

**KAJIAN PARAMETER DESAIN SEISMIK PADA GEDUNG DENGAN ISOLASI DASAR  
(BASE ISOLATION) TIPE LEAD RUBBER BEARING**  
*Study on Seismic Design Parameters of Lead Rubber Bearing  
Type Base Isolation Structure*

**Ni Nyoman Kencanawati\*, Hariyadi\*, Syamsul Wathoni\*\***

**\*Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram**

**\*\*Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram**

**Email : nkencanawati@unram.ac id, hariyadi@unram.ac id**

**Abstrak**

*Salah satu cara mengurangi resiko bencana pasca gempa pada struktur bangunan adalah dengan mengaplikasikan struktur isolasi dasar (base isolation) pada dasar bangunan ketinggian sedang (medium rise building). Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk memisahkan bangunan atas dengan bangunan bawah sehingga diharapkan parameter performa seismik dapat berkurang. Paper ini bertujuan mengkaji beberapa parameter gempa dalam desain seperti periode getar, gaya gempa, dan simpangan pada bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar tipe Lead Rubber Bearing dan dibandingkan dengan bangunan konvensional tanpa system isolasi dasar. Sesuai dengan hasil analisa struktur, dibutuhkan diameter isolator sebesar 65 cm dengan tinggi 40.4 cm untuk model bangunan 5 lantai. Jumlah layer untuk rubber adalah 17 dengan tebal satu layer 2 cm. Aplikasi isolasi dasar pada bangunan memberikan peningkatan periode pada struktur dengan isolasi yaitu sebesar 6.7% dan 2.9% untuk masing-masing portal memanjang dan melintang dibandingkan dengan gedung tanpa system isolasi. Selanjutnya simpangan antar lantai terjadi penurunan yaitu dengan rata-rata nilai 39% untuk portal memanjang dan 35% pada portal melintang. Gaya horisontal mengalami penurunan yaitu 33.7% pada portal memanjang dan 32.7% setelah memakai isolasi dasar. Bangunan dengan isolasi dasar memberikan parameter desain yang lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan konvensional.*

*Kata kunci : isolasi dasar, Lead Rubber Bearing, periode getar, simpangan, gaya horisontal, gaya geser.*

**PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup kedalam lempeng Eurasia, sementara lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat. Beberapa gempa besar dengan korban jiwa yang banyak serta gempa sedang telah tercatat terjadi di Indonesia. Salah satunya adalah Gempa Lombok 2018. Gempa Lombok 2018 dengan kedalaman dangkal terjadi berturut-turut pada 29 Juli 2018, 5 Agustus 2018, dan 9 Agustus 2018 dengan 6.4 Skala Richter, 7 Skala Richter, dan 6.2 Skala Richter. Gempa bumi ini menimbulkan bangunan puluhan ribu bangunan yang rusak dan runtuh serta korban jiwa akibat tertimpa bangunan yang pada saat gempa.

Pengurangan resiko bencana merupakan salah satu solusi untuk mengurangi dampak yang diakibatkan oleh gempa. Desain bangunan yang sesuai dengan standar ketahanan gempa merupakan hal penting dalam pengurangan resiko bencana. Dalam Pasal 12 SNI 1726-2012 tentang Pedoman Ketahanan Bangunan Terhadap Gempa telah dimasukkan prinsip perencanaan untuk bangunan dengan isolasi dasar. Isolasi dasar merupakan sistem yang terbilang baru diperkenalkan di Indonesia walaupun banyak Negara seperti Jepang dan Selandia Baru telah lama memakainya. Harapannya

dengan memakai isolasi dasar maka kerusakan atau keruntuhan bangunan dan isinya dapat diperkecil dan tetap dapat berfungsi pasca gempa, terutama untuk bangunan-bangunan dengan faktor keutamaan yang tinggi seperti rumah sakit sehingga tetap dapat beroperasi setelah terjadinya bencana gempa.

Konsep utama isolasi dasar adalah untuk memisahkan antara dasar bangunan dengan tanah sehingga mengurangi dampak gempa terhadap bangunan. Lead rubber bearing (LRB) merupakan salah satu bentuk isolator yang umum dipakai di beberapa negara maju. LRB berupa lapisan karet (rubber) yang dipadu dengan lapisan baja dan ditengahnya terdapat bahan timbal (lead) untuk menambah kekakuan isolator membantu dalam penyerapan energi. Beberapa keuntungan penggunaan base isolation antara lain: getaran yang terasa sedikit, gaya dan perpindahan yang kecil, sehingga kerusakan yang terjadi sangat kecil pasca gempa; gedung masih dapat berfungsi setelah gempa berakhir; dan beberapa keuntungan lainnya.

Beberapa daerah rawan gempa di Indonesia seperti Padang dan Aceh sudah mengaplikasikan isolasi dasar pada beberapa bangunan penting seperti bangunan pemerintahan dan shelter. Lombok termasuk salah satu wilayah dengan aktivitas kegempaan yang tinggi; namun demikian belum memiliki gedung yang memakai sistem isolasi dasar. Oleh tulisan ini mengkaji beberapa parameter gempa seperti periode getar, simpangan lateral, dan gaya gempa dasar pada salah satu gedung eksisting di Pulau Lombo yang dirancang ulang dengan sistem isolasi dasar tipe LRB untuk kemudian dibandingkan dengan kinerjanya dengan kondisi tanpa menggunakan isolator.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Lead Rubber Bearing (LRB)**

LRB terbuat dari lapisan karet dan dipadu dengan lapisan baja, tetapi ditengahnya diberi rongga yang diisi dengan lead (perunggu). Lapisan karet yang divulkanisir yang bisa bergerak ke semua arah horisontal dilaminasi diantara lapisan baja yang mampu menahan beban aksial. Lead (perunggu) yang terletak ditengah berfungsi sebagai tempat penyerapan energi sehingga mampu mengurangi gaya gempa dan perpindahan. Lapisan karet pada bantalan memberikan fleksibilitas lateral sedangkan lapisan baja memberikan kemampuan untuk menahan beban aksial. Lapisan penutup karet pada bantalan berfungsi untuk melindungi pelat baja agar tidak korosi. Pelat baja pada bagian atas dan bawah bantalan berfungsi untuk menghubungkan isolator dengan struktur diatas dan dibawahnya. LRB didesain sangat kaku dan kuat diarah vertikal dan lentur diarah horizontal sehingga beban vertikal dan lateral yang kecil bisa didukung tanpa menimbulkan perpindahan yang berarti. Lead mengalami kelelahan pada tegangan rendah dan berperilaku sebagai solid elastis-plastis. Kekakuan pasca kelelahan dapat direpresentasikan oleh kekakuan geser lapisan karet. Selain itu, lead memiliki propertis kelelahan yang baik terhadap cyclic loading karena dapat memulihkan hampir seluruh propertis mekaniknya tepat setelah terjadi kelelahan.

### **Persyaratan Untuk Penggunaan Base Isolator**

#### *Berat struktur dan periode struktur*

Secara praktis, kebanyakan sistem isolasi berfungsi paling baik pada massa yang berat. Periode sebanding dengan akar kuadrat massa  $M$  dan berbanding terbalik dengan akar pangkat kekakuan  $K$ .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \dots\dots\dots (1)$$

Struktur yang paling cocok untuk base isolation adalah yang mempunyai periode alami yang pendek, khususnya kurang dari 1.0s (Naiem, 1999). Secara umum, perioda struktur tanpa isolasi yang direncanakan untuk diisolasi harus kurang dari 2.0 s, walaupun ada pengecualian (Kelly, 2001); untuk gedung, ini biasanya kurang dari 10 tingkat dan untuk struktur tipe fleksibel. Sistem isolasi tidak menyediakan periode yang tidak terbatas, lebih ke mengubah ke rentang perioda 1.5 sampai 3.0s.

*Efek dekat sumber gempa*

Salah satu aspek paling kontroversial dari base isolation adalah bahwa sistem akan bekerja jika sumber gempa dekat dengan struktur (sekitar 5 km). dekat dengan sumber, perioda panjang, pulsa kecepatan tinggi pada pencatatan percepatan tanah bisa didapat yang disebut “fling”. Isolasi sudah digunakan pada lokasi dekat sumber gempa, tetapi biaya biasanya lebih tinggi dan evaluasi lebih kompleks. Dalam kenyataannya, setiap struktur dekat sumber harus dievaluasi terhadap efek “fling”.

*Konfigurasi struktur*

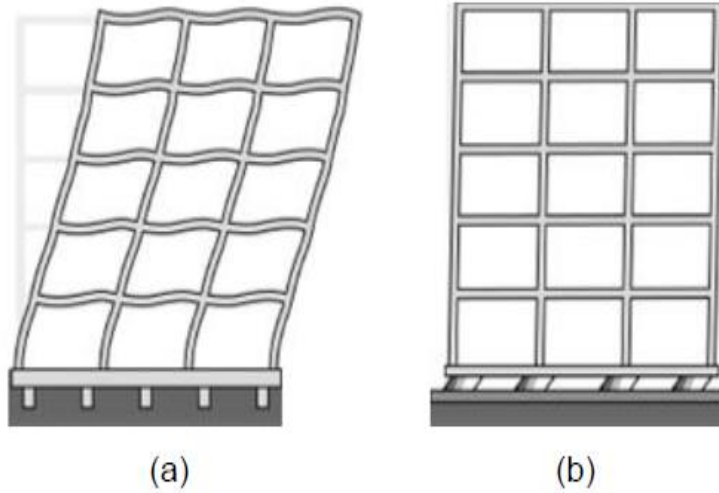
Isolasi dasar merupakan bidang pemisah. Penambahan bidang horisontal yang besar akan dibutuhkan selama gempa. Ruang (sering disebut ruang “rattle”) dibutuhkan untuk perpindahan bisa dalam rentang kurang dari 100 mm untuk zona seismik rendah dan sedang. Satu meter atau lebih dalam zona seismik tinggi dekat dengan sumber. Jika ada gangguan pada jarak ini, isolasi tidak akan bekerja. Untuk bangunan baru, ini biasanya bukan masalah walaupun maksimum clearance tersedia mungkin menentukan pembatasan dalam desain sistem isolasi. Ini akan mengabaikan pemasangan pada bangunan baru yang dekat dengan bangunan yang lain. Konfigurasi struktur berarti struktur teratur dan tidak teratur.

*Aspek rasio sistem struktur*

Kebanyakan peralatan isolasi telah dikembangkan untuk beroperasi di bawah beban tekan. Sistem elastomerik dasar harus menahan beban tarik dengan tarik di dalam elastomer. Di bagian tarik, retak terjadi pada tegangan yang relatif rendah (dibandingkan tegangan tekan izin) yang mengurangi kekakuan isolator. Untuk alasan ini, sistem isolasi umumnya tidak praktis untuk sistem struktur yang bergantung pada elemen tarik untuk menahan beban lateral, sebagai contoh, dinding geser kantilever yang tinggi atau pengaku yang sempit. Aturan umum untuk hasil yang bagus adalah sistem harus cocok untuk isolasi menyediakan tarik yang signifikan tidak terjadi di tiap lokasi isolator untuk level desain gempa.

*Parameter Struktural untuk Sistem Isolasi*

Sistem isolasi dasar saat ini memainkan peran penting dalam rekayasa struktural dan implementasinya meningkat secara tiba-tiba. Pola defleksi gedung konvensional dengan dasar kaku dan struktur gedung berisolasi dasar (Gambar 1) secara jelas menunjukkan keuntungannya. Manfaatnya akan bertambah dari reduksi koefisien geser dasar dan percepatan lantai dimana mempengaruhi komponen struktural dan non struktural.



**Gambar 1.** Perubahan pola defleksi pada (a) struktur dasar kaku (b) struktur dengan isolasi dasar (Islam dkk, 2011)

*Gaya elemen dibawah sistem isolasi*

Pondasi dan seluruh elemen struktural di bawah sistem isolasi didesain untuk gaya FB sama dengan kekakuan horisontal  $K_{Dmax}$  efektif dikalikan dengan perpindahan (displacement) DD.

$$F_B = K_{Dmax}DD \dots\dots\dots (2)$$

*Gaya elemen di atas sistem isolasi*

Struktur di atas isolastor didesain untuk gaya geser paling kecil  $F_s$ , menyediakan semua syarat untuk struktur tidak diisolasi dengan  $R_1$  merupakan faktor daktilitas yang dipilih.

$$F_S = \frac{K_{Dmax}DD}{R_1} \dots\dots\dots (3)$$

*Batasan simpangan*

Batasan simpangan untuk struktur terisolasi memiliki simpangan ijin berbeda untuk analisa respon spektrum dan time history.

$\delta \leq 0.015/R_i$  untuk analisa respon spektrum

$\delta \leq 0.020/R_i$  untuk analisa time history

**METODE PENELITIAN**

**Data Perencanaan.**

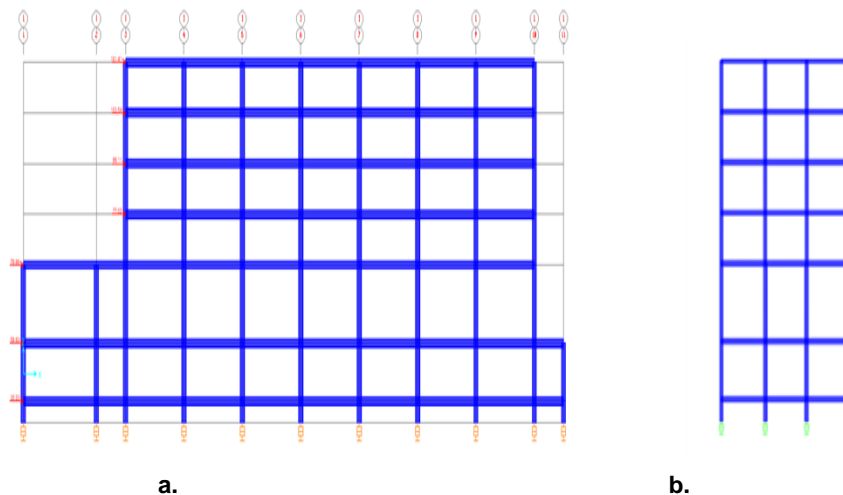
Gedung yang dipakai dalam merencanakan struktur isolasi dasar adalah Gedung Asrama Haji Kota Mataram, Propinsi Nusa Tenggara Barat. Adapun gedung ini memiliki 5 lantai dengan struktur atap dari pelat beton bertulang. Potongan memanjang dan melintang gedung tampak pada Gambar 2. Isolator yang digunakan tipe LRB dengan kriteria alternatif pemilihan berdasarkan katalog dari Dynamic Isolation System Inc.

## Pedoman Perencanaan

Perhitungan beban gempa menggunakan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Kajian seismik yang direncanakan didasarkan pada dua tingkat bahaya seismik, yaitu :

1. Design Basis Earthquake (DBE): dengan tingkat getaran tanah yang mempunyai kemungkinan 10% untuk tercapai dalam 50 tahun (475 tahun periode gempa kembali)
2. Maximum Considered Earthquake (MCE): tingkat getaran tanah maksimum yang bisa diperkirakan di lokasi bangunan. MCE ditentukan dengan kemungkinan 2% tercapai dalam 50 tahun (2500 tahun periode gempa kembali).

Gaya gempa pada potongan memanjang dan melintang gedung dihitung dengan menggunakan analisa dinamika dengan derajat kebebasan sesuai dengan jumlah lantai pada gedung. Respon spektrum gempa pada lokasi gedung diperoleh dari situs yang disediakan sebagai berikut : [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).



**Gambar 2.** Potongan memanjang (a) dan melintang (b) gedung

## Tahapan Perencanaan

- a. Analisa respon spektrum bangunan konvensional (tanpa isolasi dasar)
  1. Menghitung berat, massa dan kekakuan bangunan
  2. Membuat matriks massa dan kekakuan bangunan
  3. Membuat persamaan gerak derajat kebebasan banyak
  4. Menghitung mode shape  $\phi$
  5. Menghitung  $\omega$ , dari  $\omega$  masing-masing mode didapatkan perioda T
  6. Dari respon spectrum kota mataram didapatkan nilai koefisien dasar C dengan *plotting* perioda terhadap percepatan spectra
  7. Menghitung gaya horisontal mode (*modal seismic force*)  $F_{ij}$  untuk setiap mode
  8. Menghitung gaya geser mode (*modal storey shear*)  $F_{ij}$ , simpangan antar tingkat (*mode inter-storey drift*), momen guling, *modal effective mass*
  9. Menghitung mekanika struktur untuk mendapatkan beban aksial tiap kolom

b. *Perencanaan base isolation*

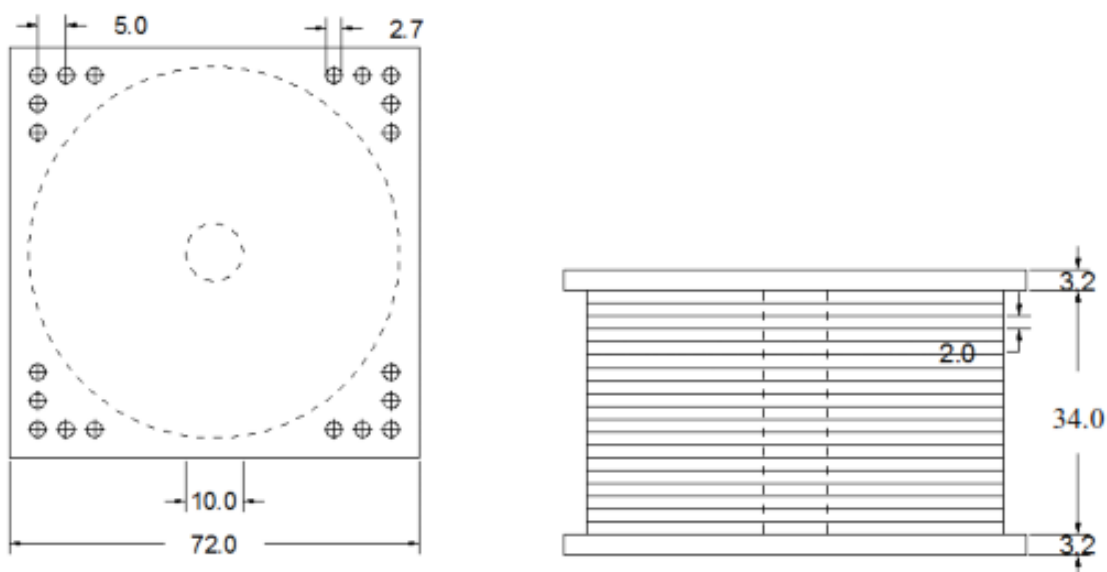
1. Menentukan perioda target T (asumsi)
2. Menghitung displacement dari perioda perioda yang diasumsikan
3. Menghitung kekakuan dan luas kurva histeritik
4. Menghitung kebutuhan luas potongan melintang *base isolation*
5. Pemilihan *isolator*
6. Kontrol terhadap beban aksial pada kolom
7. Menghitung ulang kekakuan dan *displacement*
8. Analisa respon spektrum *base isolation*

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Ukuran Isolator**

Isolator yang digunakan untuk analisa adalah base isolation dengan karakteristik sesuai hasil hitungan properti base isolation untuk MCE level. Karakteristik yang dipilih disesuaikan dengan properti *base isolation* yang dimiliki oleh Dynamic Isolation System Inc, yaitu sebagai berikut:

Diameter	= 650 mm (dipilih sesuai dengan lebar profil kolom)
Lebar pelat <i>mounting</i>	= 700 mm
Jumlah layer	= 17 layer
Diameter lead	= 100 mm
Modulus geser (G)	= 380 kN/m
Kekakuan	= 50 kN/cm
Displacement maksimum	= 410 mm

Beban aksial maksimum = 2700 kN (nilai ini lebih besar dari nilai beban aksial yang diterima oleh isolator pada struktur gedung yaitu sebesar 621 kN).

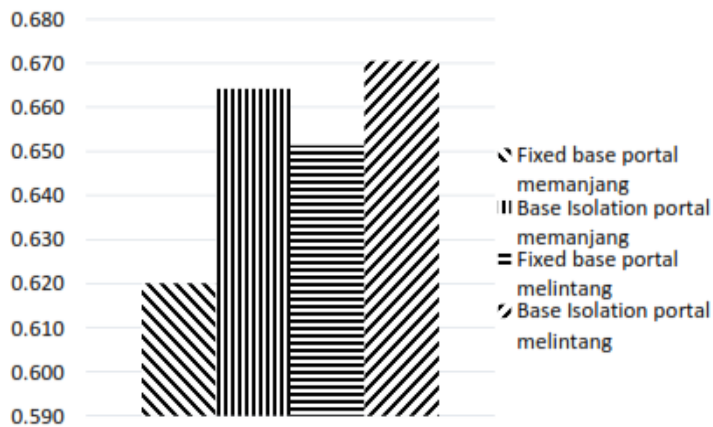


**Gambar 3.** Dimensi isolator hasil perencanaan

**Periode Struktur**

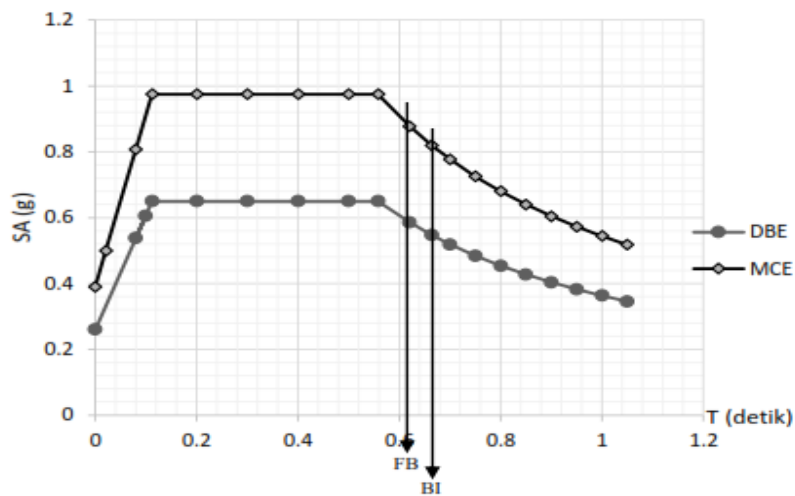
Periode struktur bangunan yang menggunakan isolasi dasar lebih besar daripada bangunan tanpa isolasi dasar. Jika dibandingkan bangunan tanpa isolasi dasar, pada struktur yang menggunakan isolasi dasar mengalami kenaikan periode sebesar 6.7% untuk portal memanjang dan 2.9% pada portal melintang.

Peningkatan nilai periode diakibatkan oleh peningkatan nilai massa struktur dan penurunan nilai kekakuan struktur. Berdasarkan persamaan (1) bahwa periode struktur sebanding dengan akar kuadrat massa (m) dan berbanding terbalik akar kuadrat kekakuan struktur (K). Karena pada bangunan dengan isolasi dasar massa meningkat (akibat penambahan massa dari penggunaan isolasi dasar) sedangkan kekakuan berkurang (pada lantai dasar kekakuan kolom diganti dengan kekakuan isolasi dasar) maka nilai periode struktur dengan isolasi dasar menjadi lebih besar dibandingkan struktur konvensional. Gambar 4 menunjukkan perbedaan periode getar struktur dengan isolasi dasar (base isolation) dan tanpa isolasi dasar (*fixed base*).



**Gambar 4.** Grafik perbandingan periode

Jika nilai periode tersebut diplot pada grafik respon spektrum seperti pada Gambar 5, akan dapat dilihat perbedaan nilai percepatan akibat gempa antara struktur tanpa isolasi dasar dan struktur dengan isolasi dasar.

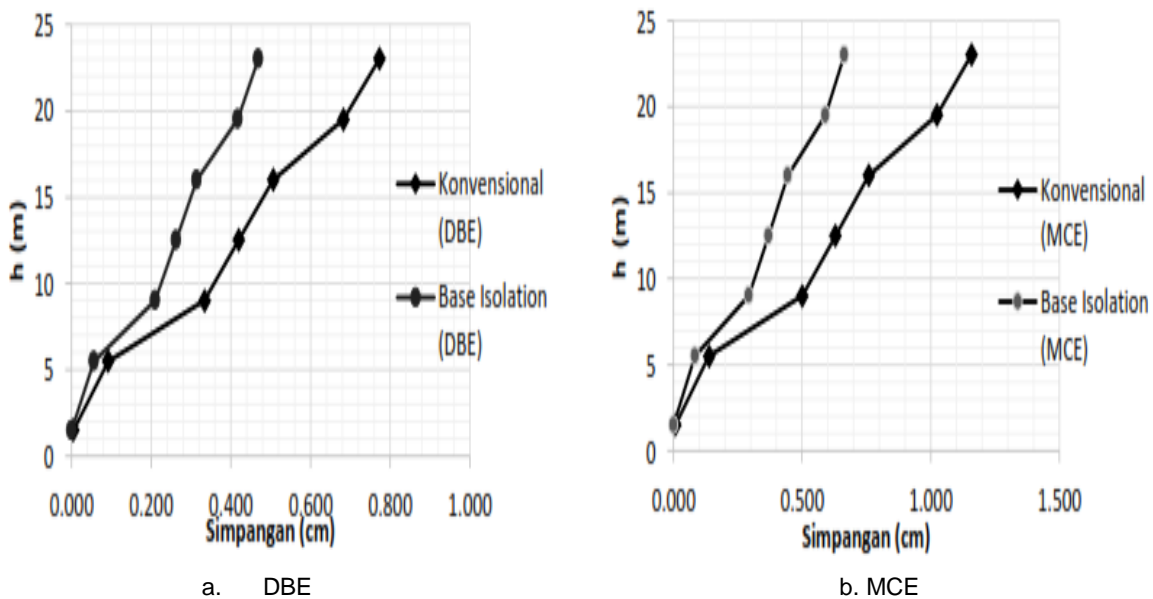


**Gambar 5.** Perbandingan nilai *Spectral Acceleration* struktur tanpa isolasi dasar (FB) dan struktur dengan isolasi dasar (BI)

Hal ini sesuai dengan tujuan dari penggunaan *base isolation* yaitu untuk memperbesar periode alami struktur bangunan. Peningkatan periode struktur menyebabkan perubahan nilai percepatan gempa yang diterima gedung, dimana peningkatan periode memberikan nilai percepatan gempa menjadi lebih kecil.

**Perbandingan Simpangan antar tingkat (*Interstorey Drift*)**

Pada bangunan tanpa isolasi dasar, terjadi simpangan antar tingkat yang lebih tinggi dibandingkan bangunan dengan isolasi dasar. Ini berarti simpangan pada atap bangunan tanpa isolasi dasar relatif lebih besar dibandingkan bangunan dengan isolasi dasar sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6 untuk potongan memanjang gedung. Penurunan nilai simpangan antar tingkat tersebut berkaitan dengan peningkatan nilai periode struktur dan juga dengan adanya redaman pada struktur akibat penggunaan isolasi dasar. Terjadi penurunan nilai simpangan antar tingkat pada struktur terisolasi dibandingkan struktur konvensional yaitu dengan rata-rata nilai 39% untuk DBE level dan 42% untuk MCE level pada portal memanjang dan 35% untuk DBE level dan 16% untuk MCE level pada portal melintang.



Gambar 6. Grafik perbandingan simpangan antar tingkat pada portal memanjang

Dampak dari pengurangan nilai simpangan antar tingkat atau goyangan pada bangunan gedung adalah komponen struktural menjadi lebih aman begitu juga dengan komponen non struktural. Pengurangan ini juga menyebabkan struktur dengan isolasi dasar memberikan kenyamanan yang lebih baik dibandingkan struktur tanpa isolasi dasar ketika terjadi gempa.

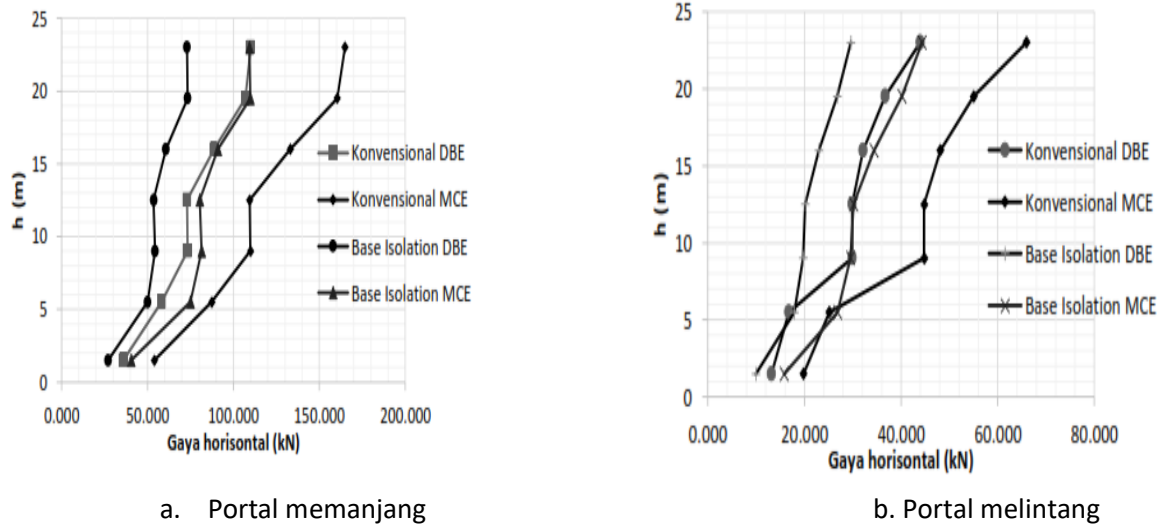
**Perbandingan Gaya Horisontal**

Dengan penggunaan isolator, gaya horisontal pada tiap lantai dapat tereduksi. Pengurangan ini terjadi karena nilai kekakuan struktur yang lebih kecil (kekakuan lantai dasar diganti dengan kekakuan isolator), dimana nilai gaya horisontal yang terjadi pada struktur gedung berbanding terbalik dengan kekakuan struktur. Pengurangan juga terjadi akibat adanya redaman akibat penggunaan isolator



sehingga dampak gempa terhadap struktur dapat dikurangi. Pengurangan yang terjadi yaitu dengan rata-rata nilai 33.7% pada portal memanjang dan 32.7%.

Keuntungan dari reduksi nilai gaya horisontal ini antara lain untuk perencanaan struktur gedung yang baru, dimensi struktur yang direncanakan menggunakan isolator dapat diperkecil dibandingkan struktur jika direncanakan tanpa isolator.



Gambar 7. Perbandingan gaya horisontal

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dimensi *base isolator* yang digunakan pada struktur gedung Asrama Haji Mataram adalah tipe *Lead Rubber Bearing* dengan diameter 65 cm dan diameter *lead* 10 cm serta tinggi isolator 40.4 cm. Selain itu tebal *plate* adalah 3.2 cm dan tebal *rubber* 2 cm dengan jumlah lapis adalah 17.

Parameter seismik pada gedung setelah memakai isolator, mengalami perubahan nilai sebagai berikut: terjadi peningkatan nilai periode pada struktur terisolasi yaitu sebesar 6.7% untuk portal memanjang dan 2.9% pada portal melintang jika dibandingkan struktur konvensional, terjadi penurunan nilai simpangan antar tingkat pada struktur terisolasi dibandingkan struktur konvensional yaitu dengan rata-rata nilai 39% untuk DBE level dan 42% untuk MCE level pada portal memanjang dan 35% untuk DBE level dan 16% untuk MCE level pada portal melintang dan terjadi penurunan nilai gaya horisontal pada struktur terisolasi jika dibandingkan struktur konvensional yaitu sebesar 33.7% pada portal memanjang dan 32.7% pada portal melintang. Bangunan dengan isolasi dasar memberikan performa seismik yang lebih baik dibandingkan dengan bangunan konvensional.

### Saran

Perhitungan gaya gempa pada bangunan dengan isolasi dasar dapat dilanjutkan dengan metode *time history*, salah satu metode yang direkomendasikan dalam SNI 1726-2012 disamping metode *response spectrum* yang digunakan dalam paper ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Kelly, T. E. 2001. *Base Isolation of Structures: Design Guidelines*. Wellington: Holmes Consulting Group Ltd.

Naeim, F., M.Kelly. 1999. *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, Inc

Widodo. 2001. *Respon Dinamik Struktur Elastik*. Jogjakarta: UII Press Jogjakarta.

SNI 1726-2012. *Tata Cara Ketahan Gempa Untuk Struktur Bangunan dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Islam, S., Jameel, M., Uddin, M.A., Ahmad, S.I. 2011. *Simplified Design Guidelines for Seismic Base Isolation in multi-storey buildings for Bangladesh National Building Code (BNBC)*, International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(23), pp.5467-5486.