



Analisis Kinerja High Damping Rubber Bearing dan Lead Rubber Bearing pada Bangunan Beton Bertulang ¹

Analysis of High Damping Rubber Bearing and Lead Rubber Bearing Performances in Reinforced Concrete Building

Iffah Ariqoh Fakrunnisa ^a, Gati Annisa Hayu ^{b, 2}

^a Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arif Jakarta Selatan.

^b Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arif Jakarta Selatan.

ABSTRAK

Sistem isolasi dasar atau *base isolator* merupakan suatu inovasi dalam perkembangan teknologi pada bidang perancangan bangunan tahan gempa. Dua sistem isolasi dasar yang sering digunakan pada bangunan gedung adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dan *Lead Rubber Bearing* (LRB). Kedua jenis sistem isolasi dasar ini memiliki karakteristik masing-masing. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kinerja bangunan *fixed base* dengan bangunan yang menggunakan HDRB dan LRB dengan kondisi pembebanan gempa yang sama pada suatu bangunan beton bertulang 8 lantai. Bangunan yang digunakan adalah gedung sekolah dengan sistem struktur rangka beton bertulang pemikul momen khusus yang terletak di daerah Yogyakarta dengan kondisi tanah sedang. Parameter-parameter yang dikaji adalah perpindahan, gaya geser dasar, simpangan antar lantai. Perpindahan pada struktur dengan LRB mengalami kenaikan sebanyak 43,97% sedangkan HDRB sebanyak 55,465% pada arah y. Namun gaya aksial, dan gaya geser pada struktur yang dihasilkan oleh struktur base isolation lebih kecil. Perbedaan keduanya pada sistem LRB adalah sebesar 1,82% dan 96,18% sedangkan sistem HDRB sebesar 2,36% dan 97,58%. Berdasarkan pada parameter-parameter tersebut, sistem HDRB bekerja lebih efektif dibandingkan dengan sistem LRB dalam mereduksi gaya geser dasar dan simpangan antar lantai, namun juga meningkatkan nilai perpindahan gedung.

Kata kunci: base isolation, gaya geser dasar, high damping rubber bearing, lead rubber bearing, perpindahan

ABSTRACT

Base isolation system is an innovation in the technological development of earthquake-resistant building design. Two types of base isolation systems that have been widely used for building are High Damping Rubber Bearing (HDRB) and Lead Rubber Bearing (LRB). These base isolations have their own characteristics. The aim of this research is to compare the performances of HDRB and LRB under the same earthquake load in an 8th-storey reinforced concrete building. The building used here is a school building with a special moment frame located in Yogyakarta with medium soil conditions. The measured parameters are displacement, base shear, and inter-story drift of the structure. The displacement of the structure with LRB increased by 43,97% while the HDRB system increased by 55,465% in the y-axis. The results show that structure with base isolation has a smaller axial force and shear force. The difference between the two in the LRB system is 1,82% and 96,18%, while HDRB is 2,36% and 97,58% respectively. Based on these parameters, the structure with the HDRB system works more effectively when compared with LRB.

Keywords: base isolation, base shear, displacement, high damping rubber bearing, lead rubber bearing

¹ Info Artikel: Received: 13 Maret 2021, Accepted: 15 Desember 2021.

² Corresponding Author: Gati Annisa Hayu, annisagati@gmail.com.

PENDAHULUAN

Indonesia terletak di tiga lempeng tektonik dunia, yakni lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Pertemuan tiga lempeng tektonik dunia tersebut menyebabkan potensi aktivitas seismik di Indonesia cukup tinggi. Aktivitas gempa yang cukup sering terjadi menyebabkan *engineer* harus merancang bangunan yang mampu menahan respon inelastik yang disebabkan oleh beban gempa, tanpa melupakan aspek pembebanan struktur dari bangunan yang dirancang. Peraturan yang mengatur tentang ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung di Indonesia adalah SNI 1726:2012. Peraturan ini digunakan untuk mengantisipasi kerusakan pada struktur gedung akibat gempa yang ada. (Kurniawan, Nurtanto, & Hayu, 2018)

Perancangan bangunan tahan gempa yang sering dijumpai di Indonesia adalah perancangan struktur *fixed base* (Erista, 2011). Konsep perancangan bangunan *fixed base* adalah bangunan yang menitikberatkan pada kekuatan struktur untuk meredam gaya gempa yang bekerja pada struktur. Pada saat gempa terjadi, bangunan akan bergetar akibat pergerakan tanah yang mempengaruhi bagian pondasi. Namun pergerakan tanah akibat gempa bersifat acak sehingga bangunan yang bersifat kaku mudah runtuh. Kerusakan pada bangunan *fixed base* sering terjadi akibat besarnya nilai *interstory drift*.

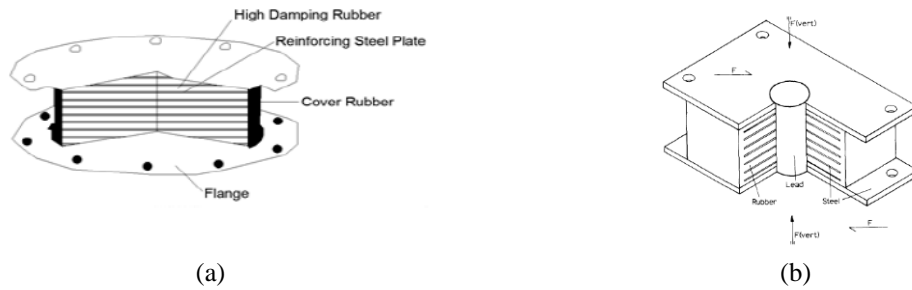
Memperkaku bangunan dalam arah lateral adalah cara untuk memperkecil nilai *interstory drift*. Maka dari itu seiring dengan perkembangan teknologi konstruksi, terciptalah sistem *base isolator*, yakni adalah sebuah sistem yang memiliki tingkat kekakuan yang kecil, yang memisahkan bangunan komponen atas dengan komponen pondasi. Konsep dari *base isolator* adalah menjaga struktur untuk tetap bersifat elastik ketika gempa kuat terjadi. Prinsip kerja dari *base isolator* adalah gempa yang datang akan melewati *base isolator* sebelum memasuki struktur. Setelahnya, *isolation system* akan beradaptasi dan meredam gaya gempa yang ada sehingga getaran pada bangunan bagian atas tidak terlalu besar (Indra, Suryanita, & Ismeddiyanto, 2016). Dengan demikian maka kinerja struktur bangunan akan meningkat secara signifikan, ditandai dengan kurangnya kinerja struktur setelah gempa terjadi.

Seiring dengan berkembangnya teknologi konstruksi, maka terciptalah inovasi dalam konstruksi bangunan. Inovasi tersebut dikenal dengan istilah *base isolator*. *Base Isolator* adalah sebuah sistem yang disisipkan di antara bagian pondasi struktur dan komponen struktur bagian atas (Andrian, Faimun, & Wahyuni, 2017). Sistem ini berfungsi untuk menjaga komponen struktur atas sebagai satu kesatuan sehingga ketika gempa terjadi, gaya gempa tersebut sudah diredam terlebih dahulu oleh *isolator bearing*.

High Damping Rubber Bearing adalah *base isolator* jenis *elastomeric bearing* yang menggunakan karet untuk meredam gaya gempa yang terjadi pada struktur bangunan. Pada saat gaya angin atau gempa skala kecil terjadi, gedung dengan sistem HDRB tidak akan berdeformasi secara signifikan. Hal ini dikarenakan nilai kekakuan awal sistem HDRB yang tinggi. Jika skala gempa yang terjadi meningkat, maka sistem dengan otomatis akan mengendurkan kekakuannya sehingga dapat meningkatkan periode natural struktur bangunan. Ketika nilai regangan gesernya sudah mencapai 250 – 300%, kekakuan horizontal akan meningkat kembali akibat *hardening effect*. Hal ini berfungsi agar deformasi struktur tidak melebihi batas maksimum yang telah direncanakan (Budiono & Setiawan, 2014).

Lead Rubber Bearing adalah *base isolator* jenis *laminated rubber bearing* dengan menggunakan karet dan timah di bagian tengah isolatornya. Lapisan karet berfungsi sebagai

penahan gaya aksial gedung, sedangkan lapisan timah yang berada di tengah berfungsi sebagai penyerapan gaya gempa sehingga perpindahan struktur yang diakibatkan oleh gaya gempa akan terdisipasi. Penambahan timah di tengah tengah isolator bearing mampu meningkatkan redaman hingga 30%. Sifat sistem LRB pada gedung adalah fleksibel di arah horizontal, namun memiliki kapasitas kekakuan yang tinggi pada arah vertikal (Manalu, 2015).



Gambar 1. (a) *High dumper rubber bearing* (b) *Lead rubber bearing*

Penelitian ini mengamati secara spesifik mengenai kinerja bangunan *fixed base* dan bangunan yang terisolasi dengan *base isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* dan *Lead Rubber Bearing*. Analisis kinerja difokuskan pada perpindahan, gaya geser dasar, dan simpangan antar lantai.

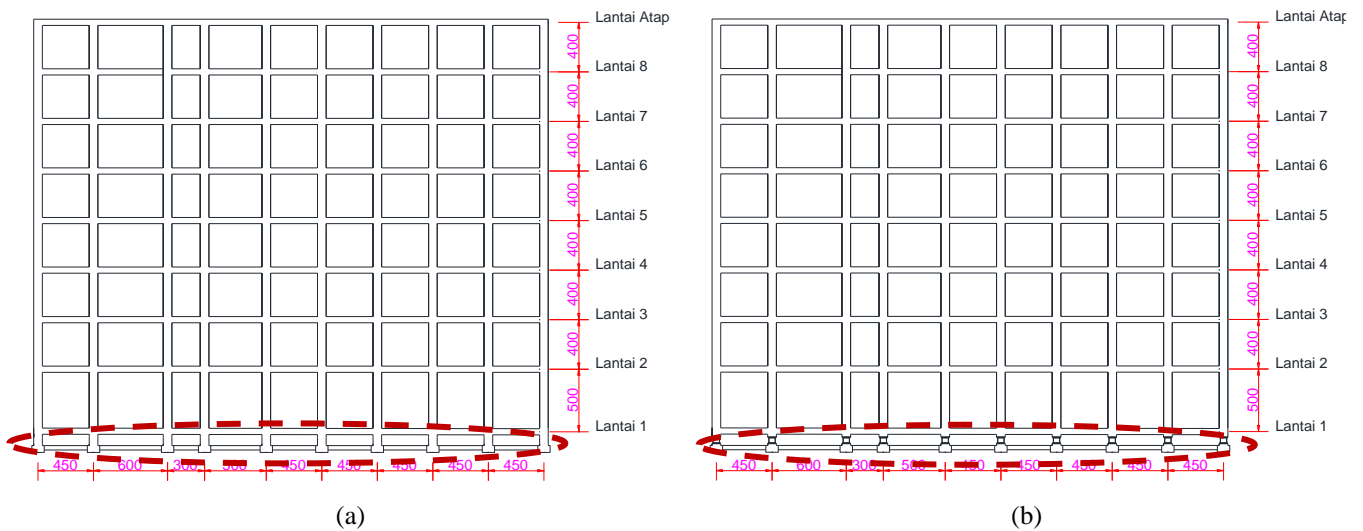
METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Tahap penelitian diawali dengan melakukan perancangan struktur. Perancangan struktur ini menggunakan pendekatan kuantitatif, hal ini dikarenakan hasil dari perancangan yang dilakukan berupa angka yang merupakan hasil analisis perilaku struktur bangunan. Data dan deskripsi singkat bangunan ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

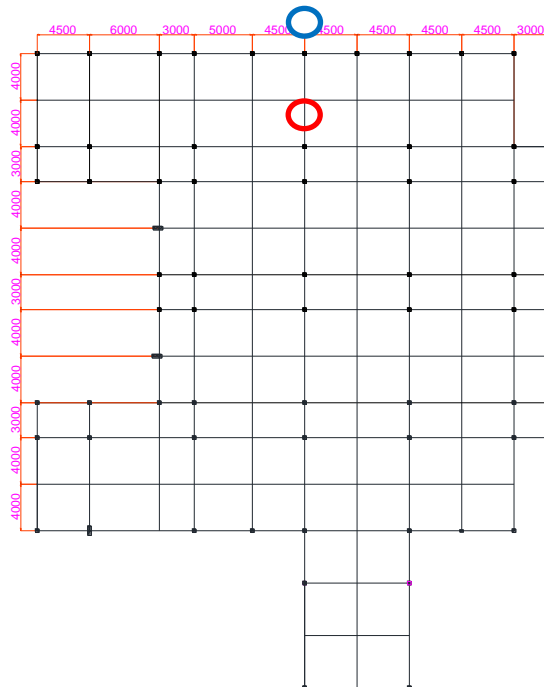
Tabel 1. Detail struktur

No.	Uraian	Keterangan
1.	Jenis Bangunan	Gedung 8 Lantai
2.	Lokasi	Yogyakarta
3.	Fungsi	Bangunan Sekolah
4.	Tinggi Bangunan	33 m
5.	Panjang Bangunan	44 m
6.	Lebar Bangunan	41 m
7.	Area Gempa	Yogyakarta
8.	Jenis Struktur	Betor Bertulang
9.	Mutu Beton	25 MPa
10.	Mutu Tulangan	400 MPa



Gambar 2. Perencanaan gedung dengan (a) *Fixed base* dan (b) *Base isolator*

Setelah merancang gedung *fixed base*, maka didapatkan bahwa periode natural struktur terjadi selama 1.652 detik. Selain itu, reaksi terbesar terjadi pada joint 7 dan 70. Nilai reaksi pada joint 7 akan dijadikan acuan untuk menentukan dimensi *base isolator* bagian exterior, sedangkan nilai reaksi pada joint 70 akan dijadikan acuan untuk menentukan dimensi *base isolator* bagian interior.



Gambar 3. Posisi *exterior joint* (biru) dan *interior joint* (merah)

Dimensi HDRB

Perhitungan kebutuhan dimensi *base isolator* HDRB dapat dilakukan berdasarkan gaya aksial dan periode natural struktur yang didapat dari gedung *fixed base*. Periode rencana (T_D) untuk dimensi HDRB adalah 4,955 detik. Dalam perencanaan HDRB digunakan karet

MVBR-0514/MVBR-0520X0.6R merk *Bridgestone*. Bagian eksterior menggunakan tipe *bearing Bridgestone HH075x6R* sementara bagian interior menggunakan *Bridgestone HH085x6R*. Spesifikasi HDRB yang digunakan ditampalikan pada Tabel 2. Penentuan dimensi HDRB didasarkan pada persamaan (1), (2), dan (3).

$$K_h = \frac{m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{L} \quad (1)$$

$$A = \frac{K_H t_r}{G} \quad (2)$$

$$d_{rubber} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3)$$

Dimana K_h adalah nilai kekakuan horizontal pada sistem *isolator bearing*, nilai K_h selanjutnya digunakan untuk mencari luas dari sistem isolator bearing. Setelah besar luas dari *isolator bearing* ditentukan, maka didapatkan nilai diameternya. Nilai diameter digunakan untuk mencari tipe dan spesifikasi dari *isolator bearing* yang akan digunakan.

Tabel 2. Spesifikasi HDRB dan LRB

No.	Deskripsi	Spesifikasi HDRB		Spesifikasi LRB	
		HDRB Interior	HDRB Eksterior	LRB Interior	LRB Eksterior
1.	Tipe <i>Bearing</i>	HH085X6R	HH075X6R	LH110G4	LH095G4
2.	<i>Shear Modulus</i> (G)	0,620 MPa	0,620 MPa	0,385 MPa	0,385 MPa
3.	Ketebalan <i>Rubber</i> (tr)	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
4.	Reaksi Terbesar (W)	5230,031 kN	391,011 kN	3891,011 kN	5230,031 kN
5.	Kekakuab Horizontal (K_H)	1,402 MN/m	1,402 MN/m	1,403 MN/m	1,402 MN/m
6.	Luasan (A)	0,452 m ²	0,336 m ²	0,728 m ²	0,3542 m ²
7.	<i>Diameter Rubber</i> (d_{rubber})	0,839 m	0,738m	1100 m	950 m

Dimensi LRB

Sama halnya dengan HDRB, perhitungan kebutuhan dimensi LRB dilakukan berdasarkan gaya aksial dan periode natural struktur yang didapat dari gedung *fixed base*. Periode rencana (T_D) untuk dimensi LRB adalah 4,955 detik. Dalam perencanaan LRB digunakan karet MVBR-0517 merk *Bridgestone*. Bagian eksterior menggunakan tipe *bearing LH095G4* sementara bagian interior menggunakan *Bridgestone LH110G4*. Spesifikasi LRB yang digunakan ditampalikan pada Tabel 2.

ANALISIS HASIL

Kontrol Perpindahan Base Isolator

Isolation system yang dirancang harus mampu menahan perpindahan gempa lateral minimum yang bekerja pada setiap arah sumbu horizontal utama struktur. Nilai D_D dan D_M didapatkan dari persamaan di bawah ini:

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (4)$$

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (5)$$

Dimana:

T_D = Nilai periode efektif saat perpindahan rencana (s)

T_M = Periode struktur pada isolasi seismik saat perpindahan maksimum (s)

B_D, B_M = Koefisien redaman (SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.1)

S_{D1} = 0.465

S_{M1} = 0.636

Tabel 3. Nilai D_D dan D_M sesuai dengan jenis *isolator bearing*

No.	Isolator Bearing	D_D	D_M
1.	HDRB	$D_D = \frac{g * 0.465 * 4,644}{4\pi^2 * 1,588}$ $D_D = 362,375 \text{ mm}$	$D_M = \frac{g * 0.636 * 4,644}{4\pi^2 * 3}$ $D_M = 219,394 \text{ mm}$
2.	LRB (LH110G4)	341,222 mm	309,882 mm
3.	LRB (LH095G4)	330,424 mm	300,076 mm

Pada perhitungan dengan persamaan (4) dan (5) Nilai D_D untuk HDRB adalah 362,275 mm, sedangkan LRB adalah 341,222 mm dan 330,424 mm. Namun nilai D_M pada HDRB adalah 219,394 mm, dimana nilai D_M LRB adalah 309,882 dan 300,076 mm. Nilai D_D dan D_M yang didapatkan akan digunakan untuk mengetahui gaya gempa lateral yang bekerja pada struktur *isolator bearing*.

Kontrol Nilai Akhir respon Spektrum

1. Sistem Isolasi dan Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi

Isolation system yang disisipkan di bawah gedung dan elemen struktural yang ada di bawah harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral minimum sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$V_b = k_{Dmax} D_D \quad (4)$$

2. Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi

Struktur yang berada di atas *isolation system* harus direncanakan agar mampu menahan gaya geser minimum sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$V_s = \frac{k_{Dmax} D_D}{R_1} \quad (5)$$

Dimana:

K_{dmax} = kekakuan efektif maksimum dari *isolation system* pada perpindahan rencana dalam arah horizontal yang ditinjau

D_d = gempa lateral minimum

R_1 = koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe sistem penahan gaya gempa di atas sistem isolasi

Nilai R_I harus berdasarkan pada sistem penahan gaya gempa yang digunakan di atas struktur sistem isolasi dan harus bernilai sebesar $3/8$ dari nilai koefisien modifikasi respon (R), dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2 dan tidak kurang dari 1.

$$V_b = k_{D-max} * D_D = 24261.949 * 0.339 = 7724.554 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{k_{D-max} * D_D}{R_I} = \frac{24261.949 * 0.339}{2} = 3862.277 \text{ kN}$$

Tabel 4. Nilai V_b dan V_s berdasarkan jenis sistem isolator

No.	Isolator Bearing	Vb (kN)	Vs (kN)
1.	HDRB	7724.55437	3862.27718
2.	LRB (LH110G4)	7273.64321	3636.8216
3.	LRB (LH095G4)	7360.2342	3680.1171

Gaya gempa dinamis yang telah didapatkan tidak boleh kurang dari 80% gara geser statik. Gaya gempa dinamis bangunan didapatkan dari program bantu analisis struktur SAP2000.

Tabel 5. Gaya gempa dinamis struktur *base isolator*

No.	Beban Gempa	HDRB (kN)	LRB (kN)
1.	Gempa Arah X	3492.637	4375.262
2.	Gempa Arah Y	3492.637	4375.262

Tabel 6. Cek gaya gempa dinamis struktur *base isolator*

No.	HDRB	LRB
1.	Arah X $V \geq 0.8 V_s$ $3492.637 \text{ kN} \geq 0.8 \times 3862.277 \text{ kN}$ $3492.637 \text{ kN} \geq 3089.822 \text{ kN}$ (OK!)	Arah X $V \geq 0.8 V_s$ $4375.262 \text{ kN} \geq 0.8 \times 3680.117 \text{ kN}$ $4375.262 \text{ kN} \geq 2944.094 \text{ kN}$ (OK!)
2.	Arah Y $V \geq 0.8 V_s$ $3492.637 \text{ kN} \geq 0.8 \times 3862.277 \text{ kN}$ $3492.637 \text{ kN} \geq 3089.822 \text{ kN}$ (OK!)	Arah Y $V \geq 0.8 V_s$ $4375.262 \text{ kN} \geq 0.8 \times 3680.117 \text{ kN}$ $4375.262 \text{ kN} \geq 2944.094 \text{ kN}$ (OK!)

Dari perhitungan di atas, maka dapat diketahui bahwa base isolator tipe HDRB dan LRB yang disisipikan pada struktur mampu menahan gaya geser minimum.

Displacement, Gaya Geser, dan Interstory Drift

Tabel 7. *Displacement* struktur arah X

No.	Lantai	Fixed Base (mm)	LRB (mm)	HDRB (mm)	Peningkatan (LRB) (%)	Peningkatan (HDRB) (%)
1.	1	0,7618	36,2528	41,6693	100	100
2.	2	17,4197	52,5144	53,3174	66,8288	67,3283
3.	3	29,3256	61,9295	61,7268	52,6468	52,4913
4.	4	40,3875	70,2959	69,0246	42,5465	41,4883
5.	5	50,5688	77,8460	75,4209	35,0399	32,9512
6.	6	59,5536	84,3521	80,6573	29,3988	26,1647
7.	7	66,9519	89,5153	84,4006	25,2062	20,6736
8.	8	71,7896	92,7162	85,9615	22,5706	16,4864
9.	Atap	71,7896	92,7162	85,9615	22,5706	16,4864
RATA RATA					44,0898	41,5633

Tabel 8 *Displacement* struktur arah Y

No.	Lantai	Fixed Base (mm)	LRB (mm)	HDRB (mm)	Peningkatan (LRB) (%)	Peningkatan (HDRB) (%)
1.	1	0,613688	29,1626	46,9868	100	100
2.	2	14,183006	45,0612	60,3779	68,52	76,50961
3.	3	24,916403	53,6584	69,7399	53,56	64,27236
4.	4	35,170892	61,4009	78,3565	42,72	55,11428
5.	5	44,668522	68,4192	86,1822	34,71	48,16967
6.	6	53,078979	74,4883	92,9536	28,74	42,89732
7.	7	60,023673	79,3231	98,3502	24,33	38,96943
8.	8	64,554398	82,3221	101,700	21,58	36,52483
9.	Atap	64,554398	82,3221	101,700	21,58	36,52483
RATA RATA					43,97	55,465

Berdasarkan tabel di atas, maka didapatkan hasil bahwa pada displacement arah x, sistem LRB memiliki peningkatan yang lebih besar pada sistem HDRB, dengan peningkatan rata rata sebesar 44,089%. Namun pada displacement arah y, sistem HDRB mengalami peningkatan yang lebih besar dengan rata rata perpindahan sebesar 55,465%.

Tabel 9. Gaya geser struktur

No.	Gempa	Fixed Base (N)	LRB (N)	HDRB (N)	Reduksi LRB	Reduksi HDRB
1.	Gempa X	5786187	4375262	3492637	24,384%	39,638%
2.	Gempa Y	5810360	4375262	3492637	24,699%	39,889%

Data pada Tabel 9 didapatkan dari program bantu SAP2000. Pada data di atas, dapat dilihat bahwa gaya geser dasar struktur mengalami penurunan terbanyak dengan sistem HDRB, yakni sebesar 39,638% pada arah x dan 39,889% pada arah y.

Tabel 10. Story drift arah X dan Y

No.	Lantai	Arah X			Arah Y		
		Fixed Base (mm)	LRB (mm)	HDRB (mm)	Fixed Base (mm)	LRB (mm)	HDRB (mm)
1.	1	0,76179	0,76179	0	0	0	0
2.	2	16,657889	16,261546	21,648083	13,569318	15,898572	13,391081
3.	3	11,905914	9,415105	10,409392	10,733397	8,59721	9,361929
4.	4	11,061873	8,366395	9,29786	10,254489	7,742494	8,616672
5.	5	10,18136	7,550078	8,39626	9,49763	7,01829	7,825693
6.	6	8,984756	6,506105	7,236405	8,410457	6,069165	6,771353
7.	7	7,398353	5,163242	5,743299	6,944694	4,834788	5,396616
8.	8	4,837687	3,200917	3,560948	4,530725	2,998935	3,350049
9.	Atap	0	0	0	0	0	0

Bedasarkan data yang tertera di Tabel 10, nilai HDRB memiliki nilai story drift yang lebih kecil dibandingkan dengan LRB. Pada hal ini, dapat dikatakan bahwa sistem HDRB dianggap lebih aman dibandingkan dengan sistem LRB karena story drift nya lebih kecil.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Struktur dengan *isolation bearing* pada bagian bawah mengalami kenaikan periode struktur. Pada tipe LRB, periode natural struktur yang didapatkan adalah 4,229 detik. Namun pada tipe HDRB, periode natural strukturnya adalah 4,273 detik. Pertambahan periode natural struktur terhadap struktur fixed base pada LRB adalah 156,08% sedangkan HDRB 158,71%.
2. Nilai displacement pada struktur dengan *isolation bearing* akan meningkat dibandingkan dengan struktur fixed base, namun nilai simpangan antar lantai akan tereduksi. Pada arah X, displacement dengan tipe LRB akan meningkat sebanyak 44,09%, tipe HDRB meningkat sebanyak 41,56%. Namun pada arah Y, LRB meningkat 43,97% sedangkan HDRB meningkat 55,47%. Hal ini dapat terjadi karena *isolator bearing* memiliki kelenturan pada arah horizontal sehingga perpindahannya lebih besar.
3. Jika kedua sistem *isolator bearing* dibandingkan, maka kinerja struktur dengan isolator bearing tipe HDRB akan lebih unggul dibandingkan dengan sistem LRB dilihat dari aspek-aspek yang ditinjau seperti gaya geser dasar, momen, gaya aksial, dan gaya geser struktur.

SARAN

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pemodelan kolom pada struktur lebih beragam agar hasil analisis lebih akurat dibandingkan dengan hasil lapangan.
2. Perencanaan struktur dengan menggunakan isolator bearing sebaiknya juga membandingkan antara biaya yang dibutuhkan dengan perilaku struktur sehingga keunggulan penggunaan *isolator bearing* pada struktur benar benar diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, W., Faimun, & Wahyuni, E. (2017). Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 624.
- Budiono, B., & Setiawan, A. 2014. Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar *High-Damping Rubber Bearing* dan *Friction Pendulum System* pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*, 21(3), 180.
- Erista, D. 2011. Kajian Efek Parameter Base Isolator Terhadap Respon Bangunan Akibat Gaya Gempa dengan Metode Analisis Riwayat Waktu. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Indra, A. V., Suryanita, R., & Ismeddiyanto. (2016). ANALISIS RESPONS DINAMIK JEMBATAN RANGKA BAJA MENGGUNAKAN SISTEM SEISMIC ISOLATION LEAD RUBBER BEARING (LRB). *Jom FTEKNIK Universitas Riau*, 3(1), 3.
- Kurniawan, R., Nurtanto, D., & Hayu, G. A. 2018. Studi Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Hotel Dafam Lotus Jember dengan Menggunakan *Moment Resisting Frame dan Eccentrically Braced Frame Short Link*. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan Universitas Jember*, 2(1), 14.
- Manalu, I. 2015. STUDI PENGGUNAAN LEAD RUBBER BEARING SEBAGAI BASE ISOLATOR DENGAN MODEL JEMBATAN KUTAI KARTANEGARA PADA ZONA ZONA GEMPA DI INDONESIA. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wicaksono, A. D., & Wahyuni, E. 2017. Modifikasi Perencanaan Gedung RSUD Koja Jakarta Menggunakan Struktur Komposit Baja-Beton dengan *Base Isolator : High Damping Rubber Bearing*. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2)