

EKSPERIMENTAL PENYEMPURNAAN TUMPUAN JENIS *BASE ISOLATION* UNTUK MEREDUKSI PENGARUH GEMPA PADA MODEL PORTAL BAJA.

Ahmad Kahfi Firdausi¹, Taufiq Rochman^{2,*}, Sunarto Suryanto³

D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

Koresponden*, Email: ahmadkahfifirdausi@gmail.com¹, taufiq.rochman@polinema.ac.id², sunarto.suryanto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Salah satu dampak yang paling terlihat akibat dari gempa bumi adalah kerusakan pada struktur bangunan gedung. Tujuan dari skripsi ini adalah untuk merancang *base isolation* yang tahan terhadap gaya gempa lateral dengan varian roll dan menghitung perkiraan biaya dari pengerjaan *base isolation* baja. Data yang dibutuhkan adalah desain portal baja lima lantai, sepuluh lantai, limabelas lantai, desain *base isolation* baja dan daftar harga satuan. Proses perekaman percepatan menggunakan *software AndroSensor* dan analisis menggunakan *Microsoft Excel*. Berdasarkan hasil analisis pengujian meja getar, diperoleh sebuah respon tereduksi pada kondisi kerusakan sedang pada atap portal sepuluh lantai dengan *base isolation* dua roda dimana percepatan rata-rata berkurang 20%, menyebabkan percepatan maksimum berkurang 22% dan pada atap portal lima lantai dengan *base isolation* tiga roda dimana percepatan rata-rata berkurang 38%, menyebabkan percepatan maksimum berkurang 35%, serta estimasi biaya pengerjaan pemodelan *base isolation* baja dengan satu roda sebesar Rp 273.200, dua roda sebesar Rp 275.700, dan tiga roda sebesar Rp 278.300.

Kata kunci : portal baja; *base isolation*; meja getar; percepatan; perkiraan biaya

ABSTRACT

One of the most visible impact of an earthquake is damage to building structures. The purpose of this thesis is to design base isolation with variants of roller that resistant to lateral earthquake forces and to calculate the cost estimate of the steel base isolation workmanship. The required data are five-story, ten-story, fifteen-story steel portal design, steel base isolation design and unit price list. The acceleration recording process is using AndroSensor software and the analysis process is using Microsoft Excel. Based on the shaking table test analysis results, obtained a reduced response in conditions of moderate damage on ten-story portal roof with two roller's base isolation which has an average acceleration of 20%, causing a maximum acceleration of 22% and on five-story portal roof with three roller's base isolation which has an average acceleration of 38%, causing a maximum acceleration of 35%, also the cost estimate of steel base isolation modeling workmanship with one wheel of Rp 273.200, two wheels of Rp 275.700, and three wheels of Rp 278.300.

Keywords : steel portal; *base isolation*; shaking table; acceleration; cost estimate

1. PENDAHULUAN

Dampak yang timbul akibat peristiwa gempa bumi cukup beragam. Salah satu dampak yang paling terlihat adalah kerusakan pada struktur bangunan gedung. Maka diperlukan suatu sistem disipasi atau isolasi energi gempa untuk mengurangi efek dari gaya lateral gempa terhadap struktur bangunan tersebut. Bentuk dari sistem reduksi pengaruh gempa terdapat beberapa macam, dan salah satu yang paling praktis digunakan adalah sistem isolasi dasar atau *base isolation*.

Telah banyak dilakukan eksperimen tentang sistem pereduksi pengaruh gempa, dengan tujuan untuk menemukan desain peredam yang ideal. Salah satu rujukan eksperimen sebelumnya dilakukan dengan menggunakan bentuk pemodelan portal baja dan *base isolation* dengan mengadopsi *friction pendulum system* dengan konsep sliding satu roda yang ditempatkan pada sambungan antara pondasi dan kolom. Simulasi energi gempa yang diberikan dilakukan dengan uji meja getar. Namun dari eksperimen tersebut masih terdapat suatu kekurangan, sehingga diperlukan penyempurnaan kembali agar menghasilkan desain *base*

isolation yang lebih ideal dan dapat mereduksi energi gempa dalam presentase yang cukup besar meskipun tidak secara total.

Gempa Bumi

Gempa bumi (*earthquake*) adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas. (Salim dan Siswanto, 2018:5)

Tabel 1. Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG

Skala SIG BKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (m/dt ²)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (Not Felt)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	< 0,029
II	Hijau	DIRASAKAN (Felt)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III-V	0,029 – 0,88
III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (Slight Damage)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	0,89 – 1,67
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (Moderate Damage)	Banyak Retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII- VIII	1,68 – 5,64
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (Heavy Damage)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX- XII	> 5,64

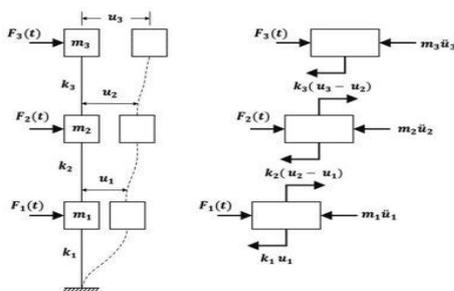
Sumber: www.bmkg.go.id

Derajat Kebebasan (Degree of Freedom)

Menurut Paz dan Kim (2019:3) dalam dinamika struktural, jumlah koordinat independen yang diperlukan untuk menentukan konfigurasi atau posisi suatu sistem setiap saat disebut sebagai jumlah derajat kebebasan.

Menurut Alharis (2012) dalam model system SDOF atau berderajat kebebasan tunggal, setiap massa m, kekakuan k, mekanisme kehilangan atau redaman c, dan gaya luar yang dianggap tertumpu pada elemen fisik tunggal. Struktur yang mempunyai n-derajat kebebasan atau struktur dengan derajat kebebasan banyak disebut *multi degree of freedom* (MDOF).

1) Persamaan MDOF Forced Vibration



Gambar 1. Pemodelan Sebagai Kolom Tunggal Tiga – DOF
Sumber: Paz dan Kim (2019:174)

Paz dan Kim (2019:174-176) menjelaskan sebagaimana ditunjukkan pada gambar, persamaan gerak untuk bangunan geser bertingkat tiga diperoleh dari salah satu diagram benda bebas yang sesuai yang ditunjukkan pada gambar ini dengan menyamakan dengan nol jumlah gaya yang bekerja pada masing-masing massa. Karenanya

$$m_1\ddot{u}_1 + k_1u_1 - k_2(u_2 - u_1) - F_1(t) = 0 \tag{1}$$

$$m_2\ddot{u}_2 + k_2(u_2 - u_1) - k_3(u_3 - u_2) - F_2(t) = 0 \tag{2}$$

$$m_3\ddot{u}_3 + k_3(u_3 - u_2) - F_3(t) = 0 \tag{3}$$

Sistem persamaan ini merupakan formulasi kekakuan dari persamaan gerak untuk bangunan geser bertingkat tiga. Ini dapat ditulis dalam notasi matriks sebagai

$$[M] \{\ddot{u}\} + [K] \{u\} = \{F\} \tag{4}$$

Dimana [M] dan [K] adalah matriks massa dan kekakuan yang diberikan masing-masing oleh

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 & 0 \\ -K_2 & K_2 + K_3 & -K_3 \\ 0 & -K_3 & K_3 \end{bmatrix} \tag{6}$$

dan {u}, {ü} dan {F} masing-masing adalah vektor perpindahan, akselerasi dan gaya yang diberikan oleh

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}, \quad \{\ddot{u}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix}, \quad \{F\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \tag{7}$$

2) Persamaan MDOF Free Vibration

Paz dan Kim (2019:176-177) menjelaskan bahwa masalah getaran bebas mengharuskan vektor gaya {F} sama dengan nol dalam persamaan 8, yaitu

$$M\{\ddot{u}\} + K\{u\} = 0 \tag{8}$$

Untuk getaran bebas dari struktur yang tidak teredam, kami mencari solusi persamaan 9

$$u_i = a_i \sin(\omega t - a), \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{9}$$

Atau dalam notasi vektor

$$\{u_i\} = \{a_i\} \sin(\omega t - a) \tag{10}$$

Dimana a_i adalah amplitudo gerak koordinat ke-i dan n adalah jumlah derajat kebebasan. Sehingga apabila persamaan 10 disubstitusikan ke persamaan 8 menjadi,

$$-\omega^2[M] \{a_i\} \sin(\omega t - a) + [K] \{a_i\} \sin(\omega t - a) = 0 \tag{11}$$

Atau memfaktorkan sin(ωt - a) dan menyusun rumus menjadi

$$[[K] - \omega^2[M]]\{a\} = \{0\} \tag{12}$$

Persamaan 12 adalah masalah matematika penting yang disebut *eigenproblem*. Ini solusi nontrivial, yaitu solusi yang tidak semua a_i = 0, mensyaratkan bahwa penentu faktor matriks {a} menjadi sama dengan nol, dalam kasus ini :

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \tag{13}$$

3) Persamaan MDOF Seismic Excitation

a. Sinkronisasi Gerakan Tanah (Ground Motion)

Dazio (2013:12(1-3)) menjelaskan bahwa persamaan gerak sistem dapat dirumuskan dengan menggunakan prinsip d'Alembert $F+T = 0$ yang diterapkan pada masing-masing massa.

Sistem persamaan yang mengatur gerak sistem adalah,

$$F_1 + T_1 = 0 \tag{14}$$

$$F_2 + T_2 = 0 \tag{15}$$

$$-m_1(\ddot{x} + \ddot{u}_1) - (c_1 + c_2)\dot{u}_1 + c_2\dot{u}_2 - (k_1 + k_2)u_1 + k_2u_2 \tag{16}$$

$$-m_2(\ddot{x} + \ddot{u}_2) + c_2\dot{u}_1 - c_2\dot{u}_2 + k_2u_1 - k_2u_2 \tag{17}$$

dan dalam bentuk matrik:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} \tag{18}$$

Persamaan gerak sistem yang terkena eksitasi dasar adalah:

$$M\ddot{u}_a + C\dot{u} + Ku = 0 \tag{19}$$

Dimana \ddot{u}_a adalah vektor percepatan absolut DoFs sistem sementara \dot{u} dan u merupakan vektor kecepatan relatif dan perpindahan relatif DoFs sistem masing-masing.

$$u_a = u_s + u \tag{20}$$

Dimana u_s adalah perpindahan DoF karena aplikasi statis (mis. sangat lambat sehingga tidak ada gaya inersia dan redaman yang dihasilkan) dari gerakan tanah, dan u sekali lagi merupakan vektor dari perpindahan relatif DoFs sistem.

"Perpindahan statis" $u_s(t)$ sekarang dapat diekspresikan dalam fungsi dari perpindahan tanah $u_g(t)$ sebagai berikut:

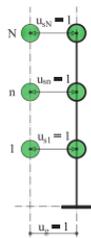
$$u_s(t) = \mathbf{t}u_g(t) \tag{21}$$

Persamaan (19) bisa sekarang ditulis ulang sebagai:

$$M(\mathbf{t}\ddot{u}_g + \ddot{u}) + C\dot{u} + Ku = 0 \tag{22}$$

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\mathbf{t}\ddot{u}_g(t) \tag{23}$$

b. Vektor Pengaruh (Sistem dengan Gerakan Translasi)



Gambar 2. Sistem Planar dengan Gerakan Tanah Translasi
Sumber: Dazio (2013:12-4)

Menurut Dazio (2013:12-4), dalam hal ini semua DoFs dari sistem mengalami perpindahan statis $u_s(t)$ yang sama ke perpindahan tanah $u_g(t)$, maka:

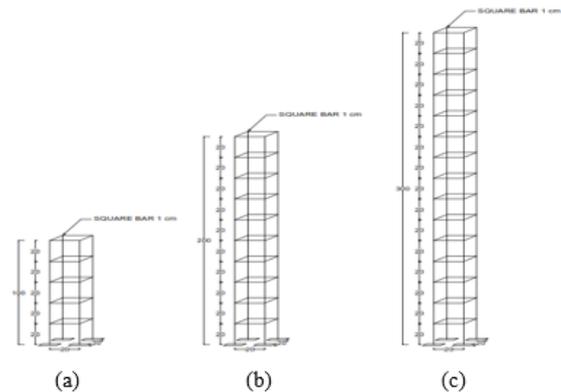
$$\mathbf{t} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{1} \tag{24}$$

Dimana $\mathbf{1}$ adalah vektor dari N, misal jumlah DoFs, dengan semua elemen sama dengan 1.

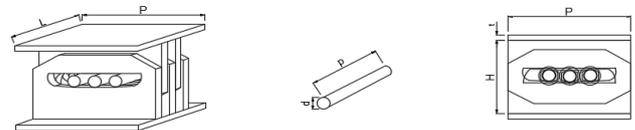
2. METODE

Rancangan Benda Uji

Adapun rancangan benda uji terdiri atas struktur portal baja 3 variasi tingkat (5,10 dan 15 lantai) menggunakan BJ-37 (f_y 2400 kg/cm²) dengan profil 1 cm x 1 cm x 20 cm dan base isolation baja 3 variasi roda (1, 2 dan 3 roda) mengadopsi friction pendulum system dengan sudut kelengkungan 7° serta daftar harga satuan dasar.



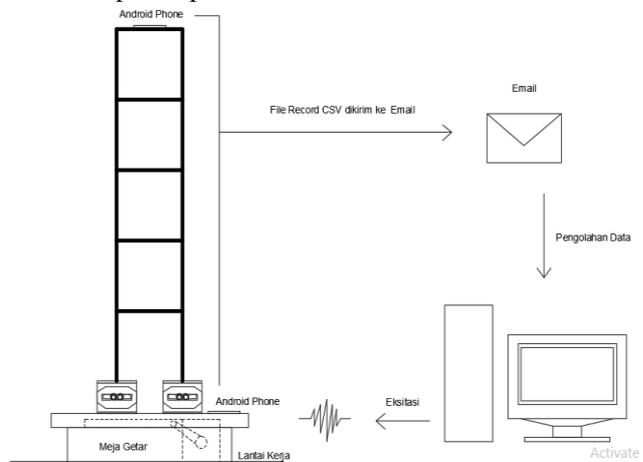
Gambar 3. Struktur Portal Baja Bangunan Bertingkat (a) Rendah; (b) Sedang; (c) Tinggi
Sumber: Hasil Perencanaan



Gambar 4. Visualisasi 3D Perangkat Base Isolation Baja
Sumber: Hasil Perencanaan

Skema Pengujian

Untuk skema pengujian model portal baja pada meja getar akan ditampilkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Skema Pengujian Portal Baja dengan Meja Getar
Sumber: Hasil Perencanaan

Alat Pengujian Getar Struktur

Berikut merupakan dokumentasi dari alat meja getar dan posisi portal beserta base isolation baja.



Gambar 6. Alat Pengujian Meja Getar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang dilakukan ada tiga macam, yakni analisis respon alami struktur, analisis dinamik hasil pengujian meja getar dan analisis biaya pengerjaan *base isolation* baja.

Analisis Respon Alami Struktur

Untuk mendapatkan respon alami struktur, dapat dilakukan dengan terlebih dahulu menganalisis matrik massa, matrik kekakuan dan efek dari *ground motion* yang kemudian dimasukkan pada **persamaan 25**:

$$M\ddot{u} + K u = - M\ddot{u}_g(t) \tag{25}$$

Apabila difaktorkan, penyelesaiannya akan menjadi,

$$[K] - \omega^2[M] = -[M]\ddot{u}_g \tag{26}$$

Dimana:

K = kekakuan (kg/cm) M = massa (kg.s²/cm)

ω = frekuensi alami (rad/s) $\mathbf{1}$ = vektor translasi

\ddot{u}_g = *ground acceleration* (m/s²)

1) Portal Lima Lantai dengan Tumpuan Jepit

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai frekuensi dan periode alami portal ($2\pi/\omega$) sebagai berikut:

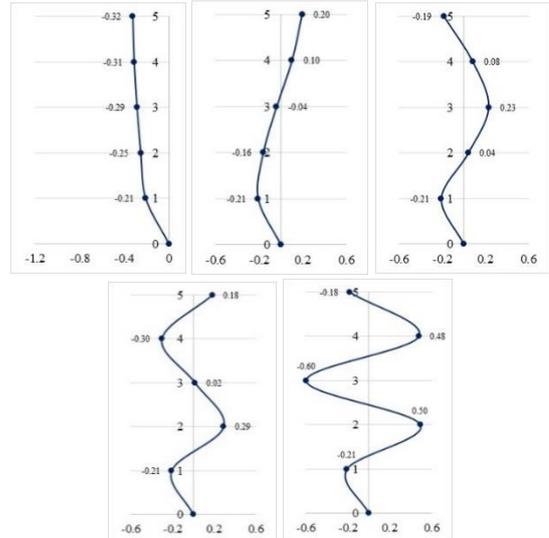
- $\omega_1 = 519,994 \text{ rad/dt}$ T1 = 0,0121 detik
- $\omega_2 = 1516,996 \text{ rad/dt}$ T2 = 0,0041 detik
- $\omega_3 = 2391,286 \text{ rad/dt}$ T3 = 0,0026 detik
- $\omega_4 = 3071,880 \text{ rad/dt}$ T4 = 0,0021 detik
- $\omega_5 = 3503,623 \text{ rad/dt}$ T5 = 0,0018 detik

2) Portal Lima Lantai dengan Tumpuan Rol

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai frekuensi dan periode alami portal ($2\pi/\omega$) sebagai berikut:

- $\omega_1 = 354,825 \text{ rad/dt}$ T1 = 0,0177 detik
- $\omega_2 = 1256,763 \text{ rad/dt}$ T2 = 0,0050 detik
- $\omega_3 = 2201,197 \text{ rad/dt}$ T3 = 0,0029 detik
- $\omega_4 = 2975,750 \text{ rad/dt}$ T4 = 0,0021 detik
- $\omega_5 = 3477,934 \text{ rad/dt}$ T5 = 0,0018 detik

Sehingga dari nilai frekuensi alami diatas, yang selanjutnya nilai tersebut dimasukkan kedalam **persamaan 26**, maka didapatkan *mode shape* portal lima lantai dengan tumpuan rol sebagai berikut.



Gambar 7. Mode Shape pada Portal Lima Lantai Tereksitasi (Tumpuan Roll)

Analisis Dinamik Pengujian Meja Getar

Didapatkan nilai perbandingan respon percepatan pada meja getar yang ditampilkan pada **Tabel 2** dan atap portal baja pada **Tabel 3** sebagai berikut.

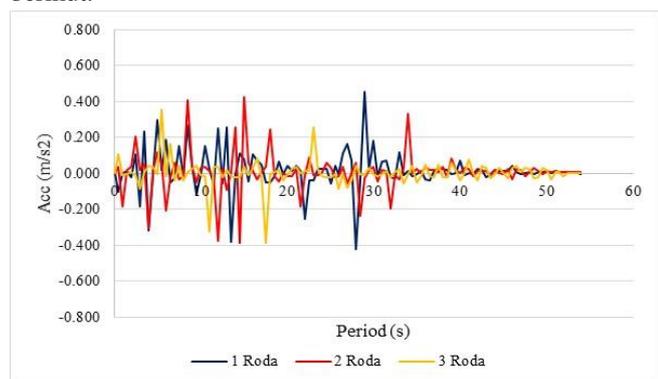
Tabel 2. Presentase Perbandingan Percepatan pada Meja Getar

Jenis Portal	Jumlah Roda	Percepatan (m/s ²)			
		Sa rata-rata		Sa maksimum	
5 Lantai	1	0,169	43%	4.457	93%
	2	0,073		4.156	
	3	0,034	20%	3.816	86%
10 Lantai	1	0.044	52%	5.071	84%
	2	0.023		4.280	
	3	0.025	58%	5.196	102%
15 Lantai	1	0.042	317%	3.246	147%
	2	0.133		4.756	
	3	0.117	278%	4.612	142%

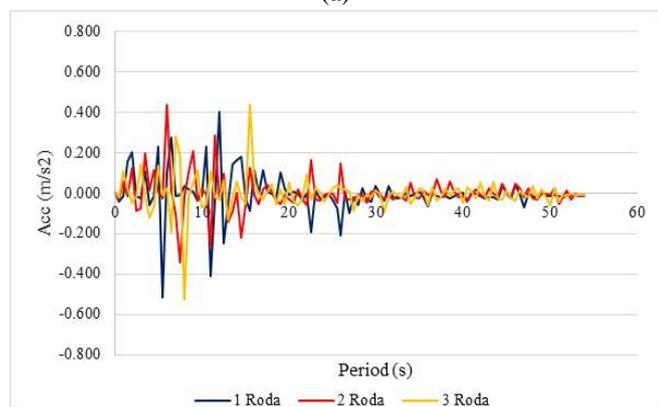
Sumber: Hasil Analisis

Dari tabel diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa seluruh nilai percepatan pada meja getar di seluruh kondisi masuk jenis getaran dalam kondisi kerusakan sedang.

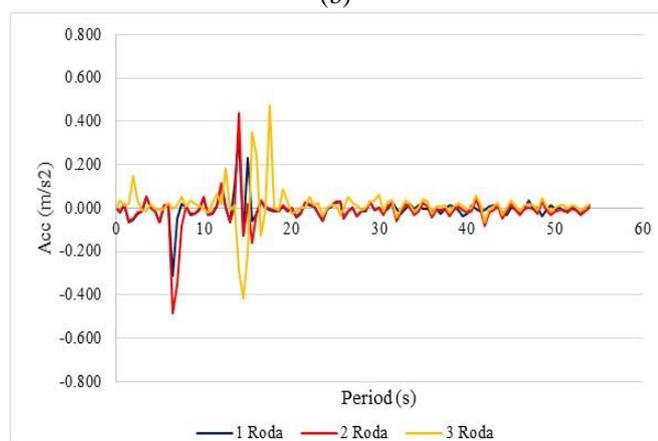
Selain tabel presentase perbandingan percepatan diatas, didapatkan pula suatu visualisasi perbandingan berupa grafik perbandingan hasil percepatan pada meja getar terhadap portal baja 5, 10 dan 15 lantai ditunjukkan pada **Gambar 8** berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Grafik Perbandingan Percepatan pada Meja Getar terhadap Portal (a) Lima Lantai; (b) Sepuluh Lantai; (c) Limabelas Lantai

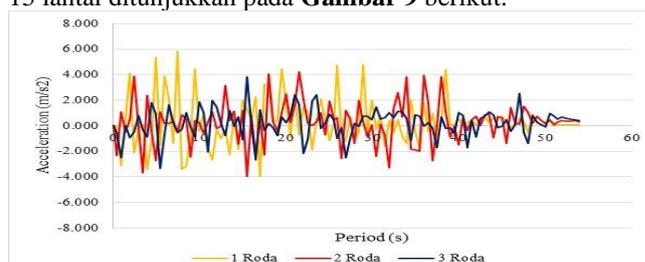
Sumber: Hasil Analisis

Tabel 3. Presentase Perbandingan Percepatan pada Atap Portal Baja

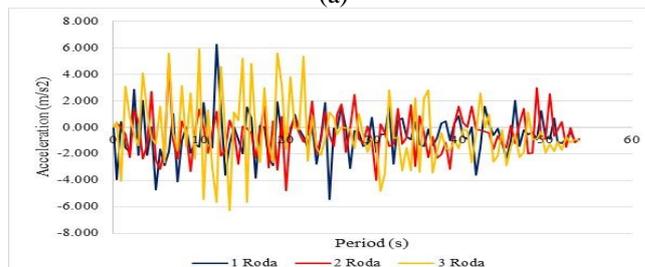
Jenis Portal	Jumlah Roda	Percepatan (m/s ²)			
		Sa rata-rata		Sa maksimum	
5 Lantai	1	0,320	81%	5,848	73%
	2	0,259		4,242	
	3	0,199	3,802		
10 Lantai	1	0,667	80%	6,220	78%
	2	0,531		4,876	
	3	0,417	6,298		
15 Lantai	1	0,373	109%	6,314	119%
	2	0,407		7,492	
	3	0,624	7,136		

Sumber: Hasil Analisis

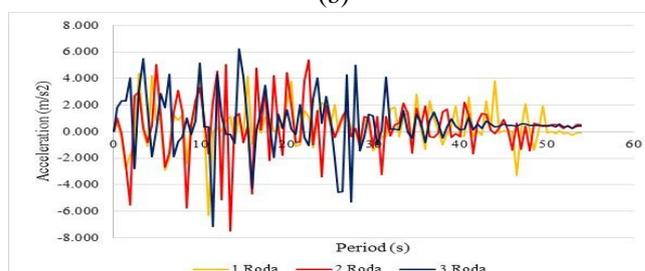
Selain tabel presentase perbandingan percepatan diatas, didapatkan pula suatu visualisasi perbandingan berupa grafik perbandingan hasil percepatan pada atap portal baja 5, 10 dan 15 lantai ditunjukkan pada **Gambar 9** berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Grafik Perbandingan Percepatan pada Atap Portal (a) Lima Lantai; (b) Sepuluh Lantai; (c) Limabelas Lantai

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Biaya

Adapun perkiraan biaya pengerjaan *base isolation* baja ditunjukkan pada **Tabel 4**, **Tabel 5** dan **Tabel 6** berikut ini.

Tabel 4. Perhitungan Biaya 1 Pasang *Base Isolation* 1 Roda

Jenis Pekerjaan	Vol	Unit	HSP (Rp)	Jumlah (Rp)
Perakitan Baja 100 kg	0,028	kg	1.663.515,-	46.071,-
Pengelasan Baja 10 cm	120	cm	1310,47,-	157.256,-
Finishing	1	set	42.000,-	42.000,-
Jenis Bahan	Vol	Unit	HSP (Rp)	Jumlah (Rp)
<i>Dynabolt</i>	1	set	2.350,-	2350,-
Bensin Akomodasi	0,08	liter	7650,-	612,-
Total Biaya				248.289,-
PPN (10%)				24.829,-
Total Biaya Akhir (dibulatkan)				273.118,- 273.200,-

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 5. Perhitungan Biaya 1 Pasang *Base Isolation* 2 Roda

Jenis Pekerjaan	Vol	Unit	HSP (Rp)	Jumlah (Rp)
Perakitan Baja 100 kg	0,028	kg	1.663.515,-	46.071,-
Pengelasan Baja 10 cm	120	cm	1310,47,-	157.256,-
Finishing	1	set	42.000,-	42.000,-
Jenis Bahan	Vol	Unit	HSP (Rp)	Jumlah (Rp)
<i>Dynabolt</i>	2	set	2.350,-	4700,-
Bensin	0,08	liter	7650,-	612,-
Total Biaya				250.639,-
PPN (10%)				25.064,-
Total Biaya Akhir (dibulatkan)				275.703,- 275.700,-

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 6. Perhitungan Biaya 1 Pasang *Base Isolation* 3 Roda

Jenis Pekerjaan	Vol	Unit	HSP (Rp)	Jumlah (Rp)
Perakitan Baja 100 kg	0,028	kg	1.663.515,-	46.071,-
Pengelasan Baja 10 cm	120	cm	1310,47,-	157.256,-
Finishing	1	set	42.000,-	42.000,-
Jenis Bahan	Vol	Unit	HSP (Rp)	Jumlah (Rp)
<i>Dynabolt</i>	3	set	2.350,-	7050,-
Bensin	0,08	liter	7650,-	612,-
Total Biaya				252.989,-
PPN (10%)				25.299,-
Total Biaya Akhir (dibulatkan)				278.288,- 278.300,-

Sumber: Hasil Analisis

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perilaku portal baja melalui pengujian meja getar, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) *Base isolation* baja didesain dengan mengadopsi konsep *friction pendulum system* yaitu memanfaatkan kelengkungan permukaan untuk membuat struktur di atasnya kembali pada posisi semula.
- 2) Pada portal baja menggunakan *base isolation* baja didapatkan nilai presentase reduksi dengan perbandingan terkecil:
 - a. Pada kondisi kerusakan sedang (*moderate damage*) untuk portal sepuluh lantai, penggunaan *base isolation* baja dengan dua roda dapat mereduksi beban gempa yaitu percepatan rata-rata sebesar 48% menyebabkan percepatan maksimum sebesar 84% lebih kecil, dan *base isolation* baja dengan tiga roda untuk portal lima lantai dapat mereduksi yaitu percepatan rata-rata sebesar 80% menyebabkan percepatan maksimum sebesar 86% lebih kecil dibandingkan dengan *base isolation* satu roda.
 - b. Pada *base isolation* baja dengan menggunakan dua roda untuk portal sepuluh lantai yaitu percepatan atap portal rata-rata 80% lebih kecil, mengakibatkan percepatan pada atap maksimum 78% lebih kecil dan pada *base isolation* baja dengan tiga roda untuk portal lima lantai yaitu percepatan atap portal rata-rata 62% lebih kecil, mengakibatkan percepatan maksimum pada 65% lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan *base isolation* satu roda
- 3) Dari analisis perhitungan perkiraan biaya pengerjaan *base isolation* baja dengan variasi satu roda, dua roda dan tiga roda, didapatkan nilai biaya akhir (termasuk PPN 10%) sebesar:
 - a. *Base isolation* satu roda : Rp 273.200,-
 - b. *Base isolation* dua roda : Rp 275.700,-
 - c. *Base isolation* tiga roda : Rp 278.300,-

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurtama, W. 2018. *Analisis Pemodelan Bentuk Lain Base Isolation Baja Terhadap Ketahanan Gempa Pada Bangunan Gedung Bertingkat*. Jurnal Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang. Vol. 5, No. 4.
- [2] Alharis, M. 2012. *Analisa Pengaruh Seismic Isolation Terhadap Perilaku Lateral Pondasi Pada Gedung Dinas Prasarana Jalan Tata Ruang dan Pemukiman Sumatera Barat*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia, Depok.
- [3] Dazio, A. 2013. *Fundamentals of Structure Dynamics*. Palestine: An-Najah National University.
- [4] Paz, M & Kim, Y.H. 2019. *Dynamics of Structure*. University of Louisville Louisville, KY, USA.
- [5] Salim, M. A, & Siswanto, A. B., 2018. *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: K-Media.