

PERKUATAN UNTUK STRUKTUR YANG DIRENCANAKAN BERDASARKAN PERATURAN GEMPA TAHUN 1983 DENGAN MENGGUNAKAN VSL GENSUI DAMPER: STUDI KASUS STRUKTUR GEDUNG T UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

Ferlinda Hermawan Tjhai¹, Teddy Tirta Gunawan², Benjamin Lumantarna³, and Pamuda Pudjisuryadi⁴

ABSTRAK : Pembaruan Standar Nasional Indonesia (SNI), khususnya SNI gempa menuntut bangunan yang telah didesain menggunakan SNI yang sebelumnya untuk diperkuat supaya bisa menahan beban yang disyaratkan dalam SNI yang terbaru. Ada banyak metode perkuatan yang bisa dipakai, tetapi dalam penelitian ini dipilih VSL Gensui *Damper* karena lebih aman dan lebih aplikatif. Tujuan penelitian ini adalah memeriksa kemampuan Gedung T Universitas Kristen Petra yang didesain menggunakan PPTGIUG 1983 dalam menahan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012. Selanjutnya, pengaruh penggunaan VSL Gensui *Damper* terhadap kinerja struktur yang meliputi *displacement* serta *story drift* dari Gedung T Universitas Kristen Petra dievaluasi. Untuk memperoleh hasil tersebut, analisis riwayat waktu nonlinier dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 V.18 dengan beban percepatan gempa yang telah disesuaikan dengan respon spektrum kota Surabaya dengan periode ulang 2500 tahun dan $\frac{2}{3}$ 2500 tahun (gempa desain). Hasil ini menunjukkan bahwa Gedung T Universitas Kristen Petra masih mampu menahan beban gempa desain, tetapi tidak mampu menahan beban gempa 2500 tahun. Setelah model diberi VSL Gensui *Damper*, performa gedung membaik. *Story drift* dan *displacement* untuk gempa desain secara berturut-turut berkurang sebesar 4% dan 9%. Sedangkan, *story drift* dan *displacement* untuk gempa 2500 tahun secara berturut-turut berkurang sebesar 9% dan 14%.

KATA KUNCI: *displacement*, PPTGIUG 1983, riwayat waktu nonlinier, *story drift*, VSL gensui *damper*

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada daerah yang rawan gempa dikarenakan ada 2 buah jalur utama gempa yang melewati Indonesia, yaitu Jalur Sirkum Pasifik yang melewati Sulawesi dan Papua serta Jalur Trans Asiaatik yang melewati Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara dan Sulawesi (Lumantarna, 2000). Meski demikian, masih ada beberapa daerah di Indonesia yang jarang terjadi gempa, seperti di Surabaya. Namun, pergeseran lempeng tektonik yang terus menerus terjadi menyebabkan berubahnya peta gempa di Indonesia dan mengakibatkan Surabaya menjadi daerah dengan resiko gempa yang lebih tinggi. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya beberapa kali pembaruan peta gempa mulai dari PMI 1970, PPTGIUG 1983, SNI 1726-2002, dan yang terbaru adalah SNI 1726-2012.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414108@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414165@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@petra.ac.id

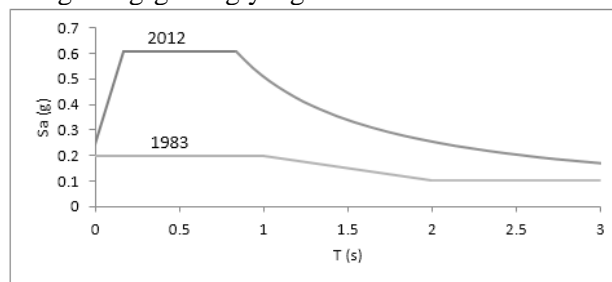
⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, pamuda@petra.ac.id

Perubahan ini mengakibatkan gedung yang telah didesain menggunakan peraturan yang lama harus diperiksa berdasarkan peraturan baru serta perlu dilakukan perkuatan pada struktur apabila struktur tersebut ternyata tidak mampu memikul gaya gempa berdasarkan peraturan baru. Dari beberapa alternatif untuk meningkatkan daya tahan struktur terhadap gempa, pemasangan *damper* dapat dipilih. *Damper* dapat diletakkan di bawah struktur maupun di struktur bagian atas sehingga fleksibel dalam pengaplikasiannya (VSL, 2016).

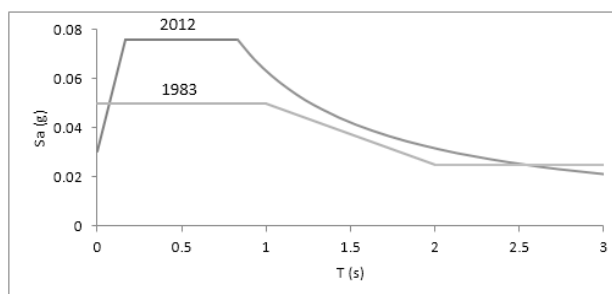
Dalam penelitian kali ini, penulis merujuk pada penggunaan *viscoelastic damper* buatan VSL Gensui *damper* yang terbuat dari beberapa lapisan baja dan karet dengan dimensi 400 x 400 mm dan tebal 15 mm. Karet pada *damper* ini menggunakan sistem yang merubah getaran menjadi energi panas sehingga getaran dapat teredam. Sedangkan untuk objek yang diteliti adalah Gedung “T” Universitas Kristen Petra Surabaya yang dalam tahap perencanaannya menggunakan peraturan gempa PPTGIUG 1983, dimana saat ini telah berlaku aturan baru, yaitu SNI 1726:2012. Kajian terhadap bangunan akan menggunakan bantuan program SAP2000 V.18 dan akan dievaluasi berdasarkan *performance level* menurut FEMA 356 (2000) serta berdasarkan *individual damage index* menurut ACMC (2001). Kinerja bangunan sebelum diberi *damper* dan setelah diberi *damper* akan dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan VSL Gensui *damper* pada bangunan tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Peta gempa pada PPTGIUG 1983 didasarkan pada gempa dengan periode ulang 200 tahun. Sedangkan pada SNI 1726-2012, peta gempa didasarkan pada gempa dengan periode ulang 2500 tahun. Perbandingan respon spektrum gempa $\frac{2}{3}$ 2500 tahun (kondisi elastis, selanjutnya disebut sebagai gempa desain) untuk kota Surabaya dengan kelas situs tanah lunak berdasarkan PPTGIUG 1983 dan SNI 1726-2012 dapat dilihat pada **Gambar 1**. Terlihat bahwa respon spektrum gempa desain kota Surabaya mengalami kenaikan 3 kali lipat dari 0.2g pada tahun 1983 menjadi 0.6g pada tahun 2012 pada rentang periode pendek. Berikutnya, perbandingan respon spektrum gempa nominal (yang telah memperhitungkan faktor daktilitas dan faktor kuat lebih) untuk kota Surabaya dimana SRPMK menurut SNI 1726-2012 adalah 8, sedangkan menurut PPTGIUG 1983 adalah 4 dapat dilihat pada **Gambar 2**. Terlihat bahwa respon spektrum gempa nominal untuk kota Surabaya mengalami kenaikan 1.5 kali lipat dari 0.05g pada tahun 1983 menjadi 0.075g pada tahun 2012. Kenaikan cukup besar ini berpotensi menimbulkan masalah untuk gedung-gedung yang termasuk dalam kondisi tersebut.



Gambar 1. Respon Spektrum Gempa Desain untuk Kota Surabaya



Gambar 2. Respon Spektrum Gempa Nominal untuk Kota Surabaya

VSL Gensui *damper* dapat dimodelkan pada SAP2000 V.18 sebagai *nonlinear link property* dengan tipe

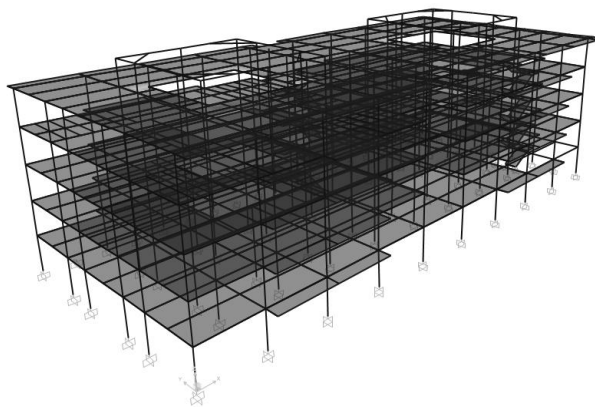
plastic (wen). Ada beberapa parameter yang perlu ditentukan untuk memodelkan *nonlinear link property*, antara lain *effective stiffness*, *effective damping*, *stiffness*, *yield strength*, dan *post yield stiffness ratio*. Ada beberapa persamaan dan grafik yang digunakan untuk memperoleh kelima parameter tersebut. Namun, terlebih dahulu diperlukan *strain ratio* dari VSL Gensui *damper*, frekuensi dari *bare model* serta temperatur di lokasi bangunan untuk dapat menggunakan grafik dan persamaan yang ada (Susanto, 2011).

3. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan memodelkan struktur Gedung “T” Universitas Kristen Petra pada program SAP2000 V.18 yang dapat dilihat pada **Gambar 3**. Pertama-tama dilakukan analisis respon spektrum terhadap struktur untuk mendapatkan *displacement* yang terjadi pada VSL Gensui *damper* serta *modal analysis* untuk mendapatkan frekuensi gedung *bare model*. Setelah itu, dapat diperoleh parameter *nonlinear link property* yang digunakan untuk memodelkan VSL Gensui *damper*. Perlu diperhatikan bahwa analisis respon spektrum yang dilakukan harus disesuaikan dengan analisis nonlinier yang akan dilakukan. Sebagai contoh, untuk analisis *time history* gempa desain, *displacement* yang digunakan adalah hasil analisis respon spektrum gempa desain. Begitu juga untuk gempa 2500 tahun. Selain itu, perlu diperhatikan juga bahwa parameter *nonlinear link property damper* berbeda untuk masing-masing lantai dan masing-masing arah.

Selanjutnya, untuk melakukan analisis secara nonlinier, diperlukan properti nonlinier pada SAP2000 V.18 berupa *hinge property*. Program CUMBIA (Montejo, 2007) digunakan untuk memperoleh grafik *moment-curvature* dan *force-displacement* yang kemudian akan digunakan untuk memodelkan *hinge property* pada SAP2000 V.18.

Setelah itu, gedung *bare model* dianalisis menggunakan *Nonlinear Time History Direct Integration Analysis* pada SAP2000 V.18 untuk mengetahui kinerja gedung pada kondisi awalnya. Beban gempa yang diterapkan adalah gempa desain dan gempa 2500 tahun. Kemudian, dipasang *damper* pada lokasi lokasi tertentu dan hasil dari analisis gedung *bare model* dan model dengan VSL Gensui *damper* dibandingkan untuk dilihat pengaruh penggunaan VSL Gensui *damper*.



Gambar 3. Pemodelan Gedung T Universitas Kristen Petra

4. HASIL ANALISIS

4.1. Standar Performa Struktur terhadap Gempa

Performa struktur terhadap gempa pada penelitian ini ditentukan berdasarkan *drift ratio* dan tingkat kerusakan (*damage index*) sendi plastis yang terjadi pada struktur. Matriks performa struktur dan batasan *drift ratio* untuk berbagai level performa struktur berdasarkan FEMA 356 ditampilkan pada

Tabel 1. Sedangkan batasan *damage index* untuk setiap level performa struktur berdasarkan ACMC (2001) ditunjukkan pada **Tabel 2.** Selanjutnya *Operational Level* disebut OL, *Immediate Occupancy* disebut IO, *Life Safety* disebut LS, *Collapse Prevention* disebut CP, dan *Collapse* disebut C. Sedangkan *Serviceability Limit State* disebut SLS, *Damage Control Limit State* disebut DCLS, dan *Safety* disebut S.

Tabel 1. Earthquake Performance Matrix Berdasarkan FEMA 356-2000

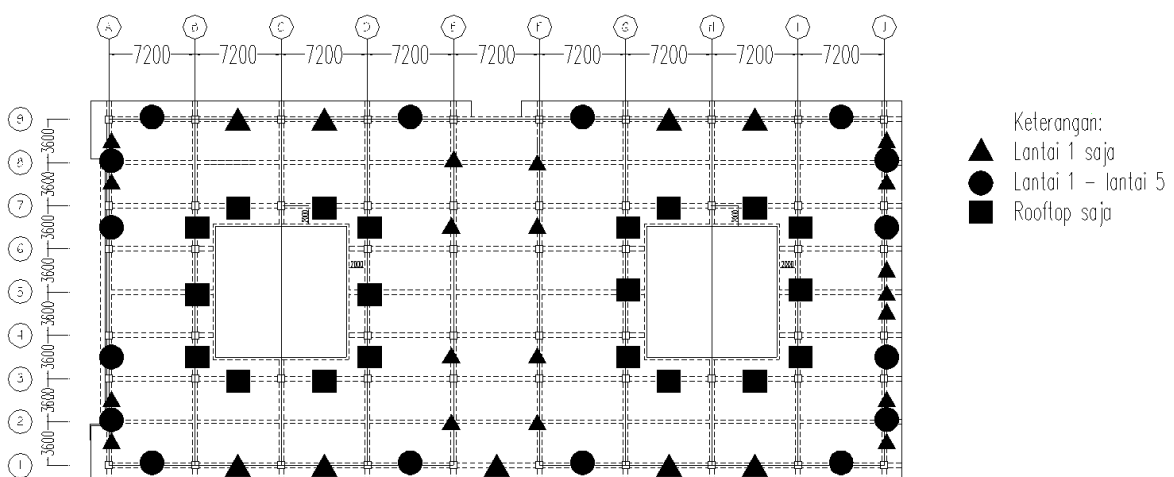
		Target Building Performance Level			
		OL	IO	LS	CP
Earthquake Hazard Level	50%/50 year (72 tahun)		x	x	x
	20%/50 year (225 tahun)			x	x
	10%/50 year (500 tahun)				x
	2%/50 year (2500 tahun)				
Drift Ratio		0%	0-1%	1-2%	2-4%

Tabel 2. Batasan Damage Index Berdasarkan ACMC (2001)

Parameter	Serviceability Limit State	Damage Control Limit State	Safety
Damage Index	0.1 – 0.25	0.25 – 0.4	0.4 – 1

4.2. Hasil Analisis Struktur Gedung T Universitas Kristen Petra

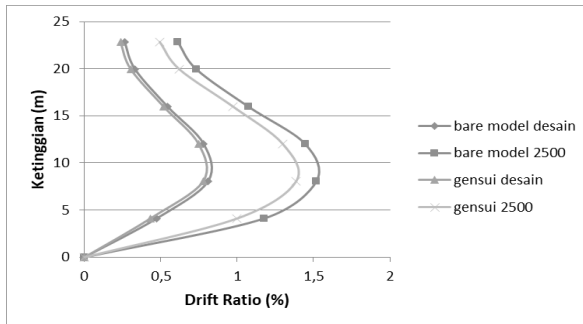
Pada penelitian ini, VSL Gensui *dampers* dipasang seperti pada **Gambar 4.** Lokasi pemasangan *dampers* dianjurkan untuk simetris di kedua sisi bangunan agar tidak menggeser pusat kekakuan gedung. Menurut Khan, et al. (2014) portal akan lebih aman bila *dampers* dipasang dari lantai dasar hingga lantai paling atas. Perlu diperhatikan juga arsitekturalnya agar tidak mengganggu kenyamanan penggunaan gedung. Pemasangan VSL Gensui *dampers* diusahakan agar *dampers* setidaknya mencapai kondisi plastisnya untuk mendapatkan hasil terbaik.



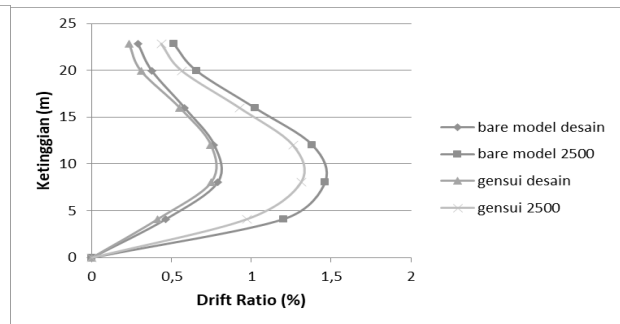
Gambar 4. Lokasi Pemasangan VSL Gensui Dampers

Setelah struktur Gedung “T” Universitas Kristen Petra dianalisis terhadap gempa desain dan gempa 2500 tahun, diperoleh hasil analisis struktur berupa *drift ratio* yang dapat dilihat pada **Gambar 5** untuk

gempa arah x dan **Gambar 6** untuk gempa arah y dimana reduksi yang terjadi dapat dilihat pada **Tabel 3**. Kemudian dari segi *displacement*, ditampilkan juga pada **Tabel 4**, yaitu rata-rata *displacement* keseluruhan bangunan.



Gambar 5. *Drift ratio* untuk Gempa Arah X



Gambar 6. *Drift ratio* untuk Gempa Arah Y

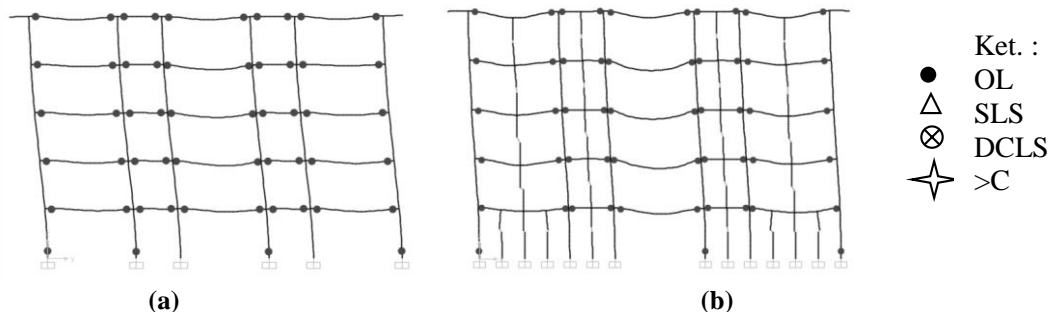
Tabel 3. Reduksi *Drift Ratio* Maksimum

Arah	Level Gempa	Bare Model (%)	Dengan VSL Gensui Damper (%)	Reduksi (%)
X	Desain	0.8071	0.7793	3.44
	2500	1.5195	1.3844	8.89
Y	Desain	0.7876	0.7467	5.18
	2500	1.4617	1.3142	10.09

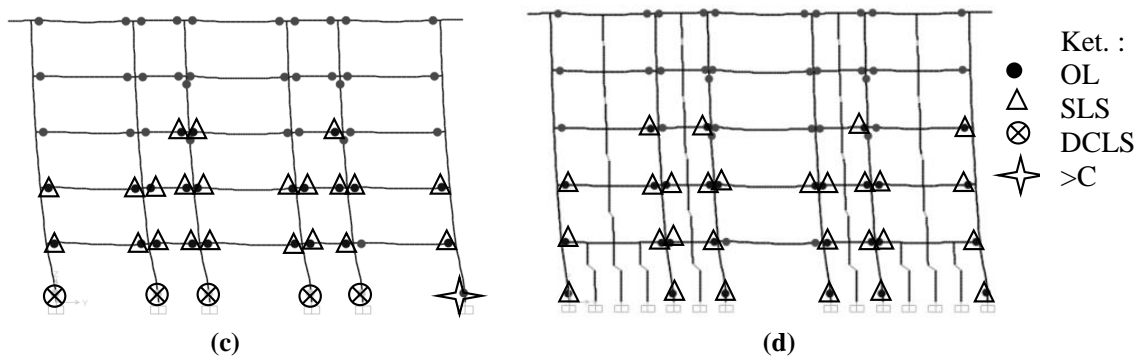
Tabel 4. Reduksi *Displacement* Rata-Rata

Arah	Level Gempa	Bare Model (m)	Dengan VSL Gensui Damper (m)	Reduksi (%)
X	Desain	0.0758	0.0722	5.3
	2500	0.1565	0.1390	11.74
Y	Desain	0.0759	0.0660	13.68
	2500	0.1482	0.1251	16.93

Pada makalah ini, lokasi sendi plastis pada salah satu portal ditampilkan untuk memberi gambaran kerusakan struktur seperti yang terlihat pada **Gambar 7**. Gambaran menyeluruh berkurangnya sendi plastis akibat pengaruh VSL Gensui *damper* dapat dilihat pada **Tabel 5** untuk gempa arah x dan **Tabel 6** untuk gempa arah y. Selanjutnya, **Tabel 7** menunjukkan level kinerja struktur berdasarkan batasan *drift ratio* pada FEMA 356 sedangkan **Tabel 8** menunjukkan level kinerja berdasarkan *damage index* balok maksimum sesuai batasan ACMC.



Gambar 7. Lokasi Sendi Plastis Tampak Kiri (a) Desain *Bare*; (b) Desain Gensui



Gambar 7. Lokasi Sendi Plastis Tampak Kiri (c) 2500 Bare; (d) 2500 Gensui

Tabel 5. Reduksi Jumlah Sendi Plastis untuk Gempa Arah X

Level Gempa	A-B	OL	SLS	DCLS	S	>C	Total
<i>Damage Index</i>	0	0-0.1	0.1-0.25	0.25-0.4	0.4-1	1	
Desain Bare	612	472	0	0	0	0	1084
Desain Gensui	617	467	0	0	0	0	1084
Reduksi (%)		1.06	0	0	0	0	
2500 Bare	533	298	202	47	1	3	1084
2500 Gensui	533	339	212	0	0	0	1084
Reduksi (%)		-	-	100	100	100	

Tabel 6. Reduksi Jumlah Sendi Plastis untuk Gempa Arah Y

Level Gempa	A-B	OL	SLS	DCLS	S	>C	Total
<i>Damage Index</i>	0	0-0.1	0.1-0.25	0.25-0.4	0.4-1	1	
Desain Bare	611	473	0	0	0	0	1084
Desain Gensui	629	455	0	0	0	0	1084
Reduksi (%)		3.81	0	0	0	0	
2500 Bare	488	395	153	42	2	4	1084
2500 Gensui	501	477	105	1	0	0	1084
Reduksi (%)		-	31.37	97.62	100	100	

Tabel 7. Kinerja Bangunan Berdasarkan *Drift Ratio* Sesuai FEMA 356

Periode Ulang	Arah Gempa	Performance Level			
		OL	IO	LS	CP
Desain Bare	X		0.8071%		
	Y		0.7876%		
Desain Gensui	X		0.7793%		
	Y		0.7467%		
2500 Bare	X			1.5195%	
	Y			1.4617%	
2500 Gensui	X			1.3844%	
	Y			1.3142%	
<i>Drift Ratio</i> (%)		0%	0-1%	1-2%	2-4%

Tabel 8. Damage Index Balok Berdasarkan APMC

Periode Ulang	Arah Gempa	Performance Level				
		Operational Level	Serviceability Limit State	Damage Control Limit State	Safety	Collapse
Desain Bare	X	✓				
	Y	✓				
Desain Gensui	X	✓				
	Y	✓				
2500 Bare	X		✓			
	Y		✓			
2500 Gensui	X		✓			
	Y		✓			
Damage Index		<0.1	0.1–0.25	0.25–0.4	0.4–1	>1

Tabel 9. Damage Index Kolom Berdasarkan APMC

Periode Ulang	Arah Gempa	Performance Level				
		Operational Level	Serviceability Limit State	Damage Control Limit State	Safety	Collapse
Desain Bare	X	✓				
	Y	✓				
Desain Gensui	X	✓				
	Y	✓				
2500 Bare	X					✓
	Y					✓
2500 Gensui	X		✓			
	Y			✓		
Damage Index		<0.1	0.1–0.25	0.25–0.4	0.4–1	>1

Kinerja struktur berturut-turut akibat gempa desain dan gempa 2500 tahun berada pada *stage* IO dan LS. Seperti yang terlihat pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**, baik *drift ratio* maupun *damage index* balok tidak melebihi batas yang telah ditentukan, sedangkan *damage index* kolom melebihi batas yang telah ditentukan seperti yang terlihat pada **Tabel 9**. Antara *bare model* dan model dengan VSL Gensui *dampers* memang terjadi penurunan *drift ratio*, namun tidak signifikan. Secara kuantitatif seperti yang terlihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**, dapat disimpulkan bahwa untuk gempa desain arah x dan arah y, *stage* maksimum yang dicapai adalah *stage* OL. Setelah model diberi VSL Gensui *dampers*, jumlah sendi plastis OL ini berkurang, namun tidak bisa 100%. Sedangkan untuk gempa 2500 tahun arah x dan arah y, *bare model* mencapai *stage* Collapse. Pemberian VSL Gensui *dampers* dapat mereduksi *stage* ini hingga *stage* DCLS (*damage index*= 0.25–0.4). Dapat disimpulkan bahwa Gedung “T” Universitas Kristen Petra masih mampu menahan beban gempa desain, tetapi tidak mampu menahan beban gempa 2500 tahun.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Gedung “T” Universitas Kristen Petra Surabaya yang didesain terhadap PPTGIUG 1983 dapat memikul beban gempa desain sesuai SNI 1726:2012. Namun, untuk beban gempa 2500 tahun Gedung “T” Universitas Kristen Petra Surabaya mengalami Collapse. Selanjutnya, performa gedung dalam menahan beban gempa dapat ditingkatkan dengan menggunakan VSL Gensui *dampers* terlihat dari pengurangan

drift ratio dan *displacement* akibat gempa desain dan gempa 2500 tahun secara berturut-turut sebesar 4% dan 9% serta 9% dan 14%. Selain itu, penggunaan VSL Gensui *damper* juga mengakibatkan terjadinya pengurangan *damage index* yang dapat dilihat dari berkurangnya jumlah sendi plastis tahap *Operational Level* akibat gempa desain sebesar 2% serta berkurangnya tingkat kerusakan dari sendi plastis yang semula berada pada tahap *Collapse* menjadi tahap *Serviceability Limit State* untuk gempa arah X dan *Damage Control Limit State* untuk gempa arah Y akibat gempa 2500 tahun. Dengan penggunaan VSL Gensui *Damper*, Gedung “T” Universitas Kristen Petra Surabaya menunjukkan peningkatan kinerja secara signifikan sehingga mampu memikul gempa 2500 tahun sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012.

5.2. Saran

Program CUMBIA yang beredar di internet berupa *file* MATLAB. Kelebihannya adalah program tersebut bisa diedit, serta satuannya sudah dalam SI. Akan tetapi, karena adanya kebebasan dalam mengedit maka versi yang beredar bisa berbeda-beda. Untuk mendapatkan versi yang paling benar dari program CUMBIA untuk keperluan penelitian selanjutnya dapat diunduh di <https://sites.google.com/a/upr.edu/montejo/>.

Selain itu, perlu ada pedoman untuk meletakkan VSL Gensui *damper* karena posisi *damper* yang tidak tepat bisa mempengaruhi performa gedung ataupun *damper* tidak bekerja sama sekali.

6. DAFTAR REFERENSI

- ACMC. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1&2 Documents*. Author, Tokyo.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Author, Washington, D.C.
- Khan, W. et al. (2014). Non-Linear Time History Analysis of Tall Structure for Seismic Load Using Damper. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol.4(4) (pp. 1-5).
- Lumantarna, B. (2000). *Pengantar Analisa Dinamis dan Gempa*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Montejo, L.A. & Kowalsky, M.J. (2007). *CUMBIA – Set of Codes for the Analysis of Reinforced Concrete Members*. North Carolina State University, Raleigh, NC.
- Susanto, A. (2011). *Non-Linear Time History Seismic Analysis with VSL Gensui Dampers in ETABS*. VSL Hongkong Limited, Chai Wan, Hongkong.
- VSL. (2016). *VSL Gensui Damper Introduction – Kuliah Tamu (Petra Christian University)*.