

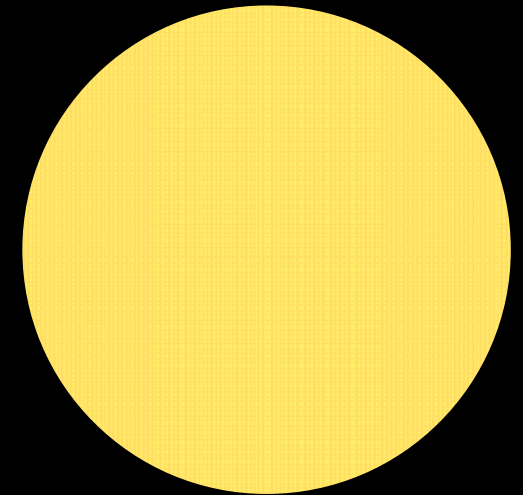


# Prinsip Desain Bangunan Tinggi Di Wilayah dengan Resiko Gempa Tinggi

BY PROFESSOR ISWANDI IMRAN DAN M. RIYANSYAH, PHD.

DEPT. TEKNIK SIPIL – ITB 2016

# Tantangan Konstruksi Masa Kini



# Tantangan Konstruksi Masa Kini (Bangunan Tinggi)

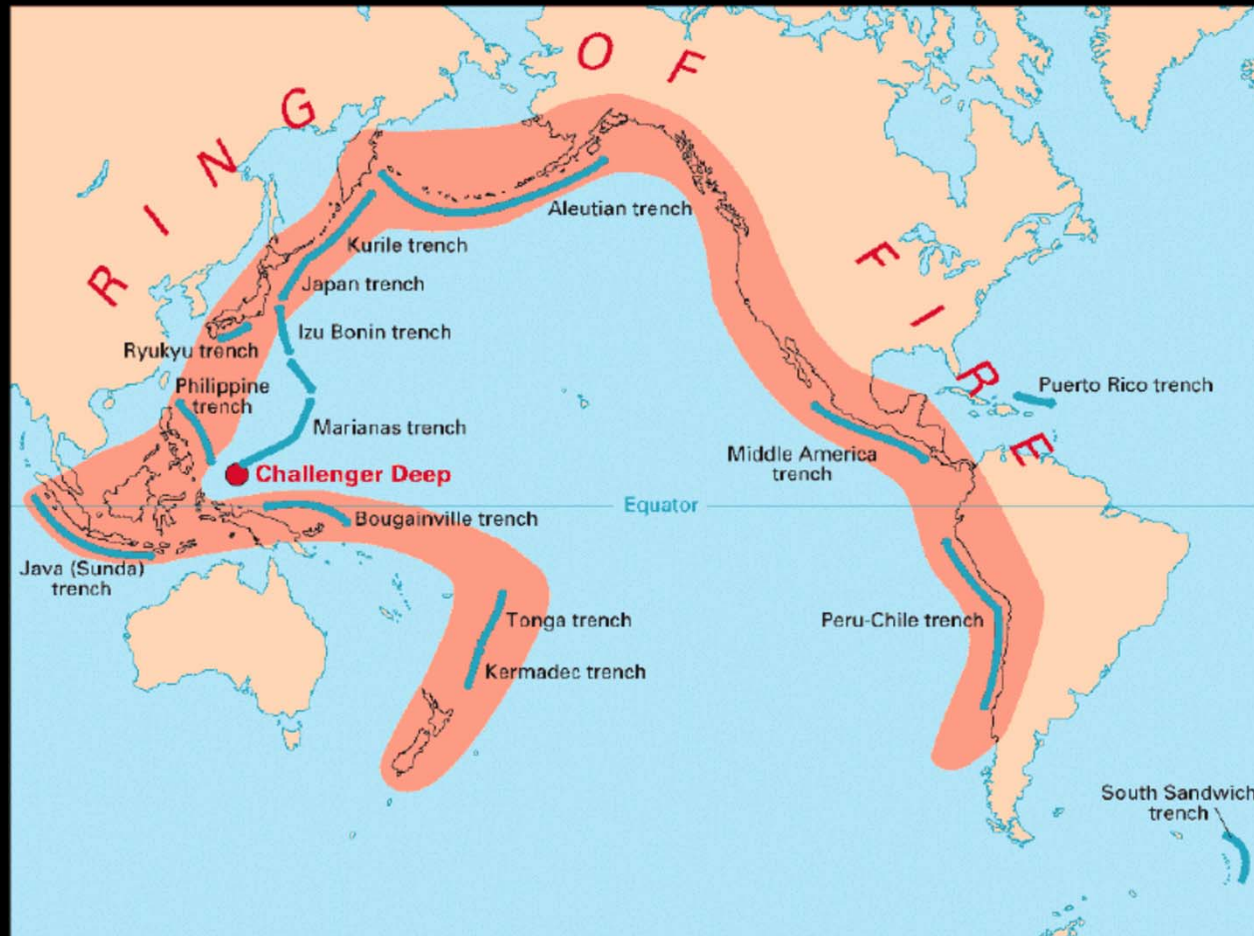
- Lingkungan yang agresif → angin dll
- Kondisi lapangan yang relatif sulit
- Beban yang lebih ekstrim
- Sistem dan perilaku struktur yang tidak sederhana (khususnya thd gempa)
- Umur rencana yang lebih panjang

# Persyaratan Material Konstruksi



- Memiliki rasio kuat terhadap berat yang tinggi
- Memiliki sifat mekanik yang baik
- Kemudahan untuk dilaksanakan
- Memiliki durabilitas yang tinggi
- Memenuhi prinsip sustainability

# Ring of Fire (Salah Satu Konsideran)



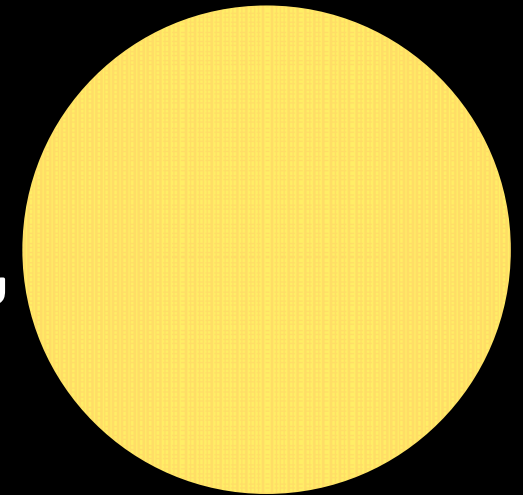
# Objective Utama dalam Perencanaan Struktur Tinggi

## Melindungi Jiwa Manusia

Elevasi lantai dan atap bangunan harus dapat dipertahankan saat terkena gempa kuat → perlu kekuatan, kekakuan dan detailing

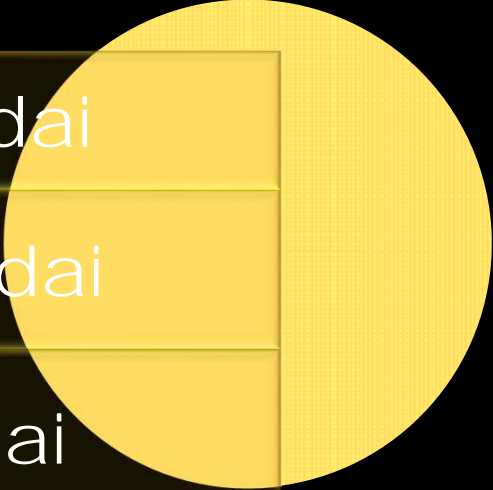
## Melindungi Investasi

Kerusakan non-struktural akibat gempa haruslah seminimum mungkin




# Persyaratan Sistem Struktur



- Memiliki kekuatan yang memadai
  - Memiliki kekakuan yang memadai
  - Memiliki daktilitas yang memadai
- 

# Strategi Desain terhadap Gempa Kuat



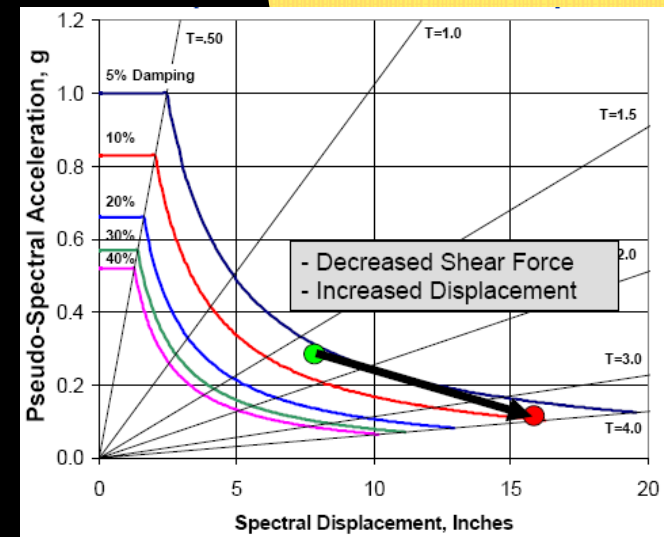
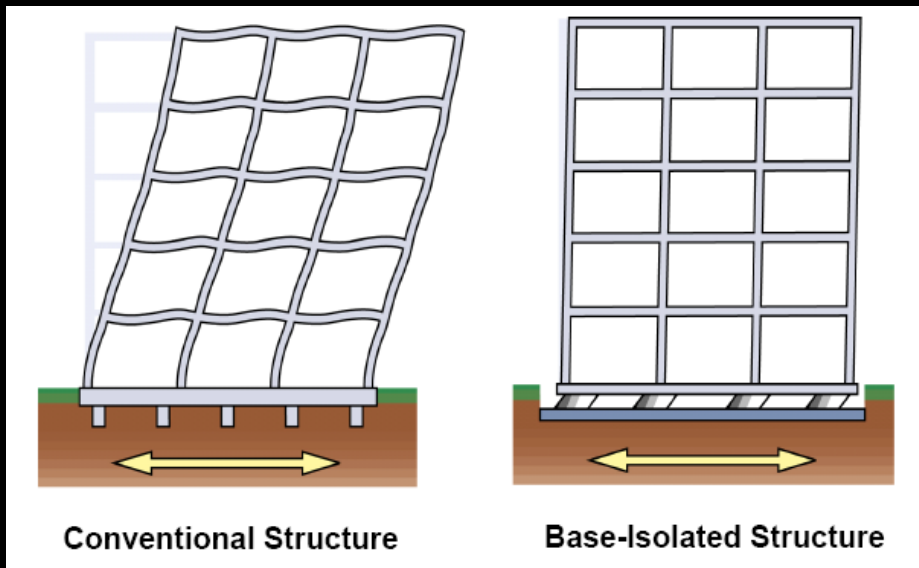
- ▶ Isolasi struktur/bangunan dari gerakan tanah
  - ▶ Menggunakan sistem pendisipasi energi getaran
  - ▶ Mengijinkan perilaku inelastik
- 



# Strategi Desain terhadap Gempa Kuat

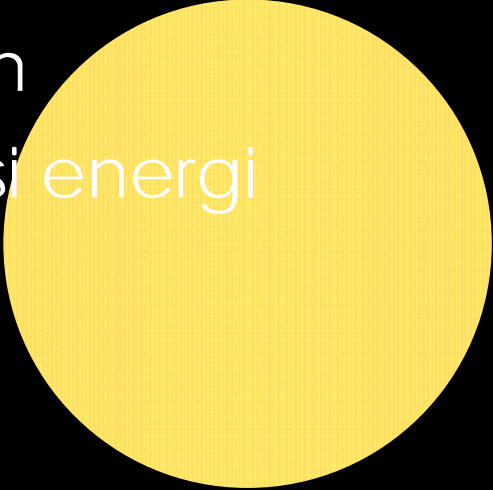
- ▶ Isolasi struktur/bangunan dari gerakan tanah → menggunakan base isolation
- ▶ Menggunakan sistem pendisipasi energi getaran
- ▶ Mengijinkan perilaku inelastik

# Perilaku Struktur dengan Base Isolation System



# Strategi Desain terhadap Gempa Kuat

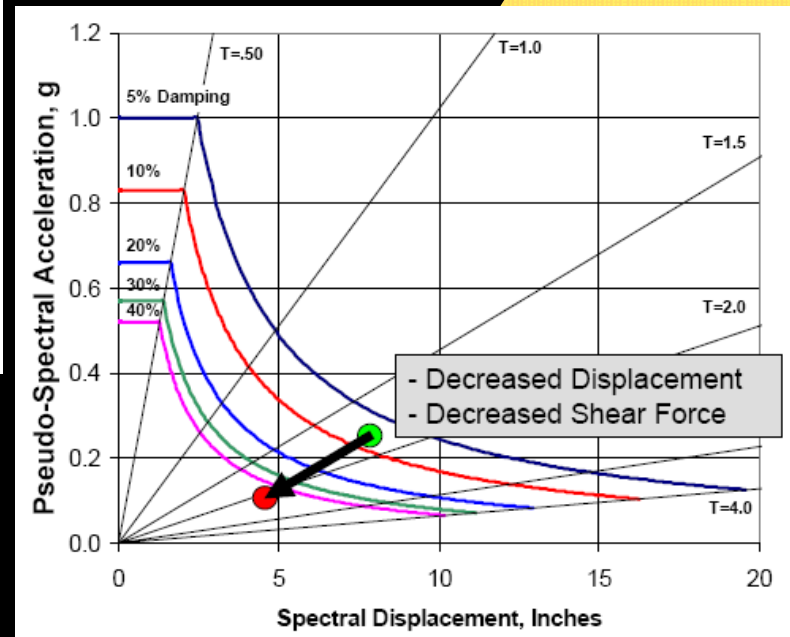
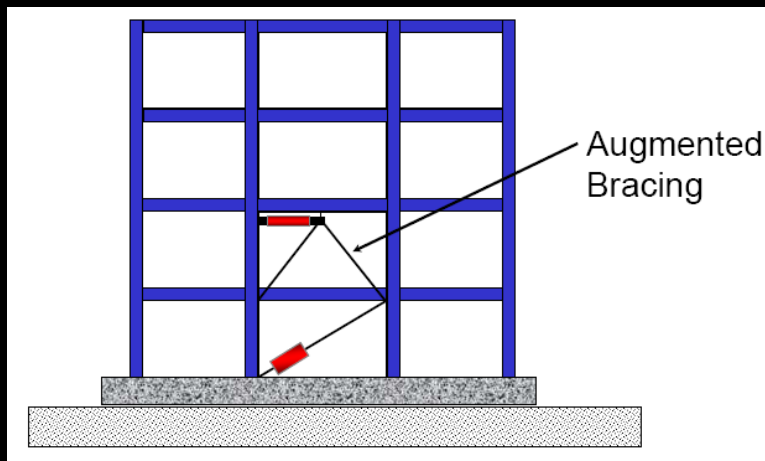


- ▶ Isolasi struktur dari gerakan tanah
  - ▶ Menggunakan sistem pendisipasi energi getaran
  - ▶ Mengijinkan perilaku inelastik
- 

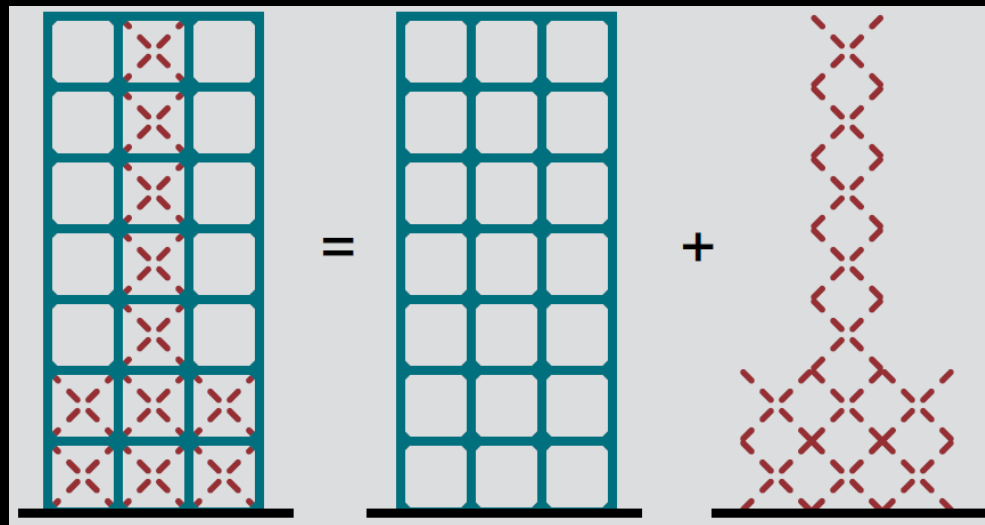
# Strategi Desain terhadap Gempa Kuat

- ▶ Isolasi struktur dari gerakan tanah
- ▶ Menggunakan sistem pendisipasi energi getaran → passive energy dissipation
- ▶ Mengijinkan perilaku inelastik

# Pengaruh Penambahan Damper



# Perilaku Struktur dengan Tambahan Damper



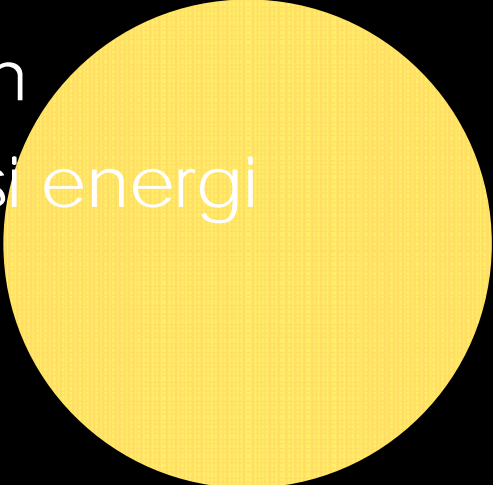
Response (damage)  
controlled structure

= Primary frame  
(remain undamaged)

+ Dampers  
(concentrate plastic  
deformation and  
diffuse input-energy)

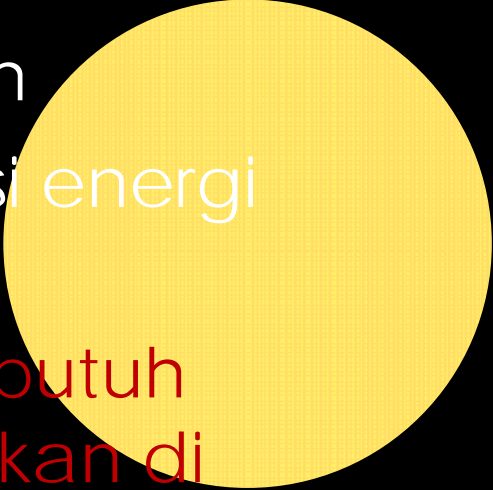
# Strategi Desain terhadap Gempa Kuat



- ▶ Isolasi struktur dari gerakan tanah
  - ▶ Menggunakan sistem pendisipasi energi getaran
  - ▶ Mengijinkan perilaku inelastik
- 

# Strategi Desain terhadap Gempa Kuat



- ▶ Isolasi struktur dari gerakan tanah
  - ▶ Menggunakan sistem pendisipasi energi getaran
  - ▶ Mengijinkan perilaku inelastik → butuh daktilitas (lebih dominan diterapkan di Indonesia)
- 



# Perilaku Inelastik Struktur akibat Gempa Kuat

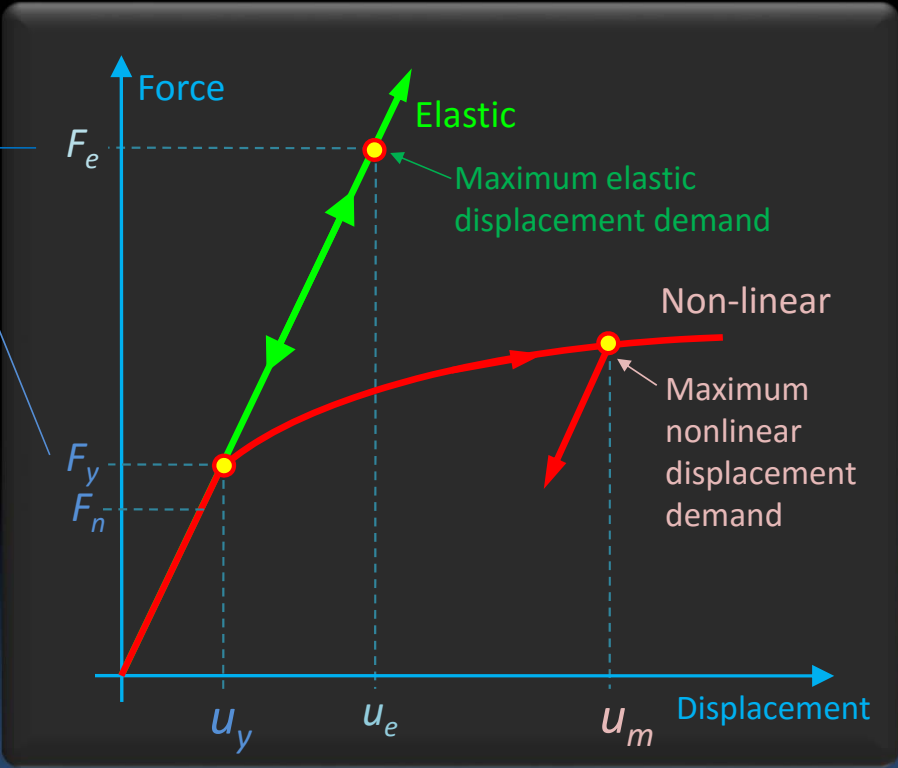
Maximum elastic force demand

Yield strength

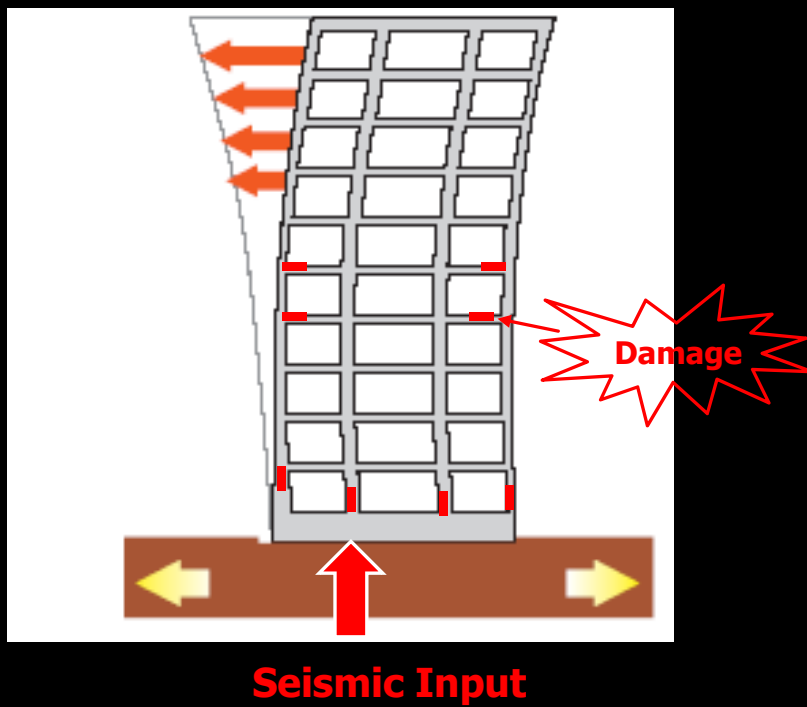
In several seismic codes, reduced earthquake force is defined through parameter  $R$ :

$$F_n = \frac{F_e}{R}$$

$$R = 3 \text{ to } 8$$



# Metoda Konvensional → Perilaku Inelastik



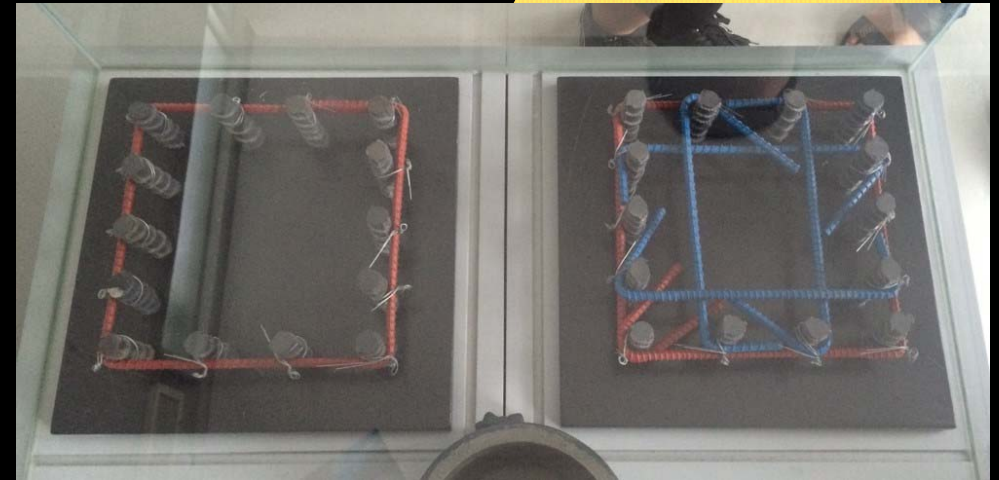
Sistem Konvensional



Contoh Kerusakan yang Dapat Terjadi

Agar bangunan tidak runtuh → perlu daktilitas

# Perbandingan Detailing



# Definisi Sistem Struktur Bangunan

- ▶ Struktur bangunan dapat direncanakan hanya untuk menahan **beban vertikal (gravitasi) saja** atau **menahan beban gempa (SPG) saja** atau **dua-duanya**.
- ▶ Dalam menahan beban gravitasi dan beban angin, struktur biasanya didesain elastik
- ▶ Dalam menahan beban gempa, struktur boleh didesain berperilaku inelastik terhadap beban gempa

# Elemen Kunci untuk Perencanaan Struktur Penahan Gempa (SPG)

---

Kuat Lateral Perlu → Gaya Desain

SNI 1726-2012:

*Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan **Gedung dan Non-Gedung***

SNI ini mengacu pada ASCE 7-2010

Detailing untuk Daktilitas Struktur

SNI 2847-13 Pasal 21 → mengacu pada ACI 318-11  
Ch 21 (*str beton*)

SNI 7860-2015 → mengacu pada AISC Seismic  
Provision (*str baja*)

# Parameter Utama dalam Perencanaan Struktur Penahan Gempa (SPG)

## 1. Rasio Strength/Weight

Base Shear Strength Coeff.

## 2. Rasio Stiffness/Mass

Period

## 3. Pembatasan Drift

Measure of toughness

# Persyaratan Sistem SPG pada Wilayah dengan Resiko Gempa Tinggi

- Harus memiliki daktilitas yang memadai → tidak semua sistem struktur boleh digunakan
- Ketinggian untuk beberapa sistem struktur dibatasi 50 meter
- Hanya ada dua sistem struktur yang diijinkan SNI dengan ketinggian melebihi 50 m, yaitu: sistem rangka penahan momen khusus dan sistem ganda khusus.

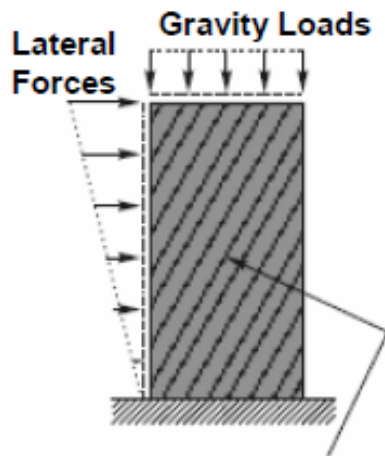
# Sistem Struktur Penahan Gempa untuk Bangunan Tinggi

- A. Sistem dinding penumpu
- B. Sistem rangka bangunan gedung
- C. Sistem rangka penahan momen (SRPM)
- D. Sistem ganda dengan daktilitas penuh
- E. Sistem ganda dengan daktilitas menengah
- F. Sistem interaksi dinding biasa dan SRPM Biasa
- G. Sistem kolom kantilever
- H. Sistem struktur baja yang tidak didetail khusus untuk menahan gempa



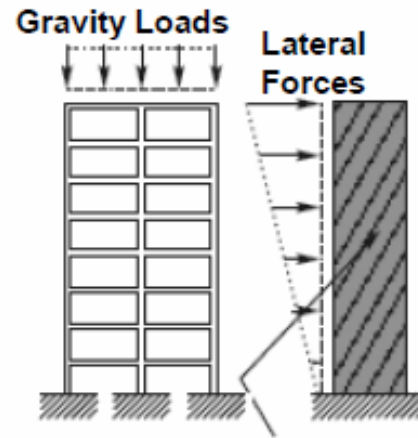
# Nomenklatur System SPG

**Bearing Wall System**



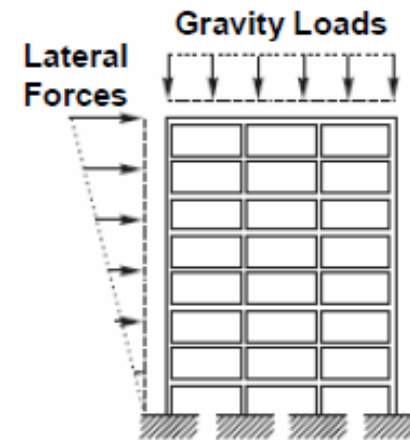
**Stiff Resisting Elements...**  
**Shearwalls or Braced Frames**

**Building Frame System**



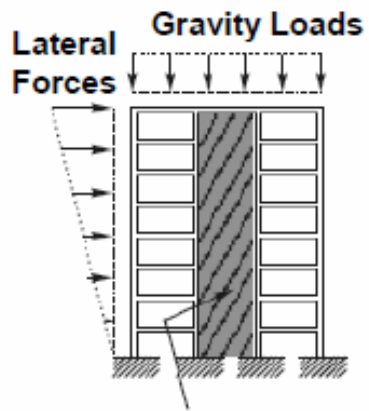
**Stiff Resisting Elements...**  
**Shearwalls or Braced Frames**

**Moment-Resisting Frame System**



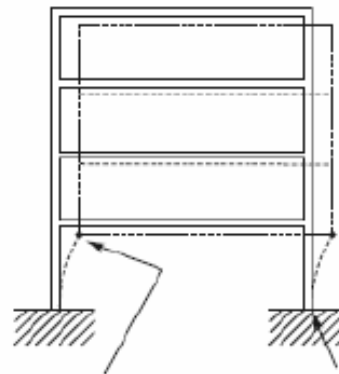
# Nomenklatur System SPG

**Dual System**



Stiff Resisting Elements...  
Shearwalls or Braced  
Frames (See Section  
1629.6.5 for requirements)

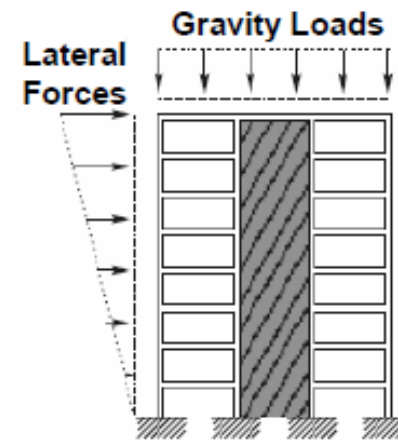
**Cantilevered Column  
Building System**



Zero Moment  
Restraint

Fixed  
Base

**Shear Wall-Frame  
Interaction System**



Concrete only

# Batasan Sistem Struktur untuk Flat-Plate/ Flat-Slab pada Wilayah dengan Resiko Gempa Tinggi

Berdasarkan SNI 2847-2013, detailing sistem struktur Flat-Plate dan Flat-Slab maksimum hanya bisa menghasilkan sistem struktur dengan daktilitas menengah. Oleh karena itu, pada wilayah dengan resiko gempa tinggi, sistem ini:

- ❑ Tidak diijinkan digunakan sebagai Sistem Tunggal (Berfungsi sebagai penahan beban gravitasi dan juga gempa)
- ❑ Diijinkan sebagai bagian dari Sistem Rangka Bangunan yang terdiri atas sistem yang kaku seperti dinding geser daktil (sebagai penahan gempa) + sistem Flat-Plate/Slab (sebagai penahan gravitasi) → dengan batasan ketinggian maks 50 m.
- ❑ Diijinkan sebagai bagian dari Sistem Ganda (Rangka berdaktilitas Menengah + Dinding Daktil), dua-duanya menahan baik gravitasi maupun gempa → dengan batasan ketinggian maks 50 m

# **Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur Bangunan**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Avoid Un-Favorable Site

## Earthquake effect

- Fault rupture
- Tsunami
- Landslide
- Liquefaction
- **Ground shaking**



## Strategy

Avoid



Avoid



Avoid



Avoid/resist



**Resist**

# Fault-rupture





# Liquefaction



# Seismic Amplification due to Soft Soil



# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ Select a suitable site with favorable soil conditions
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ Use a simple structural layout with minimum torsional effects
- ❑ Avoid strength and stiffness taper along the height
- ❑ Avoid soft storeys
- ❑ Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls
- ❑ Isolate non-structural elements



# Avoid Using Unnecessary Mass



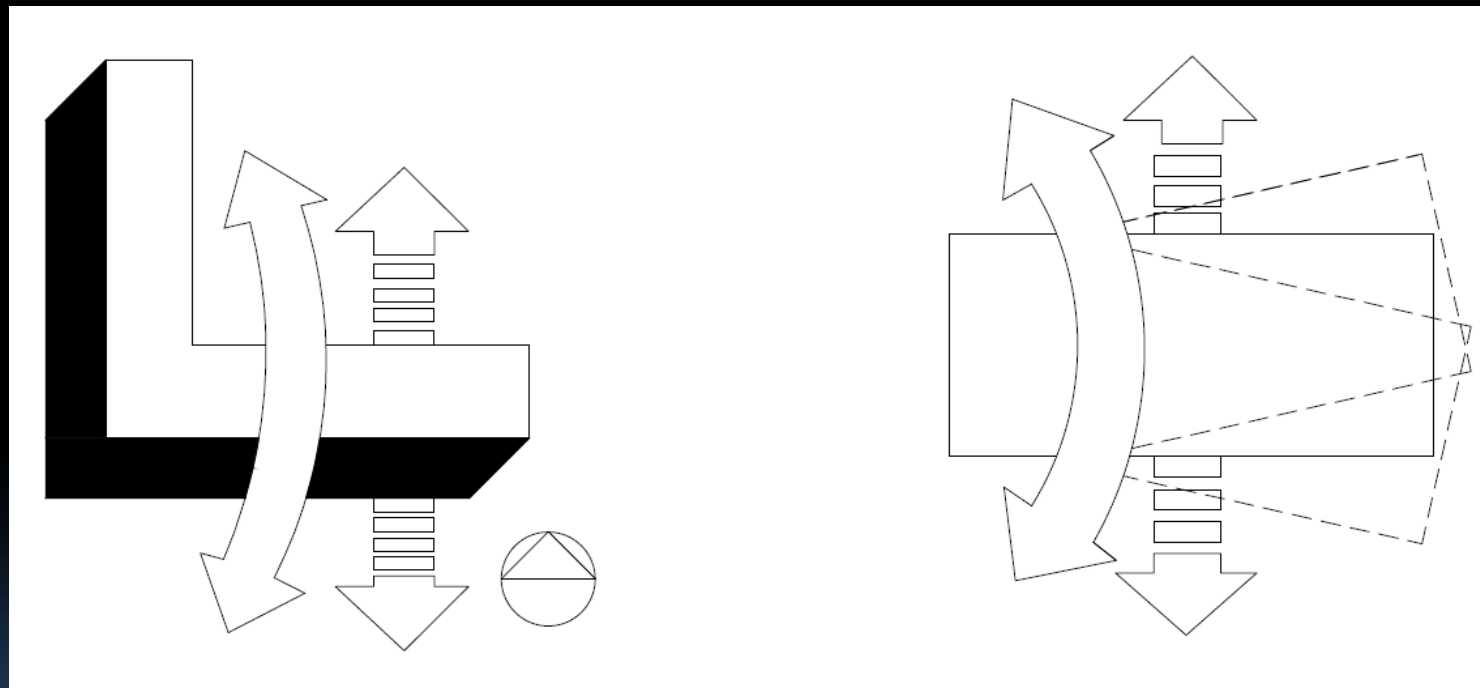
# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ Select a suitable site with favorable soil conditions
- ❑ Avoid using unnecessary mass
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ Avoid strength and stiffness taper along the height
- ❑ Avoid soft storeys
- ❑ Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls
- ❑ Isolate non-structural elements

# Effect of Torsion





## Effect of Torsion



# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ Select a suitable site with favorable soil conditions
- ❑ Avoid using unnecessary mass
- ❑ Use a simple structural layout with minimum torsional effects
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ Avoid soft storeys
- ❑ Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls
- ❑ Isolate non-structural elements

# Avoid Stiffness Taper along the Height



## Effect of Vertical Discontinuity



# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ Select a suitable site with favorable soil conditions
- ❑ Avoid using unnecessary mass
- ❑ Use a simple structural layout with minimum torsional effects
- ❑ Avoid strength and stiffness taper along the height
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls
- ❑ Isolate non-structural elements



## Effect of Soft Storey





# Effect of Soft Storey



# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ Select a suitable site with favorable soil conditions
- ❑ Avoid using unnecessary mass
- ❑ Use a simple structural layout with minimum torsional effects
- ❑ Avoid strength and stiffness taper along the height
- ❑ Avoid soft storeys
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ Isolate non-structural elements

# Buildings Stiffened by Structural Walls



# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ **Select a suitable site with favorable soil conditions**
- ❑ **Avoid using unnecessary mass**
- ❑ **Use a simple structural layout with minimum torsional effects**
- ❑ **Avoid strength and stiffness taper along the height**
- ❑ **Avoid soft storeys**
- ❑ **Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls**
- ❑ **Isolate non-structural elements**

# Reduksi Gaya Gempa yang Diterima Struktur

- ❑ Select a suitable site with favorable soil conditions
- ❑ Avoid using unnecessary mass
- ❑ Use a simple structural layout with minimum torsional effects
- ❑ Avoid strength and stiffness taper along the height
- ❑ Avoid soft storeys
- ❑ Provide sufficient lateral bracing and drift control by using concrete structural walls
- ❑ **Isolate non-structural elements**



# Short Column Effect



# Penutup

- Sistem konstruksi terus berkembang → jumlah tingkat semakin tinggi
- Membutuhkan material dengan sifat khusus
- Membutuhkan sistem struktur khusus, khususnya di daerah dengan resiko gempa tinggi



TERIMAKASIH

