Cantilever
Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil
Vol. 4, No. 1, Oktober 2015, Halaman: 20 - 26, ISSN: 1907-4247 (Print), ISSN: 2477-4863 (Online)
Alamat Website: http://cantilever.unsri.ac.id

ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA MENGGUNAKAN *BASE ISOLATION* DENGAN TIME HISTORY ANALYSIS

Saloma
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya
(Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM 32 Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan)
E-mail: saloma_571@yahoo.co.id

Abstract

This paper discussed the usage of base isolation in the form of leading rubber bearing which is applicated on steel structure of five floor. The analysis is done on steel structure by using base isolation. It is compared with steel structure without base isolation. The usage of base isolation on steel structure with loading earthquake can reduce response structure either displacement, velocity or accelaration.

Key Words: *base isolation, lead-rubber bearing*.

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi perencanaan struktur tahan gempa, telah dikembangkan suatu pendekatan desain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan tahan gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non struktural terhadap gempa kuat. Pendekatan desain ini bukan dengan cara memperkuat struktur bangunan, tetapi dengan mereduksi gaya gempa yang bekerja pada bangunan.

Sistem kontrol pada struktur terdiri dari sistem kontrol pasif dan sistem kontrol aktif. Sistem kontrol pasif bekerja tanpa menggunakan tambahan energi luar, sehingga gaya kontrol hanya dapat memberikan respon pada struktur dalam batasan tertentu. Walaupun demikian, penggunaan sistem ini masih diminati karena kemudahan pengerjaan dan ketahanannya. Selain itu, penerapan sistem kontrol pasif tidak beresiko menimbulkan kondisi yang tidak stabil pada struktur. Sistem kontrol pasif dibedakan atas sistem isolasi gempa (*seismic isolation system*) seperti *elastomeric bearings, lead rubber bearings, sliding friction* pendulum dan alat penyerap energi mekanik (*passive energy dissipation devices*) seperti *tuned mass dampers, tuned liquid dampers, metallic dampers, visco-elastic dampers*, dan *viscous fluid dampers*.

Sedangkan sistem kontrol aktif bekerja menggunakan tambahan energi luar, sehingga mekanisme kerjanya lebih efektif bila dibandingkan dengan kontrol pasif. Hal ini dikarenakan sistem kontrol aktif dapat memberikan gaya kontrol pada parameter struktur seperti perpindahan, kecepatan dan percepatan sampai batasan tertentu. Beberapa contoh sistem kontrol aktif yaitu *active bracing systems, active mass dampers, variable stiffness* atau *damping systems, smart material* dan aktif tendon.

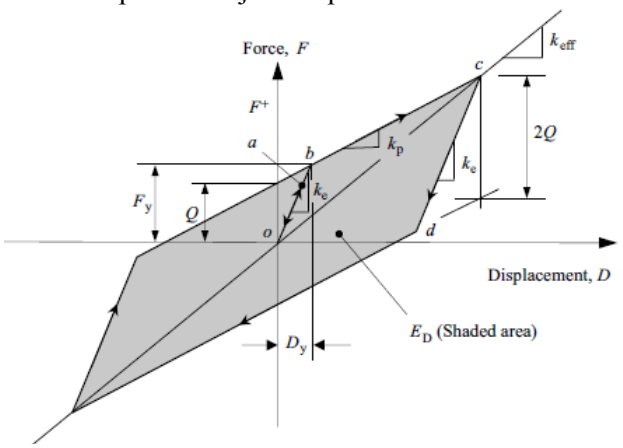
Keunggulan masing-masing sistem kontrol tentunya memberikan pilihan bagi para engineer untuk mengaplikasikannya pada bangunan struktural. Walaupun teknologi kontrol yang banyak berkembang pada abad ke-20 adalah sistem kontrol aktif dan hybrid, namun penggunaan sistem kontrol pasif masih menjadi alternatif yang lebih relevan dikarenakan total biaya konstruksi yang lebih murah dan pemasangan alat yang lebih sederhana.

Paper ini menganalisis tentang *base isolation* sebagai peredam gempa secara pasif pada struktur rangka baja 5 lantai. Tujuan utama paper ini adalah membandingkan perilaku struktur baik yang menggunakan *base isolation* maupun tanpa *base isolation.* Perbandingan dilakukan dengan melihat hasil displacement, kecepatan dan percepatan struktur dengan *time history analysis*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

(1) Pemodelan *Base isolation*

Perilaku hubungan gaya dan perpindahan pada isolator seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan hysteresis bilinier

Dalam analisis struktur, isolator dapat dimodelkan sebagai model linier atau bi-linier. Untuk analisis linier digunakan kekakuan efektif, sedangkan untuk analisis nonlinier ada tiga parameter yang menentukan karakteristik dari isolator, yaitu: kekakuan awal, kekakuan pasca leleh, dan perpindahan leleh. Hubungan parameter ini diberikan seperti pada persamaan berikut:

$$k_{eff} = k_p + \frac{Q}{D} \quad (1)$$

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \quad (2)$$

$$F_y = Q + k_p D_y \quad (3)$$

dimana:
D = perpindahan maksimum yang terjadi pada isolator
Q = kekuatan karakteristik

Effective damping didapat sebagai berikut:

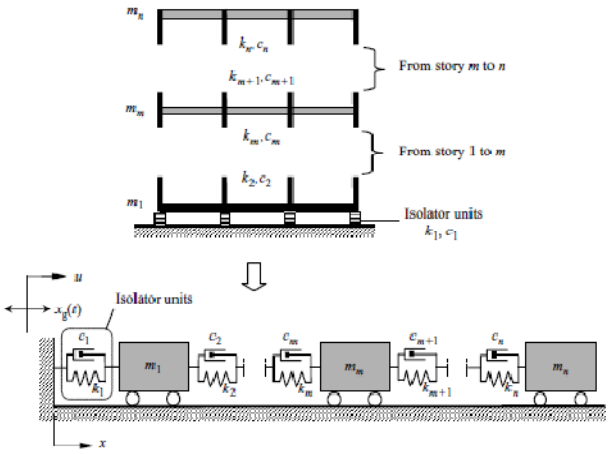
$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi k_{eff} D^2} \quad (4)$$

dimana:
E_D = Energi dissipasi per cycle (luas kurva hysterisis loop) yaitu $E_D = 4Q\left(D - D_y\right)$

(2) Persamaan Gerak MDOF pada Gedung dengan *Base isolation*

Model struktur *multi degree of freedom* terdapat pada Gambar 2. Persamaan (5) menyatakan persamaan gerak MDOF pada gedung dengan *base isolation*:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -\ddot{x}_g [M]\{1\} \quad (5)$$



Gambar 2. Model struktur MDOF dengan *base isolation*

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & m_m \cdots & 0 \quad 0 \\ & & & & \ddots \\ & \text{sym} & & & m_{n-1} \\ & & & & & m_n \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 \\ & c_2 + c_3 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & c_m + c_{m+1} \cdots & 0 \quad 0 \\ & & & & \ddots \\ & \text{sym} & & & c_{n-1} + c_n \quad -c_n \\ & & & & & c_n \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ & k_2 + k_3 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & k_m + k_{m+1} \cdots & 0 \quad 0 \\ & & & & \ddots \\ & \text{sym} & & & k_{n-1} + k_n \quad -k_n \\ & & & & & k_n \end{bmatrix}$$

$$\{x\}^T = \{x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_m \quad \dots \quad x_{n-1} \quad x_n\}$$

$$\{\dot{x}\}^T = \{\dot{x}_1 \quad \dot{x}_2 \quad \dots \quad \dot{x}_m \quad \dots \quad \dot{x}_{n-1} \quad \dot{x}_n\}$$

$$\{\ddot{x}\}^T = \{\ddot{x}_1 \quad \ddot{x}_2 \quad \dots \quad \ddot{x}_m \quad \dots \quad \ddot{x}_{n-1} \quad \ddot{x}_n\}$$

$$\{x\} = [\Phi]\{x'\}$$

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} \phi_{1,1} & \phi_{1,2} & \cdots & \phi_{1,m} & \cdots & \phi_{1,n-1} & \phi_{1,n} \\ \phi_{2,1} & \phi_{2,2} & \cdots & \phi_{2,m} & \cdots & \phi_{2,n-1} & \phi_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \phi_{m,1} & \phi_{m,2} & \cdots & \phi_{m,m} & \cdots & \phi_{m,n-1} & \phi_{m,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \phi_{n-1,1} & \phi_{n-1,2} & \cdots & \phi_{n-1,m} & \cdots & \phi_{n-1,n-1} & \phi_{n-1,n} \\ \phi_{n,1} & \phi_{n,2} & \cdots & \phi_{n,m} & \cdots & \phi_{n,n-1} & \phi_{n,n} \end{bmatrix}$$

$$[M][\Phi]\{\ddot{x}'\}+[C][\Phi]\{\dot{x}'\}+[K][\Phi]\{x'\}=-\ddot{x}_g[M]\{1\}$$

3. MODEL STRUKTUR

Kasus I. Struktur rangka baja tanpa *base isolation*

Data struktur:
1. Jenis struktur rangka baja
2. Bentang per portal = 8 m
3. Tinggi per lantai = 3,5 m
4. Dimensi balok = W27x94, kolom = W21x248

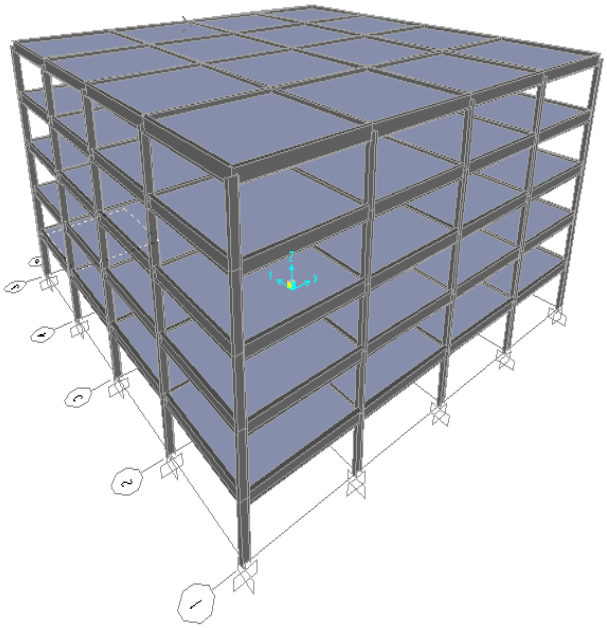
Data material:
1. Baja:
   Berat jenis = 7850kg/m^3
   E = 200.000 MPa
   f_y = 240 MPa
   f_u = 370 MPa
2. Beton:
   Berat jenis = 2400 kg/m^3
   f_c' = 30 MPa

Kasus II. Struktur rangka baja dengan *base isolation*

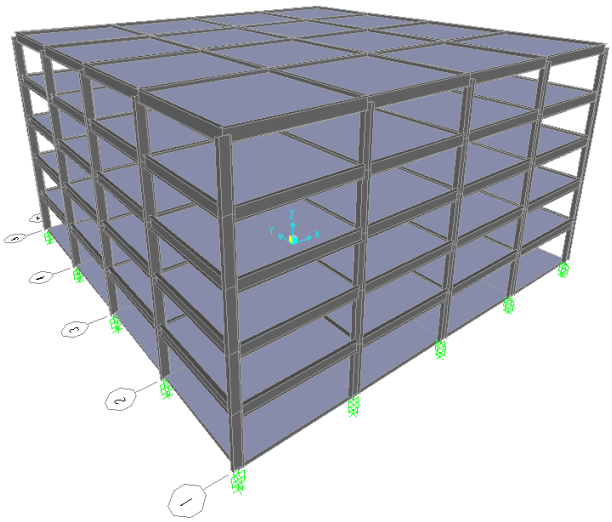
Data struktur:
1. Jenis struktur rangka baja
2. Bentang per portal = 8 m
3. Tinggi per lantai = 3,5 m
4. Dimensi balok = W27x94, kolom = W21x248

Data material:
1. Baja:
   Berat jenis = 7850kg/m^3
   E = 200.000 MPa
   f_y = 240 MPa
   f_u = 370 MPa
2. Beton:
   Berat jenis = 2400 kg/m^3
   f_c' = 30 MPa

Rubber Isolator properties:
1. Vertikal (axial) stiffness = 10.000 k/in (linier)
2. Initial shear stiffness pada masing-masing arah = 10 k/in.
3. Shear yield force pada masing-masing arah = 7 kips.
4. Perbandingan post yield shear stiffness dan initial shear stiffness 0,2.



Gambar 3. Model struktur rangka baja tanpa *base isolation*



Gambar 4. Model struktur rangka baja dengan *base isolation*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

(1) Modal Periods and Frequencies

Tabel 1 dan 2 memperlihatkan periode struktur hasil analisis untuk struktur dengan *base isolation* dan tanpa *base isolation*. Model struktur tanpa base isolation memiliki periode maksimum 4,916 detik, hal ini menjadi dasar memberikan tambahan base isolation sehingga periode maksimum menjadi 1,029 detik.

Tabel 1. Periode dan frekuensi struktur tanpa *base isolation*

Mode	Period (detik)	Frequency (Cyc/detik)	CircFreq (rad/detik)	Eigen value rad^2/sec^2
1	4.916	0.203	1.278	1.634
2	4.863	0.206	1.292	1.669
3	4.279	0.234	1.469	2
4	0.551	1.815	11.404	130
5	0.337	2.972	18.670	349
6	0.329	3.043	19.120	366
7	0.255	3.924	24.654	608
8	0.158	6.333	39.792	1583
9	0.103	9.678	60.807	3698
10	0.090	11.061	69.499	4830
11	0.076	13.108	82.360	6783
12	0.044	22.582	141.890	20132

Tabel 2. Periode dan frekuensi struktur dengan *base isolation*

Mode	Period (detik)	Frequency (Cyc/detik)	CircFreq (rad/detik)	Eigen value rad2/sec2
1	1.029	0.972	6.106	37.287
2	0.537	1.862	11.699	136.86
3	0.350	2.859	17.963	322.66
4	0.219	4.561	28.657	821.2
5	0.175	5.721	35.943	1291.9
6	0.165	6.048	38.002	1444.2
7	0.102	9.821	61.710	3808.1
8	0.086	11.636	73.113	5345.5
9	0.075	13.363	83.963	7049.7
10	0.069	14.574	91.573	8385.6
11	0.060	16.644	104.580	10936
12	0.028	35.248	221.470	49049

(2) Response Struktur

Hasil analisis perbandingan sistem struktur dengan dan tanpa base isolation dilakukan pada arah x dan y. Parameter yang diperiksa adalah perpindahan antar lantai, percepatan pada lantai, dan gaya geser dasar.

Berdasarkan gaya geser yang terjadi, sistem struktur dengan base isolation mampu menyerap energi gempa tambahan hingga empat kali jika dibandingkan dengan sistem biasa. Hal ini dapat dilihat dengan periode struktur yang semakin kaku dari 4,916 detik menjadi 1,029 detik.

Perilaku struktur dengan base isolation memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan struktur tanpa base isolation. Hal ini dikonfirmasi oleh tingkat perpindahan lantai maupun antar lantai yang lebih kecil.

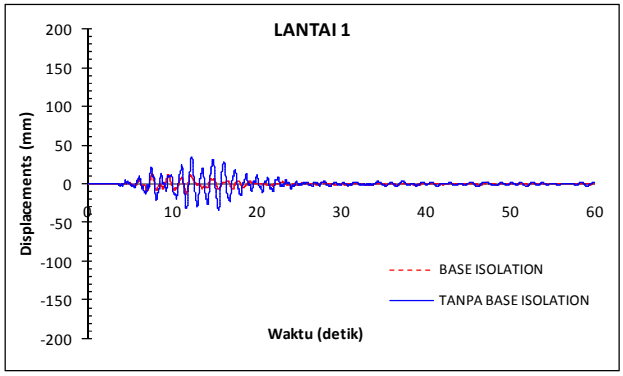
Hasil analisis struktur dengan *base isolation* dan tanpa base isolation dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4. Parameter yang dianalisis adalah displacements antar lantai, kecepatan dan percepatan pada lantai. Selanjutnya, grafik hubungan antara displacements vs waktu, kecepatan vs waktu dan percepatan vs waktu pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Gambar 5 sampai 19.

Tabel 3. Response struktur dengan *base isolation*

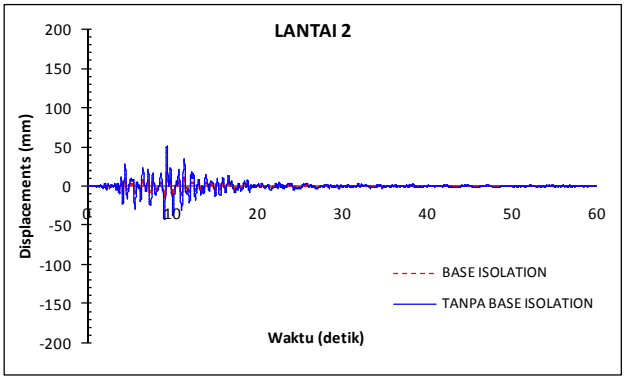
Lantai		Respon struktur *base isolation*		
		Displacements (mm)	Kecepatan (mm/detik)	Percepatan ($mm/detik^2$)
1	Maks	12.804	123.283	2119.618
	Min	-13.212	-123.302	-2000.426
2	Maks	17.064	237.404	2913.795
	Min	-13.856	-231.747	-2929.471
3	Maks	45.917	378.779	2936.555
	Min	-48.165	-351.017	-3318.336
4	Maks	54.266	423.474	2915.129
	Min	-57.337	-383.501	-3419.486
5	Maks	58.111	463.945	3108.316
	Min	-61.416	-417.244	-3570.214

Tabel 4. Response struktur tanpa *base isolation*

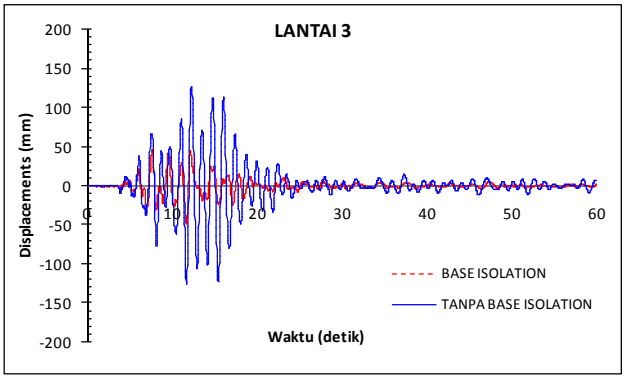
Lantai		Respon struktur tanpa *base isolation*		
		Displacements (mm)	Kecepatan (mm/detik)	Percepatan ($mm/detik^2$)
1	Maks	34.808	289.632	3634.539
	Min	-33.793	-281.042	-3770.839
2	Maks	51.193	523.816	4599.961
	Min	-41.569	-478.901	-4607.726
3	Maks	126.681	822.611	5423.085
	Min	-126.136	-648.454	-3717.955
4	Maks	153.675	887.451	4680.351
	Min	-148.617	-728.989	-4927.122
5	Maks	167.502	913.057	5479.828
	Min	-160.681	-791.325	-5726.660



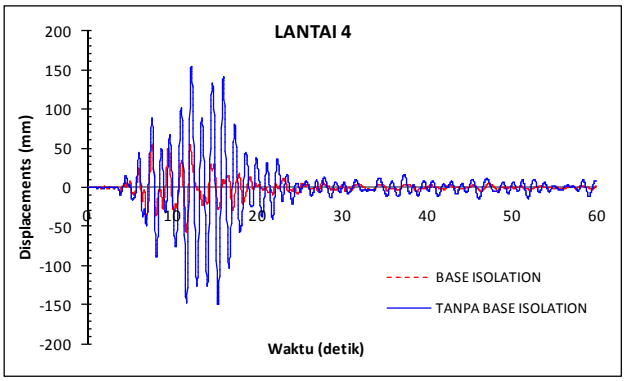
Gambar 5. Respon displacement vs waktu lantai 1



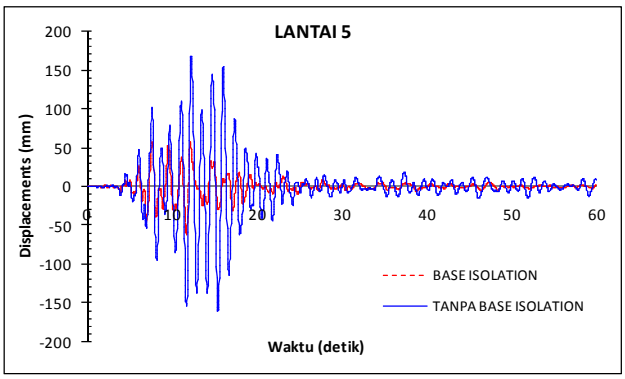
Gambar 6. Respon displacement vs waktu lantai 2



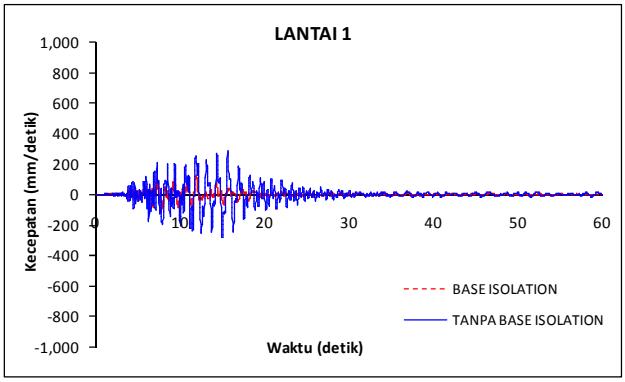
Gambar 7. Respon displacement vs waktu lantai 3



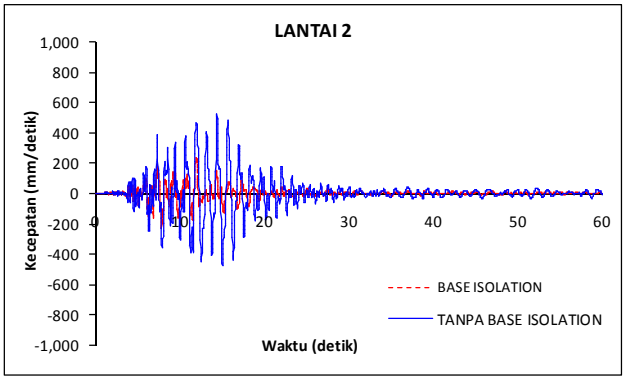
Gambar 8. Respon displacement vs waktu lantai 4



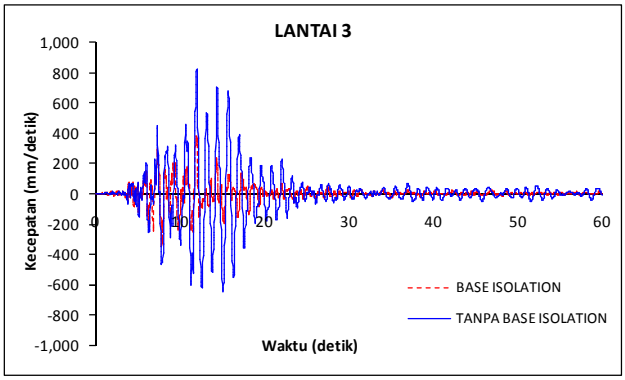
Gambar 9. Respon displacement vs waktu lantai 5



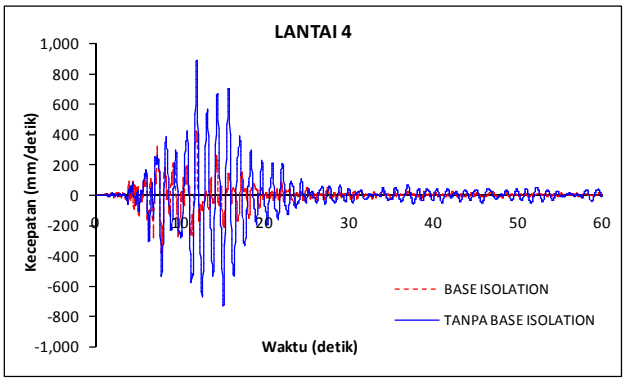
Gambar 10. Respon kecepatan vs waktu lantai 1



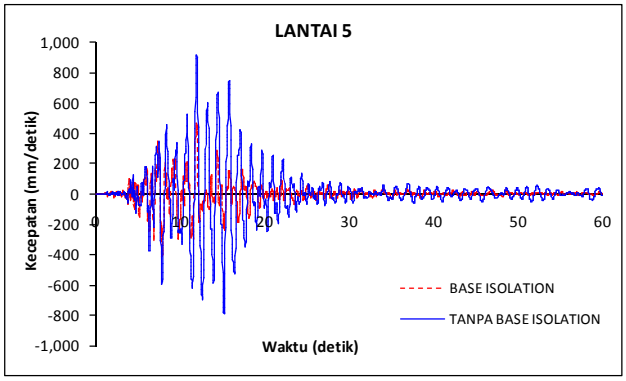
Gambar 11. Respon kecepatan vs waktu lantai 2



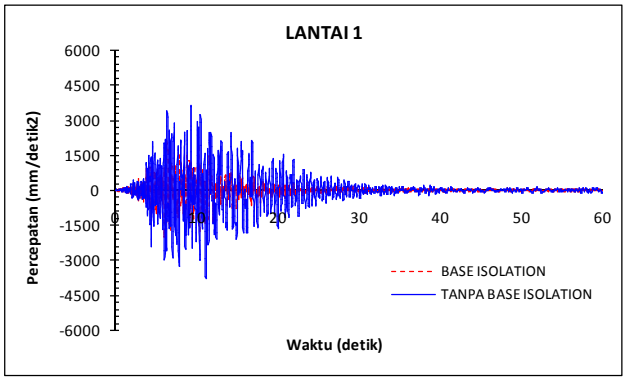
Gambar 12. Respon kecepatan vs waktu lantai 3



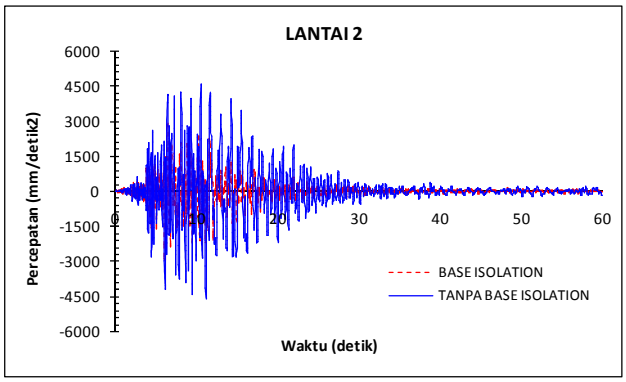
Gambar 13. Respon kecepatan vs waktu lantai 4



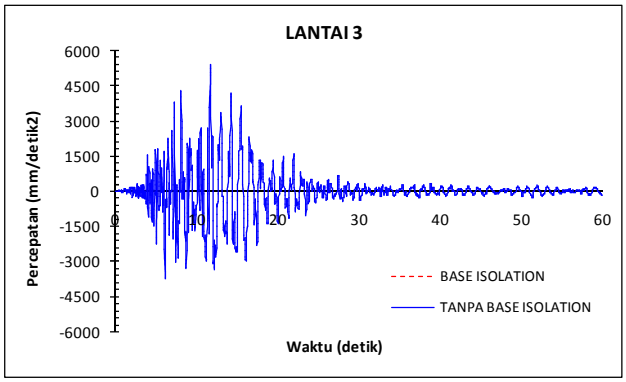
Gambar 14. Respon kecepatan vs waktu lantai 5



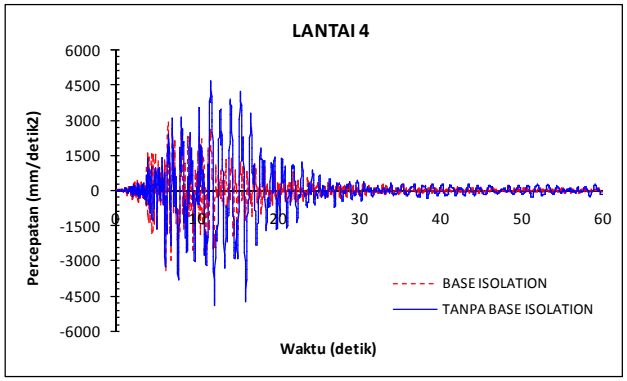
Gambar 15. Respon percepatan vs waktu lantai 1



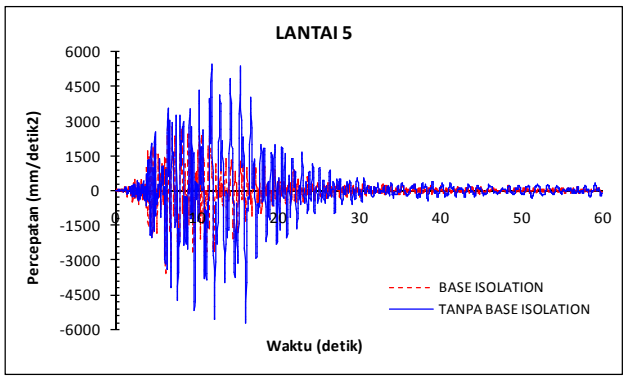
Gambar 16. Respon percepatan vs waktu lantai 2



Gambar 17. Respon percepatan vs waktu lantai 3



Gambar 18. Respon percepatan vs waktu lantai 4



Gambar 19. Respon percepatan vs waktu lantai 5

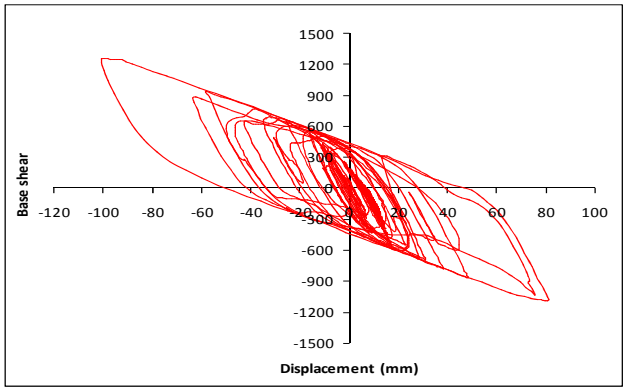
Berdasarkan perbandingan Gambar 5 – 19 dapat dijelaskan beberapa analisis terhadap kinerja struktur base isolation, antara lain:

1. Respon struktur perpindahan, kecepatan, dan percepatan bertambah besar terutama pada lantai atas.
2. Struktur dengan base isolation membuat kinerja struktur, khususnya perpindahan (*displacement*) menjadi lebih baik.
3. Struktur dengan base isolation mulai bekerja efektif pada detik ke-20 eksitasi beban luar. Hal ini dapat diketahui dari response struktur secara umum mengecil setelah detik ke-20. Hal yang sama terjadi pada perpindahan yaitu respon semakin mengecil.
4. Penggunaan base isolation menyebabkan respon struktur percepatan dan kecepatan secara umum bertambah, yang membuat struktur tidak nyaman (*comfortable*) untuk digunakan.

(3) Hubungan Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) dan *Displacements*

Gambar 20 memperlihatkan respon gaya terhadap deformasi struktur. Dapat dilihat kurva yang dihasilkan pada setruktur dengan *base isolation* bersifat nonlinier. Hal ini menunjukkan bahwa struktur dengan *base isolation* menyerap

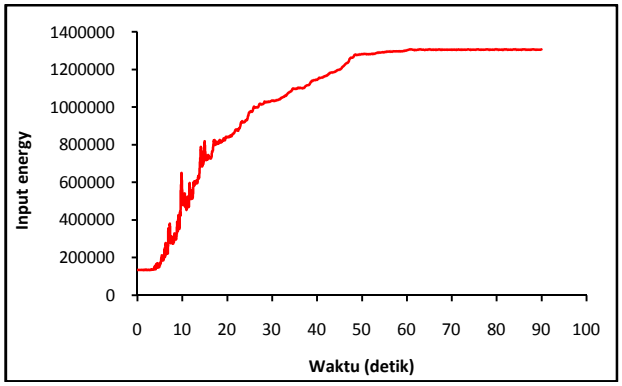
energi lebih besar dibandingkan struktur tanpa *base isolation*.



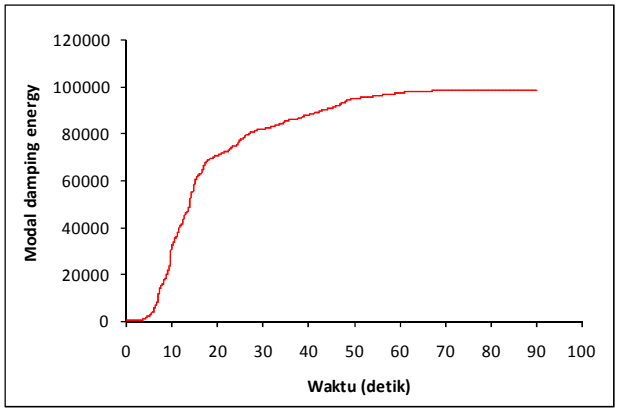
Gambar 20. Hubungan base shear vs displacement pada struktur dengan *base isolation*

(4) Energi Redaman

Plot grafik hubungan energi redaman vs waktu dapat dilihat pada Gambar 21 dan 22. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa base isolation bekerja sesuai dengan pemodelan base isolation yang diajukan sebelumnya.



Gambar 22. Hubungan modal damping energy vs waktu



Gambar 21. Hubungan input energi vs waktu

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan base isolator pada struktur rangka baja yang dikenai beban gempa mampu mereduksi respon struktur baik perpindahan, kecepatan maupun percepatan.
2. Kinerja struktur yang menggunakan base isolator lebih baik dibandingkan kinerja struktur tanpa base isolator. Hal ini dapat dilihat dari berkurangnya simpangan lantai atau gaya geser akibat beban gempa.
3. *Base isolation* pada lantai 1 mendisipasi energi lebih besar dari lantai di atasnya.
4. Lokasi penempatan *base isolation* pada arah x dan y terbukti mampu meningkatkan kinerja struktur.

REFERENSI

1) Anil K. Chopra, 2007, "*Dynamics of Structures – Theory and Application to Earthquake Engineering*".

Fracklin Y. Cheng, Hongping Jiang, and Kangyu Lou, 2008, "*Smart Structures Innovative Systems for Seismic response Control*", CRC Press.