

# RESPONS SEISMIK BANGUNAN GEDUNG BETON BERTINGKAT BANYAK DENGAN ISOLASI DASAR (RAMBERG OSGOOD)

Anggi Novi Andri<sup>1</sup>, Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [13511239@students.uii.ac.id](mailto:13511239@students.uii.ac.id)

<sup>2</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [785110201@uui.ac.id](mailto:785110201@uui.ac.id)

**Abstract:** *Indonesia became one of the countries prone to earthquake disaster. Over the last few decades, the design of earthquake resistant building structures is generally based on the concept of ductility. One promising alternative is the use of a basic insulation system which is a passive control system that can maintain structural integrity. This study of the dynamic response of building structures is modeled on non linear analysis of inelastic response conditions in base isolation. One of the methods that describe strain-stress relation of soils was Ramberg Osgood Hysteretic (1943). The structural model used in this study is a multistory concrete building structure with and without base isolation. In addition to structural data also designed the size and stiffness of base isolation. The analysis was carried out by varying the number of structural levels, base isolation types and earthquake recordings records (Coalinga 1983, El Centro 1940, El Centro 1979) then these analysis is presented by using -Newmark direct integration methods. The formulations are adopted to MATLAB R2015b. The analysis results for various seismic loads and structural levels indicate that the use of basic insulation is significant in the smaller seismic response. Seismic response on 3 types of earthquake frequency shows the greatest response at low frequency and smallest at high frequency. The stiffness of the base isolation affects the size of the structural response reduction obtained. Response shear strain base isolation decreases when earthquake frequency is higher*

**Keywords :** *Analysis of dynamic structure, inelastic non linear response, base isolation, Ramberg Osgood Hysteretic Model.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan yang merupakan pertemuan antara tiga lempeng pergerakan lempeng Hindia-Australia dari selatan, lempeng Pasifik dari arah timur dan lempeng Asia bergerak relatif pasif ke tenggara akibat tumbukan lempeng tersebut Indonesia memiliki 129 gunung api aktif yang tersebar di seluruh Indonesia sehingga Indonesia menjadi salah satu negara yang rawan mengalami bencana gempa.

Selama beberapa dekade terakhir, desain struktur bangunan tahan gempa umumnya didasarkan pada konsep daktilitas. Daktilitas diharapkan dimiliki oleh struktur, misalnya, dengan mengaplikasikan mekanisme *strong column weak beam*. Namun performa struktur yang secara desain sudah memenuhi konsep daktilitas

tersebut seringkali tidak memuaskan ketika dikenai beban gempa besar karena pada kenyataannya yang terjadi belum tentu sesuai dengan yang direncanakan. Mekanisme *strong column weak beam* bisa saja tidak tercapai dengan adanya keberadaan dinding pada struktur. Selain itu terdapat kesulitan pada saat proses konstruksi hubungan balok kolom karena kebutuhan tulangan pada joint yang sedemikian kompleks (Wang Y-P, 2002). Struktur yang direncanakan seperti ini apabila terkena beban gempa kuat akan mengalami plastisitas yang mengakibatkan simpangan antar lantai yang besar. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada struktur, bahkan sampai pada keruntuhan struktur. Untuk meningkatkan performa struktur terhadap

gempa kuat, dikembangkan suatu teknik yang lebih efektif dan dapat diaplikasikan untuk desain seismik struktur sehingga kerusakan struktur dapat diminimalkan secara signifikan atau dapat dihindari.

Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan sistem isolasi dasar yang merupakan sistem kontrol pasif yang dapat menjaga integritas struktur. Sistem ini dapat diadopsi untuk mendesain struktur baru, maupun perbaikan dari struktur eksisting. Strategi dari sistem isolasi dasar adalah memberikan fleksibilitas lateral yang membantu mengurangi gaya gempa dengan mengubah perioda alami struktur untuk menghindari resonansi dengan frekuensi utama yang terkandung pada gempa yang terjadi. Selain itu, sistem isolasi dasar juga memberikan tambahan redaman pada struktur yang akan mengabsorpsi energi gempa pada saat terjadinya pergerakan pada sistem isolasi Jain dan Thakkar (2004).

Pada Penelitian David dan Eka (2006) dalam tugas akhirnya yaitu tentang pengaruh isolasi dasar pada struktur beton bertingkat banyak yang mana untuk isolasi dasar dianggap bersifat elastoplastik dan perhitungan kekakuan kolom berdasarkan

prinsip *Shear Building*. Sedangkan penelitian yang telah dilakukan Irfan (2017) dalam tugas akhirnya yang menjadi obyek penelitiannya adalah pada kondisi tanah berperilaku non linear inelastis dengan pendekatan model *Ramberg Osgood Models* (R-O Models).

Dapat diketahui dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan diatas bahwa respons seismik struktur bangunan dimodelkan pada kondisi linier elastis pada isolasi dasar sedangkan penelitian tentang respons non linier inelastis pada isolasi dasar belum ada. Dikarenakan itu perlu ada penelitian tentang respons seimik isolasi dasar pada kondisi non linear inelastis berdasarkan pada pemodelan *Ramberg Osgood Models*.

## 2. STUDI PUSTAKA

Dalam sebuah penelitian perlu adanya tahapan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berguna sebagai acuan dan mencegah terjadinya plagiasi. Berikut ini adalah perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang yang dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

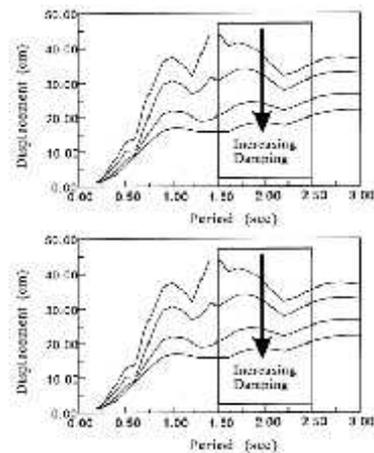
Penelitian Sebelumnya		Penelitian Sekarang
Oleh	Pembahasan	Pembahasan
Paldi dan Hakim, 2004	Membandingkan bangunan konvensional dengan bangunan menggunakan isolasi dasar	Membandingkan bangunan konvensional dengan bangunan menggunakan isolasi dasar
	Analisis riwayat waktu dengan gempa El Centro	Analisis riwayat waktu dengan gempa Coalinga 1983, gempa El Centro 1940, dan gempa El Centro 1979 yang disesuaikan dengan respons spektra kota Yogyakarta
Ardy dan Didik, 2004	Analisis isolasi dasar linear elastis	Repons isolasi dasar non linier inelastik dengan <i>Ramberg Osgood Models</i>
	Respons Siesmik Stuktur Rangka Baja Bertingkat Banyak	Respons Siesmik Stuktur Beton Bertingkat Banyak
	Analisis riwayat waktu dengan gempa El Centro, Bucharest, Koyna	Analisis riwayat waktu gempa Coalinga 1983, gempa El Centro 1940, dan gempa El Centro 1979 yang disesuaikan respons spektra kota Yogyakarta

Lanjutan Tabel 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

David dan Eka, 2006	Repons isolasi dasar linier inelastik dengan <i>Elasto-plastik Models</i>	Repons isolasi dasar non linier inelastik dengan <i>Ramberg Osgood Models</i>
	Analisis riwayat waktu dengan gempa El Centro, Santacruz, Koyna	Analisis riwayat waktu dengan gempa Coalinga 1983, gempa El Centro 1940, dan gempa El Centro 1979 yang disesuaikan dengan respons spektra kota Yogyakarta
M. Irfan, 2017	Repons tanah non linier inelastik dengan <i>Ramberg Osgood Models</i>	Repons isolasi dasar non linier inelastik dengan <i>Ramberg Osgood Models</i>
	Analisis riwayat waktu dengan gempa Bucharest, El Centro, Duzce Turki Elnashai, Manjil, Duzce Turki dan Loma Prieta	Analisis riwayat waktu dengan gempa Coalinga 1983, gempa El Centro 1940, dan gempa El Centro 1979 yang disesuaikan dengan respons spektra kota Yogyakarta
	Membuat respons spektrum	Tidak membuat respons spektrum

### 3. LANDASAN TEORI

Sistem isolasi dasar sangat baik dipakai di daerah yang frekuensi getaran gempa yang tinggi dan pada kondisi tanah yang keras. Pada kondisi ini bentuk spektrum respons percepatan cenderung meningkat secara tajam pada nilai-nilai periode getar T awal, setelah mencapai puncaknya kemudian cenderung menurun secara terus menerus sampai pada periode getar yang ditinjau. Pemasangan isolasi dasar sangat tepat pada kondisi ini karena isolasi dasar memperpanjang waktu periode getar T, sehingga pada kondisi ini spektrum respons cenderung menurun. Hal ini berlaku sebaliknya apabila sistem isolasi dasar dipasang pada kondisi gempa dengan frekuensi gempa rendah dan pada kondisi tanah lunak. Pada kondisi ini spektrum percepatan cenderung rendah pada nilai-nilai periode getar T awal. Kemudian akan meningkat secara tajam bersamaan dengan bertambahnya waktu periode getar T. Pemasangan isolasi dasar tidak baik pada kondisi ini karena pada saat isolasi dasar memperpanjang waktu periode getar T, akan jatuh pada puncak gempa ini. Untuk lebih jelasnya lihat pada gambar 1.



Gambar 1 Efek dari Isolasi Dasar Terhadap Waktu Getar T pada saat Terjadi Gempa (Sumber :Yang, 2003)

Untuk menyusun persamaan differensial gerakan massa akibat gerakan struktur maka dibuat suatu permodelan matematika yang menghubungkan antara massa, kekakuan, redaman, dan gaya. Penyelesaian persamaan struktur tidak selalu bisa dilakukan dengan derajat kebebasan tunggal, tetapi pada kenyataannya struktur bangunan gedung yang mempunyai derajat kebebasan banyak (“*multi degree of freedom, MDOF*”) dapat ditulis dalam bentuk persamaan 1 berikut.

$$[M][\ddot{Y}] + [C][\dot{Y}] + [K][Y] = [0](1)$$

Dimana,  $M$ ,  $C$ , dan  $K$  berturut-turut adalah Sedangkan  $\ddot{y}$ ,  $\dot{y}$ , dan  $y$  berturut-turut adalah percepatan, kecepatan, dan simpangan.

Persamaan differensial tersebut diatas kemudian diselesaikan dengan metode integrasi langsung *-Newmark*. Persamaan 1 diatas dapat ditulis kembali sebagai berikut.

$$m\Delta\ddot{y}_i + c\Delta\dot{y}_i + k\Delta y_i = \Delta p_i(2)$$

Pada metode *-Newmark* digunakan perjanjian notasi untuk perubahan simpangan ( $y$ ), perubahan kecepatan ( $\dot{y}$ ), dan perubahan percepatan ( $\ddot{y}$ ). Untuk memulai proses integrasi numerik tersebut maka digunakan persamaan perubahan percepatan sebagai berikut:

$$\Delta\ddot{y}_i = \frac{\Delta\ddot{P}_i}{R}(3)$$

$$\Delta\dot{y}_i = \left(\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times \Delta y_i\right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \times \dot{y}_i\right) + \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \cdot \Delta t \cdot \ddot{y}_i(4)$$

$$\Delta\ddot{y}_i = \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times \Delta y_i\right) - \left(\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times \dot{y}_i\right) + \left(\frac{1}{2\beta} \times \ddot{y}_i\right)(5)$$

Dimana,

$$\bar{K} = [K] + \left\{\frac{\gamma}{\beta \times \Delta t} \times [C]\right\} + \left\{\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [M]\right\}(6)$$

$$\Delta\ddot{P}_i = (p_{i+1} - p_i) + a \cdot \dot{y}_i + b \cdot \ddot{y}_i(7)$$

matrik massa, redaman, dan kekakuan.

Nilai  $\bar{K}$  pada persamaan diatas adalah kekakuan efektif. Selanjutnya nilai  $a$  dan  $b$  pada persamaan 6 dan persamaan 7 diatas dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$a = \left\{\frac{1}{\beta \times \Delta t} \times [M]\right\} + \left\{\frac{\gamma}{\beta} \times [C]\right\}(8)$$

$$b = \left\{\frac{1}{\beta \times \Delta t^2} \times [M]\right\} + \left\{\left(\frac{\gamma}{\beta} - 1\right) \times \Delta t \times [C]\right\}(9)$$

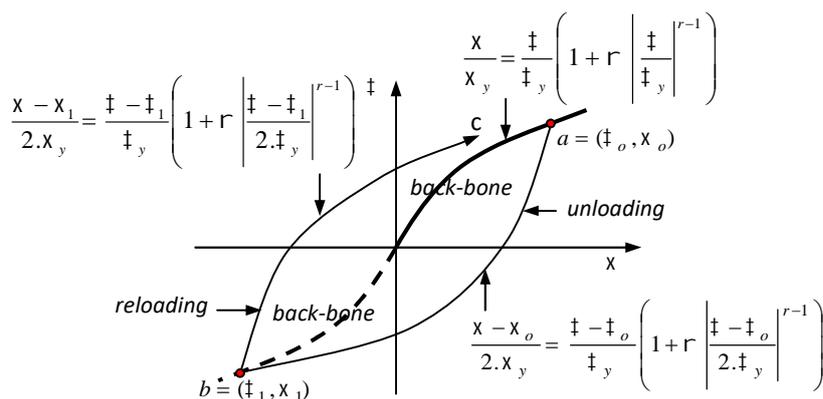
Selanjutnya besarnya nilai simpangan, kecepatan dan percepatan pada akhir interval dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i(10)$$

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta\dot{y}_i(11)$$

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta\ddot{y}_i(12)$$

Model histeretik Ramberg Osgood (1943), terdiri dari tiga kondisi tertentu yaitu kondisi pembebanan awal (*backbone*), kondisi pengurangan pembebanan (*unloading*) dan kondisi pembebanan kembali (*reloading*) sebagaimana terlihat pada gambar 2 dibawah ini.

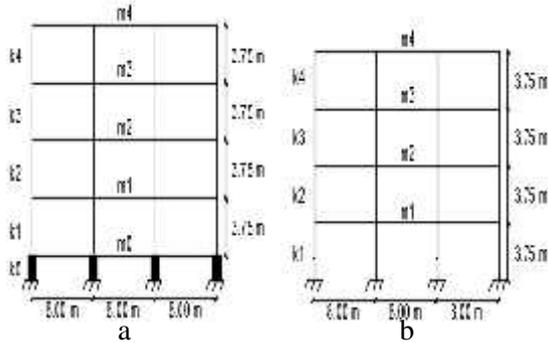


Gambar 2 Histeretik Ramberg Osgood dan rules yang dipakai

(Sumber: Widodo, 2017)

#### 4. METODE PENELITIAN

Model struktur bangunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah portal dua dimensi untuk bangunan struktur jepit dan bangunan dengan isolasi dasar. Model struktur portal dua dimensi diperlihatkan pada gambar 3.



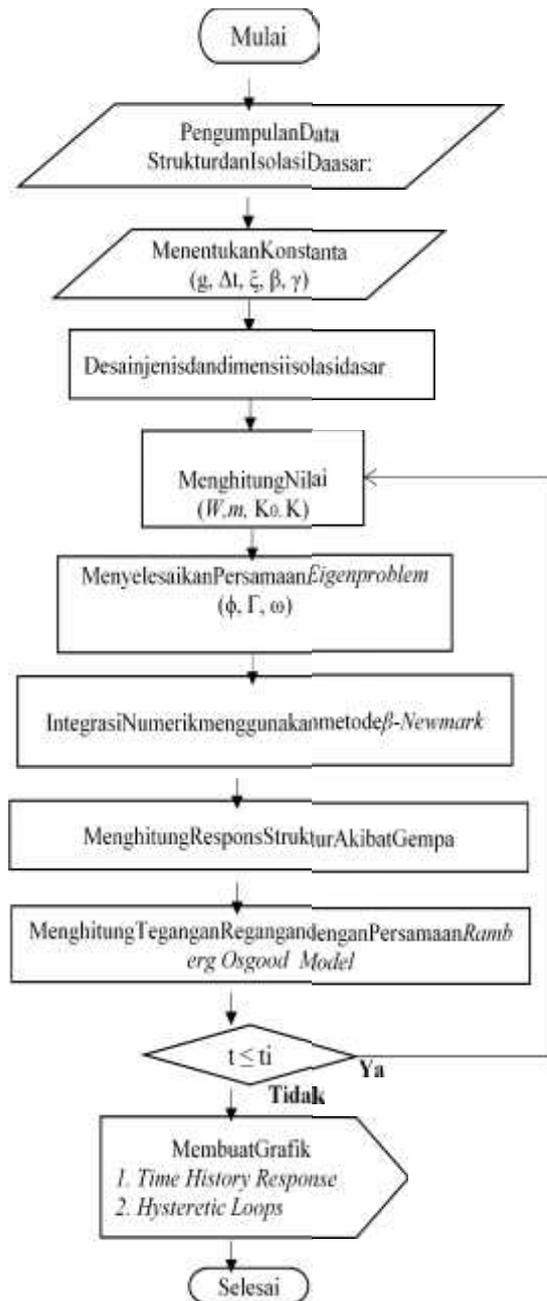
Gambar 3 Pemodelan Struktur Beton Bertingkat 4 : a) Struktur Isolasi Dasar, b) Struktur Jepit

Data percepatan gempa yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kategori yaitu gempa dengan frekuensi rendah, menengah, dan tinggi. Percepatan gempa tersebut diantaranya adalah gempa Coalinga 1983, El Centro 1940, El Centro 1979 diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data Gempa dan A/V Rasio

Gempa	A/V (g/m/dt)	Kategori Gempa
Coalinga 1983	0.633	Rendah
El Centro 1940	1.004	Menengah
El Centro 1979	1.21	Tinggi

Dalam analisis penelitian ini struktur dihitung massa dengan prinsip *lumped mass* dan kekakuan dengan prinsip Muto 1975.



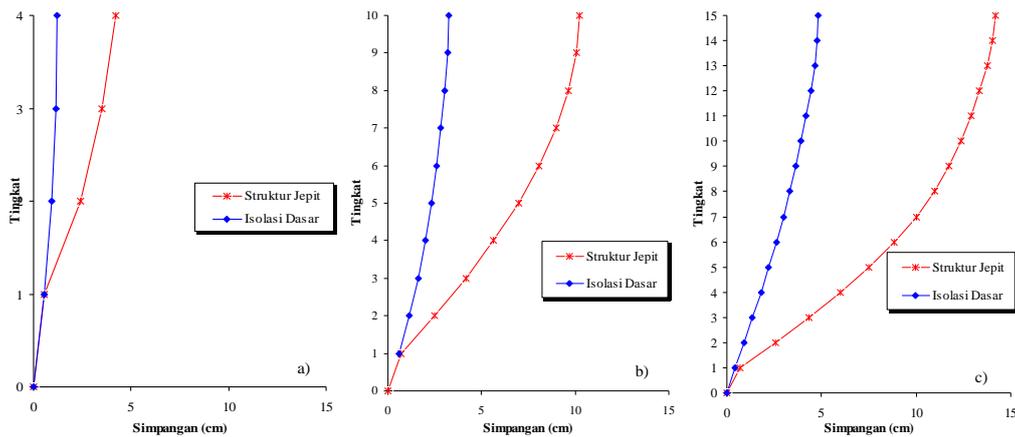
Gambar 4 Bagan Alir Penelitian

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pada penelitian dinamik struktur ini dilakukan dengan menggunakan bantuan bahasa pemrograman Matlab R2015b. Data percepatan gempa yang digunakan telah dinormalisasi terhadap nilai percepatan permukaan tanah gempa Yogyakarta. Dalam

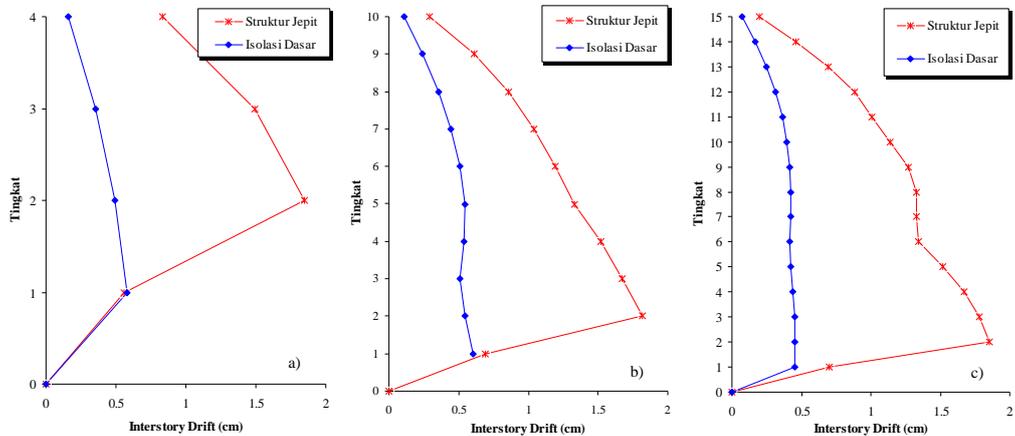
penelitian ini membandingkan antara bangunan struktur jepit (*fixed base*) dan bangunan isolasi dasar (*base isolated*). Respons yang ditampilkan berupa simpangan, *interstory drift*, *interstory drift ratio*, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling.

### 5.1 Simpangan



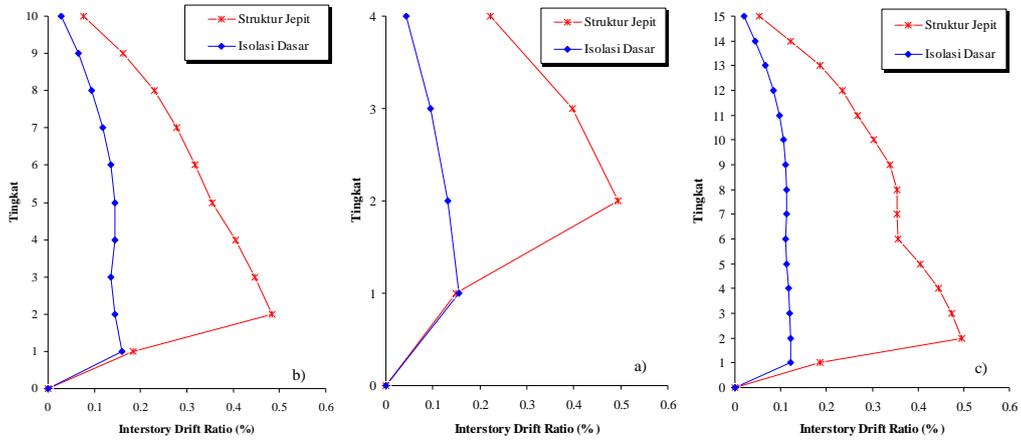
Gambar 5 Perbandingan Simpangan Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat

### 5.2 Simpangan Antar Tingkat (*Interstory Drift*)



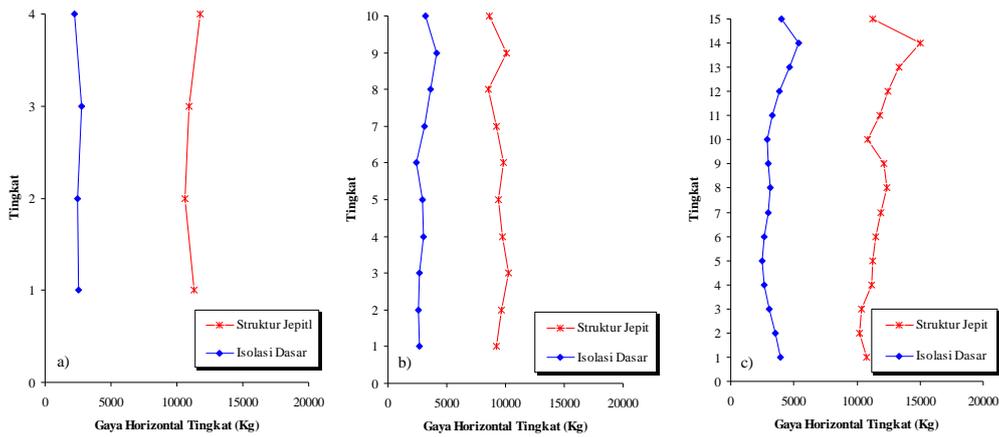
Gambar 6 Perbandingan *Interstory Drift* Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat

### 5.3 Rasio Simpangan Antar Tingkat (*Interstory Drift Ratio*)



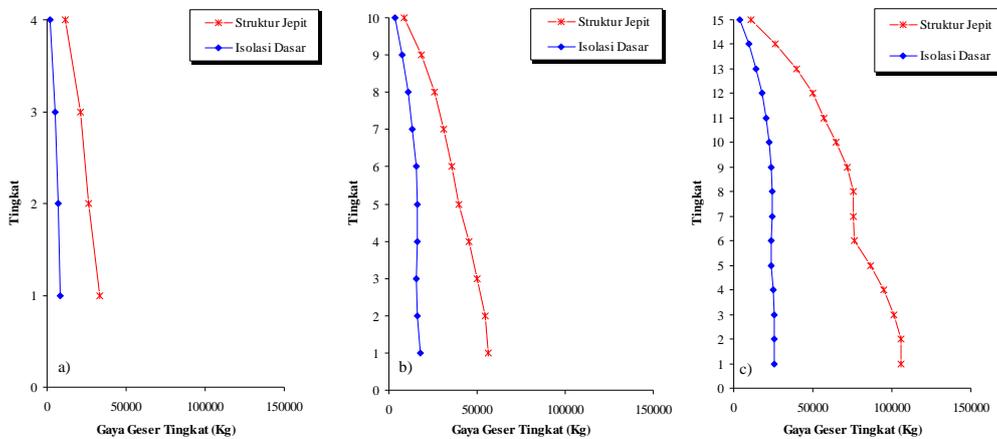
Gambar 7 Perbandingan *Interstory Drift Ratio* Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat

### 5.4 Gaya Horizontal Tingkat



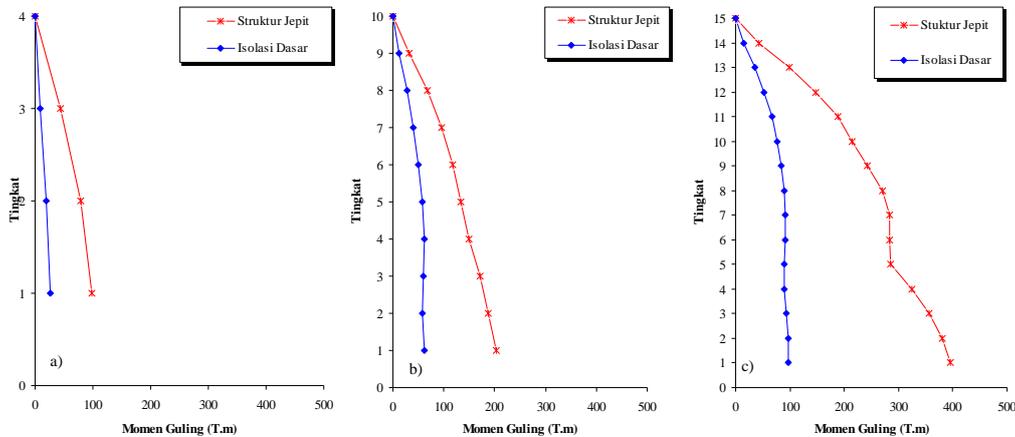
Gambar 8 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat

### 5.5 Gaya Geser Tingkat



Gambar 9 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat

## 5.6 Momen Guling



Gambar 10 Perbandingan Momen Guling Maksimum Akibat Gempa El Centro 1940 : a) Bangunan 4 Tingkat, b) Bangunan 10 Tingkat, c) Bangunan 15 Tingkat

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Respons seismik untuk bangunan semua variasi tingkat dengan isolasi dasar (*base isolated building*) jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan bangunan tanpa isolasi dasar (*fixed base building*) pada gempa frekuensi menengah.
2. Respons seismik untuk bangunan semua variasi tingkat dengan isolasi dasar (*base isolated building*) terhadap semua jenis frekuensi gempa menghasilkan respons terbesar terjadi pada frekuensi gempa rendah dan repons terkecil pada frekuensi gempa tinggi.
3. Respons seismik untuk bangunan semua variasi tingkat dengan dua jenis isolasi dasar (*base isolated building*) yaitu *Lead Rubber Bearing* lebih kecil jika dibandingkan dengan *High Damping Rubber Bearing* pada gempa frekuensi menengah.
4. Penggunaan isolasi dasar sangat tergantung pada kekakuan geser isolasi dasar. Makin kecil kekakuan gesernya, makin besar reduksi respons struktur yang didapatkan.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Ardy dan Didik, 2004. *Pengaruh Penggunaan Isolasi Dasar (Base Isolation) terhadap Respon Seismik Struktur Rangka Baja Bertingkat Banyak*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- David dan Eka, 2006. *Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak dengan Isolasi Dasar (Elastoplastik)*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Irfan, Muhammad. 2017. *Pengaruh Interaksi Kinematik Massa Bangunan Terhadap Respons Non Linier Inelastik Lapisan Tanah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Jain, S., dan Thakkar, S. 2004. *Application of Base Isolation for Flexible Buildings*. Canada: 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake.
- Paldi dan Hakim, 2000. *Performansi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa*. Tugas Akhir Jurusan Teknik

Sipil Fakultas Teknik Sipil dan  
Perencanaan Universitas Islam  
Indonesia, Yogyakarta.

Wang Y-P. 2002. *Fudamental of Seismic  
Base Isolation*, International Training  
Taiwan: Programs for Seismic Design  
of Building Structures.

Widodo, 2012. *Seismologi Teknik dan  
Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar.  
Yogyakarta.