

ANALISIS GEMPA TERHADAP RESPON STRUKTUR *IRREGULAR BUILDING* MENGGUNAKAN *LEAD RUBBER BEARING* DENGAN METODE *TIME HISTORY*

Hoka Winardo¹, Emilia Kadreni²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara

Email: hokawinardo@gmail.com

Abstrak. Indonesia merupakan negara yang rawan akan gempa, terutama pulau Sumatera. Salah satu langkah konkrit upaya menghindari kerusakan akibat gempa bumi ialah memperkuat struktur bangunan dengan elemen pereduksi gempa seperti *base isolator*. Respon struktur terhadap gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan yang beraturan dan ketidakberaturan dengan perletakan sendi ataupun dimodelkan dengan pegas yang berbasis *isolator*. Mekanisme kerja *isolator* dapat meningkatkan perioda alami dari struktur, selain itu *base isolator* juga mampu mengurangi *interdrift story* yang menjadi penyebab terbesar kegagalan struktur bangunan. Menyikapi permasalahan tersebut, penelitian ini dibuat untuk mengetahui respon struktur akibat gempa pada bangunan dengan menggunakan *base isolator* tipe *lead rubber bearing*. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa struktur dengan *isolator* mampu meningkatkan perioda struktur menjadi 3,8547 s dari perioda awal struktur sebesar 1.1248 s yaitu tiga kali lipat, selain itu struktur dengan *isolator* mampu mengurangi *Interstory drift* hingga 76,17% (arah x) dan 51,38% (arah y).

Kata kunci: Gempa bumi, *interstory drift*, ketidakberaturan, *lead rubber bearing*

Diterima Redaksi: 04-02-2025 | Selesai Revisi: 23-05-2025 | Diterbitkan Online: 31-05-2025

1. PENDAHULUAN

Dari tahun ke tahun perkembangan infrastruktur di Indonesia semakin berkembang pesat. Perkembangan infrastruktur berbanding lurus dengan kreativitas perencana bangunan. Umumnya bangunan yang ada di Indonesia merupakan bangunan yang bentuknya beraturan (*regular*). Namun, adakalanya perencana bangunan merencanakan bangunan yang berbentuk tidak beraturan (*irregular building*). Secara estetika *irregular building* terkesan futuristik, akan tetapi dalam proses perencanaan, perencana dihadapkan dengan beberapa masalah, salah satu adalah gempa bumi.

Gempa bumi yang terjadi dapat mengakibatkan pergerakan tanah yang mana mempengaruhi struktur di atasnya dan berbahaya bagi struktur bangunan, selain dapat mengakibatkan kerugian material, juga dapat menimbulkan korban jiwa. Terlebih lagi untuk bangunan bertingkat tinggi yang besar. Untuk mengatasi simpangan antar lantai tersebut, maka diperlukan suatu alat berupa *base isolator* yang dapat mengurangi kekuatan horizontal yang disebabkan beban gempa dan beban struktur itu sendiri.

Lead rubber bearing dapat mengurangi energi gempa, dengan berkurangnya energi gempa maka perioda struktur akibat beban dinamik menjadi lebih panjang sehingga keruntuhan bangunan dapat diminimalisir.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Data Struktur

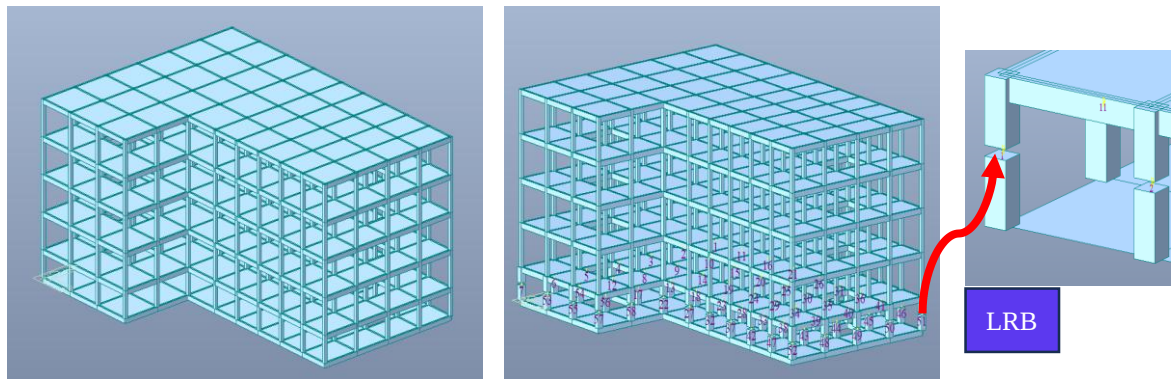
Model struktur ialah Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) 5 lantai. Analisis yang digunakan ialah analisis linier riwayat waktu (*time history*). Dengan data sebagai berikut:

1. Beton
 - a) Kuat tekan : 25 MPa
 - b) Modulus Elastisitas : 23.500 MPa
 - c) Berat jenis : 24 kN/m³
2. Baja Tulangan
 - a) Tegangan Leleh : 420 Mpa
 - b) Modulus Elastisitas : 2×10^5 Mpa
 - c) Berat jenis : 78,5 kN/m³
3. Faktor Modifikasi Respon
 - a) Koefisien Modifikasi Respon (R) : 8
 - b) Faktor Kuat Lebih (Ω_0) : 3
 - c) Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) : 5,5
4. Dimensi Struktur
 - a) Panjang bentang (L_x) : 40 m
 - b) Panjang bentang (L_y) : 30 m
 - c) Tinggi kolom tiap lantai : 4 m
 - d) Balok induk : 30x50
 - e) Kolom 1 : 40x40
 - f) Kolom 2 : 70x70

Untuk karakteristik *Lead Rubber Bearing* dapat dilihat pada Tabel 1 dan pemodelan pada Gambar 1.

Tabel 1. Karakteristik *Lead Rubber Bearing*

No	Deskripsi	Spesifikasi LRB
1	Tipe Bearing	LL060G4
2	Shear Modulus (G)	0,385 N/mm ²
3	Ketebalan Rubber (T_r)	160 mm
4	Kekakuan awal (K_1)	$8,86 \times 10^3$ kN/m
5	Kekakuan Pasca Leleh (K_2)	$0,682 \times 10^3$ kN/m
6	Kekuatan Karakteristik (Q_d)	62,6 kN
7	Kekakuan Efektif (K_{eff})	$1,07 \times 10^3$ kN/m
8	Damping efektif β_{eff}	21,9%
9	Luas Area efektif (A)	0,2749 m ²
10	Diameter Rubber (d_r)	600 mm
11	Diameter Lead Plug	100 mm



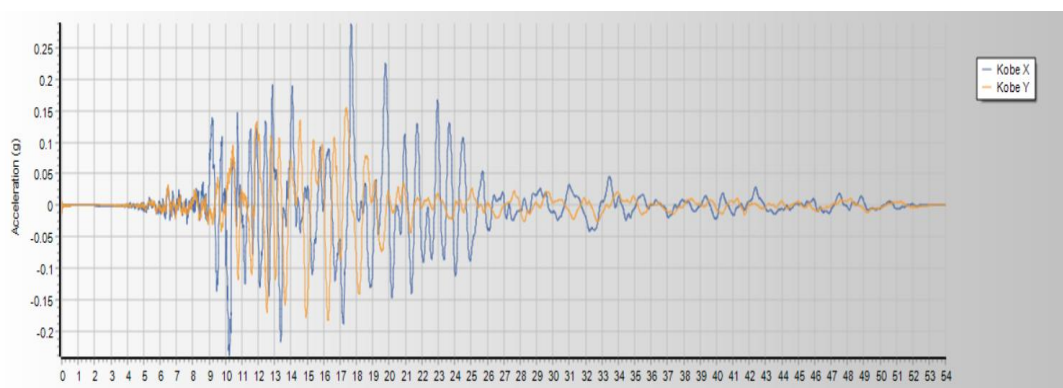
Gambar 1. Struktur tanpa *isolator* (kiri), struktur dengan *isolator* (kanan)

2.2 Ground Motion

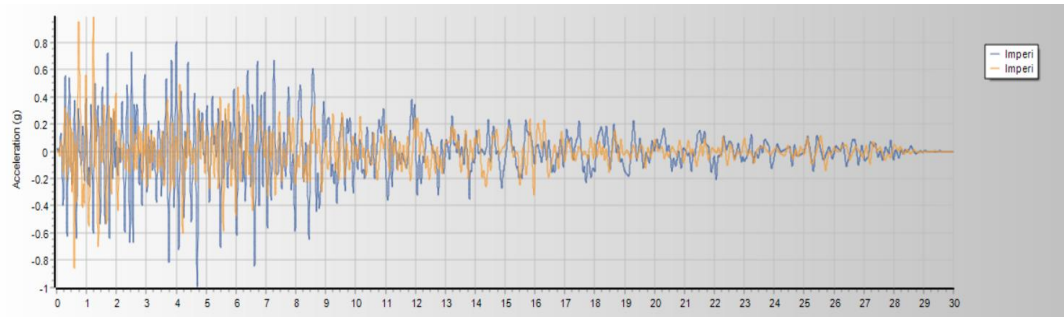
Ground motion di implementasikan pada arah x dan y, sumber *ground motion* yang dipakai bervariasi dan di adopsi dari sumber gempa yang tercatat. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.2.3 menyatakan *ground motion* harus dicocokkan secara spektra dalam rentang $0,8 T_{lower}$ sampai dengan $1,2 T_{upper}$ dengan redaman 5% yang dihitung dengan rekaman yang sudah dicocokkan secara spektra harus 10% spektrum target (Gambar 2).

No	Earthquake Name	Data Code	Direction	Mw	Station
TH 1	Kobe Japan, 1995	AMA000	0	6.9	Amagasaki
		AMA090	90		
TH 2	Imperial Valley, 1948	ELC000	0	5	El Centro Array #9
		ELC090	90		
TH 3	Northridge, 1994	ALH090	90	6.69	Alhambra - Fremont School
		ALH360	360		
TH 4	Parkfield, 1966	C12050	50	6.19	Cholame - Shandon Array#12
		C12320	320		
TH 5	Dinar Turkey, 1995	DEN000	0	6.4	Denizli
		DEN090	90		
TH 6	Tabbas Iran, 1978	TAB-L1	-	7.35	Tabbas
		TAB-T1	-		

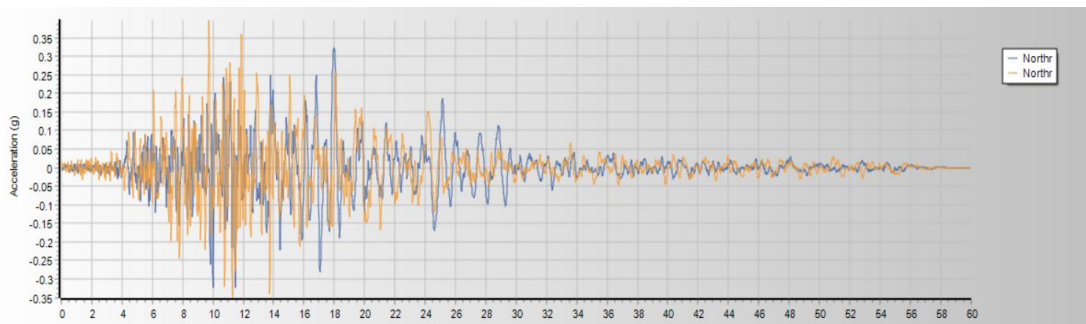
Gambar 2. Data *ground motion*



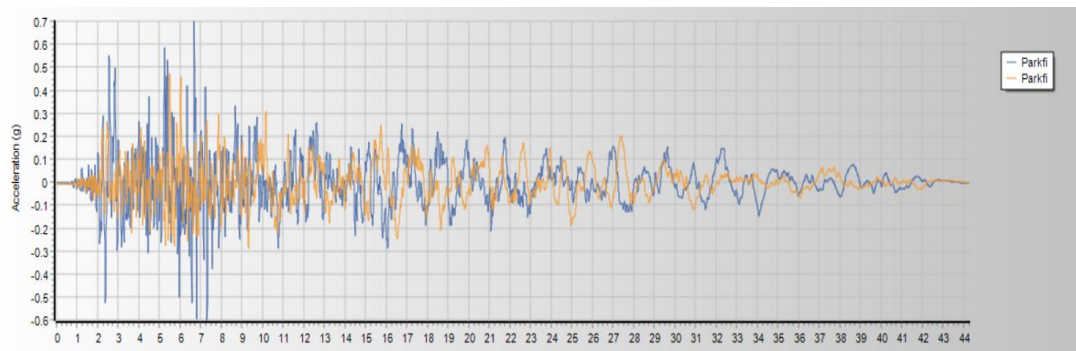
Gambar 3. *Matching acceleration kobe x,y*



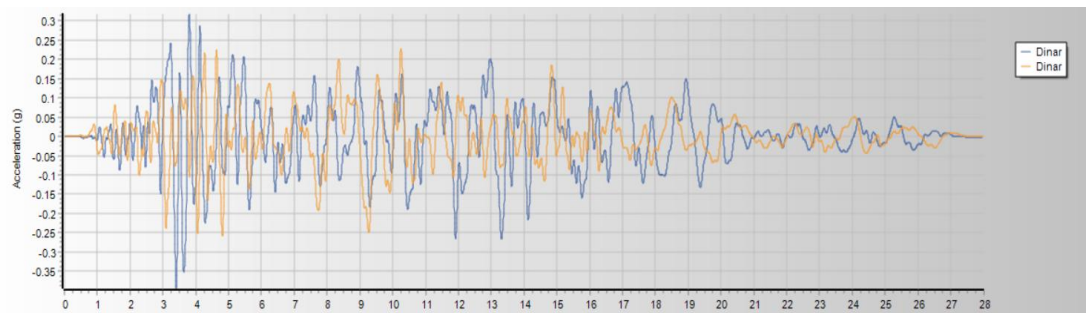
Gambar 4. Matching acceleration imperial x,y



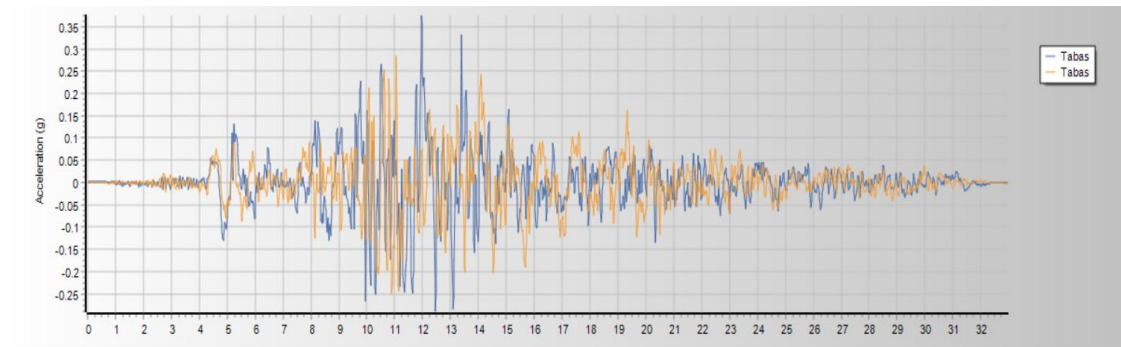
Gambar 5. Matching acceleration northridge x,y



Gambar 6. Matching acceleration parkfield x,y



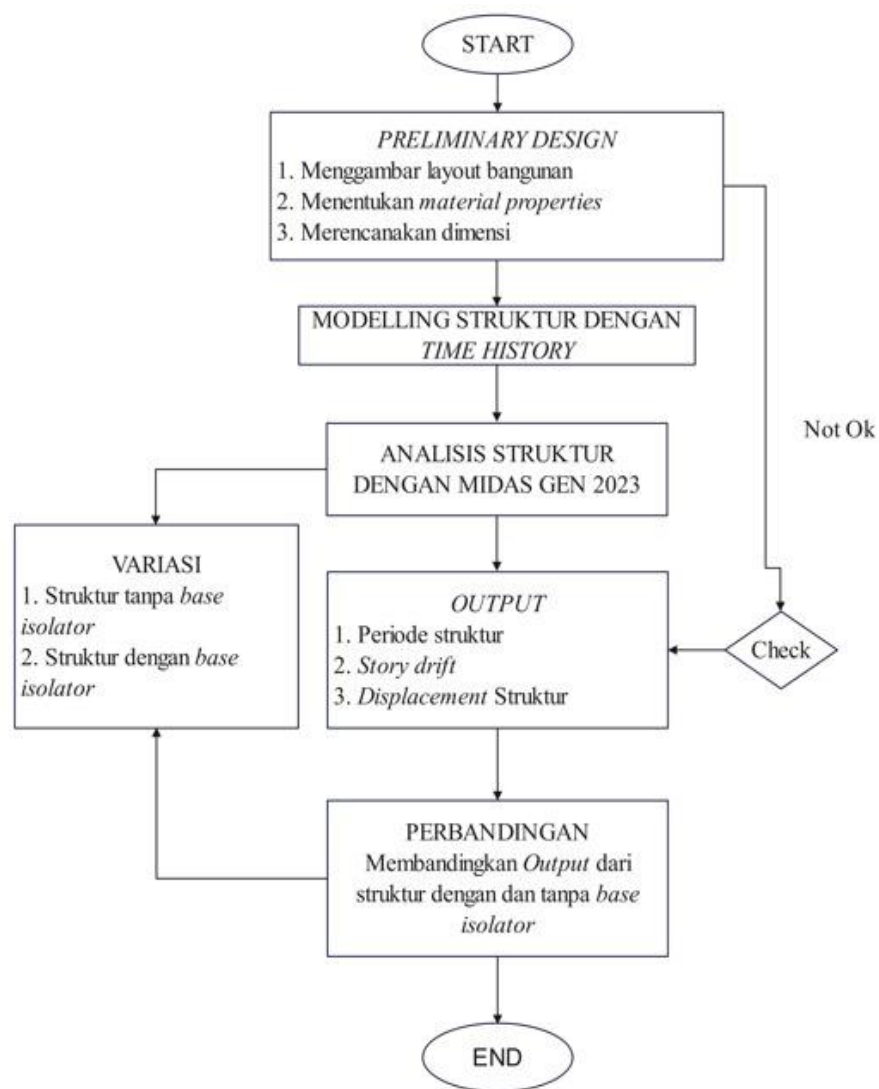
Gambar 7. Matching acceleration dinar x,y



Gambar 8. Matching acceleration tabbas x,y

2.3 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini sesuai dengan Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Periode Struktur

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS					
Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance	
1	5.5859	0.8890	1.1248	9.1088e-16	
2	5.7943	0.9222	1.0844	1.9047e-15	
3	6.0762	0.9671	1.0341	3.8491e-16	
4	16.8260	2.6779	0.3734	8.0312e-16	
5	17.3753	2.7654	0.3616	3.7657e-16	
6	18.3272	2.9169	0.3428	5.0770e-16	
7	27.6701	4.4038	0.2271	1.4849e-16	
8	28.3622	4.5140	0.2215	5.6531e-16	
9	30.2523	4.8148	0.2077	0.0000e+00	
10	36.7416	5.8476	0.1710	3.3686e-16	
11	37.3561	5.9454	0.1682	6.5174e-16	
12	40.3675	6.4247	0.1556	6.9766e-16	
13	42.1409	6.7069	0.1491	0.0000e+00	
14	42.6204	6.7832	0.1474	6.2586e-16	
15	46.5013	7.4009	0.1351	0.0000e+00	

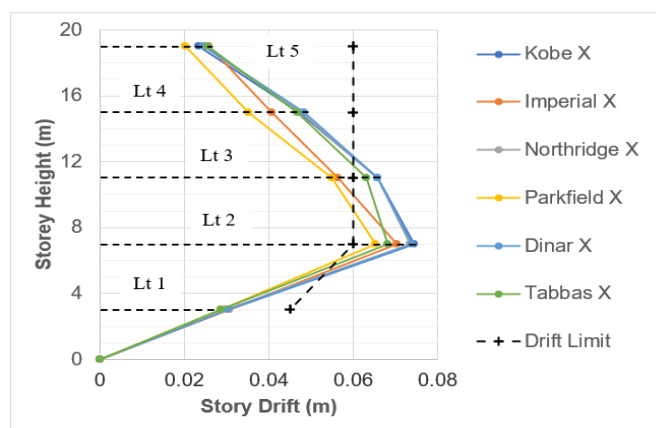
Gambar 10. Periode struktur *Fixed base*

de	Mode	UX	UY	UZ
EIGENVALUE				
Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	
1	1.6300	0.2594		
2	2.1014	0.3344		
3	2.8194	0.4487		
4	5.9524	0.9474		
5	6.7272	1.0707		
6	9.5550	1.5207		
7	19.1537	3.0484		
8	19.7807	3.1482		

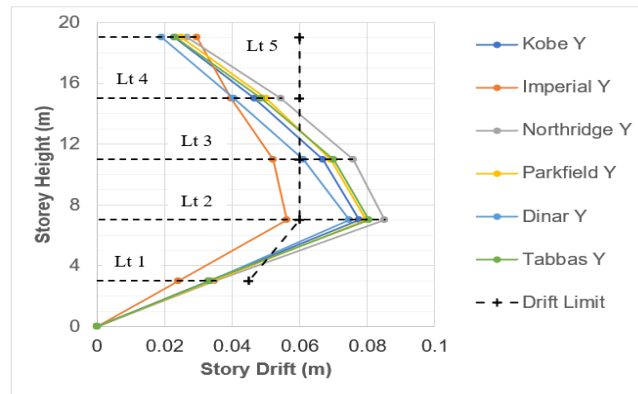
Gambar 11. Periode struktur dengan *isolator*

Dari Gambar 10 dan 11 di atas diperoleh dua perbandingan periode struktur, struktur dengan *base isolator* mampu meningkatkan periode struktur. Yang mana periode struktur yang besar mempunyai percepatan gempa yang kecil. Pada proses *running analysis* diperoleh hasil periode struktur yang meningkat dari 1,1248 s menjadi 3,8547 s.

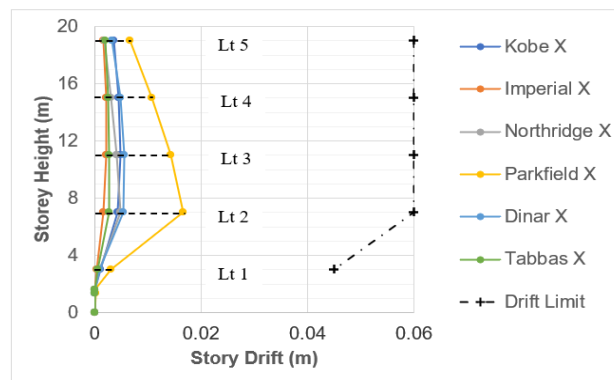
3.2 Simpangan Antar Lantai (*Interdrift Story*) Struktur Dengan dan Tanpa *Isolator*



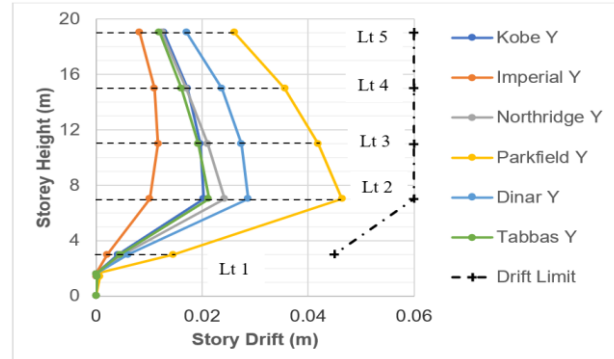
Gambar 12. Simpangan antar lantai arah x pada struktur tanpa *isolator*



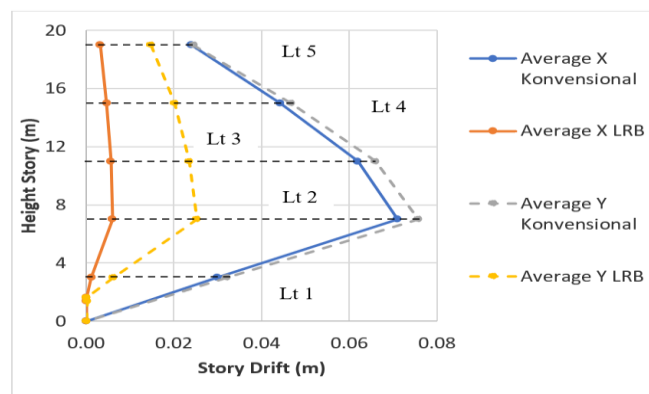
Gambar 13. Simpanan antar lantai arah y pada struktur tanpa *isolator*



Gambar 14. Simpanan antar lantai arah x pada struktur dengan *isolator*



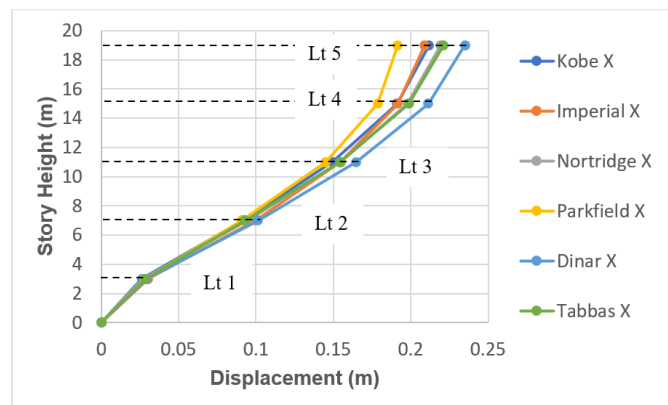
Gambar 15. Simpanan antar lantai arah x pada struktur dengan *isolator*



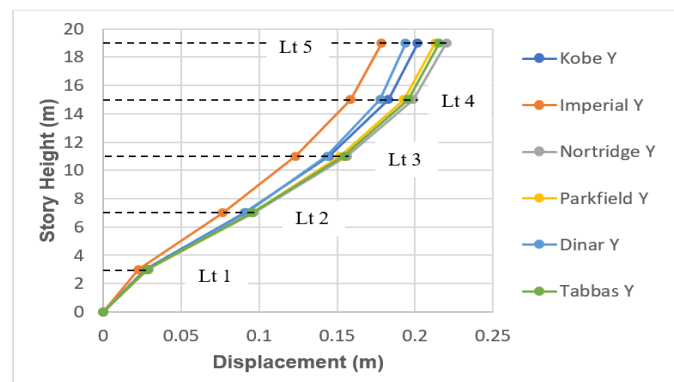
Gambar 16. Perbandingan simpanan antar lantai dengan dan tanpa *isolator*

Pada Gambar 12-16 di atas dapat dilihat bahwa *drift* paling besar terjadi pada lantai ke-2 yaitu pada ketinggian 7 m, hal tersebut berlaku untuk arah x dan arah y. *Story drift* dapat berkurang secara signifikan dengan ditambahkan *seismic isolator*. Dengan ditambahkan *seismic isolator* berupa *lead rubber bearing*, *drift* dapat dikurangi sampai dengan 76,17% (arah x) dan 51,38% (arah y). *Drift* rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan banyaknya *drift* yang telah dibebani oleh gempa dibagi dengan banyaknya kasus gempa yang digunakan.

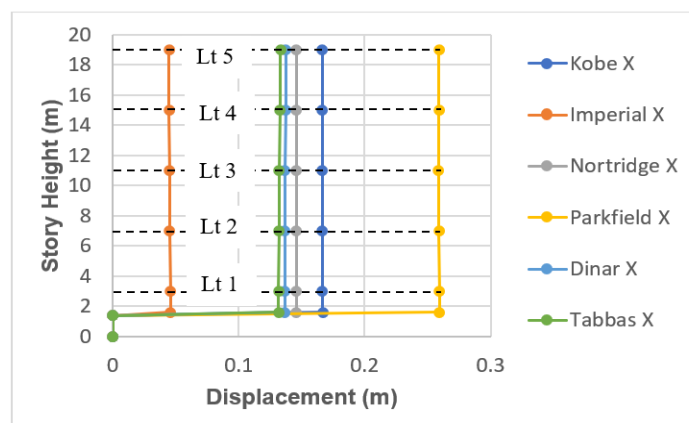
3.3 Displacement Struktur Dengan dan Tanpa Isolator



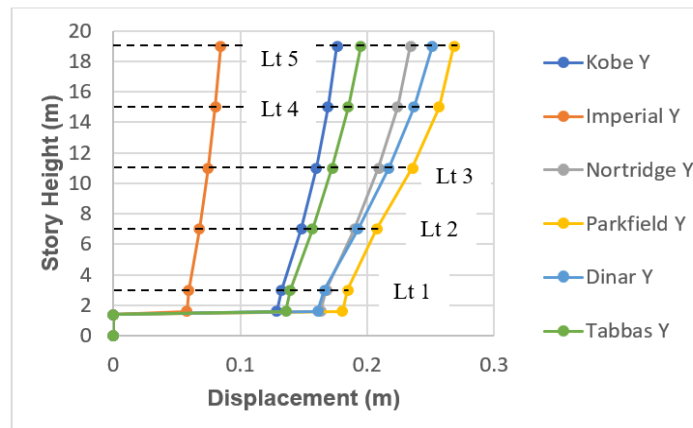
Gambar 17. Simpanan lantai arah x pada struktur tanpa *isolator*



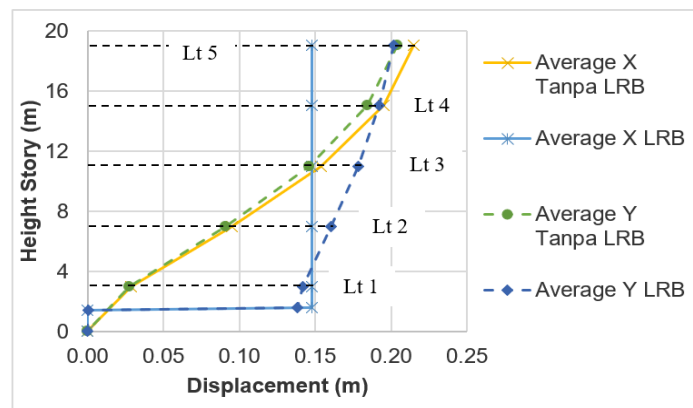
Gambar 18. Simpanan lantai arah y pada struktur tanpa *isolator*



Gambar 19. Simpanan lantai arah x pada struktur dengan *isolator*



Gambar 20. Simpangan lantai arah y pada struktur dengan *isolator*



Gambar 21. Perbandingan displacement dengan dan tanpa *isolator*

Pada Gambar 17-21 di atas dapat dilihat perbedaan *displacement* yang terjadi pada struktur dengan dan tanpa menggunakan *base isolator*. Perilaku simpangan struktur yang terjadi pada struktur dengan *lead rubber bearing* mengalami simpangan yang besar pada titik dimana sistem isolasi dipasang, kemudian pada tingkat ke-2 sampai tingkat ke-5 simpangan yang terjadi tidak terlalu besar. Struktur dengan *isolator* berupa *lead rubber bearing* cenderung memiliki *displacement* yang relatif seragam, dalam hal ini dapat dilihat pada *displacement* rata-rata pada (arah x), sedangkan untuk struktur tanpa *base isolator*, simpangan terjadi besar dan tidak seragam. Hal ini dapat mengakibatkan keruntuhan struktur (*collapse*) pada struktur tersebut.

4. SIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur dengan *isolator* tipe *lead rubber bearing* mampu memperpanjang perioda struktur menjadi 3,8547 s dari periode awal struktur sebesar 1,1248 s.
2. Nilai simpangan maksimum struktur dengan *lead rubber bearing* sebesar 0,2593 m (arah x) dan 0,2684 m (arah y). sedangkan struktur tanpa *lead rubber bearing* sebesar 0,235 m (arah x) dan 0,2201 m (arah y).
3. Struktur dengan *isolator* mampu mengurangi *interstory drift* hingga 76,17% (arah x) dan 51,38% (arah y).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Almufid. (2015). Analisis Beban Gempa Terhadap Kekuatan Struktur Bangunan Multi Degree of Freedom. *Jurnal Dinamika UMT*, 1(1), 17–26.
- ASCE/SEI 41-17. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. In *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
- Firmando, N. (2019). Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Tidak Beraturan Menggunakan Base isolator di Kota Medan.
- Gudainiyan, J., & Gupta, P. K. (2023). A comparative study on the response of the L-shaped base isolated multi-storey building to near and far field earthquake ground motion. *Forces in Mechanics*, 11, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2023.100191>
- Hasdanita, F., Afifuddin, M., & Muttaqin, M. (2018). Analisis Pushover Terhadap Respon Struktur Dengan Menggunakan Base isolator. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(1), 169–178. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i1.10374>
- Hendra, Suryanita, R., & Ridwan. (2018). Pengaruh Penggunaan Base isolator System Terhadap Respons Struktur Bangunan dengan Analisis Time History. 7, 1–10.
- Indra, A. V., Suryanita, R., & Ismeddiyanto. (2016). Analisis Respons Dinamik Jembatan Rangka Baja Menggunakan Sistem Seismic Isolation Lead rubber bearing (LRB). *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–12.
- Matsagar, V. A., & Jangid, R. S. (2004). Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures. *Engineering Structures*, 26(12), 1735–1749. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.06.011>
- Naeim, F., & Kelly, M. J. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice - Farzad Naeim, James M. Kelly*.
- Nazzal S, A. (2008). *Earthquake Engineering Theory and Implementation*.
- Saloma. (2015). Analisis Struktur Rangka Baja Menggunakan Base Isolation dengan Time History Analysis. *Cantilever*, 4(1), 20–26.
- SNI 1726. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
- SNI 1727. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. In *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*.
- Suharjanto. (2013). *Rekayasa Gempa*. 148.
- Teruna, D. R. (2018). The Use Of Seismic Energy And Damage Index For Assesment Seismic Performance Of Building Under Seismic Excitation. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, 1(1), 145–153. <https://doi.org/10.32734/ee.v1i1.125>
- Teruna, D. R., & Sinaga, A. H. (2020). Seismic Response of Retrofitted Low Rise Structure under Strong Earthquakes Using Nonlinear Time History Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(5), 0–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/5/052026>

Yudi, A., Wirawan, N. B., Fauzan, S. A., & Nadeak, R. (2019). Structure Behavior Analysis with TIME History Levelling Method (Case Study in Building E ITERA). *Journal of Science and Application Technology*, 2(1), 148–161.