

Pengaruh Penggunaan Base Isolation Terhadap Kinerja Gedung Dengan Analisis Pushover (Studi Kasus Hotel Grand Keisha Yogyakarta)

Margeritha Agustina Morib

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel, Jl. Solo Km. 11, PO. BOX IV YKAP, Yogyakarta

Denot Bless Lively Hulu

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel, Jl. Solo Km. 11, PO. BOX IV YKAP, Yogyakarta

INTISARI

Base isolation berfungsi menyerap energi gempa yang dipikul oleh elemen-elemen struktur dan memisahkan struktur atas dan bawah. Efektivitas *base isolation* terhadap periode, frekuensi, *displacement*, *story drift* serta level kinerja menggunakan analisa *pushover* diteliti. Sistem struktur menggunakan SRPMK beton bertulang kombinasi *shear wall* studi kasus pada Hotel Grand Keisha Yogyakarta. Pemodelan struktur menggunakan SAP 2000 dengan analisis statik ekuivalen serta respon spektrum pada jenis tanah sedang. Tipe *base isolation* yang digunakan adalah *natural rubber bearing* (NRB) dan *lead plug rubber bearing* (LPRB). Penambahan *base isolation* mampu meningkatkan periode, mereduksi frekuensi, *displacement*, *story drift*, simpangan antar lantai dan meningkatkan level kinerja. SRPMK kombinasi *shear wall* dengan NRB merupakan kombinasi struktur yang paling efektif meningkatkan periode yaitu sebesar 3,985 detik dan menurunkan frekuensi menjadi 0,25094 Hz. *Displacement*, *story drift*, simpangan antar lantai tereduksi masing-masing sebesar 75,74%, 75,74%, dan 80,13%. Penambahan NRB meningkatkan level kinerja struktur dari level IO ke C menjadi level B pada arah X dan dari level IO ke LS menjadi level B pada arah Y.

Kata kunci: *Base isolation*, frekuensi, *story drift*, *displacement*, *pushover*

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan hotel Grand Keisha Yogyakarta dibangun dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) beton bertulang dan dikombinasi dengan dinding geser pada arah sumbu lemahnya. Penelitian ini bermaksud untuk menghitung kapasitas dari struktur eksisting hotel Grand Keisha Yogyakarta menggunakan analisis *pushover* kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan kapasitas gedung apabila ditambahkan *base isolation* pada dasar bangunan sehingga diperoleh kontribusi *base isolation* terhadap peningkatan kapasitas struktur. *Base isolation* berfungsi untuk menyerap energi gempa yang dipikul oleh elemen-elemen struktur dengan memisahkan antara struktur atas dan struktur bawah sehingga bangunan menjadi lebih elastis. *Base isolation* diteliti pengaruhnya terhadap periode, frekuensi, *displacement*, simpangan antar lantai dan *story drift* serta level kinerja bangunan gedung dengan analisis *pushover*.

2. PENGARUH GEMPA PADA STRUKTUR

Akibat gempa bumi, tanah dasar yang merupakan pijakan pondasi struktur akan bergetar dalam arah tiga dimensi, yang dapat diwakili oleh komponen arah

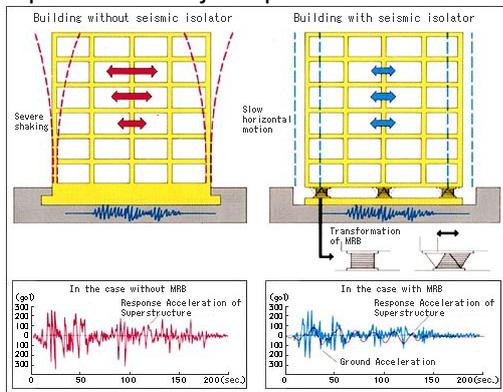
utara-selatan (*north-south*), arah timur-barat (*east-west*), dan komponen arah vertikal secara tidak beraturan dalam waktu 20-60 detik. Percepatan getaran tanah akibat gempa ini disebut sebagai *ground acceleration*. Getaran pondasi akan menjalar ke struktur di atasnya dan seolah-olah menimbulkan beban dinamik arah horisontal dan vertikal yang terkonsentrasi pada setiap lantai struktur bangunan (dan juga pada atap), karena memang pada level tersebut merupakan pusat-pusat massa baik akibat berat sendiri elemen struktur (sistem balok dan pelat lantai) maupun akibat beban mati dan beban hidup yang berada di atasnya (Suhendro, 2000).

Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisa struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horisontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar pertama, dan biasanya distribusi gaya ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik. Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis

dinamik dibagi menjadi analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar dan analisis riwayat waktu (*time history analysis*) dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu (Purnomo, 2014).

3. BASE ISOLATION

Base Isolation (BI) berfungsi untuk menyerap energi gempa yang dipikul oleh elemen-elemen struktur sehingga bangunan menjadi lebih elastis dan terhindar dari kerusakan gempa yang parah dengan mengizinkan struktur mengalami pergerakan searah horizontal. Ilustrasi dari prinsip kerja *base isolation* terhadap struktur disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja *base isolation* pada struktur
 Sumber: <https://sangapramana.files.wordpress.com/>

Natural Rubber Bearing (NRB) yaitu tipe *BI* dengan sistem *block* atau pemisah yang terbuat dari karet alami atau *neo prene* tanpa adanya lempengan baja pada bagian dalam karet. Kekakuan vertikal dari karet ini hanya beberapa kali dari kekakuan horizontalnya. Sistem ini juga dilengkapi dengan balok *foam glass* yang mengelilingi *rubber bearing* yang bertujuan untuk mencegah pergerakan gedung akibat pengaruh angin, kegiatan di dalam gedung maupun akibat gempa bumi skala kecil. Cara kerjanya adalah dengan memisahkan struktur dari komponen horizontal pergerakan tanah akibat terjadinya gempa bumi dengan meletakkan beberapa lapis karet alami diantara pondasi dan struktur atas sehingga akibat perletakan lapisan karet alami pada struktur mengakibatkan waktu getar alami struktur lebih lama dibandingkan dengan perletakan jepit. *Lead Plug Rubber Bearing (LPRB)* adalah tipe *BI* yang prinsip kerjanya hampir sama dengan *NRB* namun pada bagian dalam karet telah ditambahkan lempengan baja untuk menambahkan kekakuan horizontal dari karet pada *BI*. Bentuk *NRB* dan *LPRB* disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. *NRB* dan *LPRB*
Properties base isolation tipe *NRB (NSO50N3)* dan *LPRB (LL065G4-G)* produksi *EWBJ/Toshio Okoshio, Takayuki Teramoto* yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

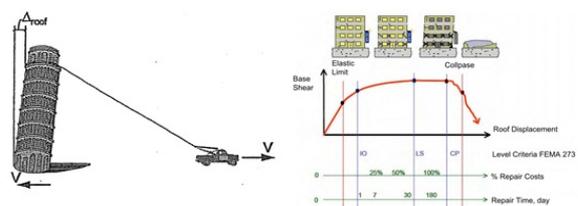
Tabel 1. *Properties base isolation*

Product code		NRB NSO50N3	LPRB LL065G4-G	
Nominal Stress (Vertical)		N/m ²	10	10,5
Shear stiffness (horizontal)		KN/m x 10 ³	0,57	0,804
Nominal Shear Strain		%	100	100
Ultimate Shear Strain		%	400	348
Ultimate Shear displacement		mm	400	567
Ultimate Compressive Stress		N/m ²	19	4,8
Ultimate tensile Stress		N/m ²	1	1
Compressive Stiffness		KN/m x 10 ³	1720	2400

Sumber : *EWBJ/Toshio Okoshio, Takayuki Teramoto*

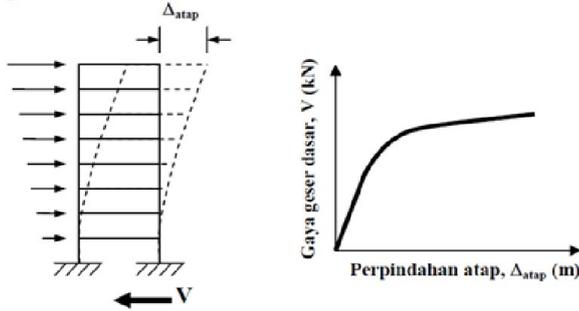
4. ANALISA PUSHOVER

Analisa *pushover* adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik tertentu dalam arah lateral yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai struktur mencapai simpangan target. Hasil dari analisa *pushover* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara *base shear* dengan simpangan lantai atap maksimum (*Top Floor Displacement*) seperti disajikan pada Gambar 3. Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan sebagai kurva kapasitas struktur (Andrian, dkk, 2017).



Gambar 3 Konsep analisa *pushover*

Kurva kapasitas merupakan hasil analisis *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dengan displacement atap (*roof displacement*) seperti yang disajikan pada Gambar 4 (Andrian, dkk, 2017).



Gambar 4 Kurva kapasitas

Performa point diperoleh melalui perpotongan kurva kapasitas dan kurva respon spektrum pada satu titik. Pada *performa point* dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan, dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadinya sendi plastis, dari hasil tersebut dapat diketahui respon-respon struktur lainnya seperti simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui. *Performa point* menentukan level kinerja dari struktur. Berdasarkan ATC-40 level kinerja struktur terbagi menjadi *operational (B)*, *immediate occupancy (IO)*, *life safety (LS)* dan *collapse prevention (CP)*.

5. BEBAN GEMPA

Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \tag{1}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \tag{2}$$

Nilai S_s dan S_1 dapat diperoleh dari peta gempa Indonesia yang terdapat dalam SNI 1726-2012. Parameter yang harus dihitung kemudian adalah parameter respon spektrum percepatan desain, yaitu S_{DS} dan S_{D1} yang dapat dilihat dari persamaan berikut :

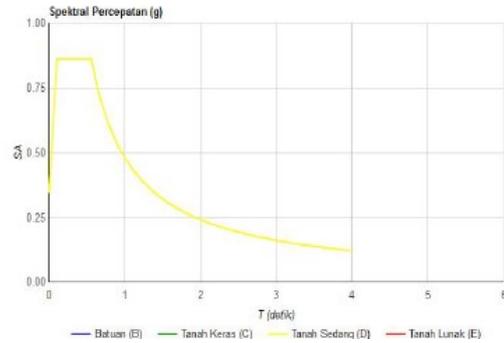
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{3}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \tag{4}$$

Dari data di atas dapat digambar kurva respon spektrum yang menghubungkan percepatan maksimum (*spectral acceleration, SA*) dengan periode getar struktur (T) dalam detik. Gambar 5 menunjukkan kurva respon spektrum untuk jenis tanah sedang yang diambil dari aplikasi desain spektra Indonesia (www.puskim.go.id) sesuai dengan lokasi bangunan yang direncanakan.

Analisis gaya lateral ekuivalen dihitung menggunakan respon ragam pertama. Gaya geser dasar (*base shear*) dihitung sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W \tag{5}$$



Gambar 5 Kurva respon spektrum

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} \tag{6}$$

atau

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I} \right)} \tag{7}$$

Dengan :

- C_s = koefisien respon seismik
- W = berat seismik efektif
- T = waktu getar alami struktur
- R = koefisien modifikasi respon
- I = faktor keutamaan struktur

Gaya gempa lateral (F_x) (KN) yang terjadi di setiap tingkat harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F_x = C_{VX} \cdot V \tag{8}$$

$$C_{VX} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \tag{9}$$

Dengan :

- F_x = gaya gempa lateral yang timbul (KN)
- C_{VX} = faktor distribusi vertikal
- w_i & w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
- h_i & h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
- k = eksponen yang terkait periode struktur

Periode adalah waktu yang diperlukan oleh suatu sistem tanpa peredam untuk menyelesaikan satu siklus getaran bebas dinyatakan dalam detik, sedangkan frekuensi merupakan banyaknya getaran dalam satu detik dinyatakan dengan satuan Hz. Untuk

struktur beton bertulang dan lainnya, periode struktur dibatasi sebagai berikut :

a. Jika T yang lebih akurat tidak dimiliki (dari analisa komputer) digunakan $T = T_n$

b. Jika T yang lebih akurat dari analisis komputer (T_c) dimiliki, maka :

Jika $T_c < C_u \cdot T_a$ digunakan $T = C_u \cdot T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$ digunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ digunakan $T = T_a$

dengan T_a = periode fundamental pendekatan

C_u = batas atas periode

T_c = Periode komputer

Simpangan lantai (*story drift*) merupakan simpangan lantai yang diperbesar dihitung dengan rumus :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (10)$$

Simpangan antar lantai dihitung dengan rumus :

$$\Delta_x = \frac{C_d \cdot (\delta_{xe2} - \delta_{xe1})}{I_e} \quad (11)$$

Dengan :

δ_x = perpindahan yang diperbesar

C_d = faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

Δ_x = simpangan antar lantai

I = faktor keutamaan struktur

h_i = tinggi lantai yang ditinjau

6. DISKRIPSI GEDUNG

Gedung yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hotel Grand Keisha Yogyakarta dengan data-data sebagai berikut:

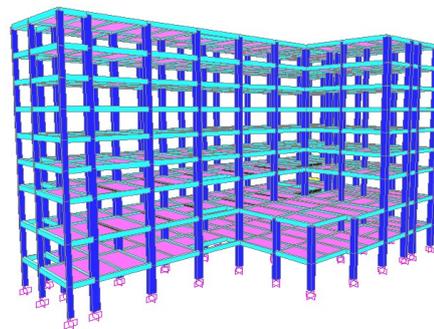
- Sistem struktur : SRPMK dan dinding geser
- Material yang digunakan : Beton Bertulang
- Jumlah tingkat : 8 tingkat
- Tinggi bangunan : 35 m
- Jarak antar lantai : 3,75 dan 3,5 m
- Dimensi struktur sesuai dengan struktur eksisting.
- Jenis *seismic isolator* : *NRB* dan *LPRB*
- Tebal *shear wall* : 0,35 m untuk lantai 1-5 dan 0,3 m untuk lantai 6-atap
- Zona gempa yang direncanakan berada di *DIY* dengan kondisi tanah sedang
- Kuat tekan beton (f'_c) untuk kolom, balok, *shear wall* adalah 30 MPa dan tegangan leleh baja tulangan beton yang digunakan BJTD 40, $f_y = 400$ MPa, $f_u = 570$ MPa

7. PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR

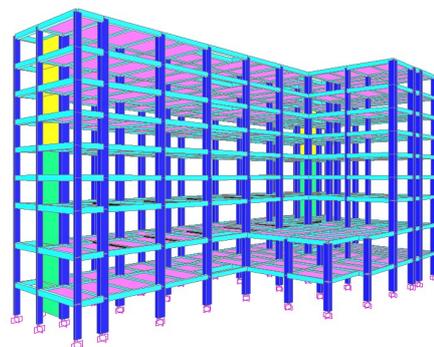
Pemodelan struktur dengan menggunakan software SAP 2000 v 11 meliputi, pendefinisian material,

pendefinisian balok, kolom, plat lantai dan *shear wall* serta sendi plastis. Data *base isolation* yang diinputkan adalah kekakuan horizontal dan vertikal. Permodelan struktur 3D hotel Grand Keisha untuk struktur tanpa *shear wall* maupun dengan *shear wall* disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Analisa struktur dilakukan untuk menghitung periode, frekuensi alami struktur, *displacement*, simpangan antar lantai dan *story drift*. Hasil tersebut dianalisa untuk mengetahui pengaruh *base isolation* terhadap frekuensi alami struktur, simpangan antar lantai dan *story drift* yang sangat mempengaruhi kenyamanan penghuni gedung. Analisis *Pushover* dilakukan untuk mengetahui performa point dan level kinerja dari struktur dengan tumpuan pondasi jepit (*fixed based*) dan pengaruh penambahan *base isolation* terhadap performa point dan level kinerja struktur.



Gambar 6 Permodelan struktur tanpa *shear wall*



Gambar 7 Permodelan struktur dengan *shear wall*

8. HASIL DAN PEMBAHASAN

8.1. Periode dan Frekuensi

Periode terpanjang terjadi pada struktur SRPMK+SW +*NRB* yaitu 3,984969 detik dengan frekuensi 0,25094 Hz. Perbandingan periode dan frekuensi pada tiap struktur pada ragam getar pertama (mode 1) disajikan pada Tabel 2.

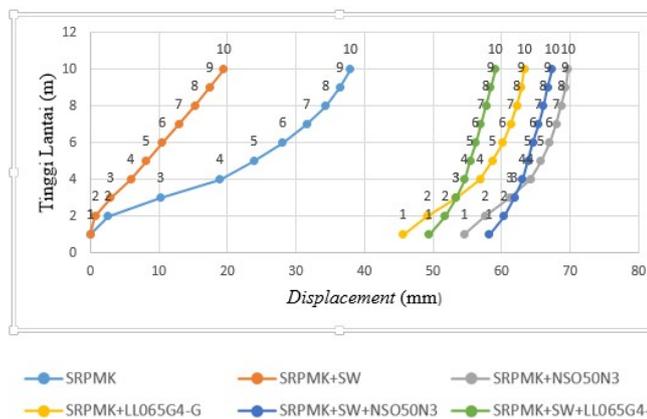
Tabel 2 Periode dan frekuensi setiap jenis struktur

Tipe Struktur	Periode	Frekuensi
	detik	Hz
SRPMK	1,32444	0,75504
SRPMK +SW	1,18415	0,84449
SRPMK+NRB	3,9664	0,25212
SRPMK+LRB	3,443219	0,29043
SRPMK+SW+NRB	3,984969	0,25094
SRPMK+SW+LRB	3,443219	0,29043

Dari data di atas diketahui bahwa periode struktur meningkat akibat penambahan *base isolation* hal ini membuat waktu yang dibutuhkan oleh getaran gempa dari dasar bangunan untuk mencapai lantai paling atas membutuhkan waktu relatif lebih lama dibanding dengan struktur tanpa *base isolation*. Kekakuan struktur terbesar ditandai dengan nilai frekuensi tertinggi yaitu pada SRPMK+SW yaitu 0,84449 Hz, sedangkan struktur yang paling fleksibel ditandai dengan frekuensi terendah yaitu SRPMK+SW+NRB yaitu 0,25094 Hz.

8.2. Displacement

Displacement merupakan simpangan horizontal yang terjadi antara titik buhul relatif terhadap lantai dibawahnya. Hasil *displacement* didapat dari analisa struktur dengan SAP 2000 menunjukkan hasil yang paling efektif mengurangi *displacement* adalah struktur SRPMK+SW+NRB dengan reduksi sebesar 75,74% dan disusul oleh struktur SRPMK+SW+LPRB sebesar 74,41% pada beban gempa respon spektrum arah y. Perbandingan *displacement* tiap struktur disajikan pada Gambar 8.

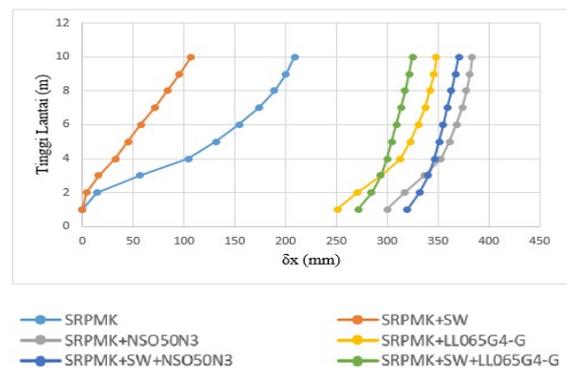


Gambar 8. Grafik perbandingan *displacement* akibat beban gempa dinamik arah y

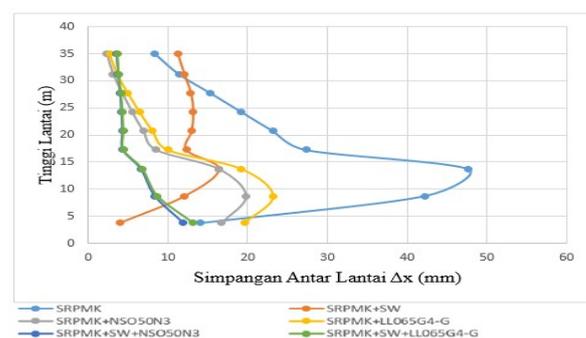
8.3. Story Drift dan Simpangan antar lantai

Story drift adalah perpindahan suatu lantai pada ketinggian tertentu diukur terhadap lantai dasar dikalikan dengan faktor Cd dan dibagi I. Dari hasil analisis, reduksi *story drift* terjadi pada struktur SRPMK+SW+NRB sebesar 75,73% dan disusul oleh struktur SRPMK+SW+LPRB sebesar 74,40% pada beban gempa respon spektrum arah y. Perbandingan *story drift* pada tiap struktur disajikan pada Gambar 9.

Simpangan antar lantai adalah simpangan suatu lantai diukur terhadap dasar lantai dibawahnya. Dari hasil analisis reduksi simpangan antar lantai terjadi pada struktur SRPMK+SW+NRB sebesar 80,13% dan disusul oleh struktur SRPMK+SW+LPRB sebesar 79,46% pada beban gempa respon spektrum arah y. Perbandingan simpangan antar lantai tiap struktur disajikan pada Gambar 10.



Gambar 9. Grafik perbandingan *story drift* akibat beban gempa dinamik arah y



Gambar 10. Grafik perbandingan simpangan antar lantai akibat beban gempa dinamik arah y

8.4. Analisa Pushover

Analisis *pushover* dilakukan pada struktur SRPMK dan SRPMK+NRB menggunakan beban gempa statik ekuivalen arah x dan y. Dari hasil analisis terhadap beban gempa arah x didapat bahwa struktur dengan penambahan *NRB* mengalami peningkatan level

kinerja dari level IO ke CP menjadi operasional (B). Untuk beban gempa arah y mengalami peningkatan level kinerja dari IO ke LS menjadi operasional (B). Terjadinya peningkatan kinerja struktur disebabkan oleh reduksi yang sangat besar terhadap gaya geser dan *displacement*. Perbandingan *performa point* pada struktur SRPMK dan SRPMK+NRB berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356 disajikan pada pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Nilai *performa point* untuk beban gempa arah x

EQX	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK		
ATC-40	1419361,7	0,166	IO ke C
FEMA 356	1357144,3	0,153	IO ke C
EQX	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK + NRB		
ATC-40	252452,44	0,094	B
FEMA 356	189628,71	0,066	B

Tabel 4 Nilai *Performa Point* untuk beban lateral arah y

EQY	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK		
ATC-40	2441967,3	0,116	IO Ke LS
FEMA 356	1916987	0,089	IO Ke LS
EQY	V (Kg)	D (m)	LEVEL
	SRPMK + NRB		
ATC-40	48194,574	0,042	B
FEMA 356	50803,182	0,049	B

Reduksi gaya geser dasar (*base share*) akibat penambahan *base isolation* sangat signifikan, dan hal itu mengakibatkan berkurangnya simpangan maksimum atap (*top floor displacement*). Level kinerja bangunan meningkat akibat reduksi gaya geser dan *displacement* yang terjadi pada struktur dengan *base isolation*. Pada arah x *base share* tereduksi sebesar 82,23% dan *displacement* tereduksi sebesar 43,37% sedangkan pada arah y *base share* tereduksi sebesar 98,02% dan *displacement* tereduksi sebesar 63,79%.

9. KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan dan analisis dapat disimpulkan bahwa:

- Perbandingan *displacement* pada setiap struktur didapat hasil bahwa analisis struktur gedung menggunakan metode beban gempa statik ekuivalen memberikan selisih yang cukup signifikan dibanding dengan metode respon spektrum. Penambahan *base isolation* memperbesar

selisih hasil analisis statik ekuivalen dan respon spektrum. Untuk perencanaan bangunan dengan *base isolation*, lebih tepat apabila struktur dihitung terhadap beban gempa dinamis menggunakan respon spektrum.

- Penambahan *base isolation* pada struktur gedung mampu mereduksi *displacement* pada struktur SRPMK dengan dan tanpa *Shear Wall*. Reduksi terbesar terjadi akibat beban gempa arah Y pada SRPMK+SW+NRB yaitu 75,74% sedangkan SRPMK+SW+LPRB sebesar 74,41%.
- Penambahan *base isolation* mampu mereduksi *story drift* dan simpangan antar lantai pada struktur gedung. SRPMK+NRB mereduksi sebesar 57,61 % dan 70,59% sedangkan SRPMK+LPRB sebesar 51,10% dan 67,88%. Untuk struktur SRPMK+SW+NRB mereduksi sebesar 54,09 % dan 80,35% sedangkan SRPMK+SW+LPRB mereduksi sebesar 51,66 % dan 79,46%.
- Base isolation* mampu meningkatkan level kinerja struktur. Analisis pada struktur SRPMK tanpa *base isolation* diperoleh level kinerja struktur berada diantara level IO dan C artinya terjadi kerusakan yang cukup parah pada struktur paska terjadinya gempa meningkat menjadi level B yang berarti struktur tetap dapat beroperasi paska terjadinya gempa.

REFERENSI

Andrian, Wiki dkk. (2017), “*Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Dumping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Yogyakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover*”, Surabaya, Institute Teknologi Sepuluh November.

Badan Standarisasi Nasional, (2012), *SNI 1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk struktur Gedung dan Non Gedung”*, Bandung.

Purnomo, Edi, (2014), “*Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus Bangunan Hotel di Semarang)*”, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Desember 2014, 569-576.

Suhendro, Bambang, (2000), “*Analisis Dinamik Struktur*”, Yogyakarta.

<https://sanggapramana.files.wordpress.com/>

www.puskim.go.id