

Analisis Kinerja Pengaplikasian *Base Isolator High Damping Rubber Bearing* pada Gedung MRT *Hub* Jakarta Pusat

Shafannisa Sabila Sulhi^{1,*}, Krisnamurti¹, Ketut Aswatama Wiswamitra¹

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jember¹

Koresponden*, Email: shafannisasulhi@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	04 Agustus 2026	<i>Base isolation is a design strategy to improve structure's resistance to strong earthquakes by separating the superstructure from the ground. This study aims to analyze the structural performance using HDRB base isolators compared to a fixed-base structure. The research adopts the response spectrum method based on SNI 1726:2019. Structural performance is evaluated through drift, displacement, base shear, and internal forces in structural elements. The case study focuses on a 12-story MRT Hub building in Central Jakarta with two basements. The analysis results indicate that base isolators improve the structure's ability to withstand base shear by 61% in the X direction and 62% in the Y direction, reduce displacement, decrease inter-story drift by an average of 43% in the X direction and 40% in the Y direction, and reduce moment and shear forces in beams and columns.</i>
Diperbaiki	15 Agustus 2026	
Disetujui	22 Agustus 2026	

Keywords: base isolator, earthquake resistant, seismic isolation, high damping rubber bearing.

Abstrak

Base isolation merupakan sistem peredam gempa modern yang diterapkan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa kuat dengan cara memisahkan struktur atas dengan tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja struktur menggunakan *base isolator* HDRB dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Metode penelitian menggunakan metode respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Kinerja struktur dievaluasi berdasarkan hasil analisa struktur berupa *drift*, *displacement*, gaya geser dasar dan gaya dalam elemen struktur. Studi kasus yang dibahas pada penelitian ini adalah gedung MRT Hub Jakarta Pusat 12 lantai dengan 2 basement. Hasil analisa menunjukkan bahwa penggunaan *base isolator* dapat meningkatkan kemampuan struktur memikul gaya geser dasar sebesar 61% pada Arah X dan sebesar 62% pada Arah Y, mengurangi *displacement*, mengurangi simpangan antar lantai dengan rata – rata sebesar 43% pada arah X dan 40% pada arah Y dan mereduksi momen dan gaya geser elemen balok dan kolom yang ditinjau.

Kata kunci: *base isolator, earthquake resistant, seismic isolation, high damping rubber bearing.*

1. Pendahuluan

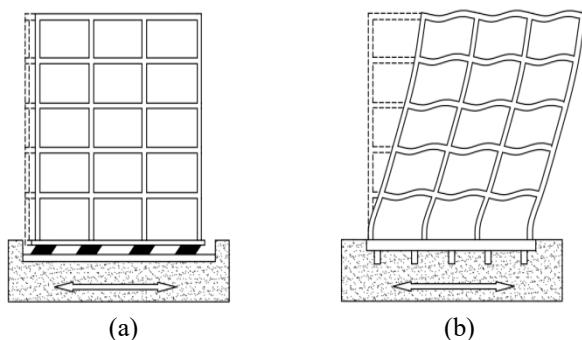
Kebutuhan untuk meminimalisir resiko korban jiwa dan kerusakan bangunan beserta isinya menyebabkan teknologi bangunan tahan gempa berkembang pesat dalam 100 tahun terakhir [1]. Struktur konvensional umumnya menambahkan dinding geser dan memperbesar elemen struktur untuk menahan gempa [2]. Namun, efeknya adalah peningkatan kekakuan struktur sehingga gaya gempa yang diterima struktur lebih besar [3]. Selain itu, struktur dihubungkan secara jepit dengan pondasi sehingga menyebabkan struktur atas bangunan mengalami pergeseran yang cukup besar secara bertahap dari lantai dasar sampai yang paling besar di lantai paling atas [4].

Ide yang muncul kemudian adalah dengan memisahkan bagian struktur atas dari tanah sehingga gaya gempa yang

diterima struktur atas menjadi berkurang [5]. Untuk membuat ide ini terealisasi, banyak penelitian dilakukan hingga munculah konsep baru yang disebut sistem isolasi dasar [6]. Sistem isolasi dasar ini menempatkan *base isolator* di bagian kolom paling bawah. Pada studi kasus gedung 20 lantai, periode natural bangunan bergeser dari 1,94 detik pada struktur jepit menjadi 4,24 detik pada struktur isolasi HDRB. Hal ini menyebabkan gaya geser dasar struktur HDRB lebih kecil dibandingkan struktur jepit [7]. Penelitian yang dilakukan oleh Becker, dkk [8] menunjukkan penggunaan *base isolator* mengurangi simpangan antar tingkat sebanyak 30-50% dan reduksi gaya gempa di struktur atas hampir 75%. Hasil perhitungan dari A. Fakrunnisa, dkk [9] juga menemukan bahwa gaya geser dasar struktur dengan HDRB mengalami penurunan sebesar 39% dibandingkan

struktur jepit. Studi dari Suwal dkk., [10] menunjukkan bahwa penggunaan isolasi dasar pada bangunan tinggi menggunakan dinding geser menghasilkan penurunan yang signifikan terhadap simpangan antar tingkat, *displacement*, gaya geser tingkat dan momen tingkat.

Base isolation atau sistem isolasi dasar merupakan sebuah strategi desain yang diterapkan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa kuat dengan cara memisahkan struktur atas dengan tanah. Dengan cara ini, periode dan rasio redaman struktur yang diisolasi dari tanah meningkat [11]. Hal ini akan mengurangi gaya gempa pada struktur. Peningkatan rasio redaman merupakan karakteristik alami untuk sebagian besar isolator. Sistem ini mendisipasi sebagian energi yang tercipta pada struktur akibat efek gempa, dan dengan demikian meningkatkan kinerja seismik struktur dan isinya [12].



Gambar 1. Perilaku Struktur Gedung menggunakan (a) *base isolator* dan (b) *fixed base* [13]

Indonesia memiliki standar terbaru yang mengatur sistem isolasi dasar yaitu pada SNI 1726:2019 Pasal 12. Namun penerapan sistem ini masih minim di Indonesia sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai kinerja pengaplikasian *base isolator* tipe HDRB dapat dilihat **Gambar 1**.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan pada gedung perkantoran MRT Hub 12 lantai dan 2 *basement* dengan dan tanpa *base isolator* tipe HDRB.

Lokasi : MRT Hub, Dukuh Atas, Jakarta Pusat
 Koordinat : -6,2021; 106,8236
 Kategori Resiko Gempa : II
 Faktor Keutamaan Gempa (I_e) : 1
 Klasifikasi Situs : Tanah Sedang (SD)

Prosedur perhitungan berdasarkan SNI 1726:2019 disyaratkan untuk terlebih dahulu menghitung struktur *fixed base*. Langkah – langkah prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Preliminary Design* Struktur *Fixed Base*

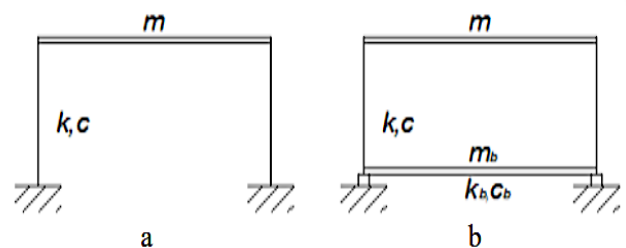
2. Pemodelan dan *run analysis* struktur *fixed base* pada program ETABS 20. Model analisis yang digunakan adalah metode respons spektrum.
3. Penentuan parameter gempa respon spektrum, dapat dilihat pada **Tabel 1**.
4. Kontrol Analisis Struktur *Fixed Base*
5. *Preliminary Design Base Isolator*
6. Menentukan tipe HDRB yang digunakan berdasarkan data merk dagang
7. Pemodelan *Base Isolation* pada program ETABS
8. Kontrol Analisis Struktur *Base Isolation*

Tabel 1. Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER)

Parameter	Nilai
S_s (g)	0,891
S_1 (g)	0,431
S_{DS} (g)	0,71
S_{D1} (g)	0,67
T_L (detik)	20
S_{M1}	0,81
S_{MS}	1,02
R	8
C_d	5,5
Ω_0	3

2.1 Model Matematika Sistem Isolasi Dasar

Pada **Gambar 2** dapat terlihat bahwa struktur memiliki kesamaan dengan sistem SDOF atau sistem derajat kebebasan tunggal.



Gambar 2. SDOF tanpa *base isolator* (a) dan dengan *base isolator* (b)

Persamaan berikut merupakan karakteristik dari struktur *fixed base*, berdasarkan Persamaan (1):

$$\omega_f = \sqrt{\frac{k}{m}}; T_f = \frac{2\pi}{\omega_f}; \beta_f = \frac{c}{2m\omega_f} \quad (1)$$

Dimana ω_f adalah frekuensi struktur *fixed base*, T_f adalah periode alami dan β_f adalah *damping ratio* struktur *fixed base*.

Karakteristik dari struktur *base isolation* menggunakan Persamaan (2):

$$\omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{(m+m_b)}}; T_b = \frac{2\pi}{\omega_b}; \beta_f = \frac{c}{2(m+m_b)\omega_b} \quad (2)$$

Dimana ω_b adalah frekuensi struktur isolasi dasar, T_b adalah periode alami dan β_f adalah *damping ratio* struktur isolasi dasar. Periode efektif struktur yang diisolasi pada perpindahan maksimum, T_M , ditentukan menggunakan Persamaan (3) berikut:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_M \times g}} \quad (3)$$

Keterangan:

W = berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi

k_M = kekakuan efektif minimum sistem isolasi, kN/mm

Sistem isolasi harus direncanakan untuk dapat menahan perpindahan maksimum, D_M , yang dihitung berdasarkan Persamaan (4) berikut:

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

Keterangan:

g = percepatan gravitasi

S_{M1} = parameter percepatan spektral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5 % pada periode 1 detik

T_M = periode efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan maksimum

β_M = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum

2.2 Gaya Lateral Minimum

Sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah tingkat dasar harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya seismik lateral minimum, V_b , dengan menggunakan semua persyaratan yang berlaku untuk struktur tanpa isolasi sesuai dengan Persamaan (5):

$$V_b = K_M \times D_M \quad (5)$$

k_M = kekakuan efektif, dalam kN/mm,

D_M = perpindahan maksimum, dalam mm

Struktur di atas tingkat dasar harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum, V_s sesuai Persamaan (6) berikut:

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I} \quad (6)$$

Dengan Persamaan (7),

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2,5\beta_M)} \quad (7)$$

Keterangan:

V_{st} = geser pada elemen-elemen di atas tingkat dasar

W = berat seismik efektif

W_s = berat seismik efektif, tidak termasuk berat seismik efektif pada tingkat dasar

R_I = koefisien berdasarkan tipe sistem pemikul gaya seismik, $1 \leq R_I \leq 2$

Gaya geser V_s harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur di atas tingkat dasar, sesuai dengan Persamaan (8) berikut:

$$F_x = C_{vx} \times V_s \quad (8)$$

Dengan faktor distribusi vertikal ditentukan dari Persamaan (9):

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (9)$$

Geser tingkat desain seismic di semua tingkat ditentukan dari Persamaan (10):

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (10)$$

Keterangan:

F_x = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat x

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

W_x, W_i = bagian berat seismik efektif total struktur () yang dikenakan pada tingkat i atau x

h_x, h_i = tinggi tingkat-i atau x dari pemisah isolasi

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut; untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k=1$ untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k=2$ untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k=2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.3 Analisa Spektrum Respon Ragam Terkombinasi

Partisipasi massa ragam terkombinasi disyaratkan berdasarkan SNI 1726:2019 paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dalam masing - masing arah horizontal otogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui periode struktur dan pola perubahan bentuk (*mode shape*).

Gaya geser dasar dinamik (V_d) hasil analisis ragam harus lebih dari 100 % dari gaya geser (V_s) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen. Apabila $V_d \leq 100\% V_s$, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V_s / V_d .

2.4 Simpangan Antar Lantai

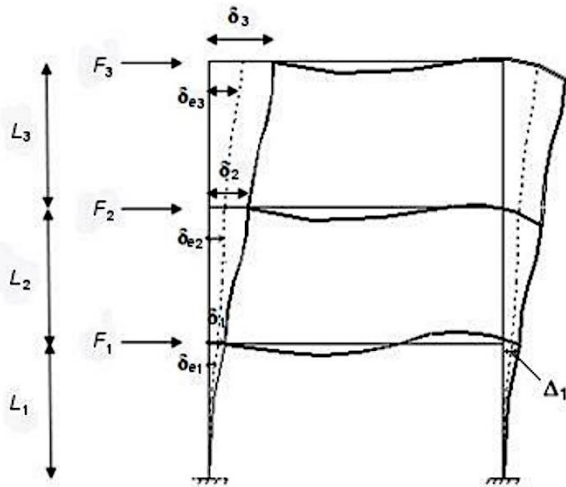
Simpangan antar lantai merupakan perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau dapat dilihat pada **Gambar 3**. Simpangan antar tingkat maksimum dari struktur isolasi tidak boleh melebihi $0,015h_{sx}$ jika metode analisis respon spektrum digunakan.

Simpangan antar tingkat lantai ke-x dihitung sebagai berikut dengan Persamaan (11):

$$\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1} \quad (11)$$

Defleksi pada pusat massa lantai ke-x dihitung menggunakan Persamaan (12):

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (12)$$



Gambar 3. Ilustrasi Simpangan Antar Lantai

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran defleksi

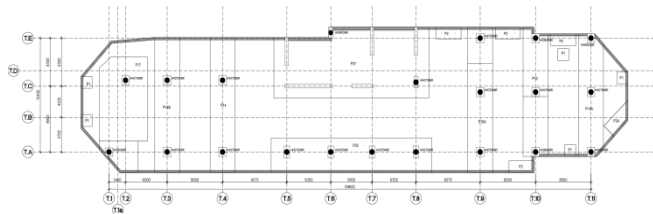
I_e = faktor keutamaan gempa

Δ = simpangan antar tingkat

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian hasil dan pembahasan akan dijelaskan cara perhitungan dimensi *base isolator*, desain gaya geser dasar sistem isolasi, hasil massa ragam terkomposisi antara struktur *fixed base* dan *base isolation*, perbandingan *displacement*, perbandingan *drift* dan perbandingan gaya dalam elemen struktur balok dan kolom. Perhitungan perencanaan struktur dengan isolasi menggunakan data gaya aksial kolom pada struktur *fixed base*.

3.1. Penentuan Dimensi Base Isolator



Gambar 4. Denah Base Isolator

Berdasarkan SNI 1726:2019, periode target rencana sistem isolasi dapat dihitung 3 kali dari periode struktur *fixed base*. Denah *base isolator* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

$$T_D \text{ rencana} = 3 \times T_{\text{fixed base}} = 3 \times 2,67 = 7,99 \text{ detik}$$

Direncanakan *base isolator* HDRB dengan klasifikasi sebagai berikut:

Jenis : MVBR-0520 (X0.6R)

Shear modulus (G_i) : 620000 N/m²

Equivalent Damping Ratio : 0,24

Ketebalan Rubber (t_r) : 0,2 m

Tahapan perhitungan dan penentuan dimensi base isolator pada studi ini dilakukan secara spesifik dengan merujuk pada standar spesifikasi teknis dan katalog resmi pabrikan merk Bridgestone, khususnya untuk tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dapat dilihat pada **Tabel 2**. Penggunaan bantalan karet tipe HDRB dipilih karena material ini memiliki karakteristik disipasi energi seismik yang sangat baik sekaligus mampu mengontrol perpindahan lateral bangunan secara terprediksi.

Dalam proses perancangan dimensi penampangnya, parameter desain utama yang dijadikan acuan mutlak adalah nilai gaya aksial kolom yang paling maksimum. Nilai reaksi vertikal terbesar ini diekstrak dari hasil pemodelan analisis struktur tahap awal yang masih menggunakan asumsi dasar perletakan jepit sempurna (*fixed base*). Penggunaan gaya aksial maksimum dari struktur jepit ini merupakan langkah yang sangat krusial dan konservatif dalam perancangan infrastruktur. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap unit base isolator yang nantinya dipasang tidak hanya efektif bekerja sebagai sistem pemisah (*decoupling*) gaya seismik, melainkan juga memiliki kapasitas daya dukung yang memadai untuk memikul seluruh beban gravitasi dari struktur atas (*superstructure*) secara aman tanpa mengalami kegagalan tekuk (*buckling*) maupun deformasi vertikal yang berlebihan. Oleh karena itu, penetapan ukuran, diameter, dan ketebalan lapisan karet disesuaikan secara ketat dengan distribusi beban pada masing-masing tipe base isolator yang digunakan di setiap titik tumpuan kolom, guna menjamin stabilitas keseluruhan bangunan saat merespons beban gempa rencana.

Tabel 2. Spesifikasi HDRB merk Bridgestone

Karakteristik	HH 060X6R	HH 070X6R
Diameter (m)	0,6	0,7
Luas area efektif (m ²)	0,2826	0,3847
Ketebalan Karet (m)	0,2	0,2
Berat total (N)	6500	7900
Initial stiffness (x10 ³ N/m)	5190	6990
Post yield stiffness (x10 ³ N/m)	519	699
Characteristic Strength (N)	71500	97300
Eq. shear stiffness (x10 ³ N/m)	876	1370

HDRB Tipe A:

$$K_H = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 = \frac{17654570,2}{9,81} \left(\frac{2\pi}{7,99} \right)^2 = 1110002 \text{ N/m}$$

$$A = \frac{K_H \times t_r}{G_t} = \frac{1110002 \times 0,2}{620000} = 0,3580 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,3580}{3,14}} = 0,675 \text{ m}$$

Maka digunakan HDRB HH070X6R.

HDRB Tipe B

$$K_H = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 = \frac{9630974,2}{9,81} \left(\frac{2\pi}{7,99} \right)^2 = 605531,6 \text{ N/m}$$

$$A = \frac{K_H \times t_r}{G_t} = \frac{605531,6 \times 0,2}{620000} = 0,1953 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,1953}{3,14}} = 0,4988 \text{ m}$$

Maka digunakan HDRB HH060X6R

Kekakuan aktual tiap *base isolator* dihitung sebagai berikut:

$$K_{MA} = \frac{G_t \times A_A}{t_r} = \frac{620000 \times 0,3847}{0,2} = 1192570 \text{ N/m}$$

$$K_{MB} = \frac{G_t \times A_B}{t_r} = \frac{620000 \times 0,2826}{0,2} = 876,06 \text{ N/m}$$

Kekakuan sistem isolasi pada struktur dihitung sebagai berikut:

$$K_M = (15 \times 1192570) + (6 \times 876060) = 23144910 \text{ N/m}$$

Periode efektif pada saat perpindahan maksimum dihitung sebagai berikut:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_M \times g}} = 2\pi \sqrt{\frac{174153,32}{23144,91 \times 9,8}} = 5,5 \text{ detik}$$

Perpindahan maksimum dihitung sebagai berikut:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 \beta_M} = \frac{9,8 \times 0,8055 \times 5,5}{4\pi^2 \times 1,58} = 0,69714 \text{ m}$$

Untuk detail gaya aksial dapat dilihat pada **Tabel 3**.

3.2. Gaya Geser Dasar Sistem Isolasi

Gaya geser dasar lateral metode statik ekuivalen dihitung berdasarkan SNI 1726:2019.

Gaya geser di bawah sistem isolasi

$$V_b = K_M \times D_M = 23144910 \times 0,69714 = 16135279,77 \text{ N}$$

Gaya geser diatas sistem isolasi (V_s)

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I} = \frac{15947235,5}{2} = 7973617,75 \text{ N}$$

dengan,

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2,5\beta_M)}$$

$$= 16135279,77 \left(\frac{169123522,4}{174153315,3} \right)^{(1-2,5(0,24))} = 15947235,5 \text{ N}$$

Tabel 3 Gaya Aksial Kolom Bawah

Story	Label	FZ (N)	Tipe
LB 2	41	17654570,20	
LB 2	40	15106596,10	
LB 2	38	13701555,80	
LB 2	26	13303505,00	
LB 2	1	12072860,90	
LB 2	36	11899179,70	
LB 2	9	11340371,70	A
LB 2	126	11261438,80	(HH070X6R)
LB 2	5	10684758,10	
LB 2	7	10529825,50	
LB 2	32	10467570,40	
LB 2	10	10399367,20	
LB 2	37	10190209,60	
LB 2	2	10069141,50	
LB 2	128	9630974,20	
LB 2	11	9389668,80	
LB 2	127	8817110,10	B
LB 2	12	8318573,30	(HH060X6R)
LB 2	17	8271636,10	
LB 2	3	8252023,10	

Untuk struktur isolasi seismic, $1 \leq R_I \leq 2$

$R_I = 3/8R = 3/8 \times 8 = 3$, maka diambil $R_I = 2$

Gaya seismik lateral F_x di tiap lantai ditentukan dari Persamaan (6). Berikut contoh perhitungan gaya seismik lateral F_x pada lantai 1:

$$F_1 = C_{v1} \times V_s$$

$$F_x = 0,00402 \times 7973,61775 = 7966,18 \text{ kN}$$

Faktor distribusi vertikal (C_{vx}) ditentukan dari Persamaan (7). Berikut contoh perhitungan faktor distribusi vertikal (C_{vx}) pada lantai 1:

$$C_{v1} = \frac{W_1 h_1^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$$

$$C_{v1} = \frac{820288,31}{204062038,99} = 0,00402$$

Gaya geser tingkat desain seismic V_x di semua tingkat ditentukan dari Persamaan (8). Berikut contoh perhitungan gaya geser tingkat desain seismic (V_x) pada lantai 11:

$$V_{11} = \sum_{i=x}^{11} F_{11} = 239,64 + 1477,12 + 1334,05 = 3050,81 \text{ kN}$$

Tabel 4. Distribusi Gaya Gempa Statik Struktur Isolasi

Lantai	h _n (m)	W _n (kN)	W _n x h _n ^k	C _{vx}	F _x (kN)	V _x (kN)
ATAP-1	61,7	1610,99	6132865,62	0,03005	239,64	239,64
ATAP	57,2	11553,98	37802763,84	0,18525	1477,12	1716,76
11	53	12154,24	34141248,66	0,16731	1334,05	3050,81
10	48,8	12154,24	28944583,56	0,14184	1130,99	4181,81
9	44,6	12313,93	24494386,66	0,12003	957,11	5138,91
8	40,4	12473,63	20358966,16	0,09977	795,52	5934,43
7	36,2	12473,63	16345948,69	0,08010	638,71	6573,14
6	32	12442,16	12740776,96	0,06244	497,84	7070,98
5	27	13129,85	9571660,59	0,04691	374,01	7444,99
4	22	13471,41	6520164,62	0,03195	254,77	7699,76
3	17	13471,41	3893238,79	0,01908	152,13	7851,88
2	12	14615,91	2104691,65	0,01031	82,24	7934,12
1	7	16740,58	820288,31	0,00402	32,05	7966,18
BS1	3,5	15547,34	190454,88	0,00093	7,44	7973,62
		174153,32	204062038,99	1,00000		

Dari program ETABS didapatkan nilai perbandingan gaya geser dinamik dan gaya geser statik ekuivalen. Gaya geser dasar dinamis harus $\geq$ gaya geser dasar statis yang dihitung dengan metode statik ekuivalen. Apabila $V_D < 100\%V_s$ maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V_s/V_D .

Tabel 5 Perbandingan Gaya Geser

Arah	Fixed Base (N)	Base Isolation (N)	Peningkatan (%)
X	5531982,3	8011324,6	61%
Y	5472005,9	8010729,6	62%

3.3. Massa Ragam Terkombinasi

Partisipasi massa ragam terkombinasi disyaratkan berdasarkan SNI 1726:2019 paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui periode struktur dan pola perubahan bentuk (*mode shape*). Berdasarkan hasil perhitungan ETABS diperoleh bahwa pada struktur isolasi, 10 ragam getar (Mode) mampu menghasilkan 100% dari massa aktual di kedua arah baik arah X maupun arah Y. Pada mode pertama periode 6,26 struktur mengalami translasi pada sumbu Y. Pada mode kedua periode 6,00 struktur mengalami translasi pada sumbu X dan pada mode ketiga periode 5,18 struktur mengalami rotasi.

Pada struktur *fixed base*, 50 ragam getar (Mode) mampu menghasilkan lebih dari 90% dari massa aktual di kedua arah baik arah X maupun arah Y. Pada mode pertama periode 3,39 struktur mengalami translasi pada sumbu Y. Pada mode kedua periode 2,73 struktur mengalami translasi pada sumbu

X dan pada mode ketiga periode 2,58 struktur mengalami rotasi.

3.4. Perpindahan Maksimum Base Isolator

Periode efektif pada saat perpindahan maksimum dihitung sebagai berikut:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_M \times g}} = 2\pi \sqrt{\frac{174153,32}{23144,91 \times 9,8}} = 5,5 \text{ detik}$$

Perpindahan maksimum dihitung sebagai berikut:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 \beta_M} = \frac{9,8 \times 0,8055 \times 5,5}{4\pi^2 \times 1,58} = 0,69714 \text{ m}$$

$$= 697,14 \text{ mm}$$

Dari ETABS didapatkan perpindahan *base isolator* arah X = 408,658 mm $\leq$ 697,14 mm sehingga artinya memenuhi sedangkan perpindahan base isolator arah Y = 562,406 mm $\leq$ 697,14 mm sehingga artinya memenuhi.

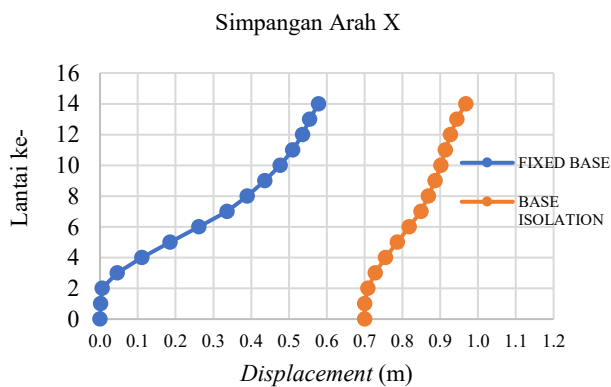
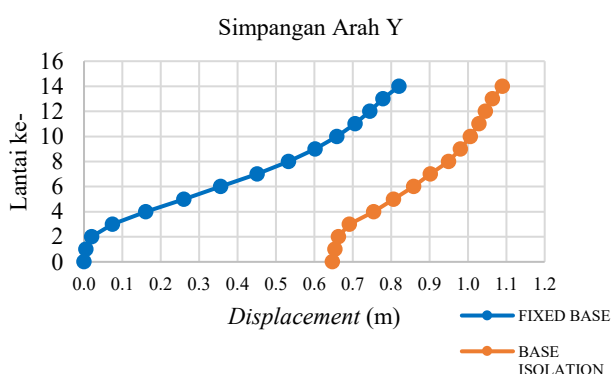
3.5. Perbandingan Displacement

Nilai *displacement* arah x dan y dari struktur *base isolator* mengalami pengurangan dibandingkan dengan struktur *fixed base*, untuk detail dapat dilihat **Tabel 6**. Pada arah X *displacement fixed base* sebesar 578,09 mm dan *base isolation* sebesar 257,29 mm, sedangkan pada arah Y *displacement fixed base* sebesar 820,51 mm dan *base isolation* sebesar 442,55 mm.

Pada struktur *base isolation*, lantai dasar memiliki *displacement* disebabkan sewaktu terjadi gempa pergerakan struktur dipisahkan oleh *base isolator* yang memisahkan antara struktur atas dan struktur bawah, sehingga ketika terjadi gempa pergerakan lantai dasar tidak mengikuti pergerakan tanah.

Tabel 6 Perbandingan *Displacement*

Lantai	<i>Displacement Arah X</i>		<i>Displacement Arah Y</i>	
	<i>Fixed Base</i> (m)	<i>Base Isolation</i> (m)	<i>Fixed Base</i> (m)	<i>Base Isolation</i> (m)
ATAP1	0.5781	0.9674	0.8205	1.0893
ATAP	0.5543	0.9437	0.7784	1.0634
11	0.5354	0.9266	0.7442	1.0454
10	0.5095	0.9135	0.7064	1.0286
9	0.4761	0.9013	0.6582	1.0065
8	0.4361	0.8863	0.6022	0.9801
7	0.3891	0.8682	0.5325	0.9493
6	0.3355	0.8492	0.4510	0.9018
5	0.2611	0.8179	0.3560	0.8586
4	0.1856	0.7865	0.2595	0.8064
3	0.1111	0.7548	0.1607	0.7544
2	0.0457	0.7281	0.0742	0.6907
1	0.0059	0.7084	0.0198	0.6623
BS1	0.0011	0.7003	0.0044	0.6534

**Gambar 5** Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X**Gambar 6** Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y

3.5 Perbandingan *Drift*

Simpangan antar lantai dari struktur *base isolation* mengalami rata – rata reduksi tiap lantai sebesar 43% pada arah X dan 40% pada arah Y.

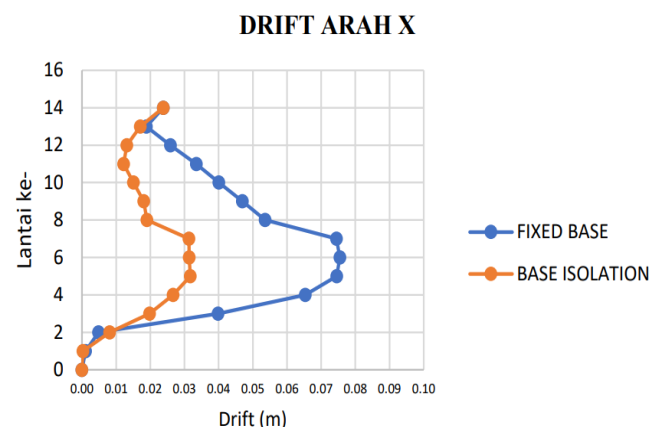
Tabel 7 Perbandingan *Drift* Arah X

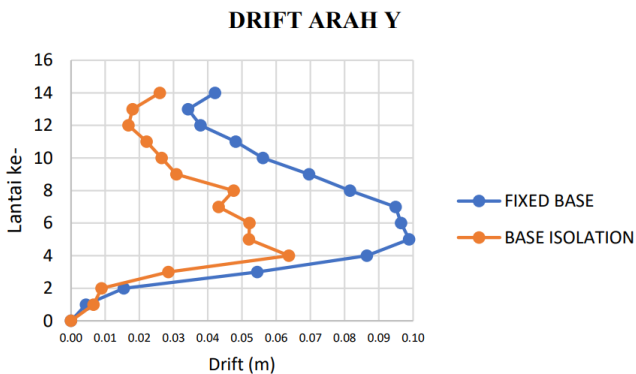
Lantai	<i>Fixed Base</i>	<i>Base Isolation</i>	Reduksi
--------	-------------------	-----------------------	---------

	(mm)	(mm)	(%)
ATAP1	23,79	23,76	0%
ATAP	18,88	17,04	-10%
11	25,88	13,13	-49%
10	33,43	12,17	-64%
9	40,05	15,04	-62%
8	46,94	18,05	-62%
7	53,60	19,02	-65%
6	74,47	31,32	-58%
5	75,44	31,39	-58%
4	74,54	31,70	-57%
3	65,35	26,67	-59%
2	39,85	19,75	-50%
1	4,81	8,09	68%
BS1	1,07	0,25	-77%
Rata - rata			-43%

Tabel 8 Perbandingan *Drift* Arah Y

Lantai	<i>Fixed Base</i> (mm)	<i>Base Isolation</i> (mm)	Reduksi (mm)
ATAP1	42,11	25,96	-38%
ATAP	34,17	18,01	-47%
11	37,86	16,75	-56%
10	48,16	22,08	-54%
9	56,07	26,47	-53%
8	69,62	30,80	-56%
7	81,58	47,52	-42%
6	94,92	43,13	-55%
5	96,51	52,19	-46%
4	98,85	52,01	-47%
3	86,47	63,70	-26%
2	54,40	28,45	-48%
1	15,41	8,92	-42%
BS1	4,39	6,55	49%
Rata - rata			-40%

**Gambar 7** Perbandingan *Drift* Arah X



Gambar 8 Perbandingan *Drift* Arah

3.6 Gaya Dalam Elemen Struktur

Elemen balok dan kolom yang ditinjau merupakan balok dengan tipe dimensi terbesar dan kolom lantai paling bawah yang mengalami gaya aksial terbesar.

Tabel 9 Perbandingan Gaya Dalam Struktur *Fixed Base* dan *Base Isolation*

Tipe	<i>Fixed Base</i>	<i>Base Isolation</i>	Reduksi (%)
Tipe Balok G1.60.80.L2			
Momen tump (-)	-578,01	-396,44	-31%
Momen tump (+)	235,54	139,52	-41%
Momen Lap (-)	-138,31	-61,79	-55%
Momen Lap (+)	229,29	212,84	-7%
Geser Tump (-)	-360,70	-299,26	-17%
Geser Tump (+)	355,06	309,92	-13%
Geser Lap (-)	-161,27	-102,38	-37%
Geser Lap (+)	157,82	114,00	-28%
Tipe Kolom K1B.110.120.LB1			
Momen	-1401,0607	Momen	-1401,0607
Geser	405,2034	Geser	405,2034

Berdasarkan **Tabel 9** dapat diketahui bahwa gaya dalam balok dan kolom yang ditinjau mengalami penurunan terhadap struktur *fixed base*.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisis yang dilakukan, didapat perbandingan kinerja antara struktur *base isolation* dan *fixed base* sebagai berikut
2. Penggunaan *base isolator* dapat meningkatkan waktu getar alami struktur dari 2,67 detik pada struktur *fixed base* menjadi 5,5 detik pada struktur *base isolation*. Peningkatan ini sebesar 106% dibandingkan dengan struktur *fixed base*.
3. Penggunaan *base isolator* pada tiap kolom struktur dapat meningkatkan kemampuan struktur memikul gaya geser

dasar sebesar 61% pada Arah X dan sebesar 62% pada Arah Y.

4. Struktur gedung yang ditinjau menggunakan *base isolator* memiliki *displacement* yang lebih kecil daripada struktur *fixed base*.
5. Penggunaan *base isolator* pada struktur gedung yang ditinjau dapat mengurangi simpangan antar lantai dengan rata – rata sebesar 43% pada arah X dan 40% pada arah Y.
6. Penggunaan *base isolator* pada struktur yang ditinjau dapat mereduksi momen dan gaya geser elemen balok dan kolom.

Daftar Pustaka

- [1] M. Ferraioli and A. Mandara, "Base Isolation for Seismic Retrofitting of a Multiple Building Structure: Design, Construction, and Assessment," *Math Probl Eng*, vol. 2017, p. 24, 2017, doi: 10.1155/2017/4645834.
- [2] A. Ghafooripour, "Performance Analysis of LRB and HDRB Base Isolators for Low-rise and mid-rise steel frames," 2012, doi: 10.13140/RG.2.1.2476.1449.
- [3] J. A. Calantariants, "Improvements in and Connected with Building and Other Works and Appurtenances to Resist the Action of Earthquakes and the Like," *Engineering Library, Stanford University*, 1909.
- [4] A. H. Deringöl and E. M. Güneyisi, "Seismic response of base-isolated buildings with high damping rubber bearings having different design characteristics," pp. 1–14, 2019.
- [5] H. Sheikh, N. C. Engelen, and Ruparathna Rajeev, "A review of base isolation systems with adaptive characteristics," *Eng Struct*, 2022.
- [6] R. L. Mayes and F. Naeim, "Design of Structures with Seismic Isolation," in *The Seismic Design Handbook*, vol. Chapter 14, 2001, pp. 723–756. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1693-4_14.
- [7] M. A. Farissi, "Design and Analysis of Base Isolated Structures," 2013, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/258630935>
- [8] T. C. Becker, S. Yamamoto, H. Hamaguchi, M. Higashino, and M. Nakashima, "Application of isolation to high-rise buildings: A Japanese design case study through a US design code lens," 2015.
- [9] I. Ariqoh Fakrunnisa and G. Annisa Hayu, "Analisis Kinerja High Damping Rubber Bearing dan Lead Rubber Bearing pada Bangunan Beton Bertulang,"

Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan, eISSN 2548-9518, vol. Vol. 5, No.1, p. p.48-57, 2021, doi: <https://doi.org/10.19184/jrsl.v5i1.23527>.

- [10] N. Suwal, P. Warnitchai, and F. Najam, "Seismic Base Isolation of High-Rise RC Shear Wall Building Using Lead Core Rubber Bearings," *New Zealand Society for Earthquake Engineering 2020 Annual Conference*, vol. Paper 19, 2020.
- [11] A. H. Deringöl and E. M. Güneyisi, "Effect of Using High Damping Rubber Bearings for Seismic Isolation of the Buildings," *International Journal of Steel Structures*, vol. 21, no. 5, pp. 1698–1722, 2021, doi: 10.1007/s13296-021-00530-w.
- [12] Chandak N. R., "Effect of Base Isolation on the Response of Reinforced Concrete Building," *Journal of Civil Engineering Research*, vol. 2013, no. 4, pp. 135–142, 2013, doi: 10.5923/j.jce.20130304.02.
- [13] R. Villaverde, "Fundamental concepts of earthquake engineering," *CRC Press, Taylor & Francis Group*, pp. 1–951, 2009, doi: 10.1201/9781439883112.

Halaman ini sengaja dikosongkan