

Sistem Semi-Isolasi Seismik High Damper Rubber Bearing Pada Gedung Bertingkat

Abdul Rokhman¹; Muhammad Sofyan²; Irma Wirantina Kustanrika³; Ade Okvianti Irlan⁴

^{1, 2, 3} Institut Teknologi PLN

⁴ Universitas Trisakti

² m.sofyan@itpln.ac.id

ABSTRACT

Conventional buildings with rigid structures (fixed Base) can cause the structure to experience a response such as a drift, a fairly large Base Shear. Whereas for conventional buildings it can cause large interstory drift structures to be examined in response to Structures of Building Structures 10 and 15, by using High Damper Rubber Bearing (HDRB) type base isolators attached to the pedestal of the structure. Structural responses to be reviewed include the natural vibrating time of the structure, Drift Structure. Modeling like this is expected that the building can anticipate earthquake energy that occurs with double action between base isolators (seismic isolation) type HDRB and the concrete frame structure to bear the moment while still taking into account the cost efficiency of seismic use isolation. The use of HDRB in HDRB-S10J and HDRB-S15J structural models can increase the vibration period but the results are not so significant that only 1.99% disputes from structural models without seismic isolation (FB10 and FB15). So the partial use of HDRB on the edges of the structure is not very effective.

Keywords: HDRB, Drift, Time Period, Seismic Isolation

ABSTRAK

Bangunan konvensional dengan struktur kaku (fixed Base) dapat menyebabkan struktur mengalami respons seperti drift, Base Shear yang cukup besar. Sedangkan untuk bangunan konvensional dapat menyebabkan struktur mengalami interstory drift yang besarkan diteliti respons Struktur Gedung Bertingkat 10 dan 15, Dengan menggunakan Base isolator tipe High Damper Rubber Bearing (HDRB) yang terpasang disebagian tumpuan dari struktur. Respon struktur yang akan ditinjau meliputi waktu getar alami struktur, Drift Struktur. Pemodelan seperti ini diharapkan gedung dapat mendisipasi energi gempa yang terjadi dengan aksi ganda antar base isolator (isolasi seismik) tipe HDRB dan struktur rangka beton pemikul momen dengan tetap memperhatikan efisiensi biaya penggunaan seismic isolation. Penggunaan HDRB pada model struktur HDRB-S10J dan HDRB-S15J dapat meningkatkan periode getar namun hasilnya tidak begitu signifikan yang hanya berselisih 1.99% dari model struktur tanpa isolasi seismik (FB10 dan FB15). Sehingga penggunaan HDRB secara parsial di bagian tepi struktur tidak begitu efektif.

Kata kunci: HDRB, Drift, Waktu Getar, Seismic Isolation

1. PENDAHULUAN

Bangunan merupakan tempat manusia menjalankan aktivitas, baik sebagai hunian, perkantoran, kegiatan wirausaha, sosial, budaya dan lain lain [1]. Dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan jumlah penduduk yang di Indonesia meningkat sangat drastis yang berdampak pada tingginya kebutuhan penduduk kepada hunian, semakin berkurang lahan untuk pembangunan hunian horisontal mendorong para developer properti untuk menyediakan hunian vertikal. Bangunan gedung bertingkat tinggi adalah salah satunya. Bangunan-bangunan bertingkat tinggi dirancang dengan masa pakai yang panjang namun memiliki satu resiko bahaya gempa yang cukup ekstrim [2]. Beban gempa sulit diukur besarnya. Dimensi dan geometri struktur yang tidak tepat dapat memperbesar getaran yang terjadi akibat terjadinya resonansi dan struktur bangunan tidak mampu untuk menerima beban-beban dinamik tersebut, sehingga kinerja bangunan menjadi tidak stabil dan dapat mengakibatkan kerusakan struktural yang tidak diharapkan. Bangunan konvensional dengan struktur kaku dapat menyebabkan akselerasi lantai menjadi cukup besar. Sedangkan untuk bangunan konvensional dapat menyebabkan struktur mengalami interstory drift yang besar. Kedua hal ini menjadi persoalan utama dalam mendesain bangunan tahan gempa yang mampu menjaga kondisi komponen bangunan yang berada di dalam gedung [3]. Konsep Isolasi Dasar seismik adalah merupakan Teknik pengontrolan struktur yang efektif saat gempa terjadi [4]. Konsep ini telah bertahun-tahun dikembangkan dan diterapkan oleh para engineer sebagai system bangunan yang efektif dalam meredam energy gempa.

Beberapa studi yang komprehensif dilakukan untuk mendesain bangunan yang dapat meredam energi gempa dengan menggunakan system isolasi seismik. Misalnya, Kelly [5] mengungkap perspektif sejarah awal dari pemanfaatan teknologi isolasi seismik yang tidak sempurna, disertai kronologi lengkap baik dalam penelitian dan tahap pengembangan. Taylor et al. [6] menyajikan pembahasan tentang pemanfaatan elastomer pada bantalan isolasi seismik, dengan meninjau perilaku respons jangka panjangnya. Habieb et al. [7] menyelidiki penggabungan kabel UFREI dan shape memory alloy (SMA) untuk meningkatkan disipasi energy kapasitas sistem isolasi pada perlindungan seismik dari sebuah bangunan gereja bersejarah. Kunde dan Jangid [8] melakukan tinjauan komprehensif mengenai penerapan isolasi seismik pada jembatan, mulai dari studi analitis, eksperimental dan parametrik. Symans et al. [9] meninjau pengembangan dan penerapan sistem isolasi dan redaman seismik pada struktur rangka kayu, dengan mengandalkan fleksibilitas bawaan dari sistem rangka dan massa yang relatif ringan.

Umumnya base isolator (isolasi seismik) pada gedung didesain terpasang pada semua pedestal pondasi pada layout yang telah digambar oleh perencana. Penggunaan base Isolator untuk Negara-negara berkembang masih tergolong mahal. Pemasangan base isolator di seluruh tumpuan gedung akan membuat biaya pembangunan gedung semakin besar. Agar menjadi lebih ekonomis, penggunaan base isolator dibatasi untuk sebagian tumpuan gedung saja untuk menghemat biaya pembangunan namun tetap memperhatikan kekuatan bangunan dalam memikul gaya gempa. Berdasarkan Pertimbangan tersebut, maka akan diteliti respons Struktur Gedung Bertingkat 5,10 dan 15, Dengan menggunakan Base isolator tipe *High Damper Rubber Bearing* (HDRB) yang terpasang disebagian tumpuan dari struktur. Respon struktur yang akan ditinjau meliputi waktu getar alami struktur dan Drift Struktur. Pemodelan seperti ini diharapkan gedung dapat mendisipasi energi gempa yang terjadi dengan aksi ganda antar base isolator (isolasi seismik) tipe HDRB dan struktur rangka beton pemikul momen dengan tetap memperhatikan efisiensi biaya penggunaan seismic isolation.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

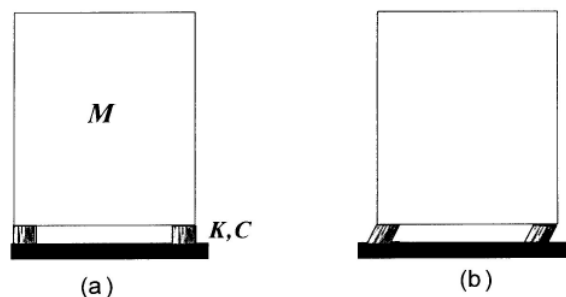
2.1. Konsep Fundamental Base Isolation

Pada prinsipnya base isolation diterapkan untuk memperkecil Interstory drift, disamping mengurangi akselerasi lantai. Base isolation (BI) juga biasa disebut sebagai kontrol pasif, sebagai kontrol gerakan struktural yang tidak dilakukan melalui agen eksternal dengan dorongan secara logic, melainkan melalui antarmuka yang dirancang khusus di dasar struktural atau di dalam struktur, sehingga dapat mengurangi atau meredam energi yang ditransmisikan dari tanah untuk memperoleh waktu getar alami struktur yang lebih panjang. Sebaliknya, Teknik aktif atau struktural kontrol, yang masih dalam penelitian dan pengembangan untuk ketahanan seismik struktur, dimana membutuhkan pemasangan beberapa elemen eksternal yang dikendalikan secara logic, seperti aktuator, untuk menahan pergerakan struktur. Salah satu kelemahan teknik kontrol aktif adalah biaya perawatan yang relatif mahal untuk sistem kontrol dan aktuator. Karena harus tetap berfungsi setiap saat untuk merespons gempa bumi besar.

Karakteristik dinamis dari bangunan yang menggunakan base isolation dapat dimodelkan sebagai bangunan berlantai satu dengan isolator yang berilaku elastis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan memperlakukan bagian bangunan yang terisolasi sebagai massa kaku, bangunan base isolation dapat disimulasikan sebagai sistem SDOF teredam, dimana persamaan geraknya menggunakan prinsip d'alembert seperti pada persamaan 1 [11].

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{u}_g \quad (1)$$

di mana $\ddot{u}_g$ merupakan akselerasi tanah, u adalah Perpindahan struktur, M merupakan massa dari struktur, serta C redaman, dan K kekakuan isolator.



Gambar 1. Base Isolation System (a. Posisi mula-mula, b. Posisi terdeformasi) [10]

2.2. Prosedur Desain High Damper Rubber Bearing (HDRB)

HDRB merupakan salah satu jenis isolator seismik. Lapisan karet yang membentuk bantalan karet redaman tinggi (HDRB) biasanya terbuat dari bahan yang sangat nonlinear/Inelastis pada kasus regangan geser. Performa Redaman efektif yang berada dikisaran 0,10 ~ 0,20 merupakan karakteristik HDRB yang dicapai melalui penambahan senyawa kimia khusus yang dapat mengubah sifat material karet. Secara teoritis, kekakuan dan redaman HDRB harus mampu memikul beban angin dan gempa. Dalam penerapannya, kekakuan dan sifat redaman HDRB tetap cukup stabil dalam merespon gempa. Serupa dengan apa yang telah dilakukan dalam pada studi-studi sebelumnya, HDRB diasumsikan berperilaku elastis linier dan isotropik dalam preliminary desain. Prosedur desain untuk HDRB dijelaskan pada langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Menentukan kondisi tanah untuk struktur yang akan dipasang sistem HDRB.
- 2) Pilih produk yang sesuai pada pabrikan dengan mempertimbangkan variabel variabel mekanis penting HDRB seperti regangan geser desain γ_{max} dan rasio redaman efektif ξ_{eff} bantalan, dan target periode desain T_D struktur.
- 3) Gunakan rumus dari code, atau berdasarkan analisis statis atau dinamis, untuk menentukan kekakuan horizontal efektif, K_{eff} , Perpindahan horisontal dan maksimum (desain) D_d dari bantalan.

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_d} \right)^2 \quad (5)$$

$$D_d = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_D T_D}{B_D} \quad (6)$$

- 4) Pilih properti material, termasuk modulus Young, E, dan modulus geser G, dari laporan pengujian pabrikan.
- 5) Hitung tinggi total karet, t_r , pada bantalan sesuai dengan perpindahan desain, D_d dan regangan geser desain γ_{max} :

$$t_r = \frac{D_d}{\gamma_{max}} \quad (7)$$

- 6) Hitung area efektif A dan ketebalan t dari setiap lapisan karet. Sebuah. Pilih faktor bentuk S dalam kondisi tanpa goyang:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c A}{t_r}}{\frac{G A}{t_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E_c (1+2S^2)}{G} \geq 400 \text{ untuk } S > 10 \quad (8)$$

Dimana:

- K_v = Kekakuan vertikal bearing
- K_h = Kekakuan horisontal
- G = Modulus geser, antara 0.4 - 1 MPa
- E = Modulus Young, antara 1.5 - 5 MPa
- E_c = Modulus Kompresi rubber-steel komposit, $E_c = E (1+2kS^2)$
- A = Luas Penampang pada Bearing yang terbebani.
- t_r = Tinggi total lapisan karet
- k = Faktor Modifikasi, Antara 1 - 0.5
- S = Faktor bentuk A/A_f
- A_f = Luas penampang tak terbebani pada bearing

- 7) Tentukan Stabilitas regangan Geser Isolator

Syarat stabilitas regangan geser

$$\gamma_{c DL+LL} = 6S \cdot \varepsilon_c = 6S \cdot \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \quad (9)$$

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta_c}{t_r} = \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \quad (10)$$

$$S = \frac{L.B}{2(L+B).t} \quad \text{untuk bearing tipe persegi} \quad (11)$$

$$S = \frac{\pi d^2/4}{\pi dt} = \frac{d}{4t} \quad \text{untuk bearing tipe lingkaran} \quad (12)$$

Δ_c = Deformasi aksial bearing

S = Faktor Bentuk

L, B = dimensi bearing persegi $L \leq B$

t = ketebalan individual lapisan Karet

E_c = Modulus Young

P_{DL+LL} = Kombinasi beban mati dan hidup

d = Diameter Bearing

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0.75\varepsilon_b \quad (13)$$

$$\gamma_{sc} = 6S \cdot \frac{P_{DL+LL+EQ}}{E_c A_{re}} \quad (14)$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} \quad (15)$$

$$\gamma_{sr} = \frac{B^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} \quad (16)$$

$$\theta = \frac{12De}{b^2 + d^2} \quad (17)$$

γ_{sc} = regangan geser akibat kompresi

$P_{DL+LL+EQ}$ = kombinasi beban mati, hidup dan gempa

γ_{eq} = regangan geser akibat gaya gempa

γ_{sr} = regangan geser akibat rotasi

θ = rotasi akibat gempa

E_c = Modulus young

b, d = Dimensi struktur segiempat

e = Eksentrisitas aktual ditambah 5% eksentrisitas tak terduga

8) Cek stabilitas tegangan aksial

Syarat

$$\sigma_c = \frac{P}{A} < \sigma_{cr} = \frac{G.S.L}{2.5t_r} \quad (18)$$

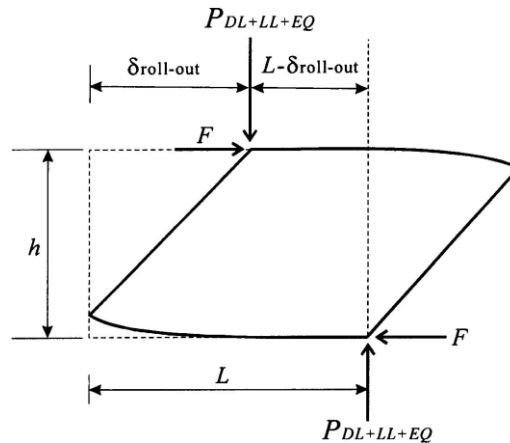
Atau

$$\sigma_c = \frac{P}{A} < \sigma_{cr} = \begin{cases} \frac{\pi G.S.d}{2\sqrt{2}.t_r} \\ \frac{\pi G.S.L}{\sqrt{6}.t_r} \end{cases} \quad (19)$$

9) Cek stabilitas akibat roll-out

Syarat

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{P_{DL+LL+EQ}.L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff}.h} \quad (20)$$



Gambar 2. Ilustrasi Efek Roll-Out pada Bearing

10) Cek Gaya geser minimum desain pada system isolasi, V_b = diambil nilai maksimum antara $V_{b,1}$ dan $V_{b,2}$

$$V_{b,1} = K_H x D_D = (\sum K_{eff}) x D_D \quad (21)$$

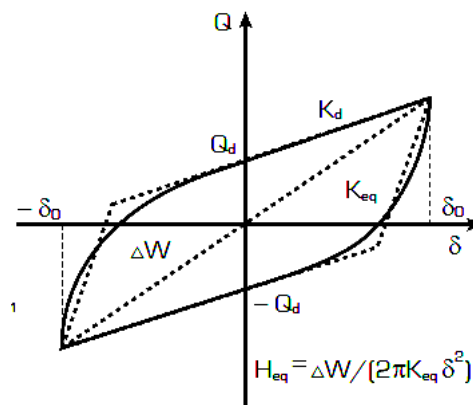
$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} \left(\frac{2\pi}{T_{Dp}} \right)^2 x D_d \quad (22)$$

syarat

$$V_b > V_s(\text{tanpa isolator seismik})$$

$$V_s = \frac{S_{DS}}{R/I} (W) \quad (23)$$

Pabrikan produk Base isolator “*Bridgestone, 2017*” merekomendasikan beberapa jenis HDRB yang telah teruji secara Eksperimental dengan properti-properti mekanis yang disajikan dalam bentuk kurva histeresis pada gambar 3.



Gambar 3. Kurva Histeresis HDRB

$$K_{eq} = \frac{G_{eq} \cdot A}{H} \quad (9)$$

$$K_1 = 10 \cdot K_2 \quad K_2 = K_{eq}(1-u) \quad Q_d = u \cdot K_{eq} \cdot H \cdot \gamma \quad (10)$$

K_1 = Kekakuan mula-mula

K_2 = Kekakuan pasca leleh

K_{eq} = Kekakuan Horizontal Ekivalen

Q_d = Kekuatan Karakteristik

u = Rasio antara kekuatan karakteristik terhadap kekuatan geser maksimum. (Q_d /shear strength)

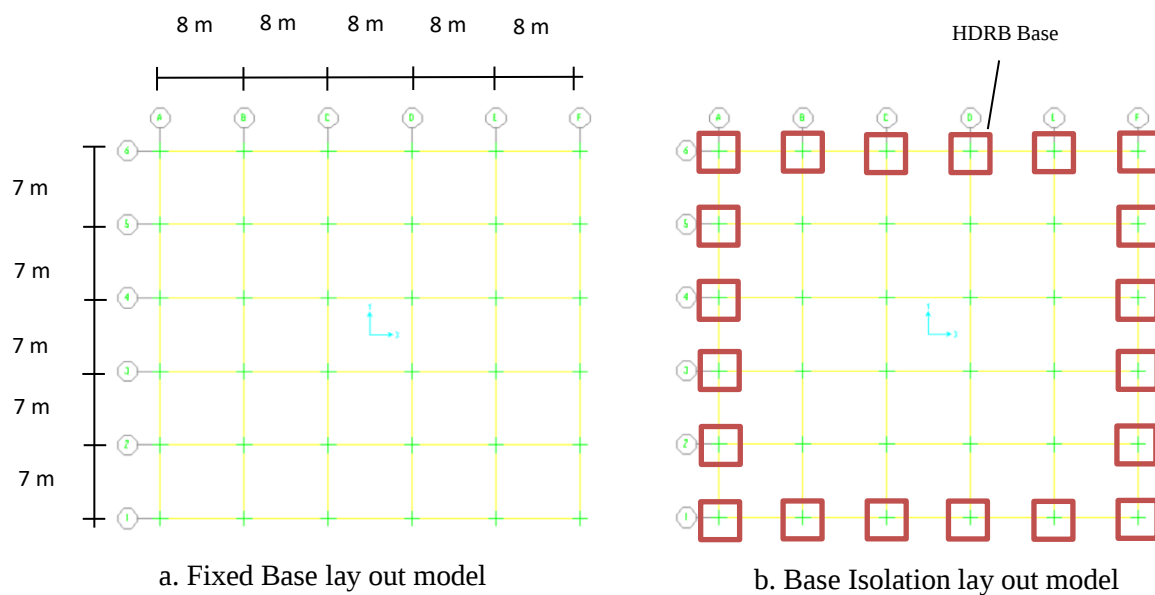
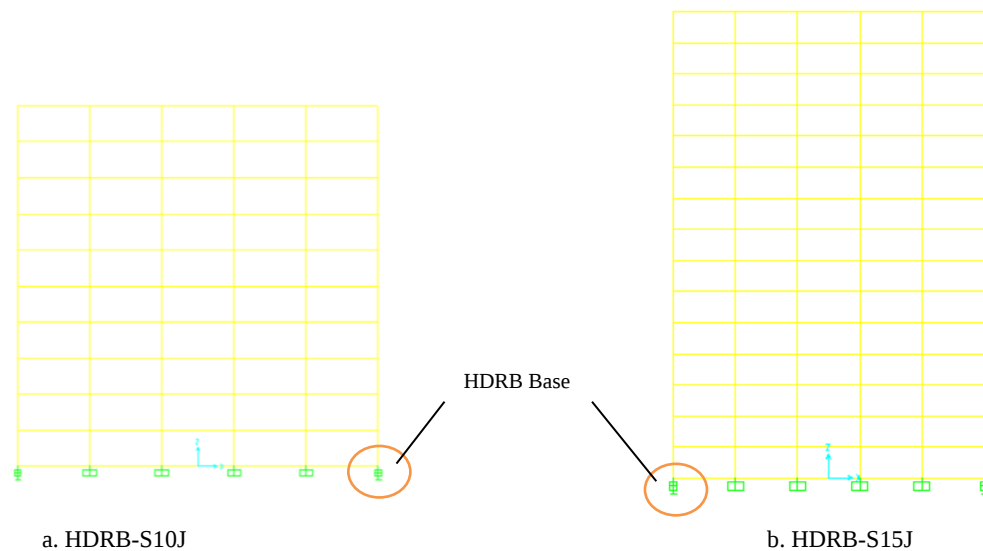
2.3. Deskripsi Model Geometris dan Propertis Struktural

Dalam penelitian ini akan dikaji 2 model struktural, yaitu gedung bertingkat 10 dan 15 yang masing-masing menggunakan sistem semi-isolasi seismik dan tanpa isolasi seismik. Gedung merupakan struktural beton simetrik beraturan yang diperuntukkan sebagai hunian apartemen yang berlokasi di wilayah Jakarta. Gedung yang akan di analisa berada di wilayah Jakarta dengan kategori situs A. Berdasarkan Peta bahaya gempa Indonesia 2017 jakarta memiliki nilai PGA 0.8g untuk periode 0.2 detik, dan nilai PGA 0.4g untuk periode 1 detik. Gedung didesain sebagai struktural rangka pemikul momen khusus sesuai SNI Gempa 2012 dengan nilai $R = 8$, $C_d = 5.5$ dan faktor ketamaan $I = 1$ (kategori resiko II). Tinggi kolom pada setiap lantai adalah 4 m untuk semua jenis struktural. Lay out dan model struktural dapat dilihat pada gambar 4.

Material utama struktural adalah beton bertulang dengan mutu beton $f'_c = 60$ MPa dan mutu baja tulangan BJ 37 (SNI). Dimensi Kolom dan balok Dapat dilihat Pada Tabel 1. Isolator yang digunakan adalah Isolator tipe HDRB dari Pabrikan Bridgestone tahun 2017 dengan spesifikasi seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Propertis Base Isolation HDRB pabrik Bridgestone

Propertis HDRB	MVBR-0516 (X0.3R)/HM060X3R (16 cm)
Stiffnes (K2) kN/m	382
Effective Stiffness (K _{eq})	530
Yield Strength (Q _d)	23.7
K1 (kN/m)	3820
K1/K2(Post Yield Stiffness Ratio)	0.1
Equivalent Damping Ratio	0.17
Weight	1
Compressive Strength (Mpa)	34
Compressive Stress structure (Mpa)	34

**Gambar 4.** Lay Out Struktur**Gambar 5.** Potongan Model HDRB isolator 10 dan 15 lantai

Tabel 2. Labeling Kolom dan Balok

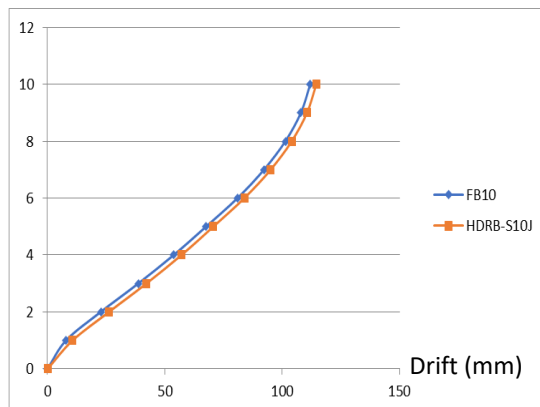
Lantai	Frame Label	Elemen
1 s/d 15	B30x50	Balok
1 s/d 5	K65x65	Kolom
6 s/d 15	K55x55	Kolom
1 s/d 15	Pelat 12 cm	Pelat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Drift

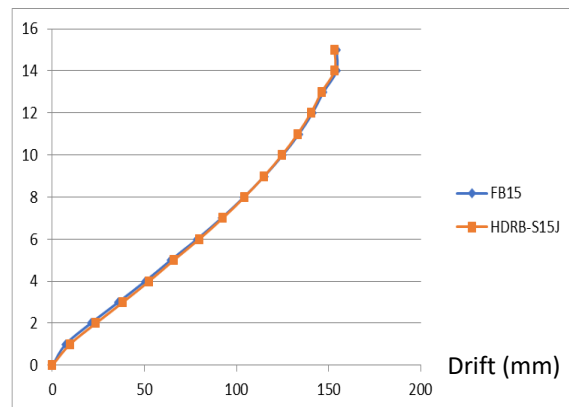
Setelah melakukan running program, nilai drift struktur dapat ditampilkan pada gambar 6.

Lantai Ke



a) 10 tingkat

Lantai Ke

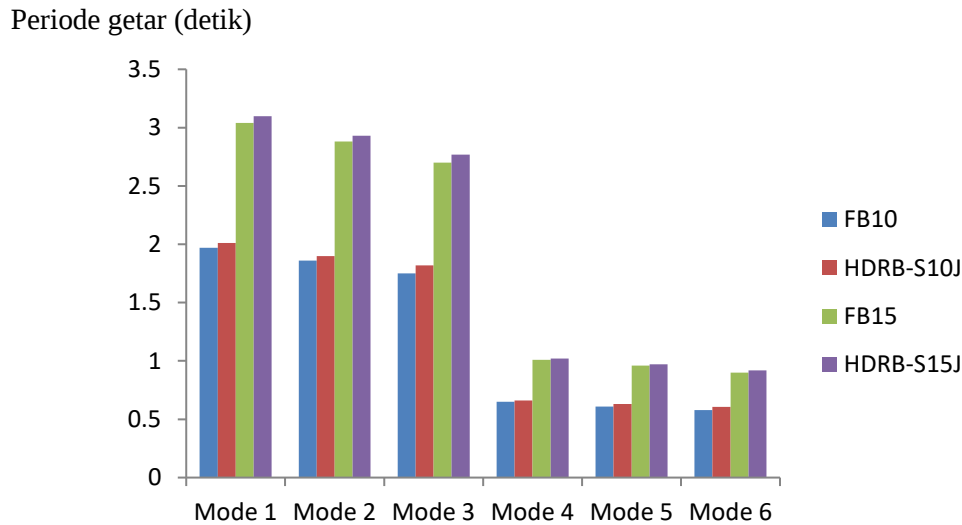


b) 15 tingkat

Gambar 6. Drift Struktur

Pada gambar 6a. terlihat bahwa drift struktur pada lantai 10 merupakan drift maksimum dengan nilai sebesar 111.95 mm untuk model FB10 (tanpa base isolation) sedangkan Model HDRB-S10J yang menggunakan Base isolation tipe HDRB memiliki nilai drift sebesar 114.53 mm, selisih dari keduanya hanya sebesar 2.25%. tren yang sama juga terlihat pada model 15 tingkat dimana selisih drift maksimum hanya berada pada angka 0.77%.

Salah satu respon yang akan ditinjau adalah periode getar struktur. Nilai Periode getar struktur disajikan pada gambar 7.



Gambar 7. Periode Getar Struktural

Pada gambar 7. Terlihat bahwa tinggi bangunan semakin memperbesar periode getar. Selain itu penggunaan HDRB dibagian tepi tumpuan tidak begitu berdampak signifikan terhadap periode getar struktural. Dimana Periode getar hanya bertambah paling tinggi adalah 1.99 %. Waktu getar tertinggi diperoleh pada model HDRB-S15J yaitu sebesar 3.099 detik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil Analisa dapat disimpulkan bahwa meskipun penggunaan HDRB pada model struktural HDRB-S10J dan HDRB-S15J dapat meningkatkan periode getar namun hasilnya tidak begitu signifikan yang hanya berselisih 1.99% dari model struktural tanpa isolasi seismic (FB10 dan FB15). Sehingga penggunaan HDRB secara parsial di bagian tepi tidak begitu efektif. Sebaiknya HDRB terpasang di sebagian besar tumpuan struktural. Drift maksimum terjadi pada model HDRB-S10J yaitu sebesar 114.53 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih Sebesar-besarnya kami haturkan kepada Institut Teknologi PLN/YPK PLN yang mendanai penelitian dan luaran penelitian yang peneliti telah susun. Secara Khusus Penulis/Peneliti juga mengucapkan terima kasih sebesar besarnya kepada LPPM-IT PLN dan Fakultas Teknologi Infrastruktur Dan Kewilayahan yang telah mendukung penuh dan memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sofyan, J. T. Sipil, S. Tinggi, T. Pln, and A. Rokhman, "Perilaku Bangunan Struktural Beton Berkolom Miring Terhadap Gaya Gempa Lateral."
- [2] Zheng, X.-W., Li, H.-N., Yang, Y.-B., Li, G., Huo, L.-S., & Liu, Y. (2019). Damage risk assessment of a high-rise building against multihazard of earthquake and strong wind with recorded data. *Engineering Structures*, 200(September), 109697. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109697>
- [3] Farzad Naeim and Ronald L. Mayes. (2009). *Design of Structures with Seismic Isolation*,

-
- [4] Khan, B. L., Azeem, M., Usman, M., Farooq, S. H., Hanif, A., & Fawad, M. (2019). Effect of near and far Field Earthquakes on performance of various base isolation systems. *Procedia Structural Integrity*, 18, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.145>
- [5] Kelly, J.M. Aseismic base isolation: Review and bibliography. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 1986, 5, 202–216.
- [6] Taylor, A.; Aiken, I. What's Happened to Seismic Isolation of Buildings in the U.S.? *Structure* 11 March 2011, 10–13; Available online: <http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=1404> (accessed on 30 July 2012).
- [7] A. B. Habieb, M. Valente, and G. Milani, “Hybrid seismic base isolation of a historical masonry church using unbonded fiber reinforced elastomeric isolators and shape memory alloy wires,” *Eng. Struct.*, vol. 196, no. February, p. 109281, 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109281.
- [8] Kunde, M.C.; Jangid, R.S. Seismic behavior of isolated bridges: A-state-of-the-art review. *Electron. J. Struct. Eng.* **2003**, 3, 140–170.
- [9] Symans, M.D.; Cofer, W.F.; Fridley, K.J. Base isolation and supplemental damping systems for seismic protection of wood structures: Literature review. *Earthq. Spectra* 2003, 18, 549–572.
- [10] Yeon bin Yang, *Earthquake Engineering Handbook*.2003.llc
- [11] Mario Paz, *Structural Dynamics.*, vol. 41, no. 9. 1977.