

Pengaruh Pembaharuan Peta Gempa Indonesia terhadap Level Kinerja Gedung dan Infrastruktur



Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, PhD

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

 priyo@ce.its.ac.id

01

PENDAHULUAN

Rujukan perencanaan berdasarkan peraturan SNI

02

UPDATE SNI GEMPA

Perubahan percepatan puncak di batuan dasar dan spektrum

03

CONTOH KASUS DAN EVALUASI

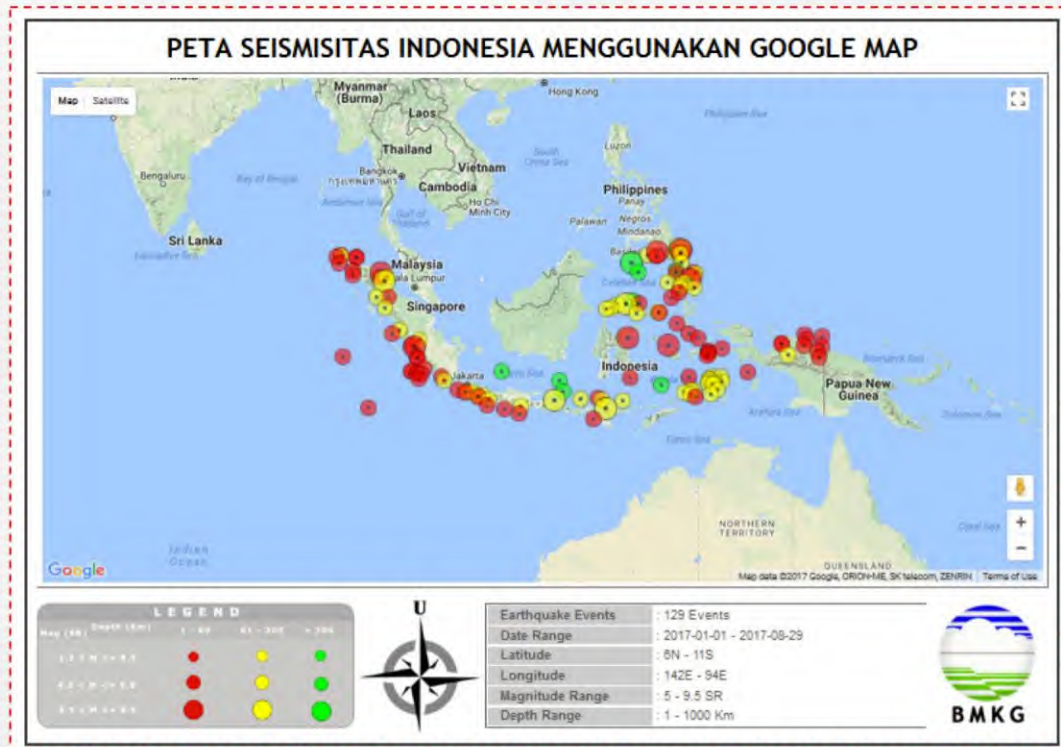
Analisa struktur LRT di Surabaya mengacu pada peta gempa Indonesia lama dan baru

04

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil yang diperoleh beserta rekomendasi perkuatan struktur (jika diperlukan)

RIWAYAT GEMPA DI INDONESIA



Berdasarkan data BMKG-2017 sejak Januari hingga Agustus 2017, tercatat bahwa gempa bumi telah terjadi **129 kali** di wilayah Indonesia dengan magnitude di atas **5 SR**.



Gempa terakhir di Jawa Timur tercatat terjadi di Pacitan. 27 Agustus 2017 Pukul 07.02.20 WIB dengan besaran **5.6 SR** (*sumber: BMKG*)

Dalam konsep perencanaan struktur bangunan gedung dan jembatan tahan gempa, desain spesifikasi yang dijadikan acuan adalah peraturan yang dirumuskan oleh Badan Standardisasi Nasional yaitu:

01

SNI 1726:2012 “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*”

02

SNI 2833:2013 “*Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa*”



Sejak ditetapkannya peta gempa Indonesia pada tahun 2010 (tertuang dalam SNI 2833:2013), gempa bumi tercatat telah terjadi sebanyak **33.866 kali** di wilayah Indonesia (*BMKG, 2011- Agustus 2017*). Oleh karena itu, diperlukan pembaharuan peta gempa dengan tujuan peningkatan integritas struktur dalam upaya menahan gaya gempa yang juga berujung pada keselamatan jiwa manusia.

PERUBAHAN KONTUR PETA GEMPA SURABAYA (JEMBATAN)

PETA GEMPA 2010

(terlampai 7 persen dalam 75 tahun)



PGA

PETA GEMPA 2017

(terlampai 7 persen dalam 75 tahun)



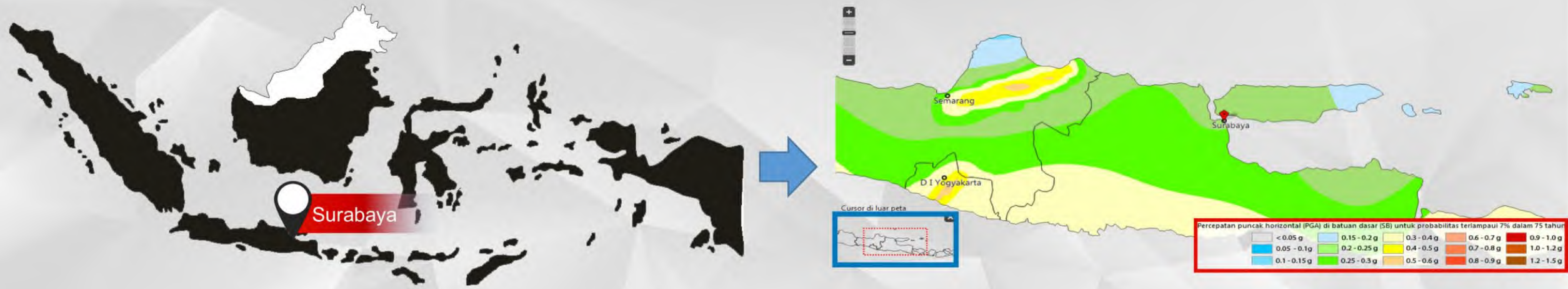
S_s



S₁



PERUBAHAN PARAMETER PERCEPATAN GEMPA (JEMBATAN)



Nilai **PGA**, **S_s** dan **S₁** ditentukan berdasarkan warna kontur peta dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (periode ulang 1000 tahun)

SNI 2833-2013

PGA = 0.25 g
S_s = 0.50 g
S₁ = 0.25 g

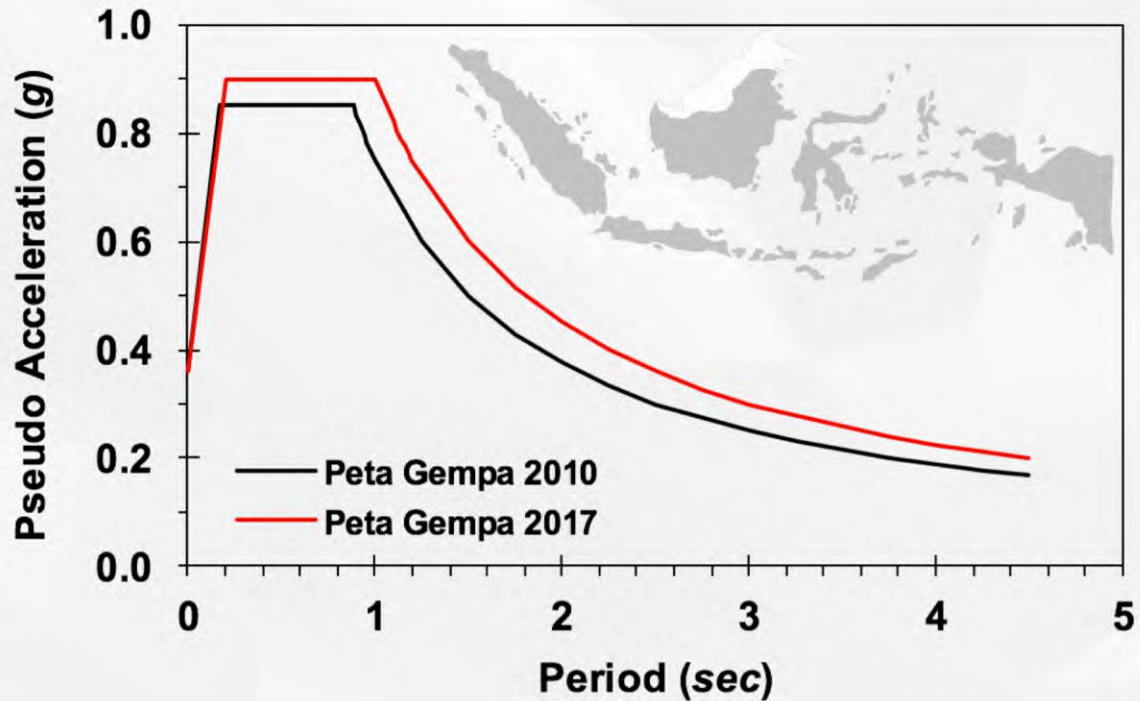
UPDATE

Peta Gempa Baru

PGA = 0.30 g
S_s = 0.60 g
S₁ = 0.30 g

” Pengaruh perubahan peta gempa akan berimplikasi pada perubahan nilai **PGA**, **S_s**, dan **S₁**. Perubahan nilai tersebut akan mengakibatkan pula modifikasi grafik respons spektrum yang umumnya digunakan sebagai beban gempa dalam analisis linear dinamis.

MODIFIKASI RESPONS SPEKTRUM (JEMBATAN)



Respons Spektrum 2010

$$a_{\text{maks}} = 0.85 \text{ g}$$
$$T = 0.18 - 0.88\text{s}$$

UPDATE

Respons Spektrum 2017

$$a_{\text{maks}} = 0.90 \text{ g}$$
$$T = 0.20 - 1.00\text{s}$$

Grafik respons spektrum diperoleh dengan memasukkan parameter **PGA**, **S_s**, dan **S₁** ke dalam perumusan yang ditetapkan oleh SNI

01

Perubahan nilai respons spektrum akan mempengaruhi level kinerja struktur dalam mengakomodasi beban gempa yang bekerja

02

Berdasarkan perubahan tersebut, maka struktur yang akan didesain maupun telah dibangun harus dievaluasi kembali sesuai SNI

PERUBAHAN KONTUR PETA GEMPA SURABAYA (GEDUNG)

PETA GEMPA 2010

(terlampai 2 persen dalam 50 tahun)



S_s

PETA GEMPA 2017

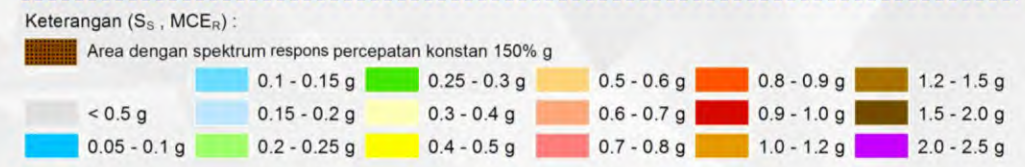
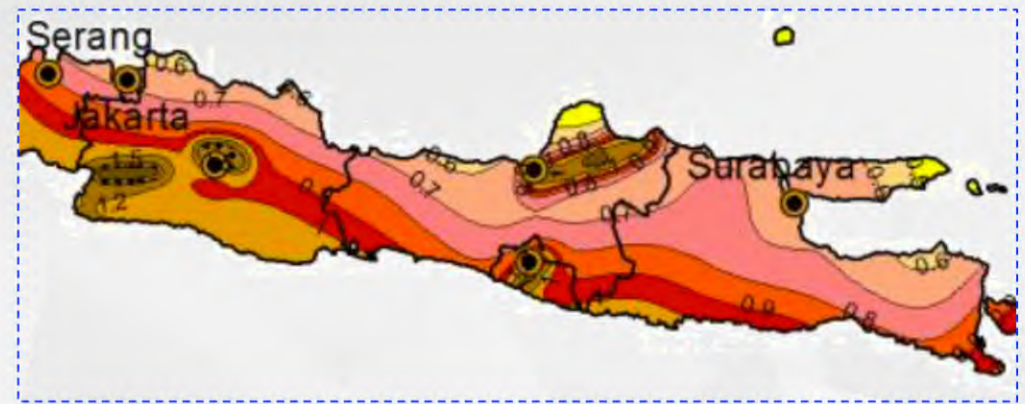
(terlampai 2 persen dalam 50 tahun)



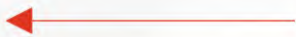
S₁



PERUBAHAN PARAMETER PERCEPATAN GEMPA (GEDUNG)



Nilai S_s dan S_1 ditentukan berdasarkan warna kontur peta dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2500 tahun)



SNI 1726:2012

S_s	= 0.70 g
S_1	= 0.25 g

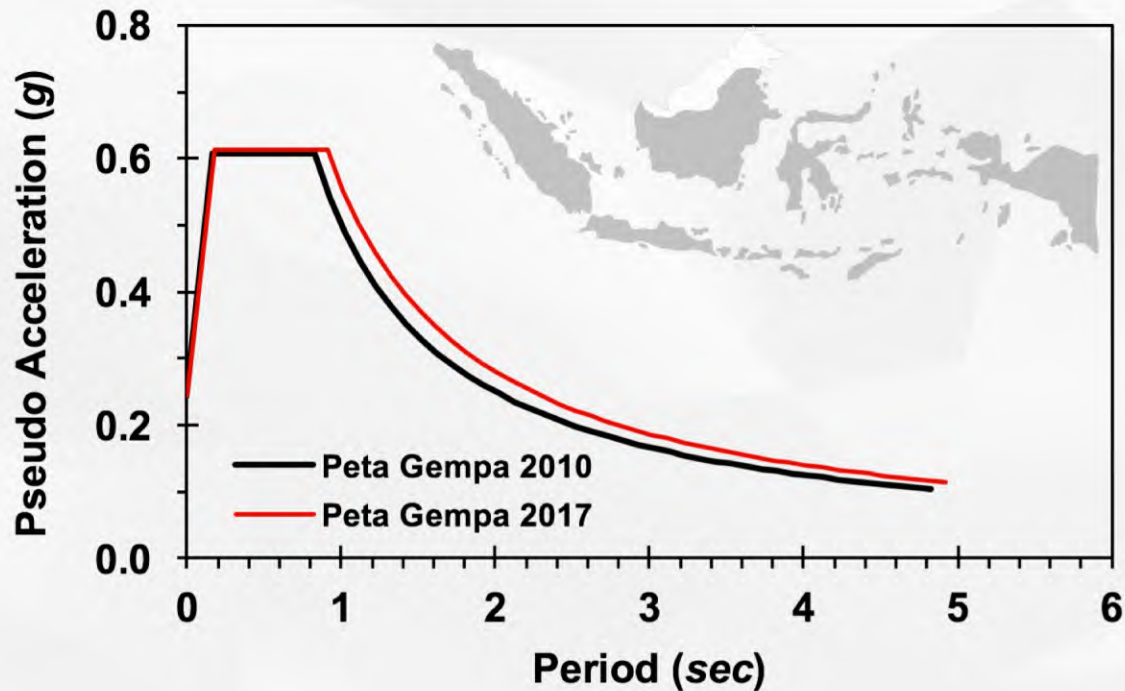
UPDATE

Peta Gempa Baru

S_s	= 0.90 g
S_1	= 0.30 g



Pengaruh perubahan peta gempa akan berimplikasi pada perubahan nilai S_s , dan S_1 . Perubahan nilai tersebut akan mengakibatkan pula modifikasi grafik respons spektrum yang umumnya digunakan sebagai beban gempa dalam analisis linear dinamis.



Respons Spektrum 2010

$$a_{maks} = 0.607 g$$
$$T = 0.17 - 0.83s$$

UPDATE

Respons Spektrum 2017

$$a_{maks} = 0.612 g$$
$$T = 0.18 - 0.92s$$

Grafik respons spektrum diperoleh dengan memasukkan parameter S_s dan S_1 ke dalam perumusan yang ditetapkan oleh SNI

01

Perubahan nilai respons spektrum akan mempengaruhi level kinerja struktur dalam mengakomodasi beban gempa yang bekerja

02

Berdasarkan perubahan tersebut, maka struktur yang akan didesain maupun telah dibangun harus dievaluasi kembali sesuai SNI

Pengaruh dari perubahan peta gempa akan mempengaruhi kondisi struktur antara lain:

01



Jika struktur masih dalam tahap desain → **Respons Spektrum** gempa diperbaharui

02



Jika struktur berada dalam tahap pelaksanaan konstruksi, maka:

- Evaluasi ulang dilakukan meliputi **analisis kekuatan terhadap beban layan dan ultimit**.
- Jika memungkinkan **perubahan desain dapat dilakukan**. Jika tidak memungkinkan, **maka perkuatan tambahan diperlukan**.

03



Jika struktur telah dibangun, maka:

- Dilakukan evaluasi ulang dengan **metode linear dinamis (respons spektrum)** sesuai dengan peraturan terbaru
- Dilakukan evaluasi ulang dengan **metode nonlinear time history analysis**
- Dilakukan evaluasi level kinerja struktur dengan **metode pushover (performance based desgin)**, di mana level kinerja struktur harus berada pada kategori **IO – LS**
- Diberikan **perkuatan tambahan** jika struktur tidak kuat menerima beban.

CONTOH KASUS 1

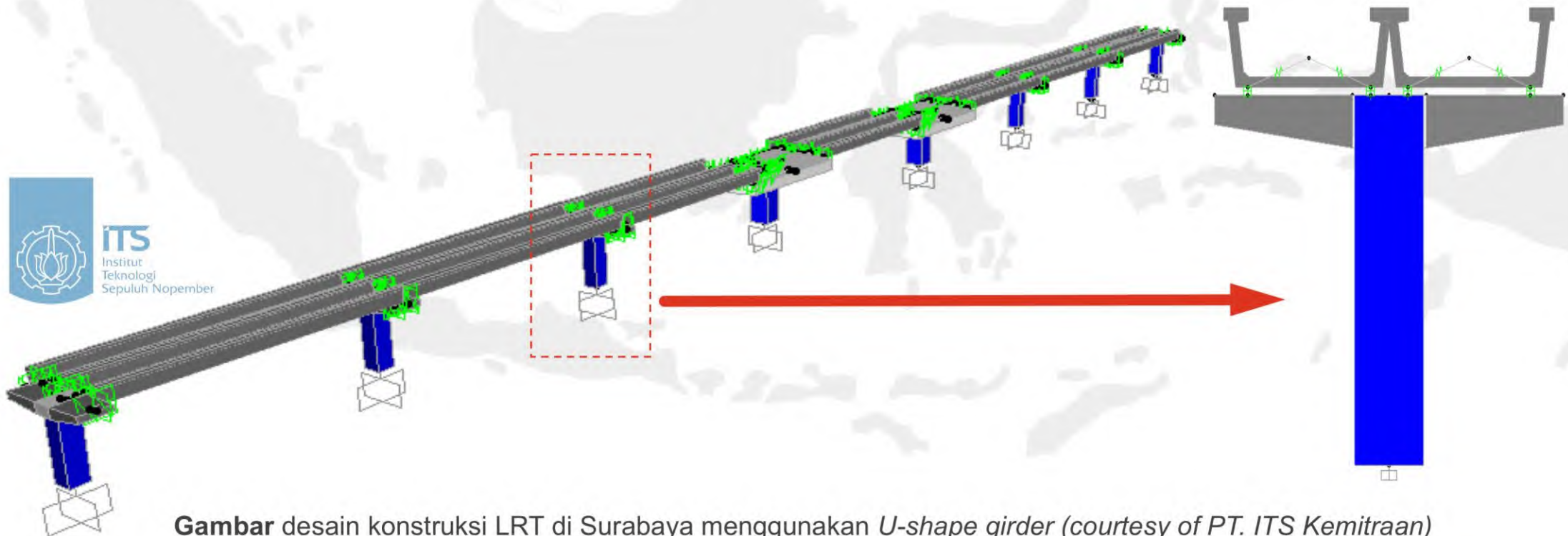
“Sebuah struktur *Light Rail Transit* (LRT) di Surabaya telah didesain menggunakan peta gempa berdasarkan SNI 2833:2013. Pembangunan telah dilaksanakan. Seiring dengan adanya perubahan peta gempa baru, pilar LRT harus dievaluasi ulang untuk mengetahui kemampuannya dalam menahan perubahan gaya gempa. Jenis tanah adalah **SE**, dan probabilitas gempa terlampaui 7% dalam 75 tahun”



Gambar tipikal desain konstruksi LRT di Surabaya (courtesy of PT. Adhi Karya Persero Tbk.)

EVALUASI 1 – RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS

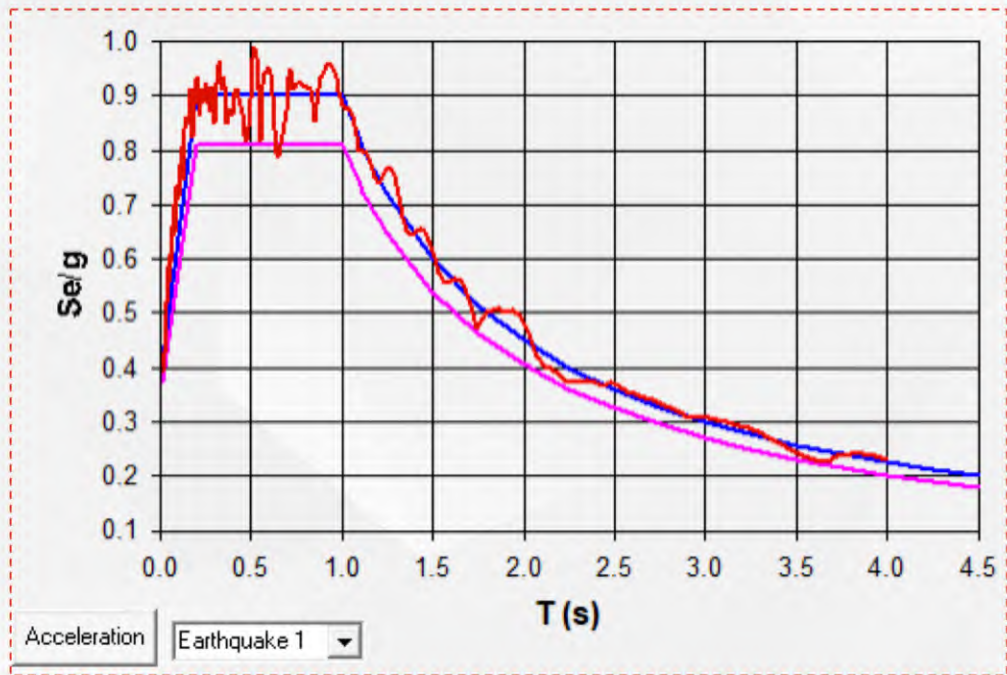
Evaluasi ini dilakukan untuk menghitung besarnya perubahan gaya akibat perubahan peta gempa. Semua gaya-gaya pada elemen struktur diperiksa kembali apakah masih memenuhi *safety factor* dan deformasi ijin yang direncanakan. Dalam kasus LRT ini, elemen struktur yang dievaluasi adalah: **GIRDER – PIER HEAD – PIER – PILECAP – PILE** beserta Tulangan PHT (*Pile Head Treatment*)



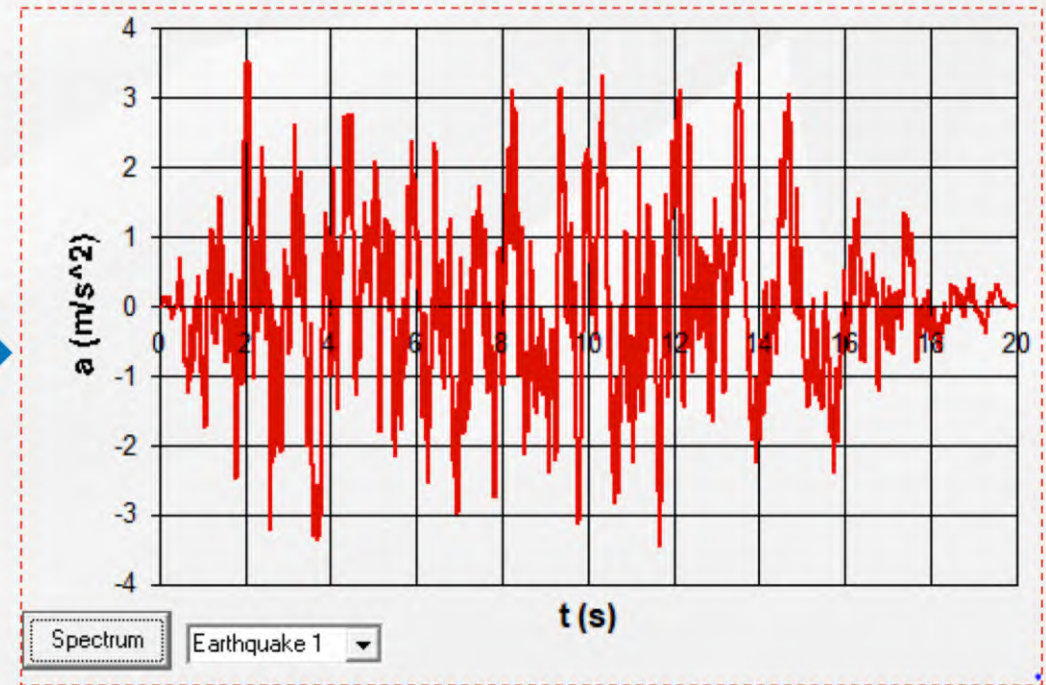
Gambar desain konstruksi LRT di Surabaya menggunakan *U-shape girder* (courtesy of PT. ITS Kemitraan)

EVALUASI 2 – TIME HISTORY ANALYSIS

Alternatif lain adalah evaluasi non linier menggunakan *time history*. Grafik fungsi *artificial time history* digenerate dari respons spektrum yang ada menggunakan software **SIMQKE**. Penggunaan software ini memungkinkan untuk *scaling* nilai percepatan gempa yang disesuaikan dengan *peak acceleration* dari respons spektrum rencana. Untuk metode analisisnya, faktor modifikasi respons yang digunakan adalah $R = 1$.



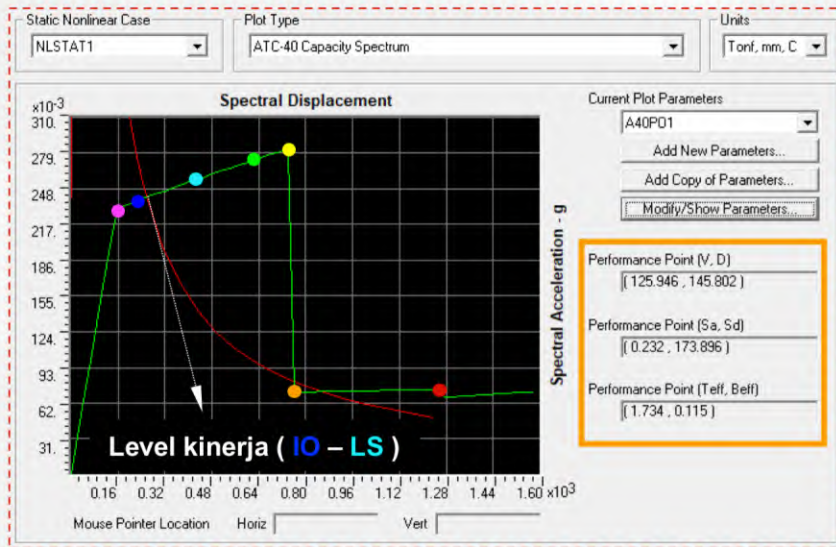
Gambar scaling artificial time history



Gambar grafik fungsi time history yang telah diskalakan

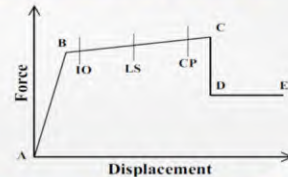
EVALUASI 3 – ANALISIS PUSHOVER (LRT)

Analisis *pushover* merupakan *nonlinear static analysis* yang dilakukan untuk mengetahui level kinerja struktur. Hasil evaluasi metode *pushover* akan memberikan lokasi di mana sendi plastis pertama kali terjadi sampai dengan kondisi di mana struktur sudah mengalami kegagalan. Level kinerja struktur dianalisis dengan mengacu pada ATC-40, di mana kondisi struktur diperlihatkan melalui perpotongan garis *demand* gempa dengan kurva Base Shear versus Displacement.



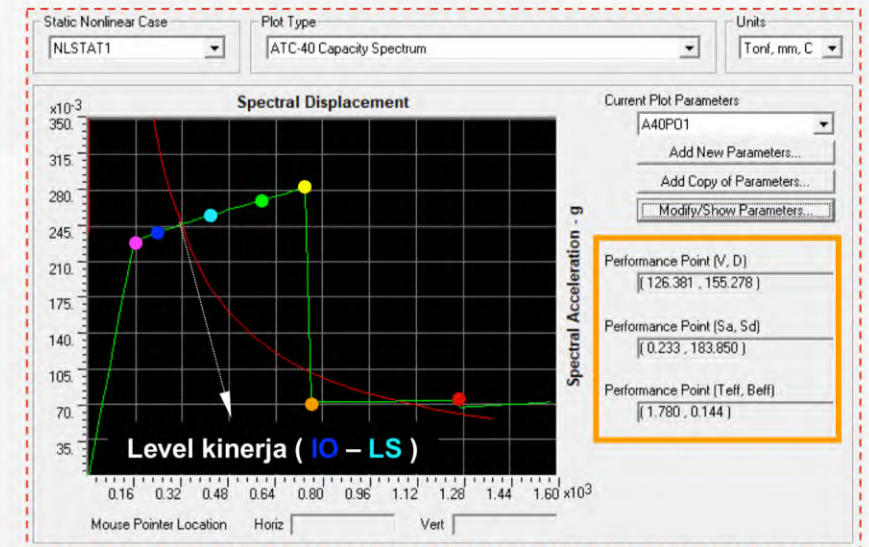
Capacity Spectrum (Peta Gempa 2010)

Performance level



Keterangan:

- A : Origin Point
- B : Yield Point
- IO : Intermediate Occupancy
- LS : Life Safety
- CP : Collapse Prevention
- C : Ultimate Strength
- D : Residual Strength
- E : Failure Point



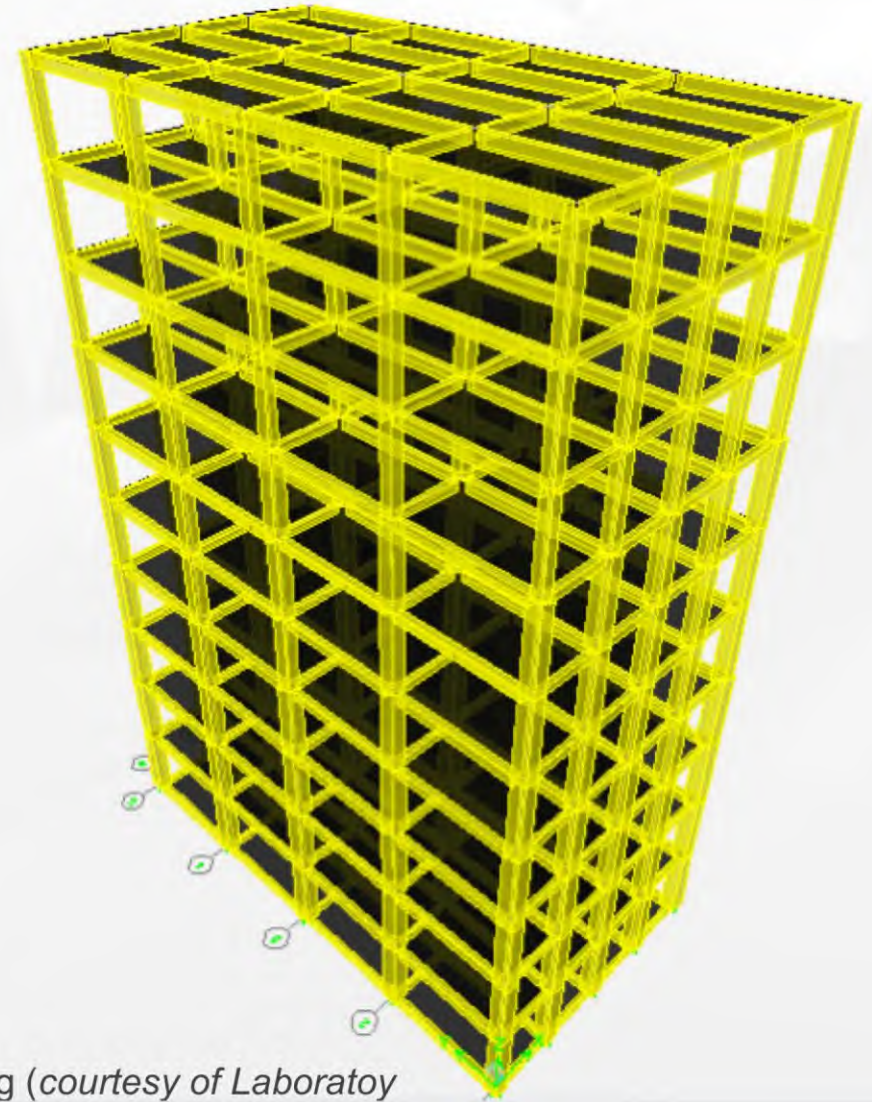
Capacity Spectrum (Peta Gempa 2017)



Berdasarkan gambar di atas, terlihat adanya perubahan nilai *base shear* dan *displacement* akibat perubahan nilai respons spektrum. Di samping itu, pergeseran titik level kinerja struktur juga terjadi dengan deviasi berkisar **10%**. Meskipun demikian, level kinerja struktur masih dalam batas **IO - LS**.

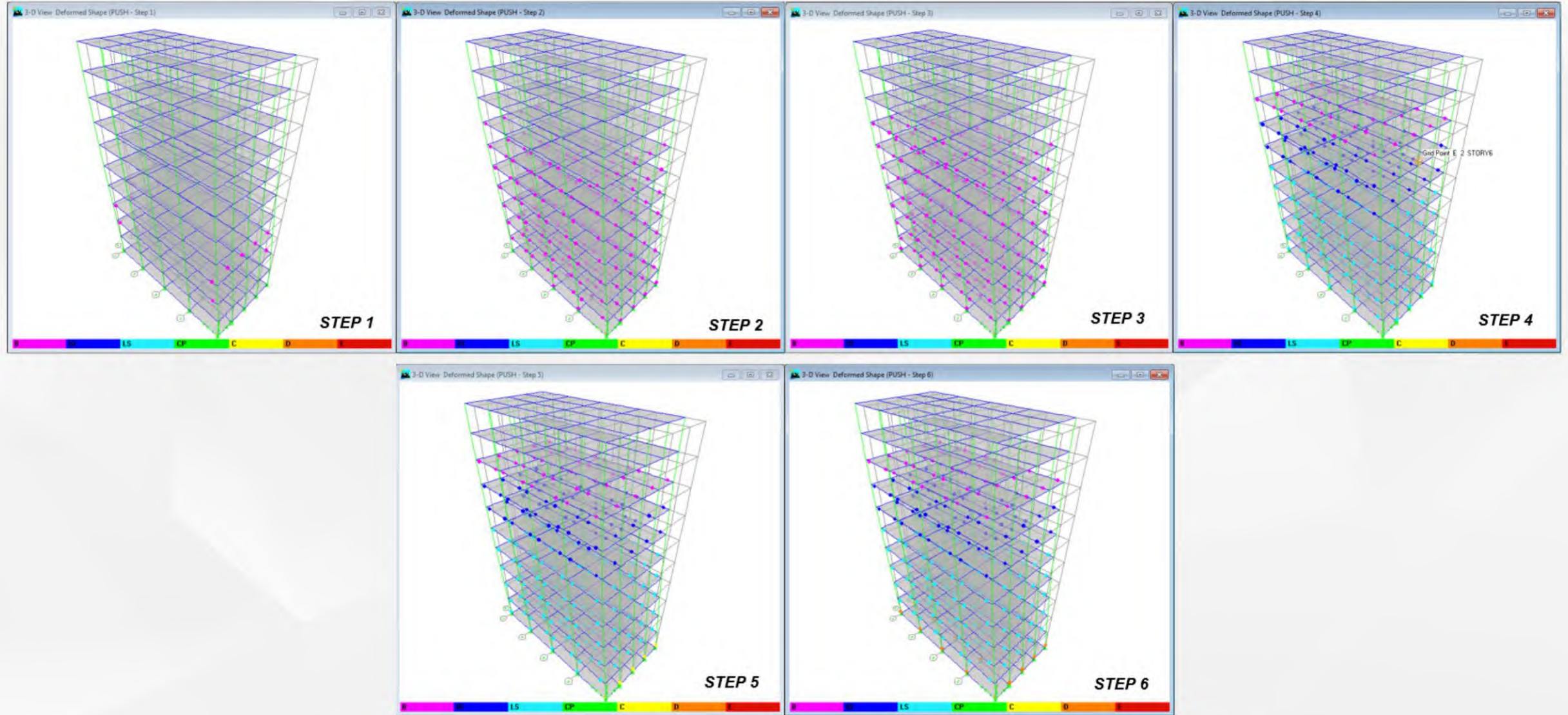
CONTOH KASUS 2

“Sebuah bangunan gedung didesain menggunakan konsep *moment resisting frame* dengan mengacu pada peta gempa berdasarkan SNI 1726:2012. Pembangunan telah dilaksanakan, namun seiring dengan adanya pembaharuan peta gempa baru, level kinerja struktur harus ditinjau kembali untuk mengetahui kemampuan strukturnya. Jenis tanah adalah **SE**, dan probabilitas gempa terlampaui 2% dalam 50 tahun”

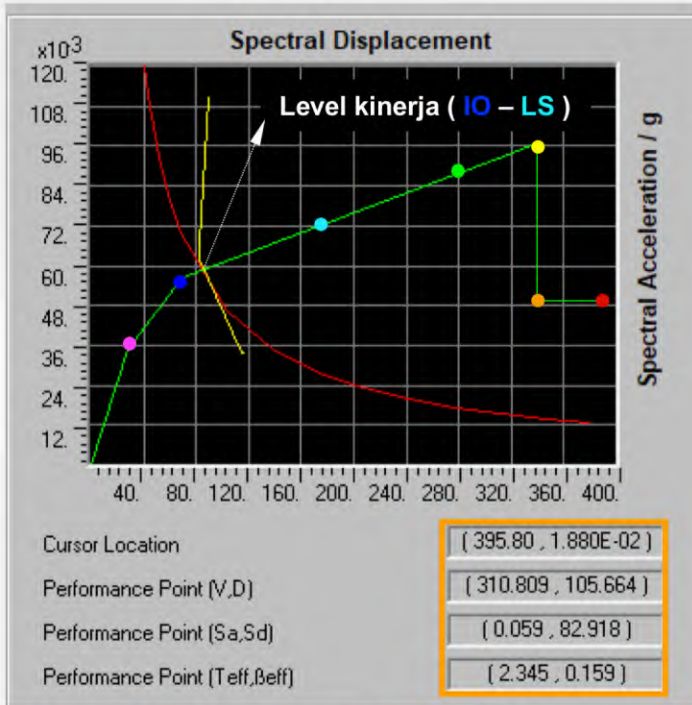


Gambar bangunan gedung beton bertulang (*courtesy of Laboratory of Concrete and Building Materials ITS*)

MEKANISME SENDI PLASTIS

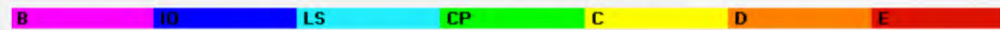
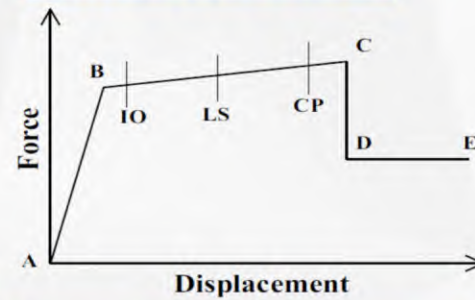


Gambar mekanisme terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujung balok dan kolom bawah



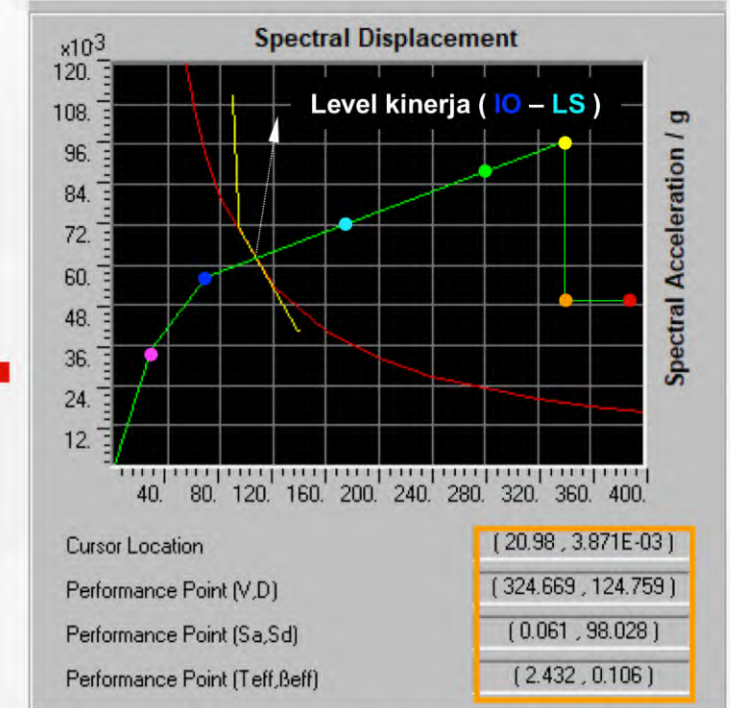
Capacity Spectrum (Peta Gempa 2010)

Performance level



Keterangan:

- A : Origin Point
- B : Yield Point
- IO : Intermediate Occupancy
- LS : Life Safety
- CP : Collapse Prevention
- C : Ultimate Strength
- D : Residual Strength
- E : Failure Point



Capacity Spectrum (Peta Gempa 2017)



Berdasarkan gambar di atas, terlihat adanya perubahan nilai *base shear* dan *displacement* akibat perubahan nilai respons spektrum. Di samping itu, pergeseran titik level kinerja struktur juga terjadi dengan deviasi berkisar **15%**. Meskipun demikian, level kinerja struktur masih dalam batas **IO – LS**.

01

Perubahan pembaharuan peta gempa secara berkala merupakan salah satu bentuk antisipasi terhadap keruntuhan struktur akibat gempa bumi

02

Dengan adanya pembaharuan peta gempa, diperlukan adanya evaluasi kelayakan struktur pada bangunan maupun infrastruktur yang telah dibangun

03

Metode *retrofitting* atau perkuatan struktur perlu dikaji lebih baik dalam upaya meningkatkan *toughness* dan integritas pada struktur yang rentan terhadap gempa

REKOMENDASI PERKUATAN STRUKTUR

Perkuatan untuk konstruksi yang telah dibangun meliputi berbagai metode. Hasil analisa mencapai angka keselamatan (**safety factor**) **minimum** yang ditetapkan menjadi acuan untuk perkuatan.

01



Concrete Jacketing — metode penambahan tulangan pada kolom/balok kemudian dilakukan pembungkusan pada elemen tersebut

02



Fiber Reinforcement — metode penambahan tulangan pada balok/kolom dengan material tambahan

03



- **Penambahan Fondasi**
- **Penambahan PHT** (*Pile Head Treatment*) dengan metode pengeboran dan pemasangan tulangan + bahan aditif

Concrete Jacketing



Fiber Reinforcement





Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, PhD

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

 priyo@ce.its.ac.id



TERIMA KASIH

