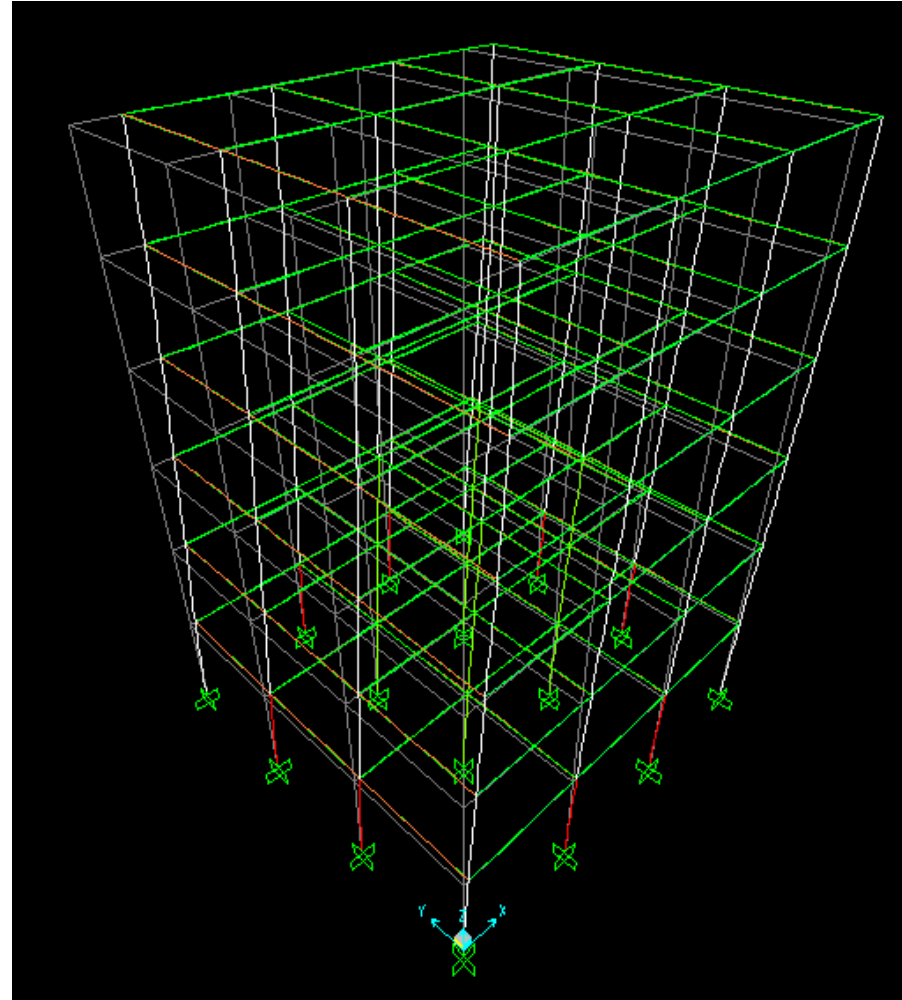
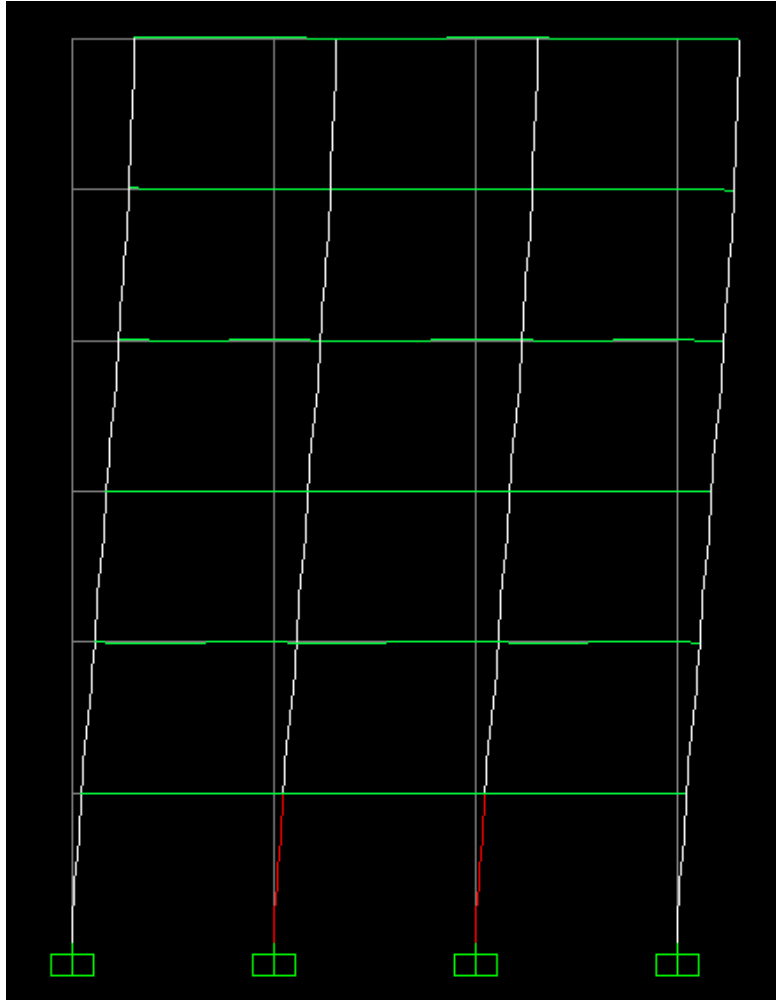
Story Drift (Simpangan Tingkat)

- **Story drift** (δ) adalah ukuran dari seberapa jauh suatu lantai atau atap yang **berpindah** (Δ) akibat gaya lateral relatif terhadap **tingkat lantai** (H) tepat di bawahnya.
- **Story drift** (δ) adalah **rasio perbedaan defleksi** (Δ) antara dua lantai yang berdekatan **dibagi dengan ketinggian tingkat** (H) yang memisahkan kedua lantai tersebut.

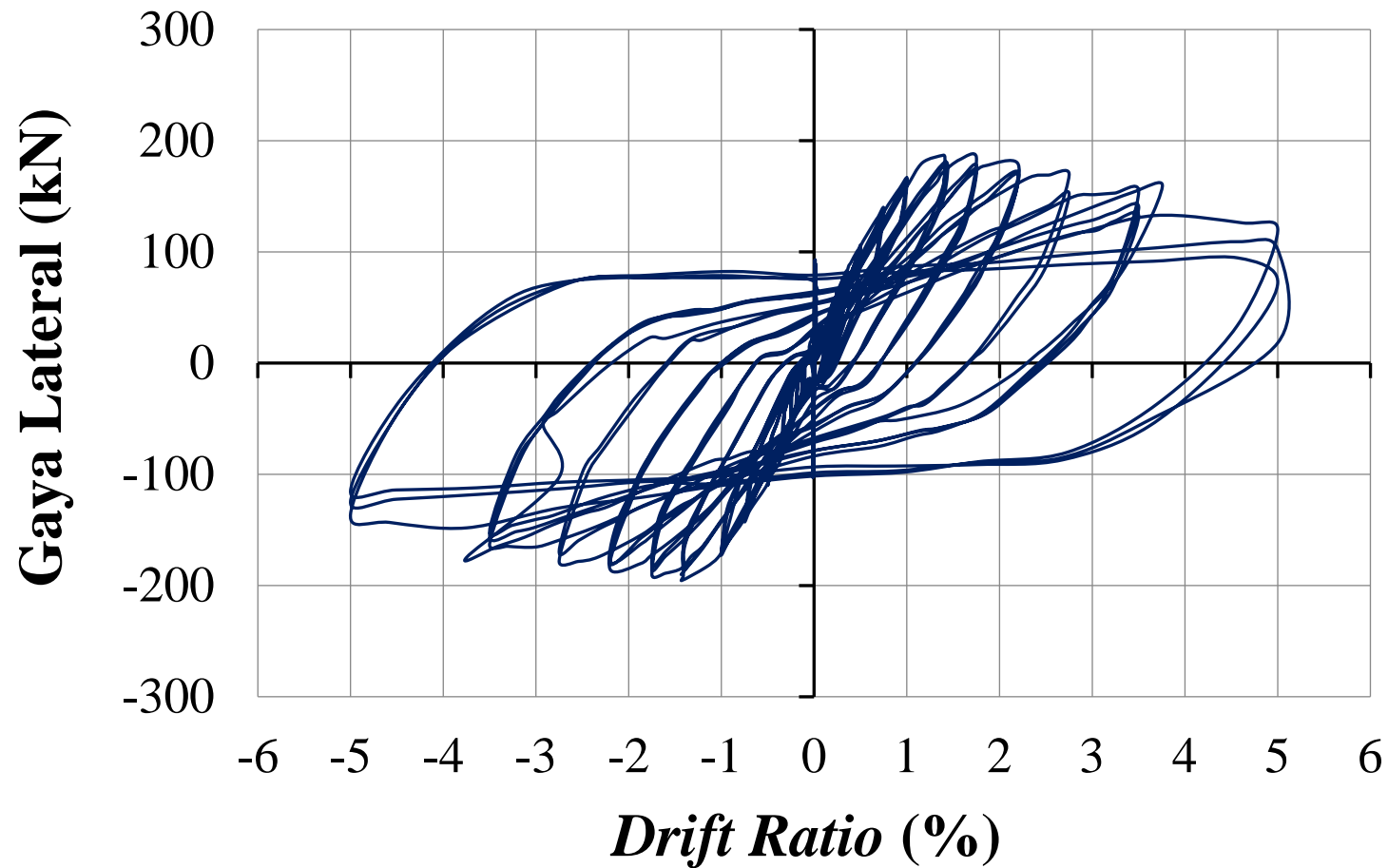


ILMU ALAT PENGABDIAN

Deformasi akibat gempa



Kurva histeretik beban-deformasi akibat beban gempa siklik statik



Kurva histeretik beban-deformasi (ATC-40)

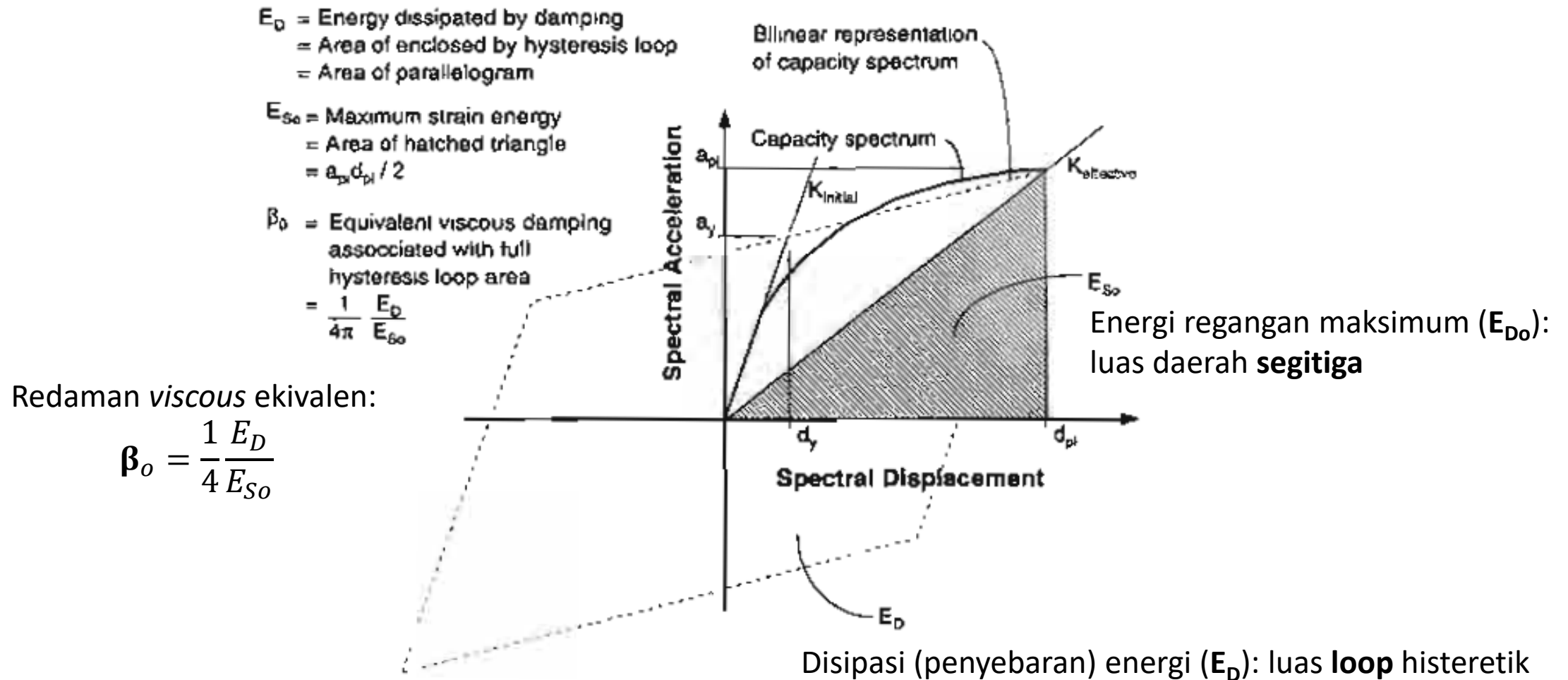
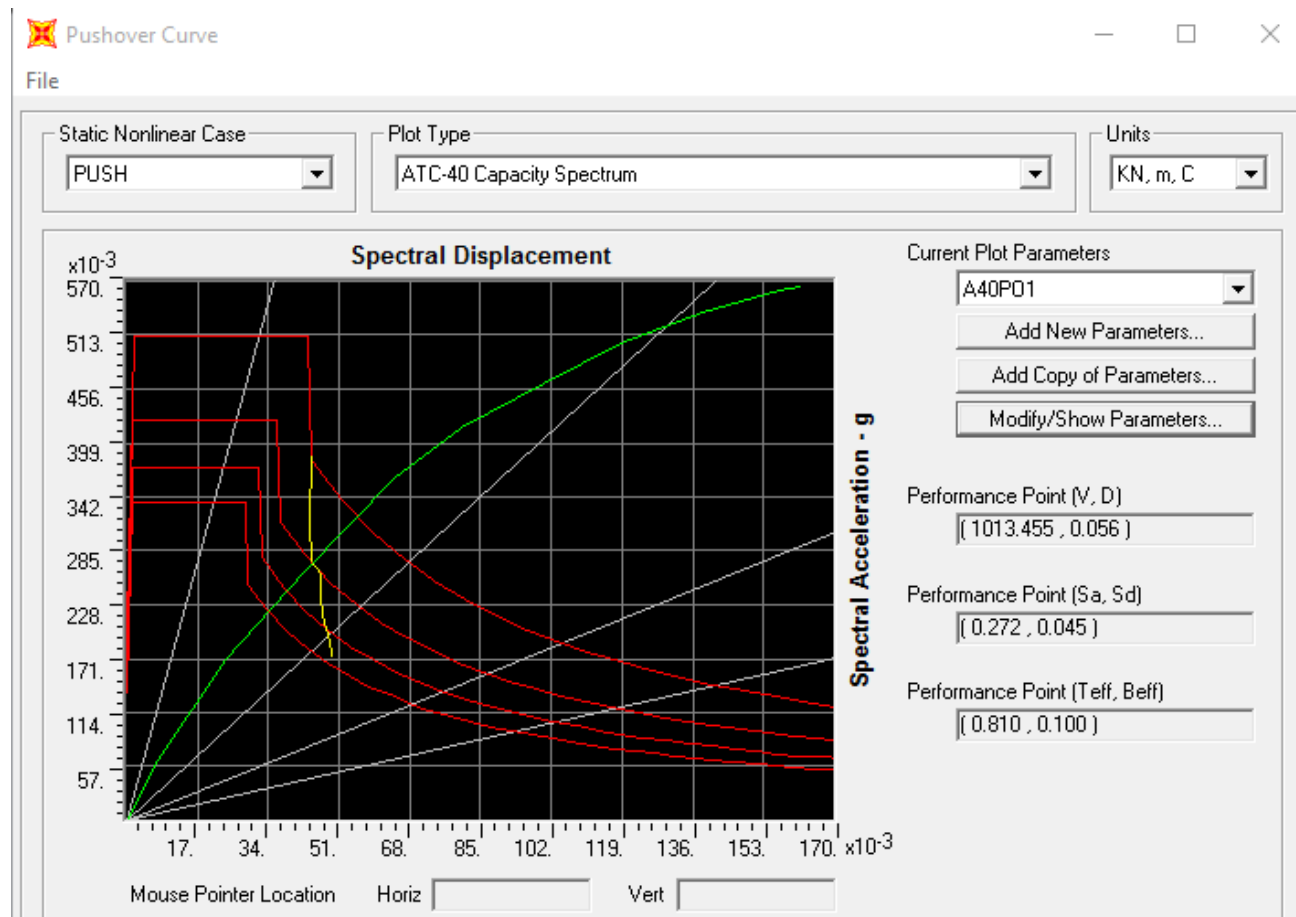


Figure 8-11. Derivation of Damping For Spectral Reduction

Tipe perilaku struktur menurut ATC-40

- Tipe perilaku A: struktur stabil, *reasonably full hysteresis loops* (Figure 8-11). Nilai $\kappa = 1,0$.
- Tipe perilaku B: struktur dengan kestabilan sedang; *moderate reduction of hysteresis loop area*. Nilai $\kappa = 2/3$.
- Tipe perilaku C: struktur tidak stabil; *poor hysteretic behavior with a substantial reduction of loop area (severely pinched)*. Nilai $\kappa = 1/3$.

Input dalam program SAP untuk *Pushover Analysis*: Tipe perilaku struktur A/B/C/User



The screenshot shows the 'Parameters For ATC-40 Capacity Spectrum' dialog box. The 'Pushover Parameters Name' is 'A40P01' and the 'Units' are 'KN, m, C'. The 'Plot Axes' are set to 'Sa - Sd'. The 'Demand Spectrum Definition' is 'Function' with 'Jkt12Keras' selected and 'SF' set to 10. The 'Damping Parameters Definition' is 'Inherent + Additional Damping' with a value of 0.05. The 'Structural Behavior Type' is set to 'B'. The 'Items Visible On Plot' are: 'Show Capacity Curve' (checked, green), 'Show Family of Demand Spectra' (checked, red), 'Show Single Demand Spectrum (ADRS) (Variable Damping)' (checked, yellow), and 'Show Constant Period Lines at' (checked, grey) with values 0.5, 1, 1.5, and 2. The 'Update Plot' button is visible at the bottom.

Klasifikasi situs untuk desain seismik

5.3 Definisi kelas situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari Tabel 3 dan pasal-pasal berikut.

Tabel 3 Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

\bar{v}_s = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas, (lihat 5.4.1)

\bar{N} = tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.2

\bar{N}_{ch} = tahanan penetrasi standar rata-rata tanah non kohesif dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.2

\bar{s}_u = kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas; lihat pasal 5

Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik

Tabel 3 Klasifikasi situs (lanjutan)

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik

5.3.1 Tanah khusus, kelas situs *SF*

Jika salah satu dari kondisi berikut ini terpenuhi, maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai kelas situs *SF*, serta selanjutnya investigasi geoteknik spesifik serta analisis respons spesifik-situs sesuai 6.10.1 harus dilakukan.

1. Tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah;

PENGECEUALIAN Untuk struktur bangunan dengan perioda getar fundamental $\leq 0,5$ detik, analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan dalam menentukan percepatan spektral untuk tanah yang berpotensi likuifaksi. Sebagai gantinya, klasifikasi situs dapat ditentukan sesuai dengan 5.3 dan menggunakan nilai F_a dan F_v yang ditentukan dari Tabel 4 dan 5.

2. Lempung kadar organik tinggi dan/atau gambut, dengan ketebalan, $H > 3$ m;
3. Lempung dengan plastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan, $H > 7,5$ m, dengan indeks plastisitas, $PI > 75$);
4. Lempung lunak/setengah teguh, dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa.



Xinzhuang Dr.'s home rubuh akibat likuifaksi tanah (gempa Chi-chi, Taiwan, 1999)

Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik

5.3.2 Tanah lunak, kelas situs *SE*

Bila suatu situs tidak termasuk kelas situs *SF* dan di dalamnya terdapat ketebalan total lapisan lempung lunak lebih dari 3 m, dan lempung lunak tersebut memiliki kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa, kadar air $w \geq 40$ persen dan indeks plastisitas, $PI > 20$, maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai kelas situs *SE*.

5.3.3 Kelas situs *SC*, *SD* dan *SE*

Penetapan kelas situs *SC*, *SD* dan *SE* harus dilakukan dengan menggunakan sedikitnya hasil pengukuran dua dari tiga parameter \bar{v}_s , \bar{N} , dan \bar{s}_u , yang dihitung sesuai 5.4:

1. \bar{v}_s lapisan 30 m paling atas (metode \bar{v}_s);
2. \bar{N} lapisan 30 m paling atas (metode \bar{N});
3. \bar{N}_{ch} untuk lapisan tanah non-kohefif ($PI < 20$) 30 m paling atas, \bar{s}_u untuk lapisan tanah kohefif ($PI > 20$) 30 m paling atas (metode \bar{s}_u). Bila \bar{N}_{ch} dan \bar{s}_u menghasilkan kriteria yang berbeda, kelas situs harus diberlakukan sesuai dengan kategori tanah yang lebih lunak.

Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik

5.3.4 Kecepatan gelombang geser untuk kelas situs SB

Kecepatan gelombang geser untuk batuan, kelas situs SB, yang dalam ketentuan ini dinyatakan juga sebagai rujukan batuan dasar, harus ditentukan dari pengukuran lapangan atau diestimasi oleh seorang ahli geoteknik atau ahli seismologi yang berkompeten dalam bidangnya, untuk batuan dengan kondisi rekahan (*fracturing*) dan pelapukan sedang. Pengukuran kecepatan gelombang geser di lapangan harus dilakukan untuk batuan yang lebih lunak dengan tingkat rekahan (*fracturing*) atau pelapukan yang lebih lanjut, jika tidak dilakukan pengukuran, maka situs tersebut diklasifikasikan sebagai kelas situs SC.

5.3.5 Kecepatan gelombang geser untuk kelas situs SA

Penetapan situs batuan keras, kelas situs SA, harus didukung dengan pengukuran kecepatan gelombang geser yang dilakukan di lapangan atau pada profil batuan yang bertipe sama pada formasi yang sama dengan derajat pelapukan dan retakan yang setara atau lebih. Bila kondisi batuan keras diketahui menerus sampai kedalaman 30 m, maka pengukuran kecepatan gelombang geser permukaan boleh diekstrapolasi untuk mendapatkan \bar{v}_s .

Koefisien situs

Tabel 4 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

F_a = koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik), lihat 6.2

Koefisien situs

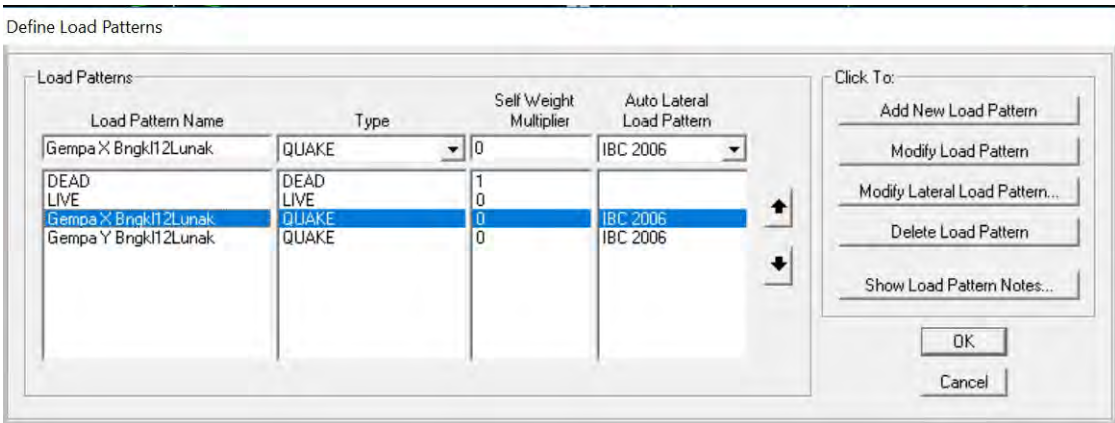
Tabel 5 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 , dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

F_v = koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik); lihat 6.2



Dari pasal 5.3.2-5.3.5 SNI 1726 2012

Tabel 4 dan 5 SNI 1726 2012

$$T_a = C_t(h_n)^x$$

Lihat persamaan (26) SNI 1726:2012 p. 55 dan Tabel 15 p. 56.

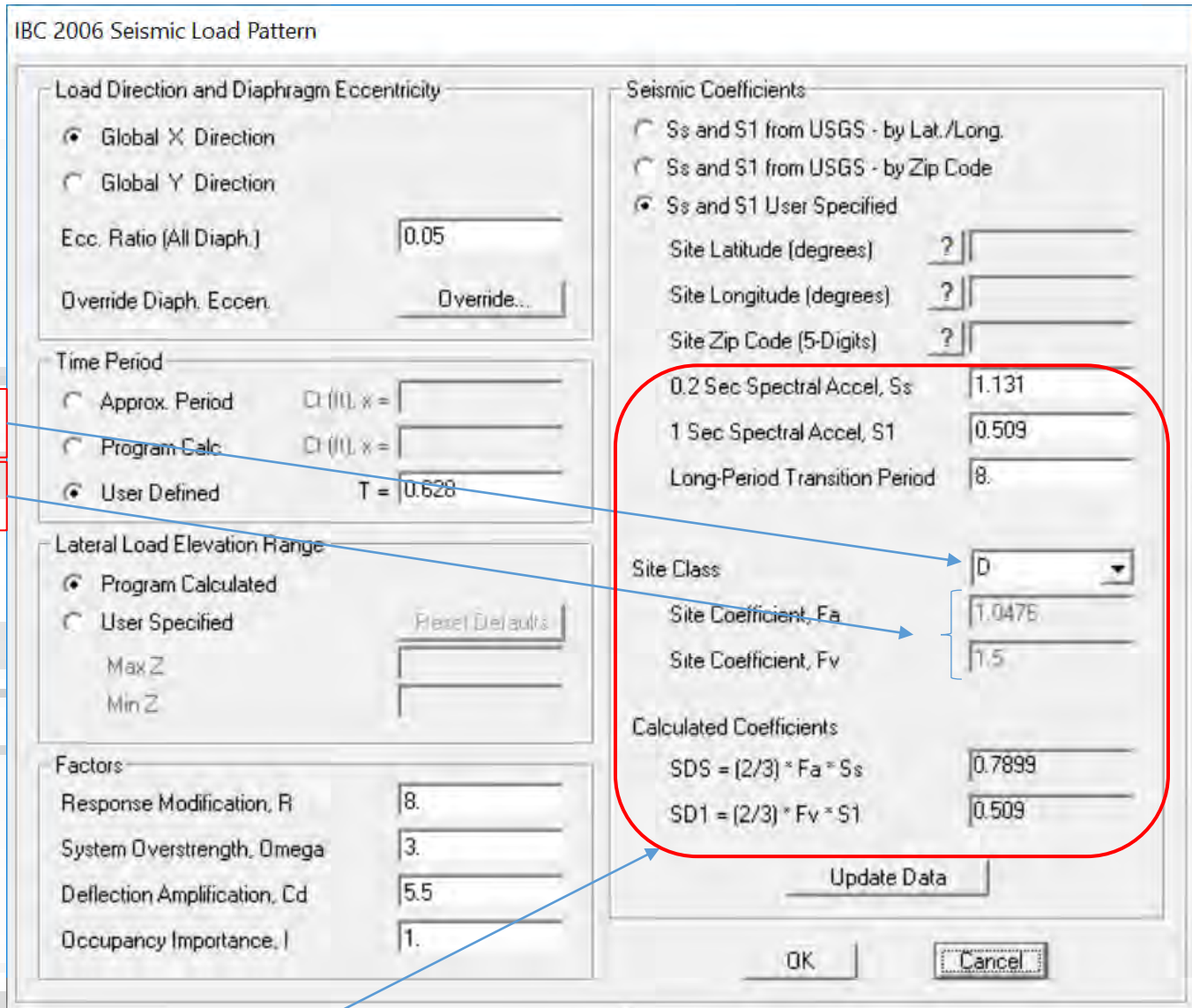
dengan

T_a : periode struktur (detik)

C_t : koefisien

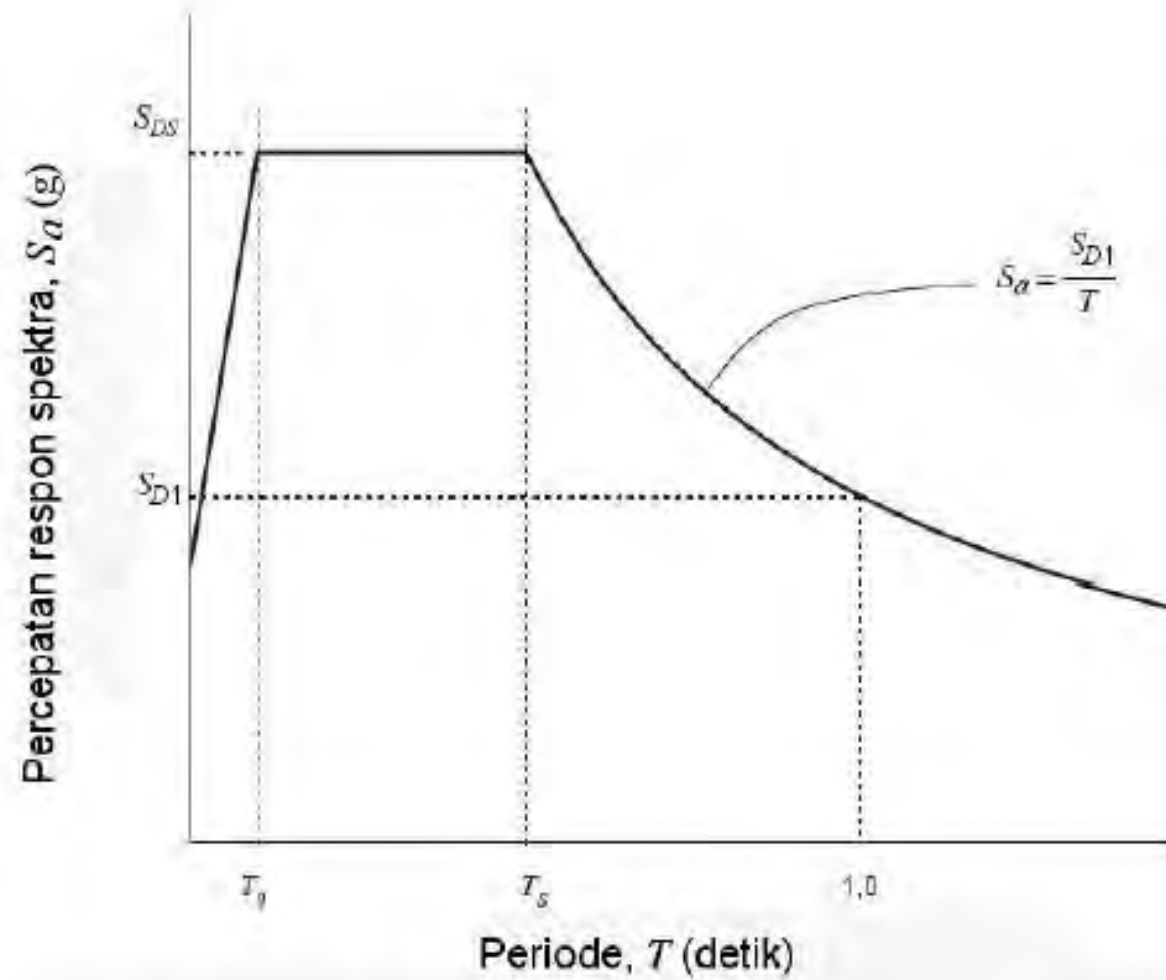
h_n : tinggi total struktur dari taraf penjepitan (meter)

x : koefisien



Nilai S_S , S_1 , S_{DS} , dan S_{D1} dapat diperoleh dari website:
http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_Indonesia_2011/

Contoh data gempa arah X kota Bengkulu, tanah lunak



Gambar 1 - Spektrum respons desain

Kategori resiko

Tabel 6-Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Kategori resiko

Tabel 7-Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Notasi

Percepatan tanah puncak, <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA):	PGA (g)
Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 persen:	S_S (g)
Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen:	S_1 (g)
Nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada perioda pendek:	C_{RS}
Nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada perioda 1 detik:	C_{R1}
Koefisien situs untuk PGA:	F_{PGA}
Koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik):	F_A
Koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik):	F_V
Percepatan spektra puncak, <i>Peak Spectra Acceleration</i> (PSA):	PSA (g)
Parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs:	S_{MS} (g)
Percepatan percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs:	S_{M1} (g)
Parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen:	S_{DS} (g)
Parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen:	S_{D1} (g)
$0,2 S_{D1}/S_{DS}$	T_0 (detik)
S_{D1}/S_{DS}	T_S' (detik)

Perencanaan umum struktur bangunan gedung

7.2.2 Kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda

Sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9.

Perencanaan umum struktur bangunan gedung

Tabel 9-Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggistruktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2½	4	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
6. Dinding geser pracetak biasa	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	1¾	TB	48	TI	TI	TI

Tabel 9-Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (lanjutan)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
10.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11.Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
12.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	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

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, \bar{h}_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 ^f	10 ^f	TI ^f
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2½	4½	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22

Tabel 9-Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (lanjutan)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
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 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	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	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempayang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI ^{h,k}
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI	TI ^{h,1}	TI ^{h,1}
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

CATATAN R mereduksi gaya sampai tingkat kekuatan, bukan tingkat tegangan ijin. ^a

^a Faktor modifikasi respons, R , untuk penggunaan pada keseluruhan tata cara.

^b Faktor pembesaran defleksi, C_d , untuk penggunaan dalam 7.8.6, 7.8.7 dan 7.9.2.

^c TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Dijinkan.

^d Lihat 7.2.5.4 untuk penjelasan sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.

^e Lihat 7.2.5.4 untuk sistem penahan gaya gempa yang dibatas sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

^f Rangka pemikul momen biasa diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti rangka pemikul momen menengah untuk kategori desain seismik B atau C.

^g Harga tabel faktor kuat-lebih, Ω_0 , diijinkan untuk direduksi dengan mengurangi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 2,0 untuk segala struktur, kecuali untuk sistim kolom kantilever.

^h Lihat 7.2.5.6 dan 7.2.5.7 untuk struktur yang dikenai kategori desain seismik D atau E.

ⁱ Lihat 7.2.5.6 dan 7.2.5.7 untuk struktur yang dikenai kategori desain seismik F.

^j Rangka baja dengan bresing konsentris biasa baja diijinkan pada bangunan satu tingkat sampai ketinggian 18 m di mana beban mati atap tidak melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$ dan pada struktur griya tawang.

^k Penambahan ketinggian sampai 13,7 m diijinkan untuk fasilitas gudang penyimpanan satu tingkat.

^l Dinding geser didefinisikan sebagai dinding struktural.

^m Definisi "Dinding Struktural Khusus", termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat.

ⁿ Definisi "Rangka Momen Khusus", termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat.

^o Secara berurutan, efek beban gempa dengan kuat lebih E_{mh} , diijinkan berdasarkan perkiraan kekuatan yang ditentukan sesuai dengan tata cara yang berlaku.

^p Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan harus dibatasi untuk bangunan dengan tinggi satu lantai sesuai dengan tata cara yang berlaku.

R: koefisien modifikasi respons

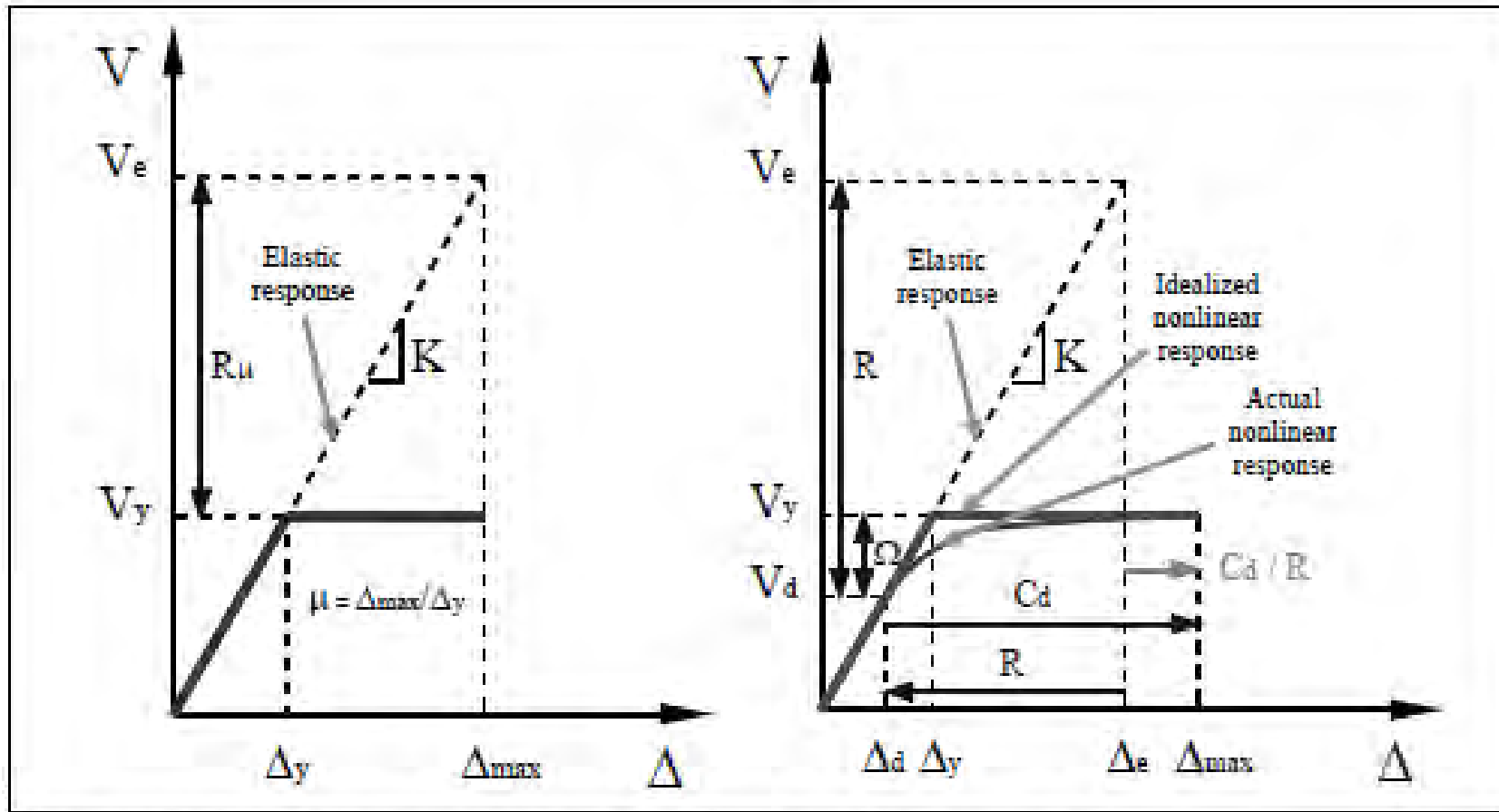


Figure 1. Structural response: (a) idealised, (b) overall

Prosedur cek ΣM_n kolom $\geq 1,2 \Sigma M_n$ balok

- Hitung gaya tekan aksial *ultimate* kolom yang terbesar
- Buat diagram $\phi_2 P_n - \phi_2 M_n$ kolom (manual/dengan program SAP)
- Aplikasikan nilai N_u pada diagram sebagai $\phi_2 P_n$, maka nilai M_n diperoleh
- Hitung ΣM_n balok yang terbesar (rangka 3 dimensi). Jika balok bertulangan ganda, gunakan persamaan untuk menghitung momen nominal balok tulangan ganda.
- Cek dengan persamaan: apakah ΣM_n kolom $\geq 1,2 \Sigma M_n$ balok

Referensi

- American Society of Civil Engineers (ASCE) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), (1997): *FEMA 273 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA, Washington, D.C.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2000): *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA, Washington, D.C.
- Applied Technology Council (ATC), (1996): *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, ATC, Sacramento, CA.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2012): *SNI 1726-2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia.
- 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.