

ANALISIS PENGARUH FRICTION DAMPER TERHADAP UPAYA RETROFITTING BANGUNAN DI JAKARTA

Giovanni Pranata

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta

giovanipranata@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa tahun terakhir ini sering terjadi gempa bumi khususnya di Indonesia karena letaknya yang berada di pertemuan antar lempeng bumi. Tidak sedikit korban yang timbul akibat bencana ini.. Oleh karena itu saat ini perlu ditinjau mengenai kelayakan bangunan-bangunan lama untuk menahan gaya gempa khususnya gaya gempa yang sesuai dengan peraturan SNI gempa yang baru. Makalah ini membahas salah satu usaha dalam memperbaiki ketahanan suatu bangunan terhadap gaya gempa, yaitu dengan menggunakan alat peredam (damper) khususnya friction damper. Untuk mengetahui besarnya pengaruh alat peredam dalam suatu bangunan, maka dilakukan analisis bangunan terhadap gaya gempa untuk mendapatkan beberapa parameter komparatif untuk membandingkan tingkah laku antara bangunan tanpa peredam dan menggunakan alat peredam. Analisis dalam hal ini dibantu dengan menggunakan program SAP 2000. Hasilnya menunjukkan bahwa alat peredam memberikan peningkatan performa bangunan yang cukup baik untuk menahan gaya gempa sehingga pemasangan damper pada bangunan lama menjadi salah satu solusi yang baik.

Kata kunci: gempa, perbaikan, redaman, *friction damper*

1. PENDAHULUAN

Bangunan khususnya bangunan tinggi perlu memperhatikan bahaya dari getaran yang terjadi karena dapat menimbulkan kerusakan atau bahkan keruntuhan pada bangunan, salah satu penyebab getaran adalah gempa bumi. Gempa merupakan fenomena alam yang paling mengkhawatirkan, karena tempat dan waktu yang tidak dapat diperkirakan kapan akan terjadinya. Indonesia merupakan negara yang berada di pertemuan lempeng bumi sehingga rawan terjadi gempa dan oleh karena itu di Indonesia telah dilakukan pembaharuan peraturan gempa sebanyak tiga kali yaitu peraturan muatan Indonesia tahun 1970, peraturan gempa untuk gedung pada tahun 1983, SNI gempa 2002, dan SNI gempa 2012.

Di Indonesia, sebagian besar bangunan yang dibangun sebelum tahun 2002 (desain struktur memakai peraturan gempa tahun 1983 dan sebelumnya) umumnya mempunyai daktilitas yang kurang memadai. Dari beberapa penelitian didapati bahwa bangunan beton bertulang yang tidak daktil sebagian besar akan mengalami kerusakan dan bahkan runtuh bila terkena gempa kuat, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk memperbaiki dan memperkuat bangunan-bangunan lama terhadap peraturan gempa yang baru.

Saat ini berbagai cara telah diteliti untuk mengurangi efek yang ditimbulkan gempa berkaitan dengan bagaimana dan seberapa besar energi didistribusikan ke dalam bangunan pada saat gempa bumi terjadi. Energi ini masuk ke dalam struktur dalam bentuk energi kinetik dan energi potensial kemudian diserap dan dilepaskan sebagian. Seperti diketahui, getaran struktur akan mendekati tak terhingga apabila tanpa redaman, tetapi redaman pada struktur selalu ada bergantung pada properti bangunan itu. Selain itu peningkatan efisiensi dari struktur dapat dilakukan dengan menambahkan peredam (Zahrai, S.M, et al., 2014).

Menambahkan redaman dan kekakuan elemen berdasarkan deformasi plastis pada baja ringan untuk mendisipasi energi sehingga mengurangi respon juga dikemukakan oleh Scholl, 1996. Redaman adalah suatu proses dimana sistem struktur mendisipasi dan menyerap energi yang masuk ke dalam bangunan dari eksitasi eksternal. Karena itu peredam (damper) mengurangi penambahan energi regangan dan respon dari sistem, terutama kondisi dimana mendekati resonansi dimana peredam mengontrol respon. Besarnya nilai redaman tergantung dari beberapa

faktor seperti amplitudo getaran, material konstruksi, periode getaran, *mode shapes*, dan konfigurasi struktur.

Ada beberapa jenis perangkat kontrol pasif dan peredam. *Friction dampers* pasif menggunakan gesekan Coulomb untuk mendisipasi energi yang masuk akibat gempa. Alat redaman ini telah digunakan secara luas dalam berbagai proyek perkuatan di seluruh dunia, karena biayanya yang rendah dan kinerja yang baik. Selain itu, *Passive dampers* adalah bentuk yang paling lama dan umum digunakan. *Passive dampers* biasanya ditempatkan pada *cross bracing* diantara dua lantai yang berdekatan. *Passive dampers* menggunakan perpindahan dari lantai untuk menghasilkan gaya redaman pada bangunan. Tidak seperti perangkat aktif dan semi-aktif, perangkat pasif tidak dapat merubah sifat redamannya berdasarkan respon dari struktur dan karena itu tidak memerlukan sumber energi listrik atau kontrol algoritma untuk beroperasi. Tanpa peralatan sensor atau komputasi, perangkat pasif umumnya yang paling ekonomis dan paling banyak digunakan.

Sejak awal tahun 1970 berbagai jenis perangkat disipasi telah diuji dan digunakan. Perangkat ini dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori : peredam viskos dan viskoelastik (*viscous and viscoelastic dampers*), peredam metalik (*metallic dampers*), dan peredam gesekan (*friction dampers*).

Dalam penelitian ini digunakan *friction damper* sebagai elemen peredamnya, Alat ini bergantung pada tahanan yang diberikan oleh gesekan antara kedua permukaan material. Selama gempa terjadi, alat akan mulai slip pada batas gaya tertentu, apabila gaya tersebut belum tercapai maka redaman pada alat ini belum bekerja melainkan pengaruh yang diberikan hanya kekakuan oleh *bracing* yang ada. Salah satu alat *friction dampers* adalah *slotted bolted connection* (SBC).

Friction damper umumnya dipasang pada *bracing* bangunan. Dengan menggunakan *bracing* maka defleksi bangunan berkurang seiring dengan meningkatnya kekakuan tetapi sebaliknya gaya geser dasar menjadi lebih besar karena kekakuan bangunan yang meningkat, oleh karena itu *friction damper* dipasang pada *bracing* untuk membantu mengurangi gaya geser dasar dengan disipasi energi (Kaur, Navel, et al., 2012).

Untuk mendisipasi energi, *friction damper* harus dibebani di atas ambang batas slip, dengan demikian alat redaman ini tidak bekerja untuk getaran yang kecil. Alat redaman tersebut pada dasarnya *non-linear* dan bekerja efektif pada gempa yang besar.

Pengaruh *damper* terhadap gaya gempa suatu bangunan dapat dilihat dari persamaan energi. proses respon struktur terhadap gaya gempa dapat diilustrasikan menggunakan konsep energi, persamaan energi adalah:

$$E_i = E_k + E_s + E_h + E_d \quad (1)$$

dimana E_i adalah energi gempa yang masuk, E_k adalah energi kinetik, E_s adalah energi regangan elastik, E_h adalah energi *hysteretic*, dan E_d adalah energi yang didisipasi oleh redaman struktur.

Sisi sebelah kanan persamaan adalah kapasitas energi dari struktur dan sebelah kiri adalah energi yang dikeluarkan oleh gempa terhadap struktur. Agar struktur dapat menahan gaya gempa maka kapasitas energi dari struktur harus lebih besar daripada yang dikeluarkan oleh gempa. Pada desain gempa konvensional, kapasitas energi struktur sebagian besar bergantung dari energi *hysteretic*, E_h , dimana energi yang dihasilkan dari deformasi inelastik dari struktur. Dengan kata lain struktur utama akan terlindungi dan respon struktur terhadap gaya gempa dapat ditingkatkan.

Dari sekian banyak bentuk gesekan yang dapat mengurangi getaran dan kerusakan pada struktur, tipe yang paling populer adalah *solid friction*. Oleh karena itu sebagian besar penelitian menggunakan teori *solid friction* sebagai dasarnya, hal itu juga bergantung kepada beberapa

hipotesis seperti konsep gesek Coulomb. Sesaat sebelum terjadi gesekan dan ketika gesekan terjadi, gaya gesekan, F , dapat digambarkan sebagai:

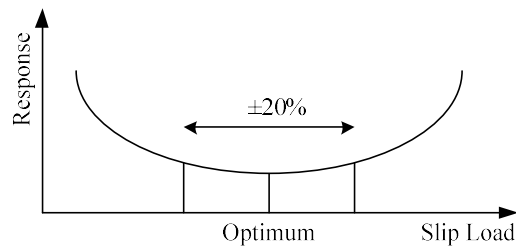
$$F = \mu N \quad (2)$$

dimana N adalah gaya normal yang bekerja, dan μ adalah koefisien gesekan. Umumnya koefisien gesekan lebih besar pada waktu sebelum terjadi gesekan, maka koefisien gesekan dibagi menjadi dua yaitu statik (μ_s) dan kinetik (μ_k).

Dalam struktur dengan *friction damper* (FDBF), periode struktur dipengaruhi oleh *slip load* dan jenis tingkat gerakan gempa. Oleh karena itu, menjadi sangat sulit untuk terjadinya resonansi pada struktur. Dengan menyeleksi besarnya *slip load* sangat memungkinkan bagi kita untuk mengatur agar respons struktur mencapai nilai optimum.

Total energi yang dipancarkan oleh gesekan adalah sama dengan hasil dari penyimpangan atau menahan beban (product of slip load) dan jarak penyimpangannya pada masing-masing *damper*. Saat penyimpangan beban sangat tinggi, energi yang dipancarkan akan rendah karena tidak ada penyimpangan. Pada kondisi ini struktur berperilaku sebagai *braced frame*. Saat *slip load* diatur untuk gaya yang sangat rendah, penyimpangan besar terjadi dan menyebabkan jumlah energi yang dipancarkan hampir tidak ada. Pada kondisi ini struktur berperilaku sebagai *unbraced frame*. Di antara kedua titik ekstrim inilah terdapat nilai antara yang akan memberikan pemancaran energi maksimum. Nilai inilah yang kemudian disebut sebagai penyimpangan beban optimum atau optimum *slip load*. Dan rentang nilai penyimpangan beban yang menghasilkan pemancaran energi optimum yang disebut distribusi beban simpang optimum.

Hubungan antara besarnya nilai *slip load* dan respons struktur dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar dapat dilihat bahwa optimum slip load akan memberikan respons struktur yang optimum.



Gambar 1. Kurva respons struktur terhadap *slip load*

Kriteria ini dipakai untuk memperoleh perkiraan nilai *slip load*. Pengoptimalan dari nilai *slip load* membutuhkan tahapan dari *non-linear time history analysis*, di mana *slip load* divariasikan dan amplitudo respons dievaluasi. Penelitian oleh Filiatrault dan Cherry, 1987 mendapatkan bahwa nilai kisaran 25% dari optimum *slip load* tidak akan mempengaruhi respons struktur secara signifikan. Oleh karena itu, kisaran 8% - 10% dari optimum *slip load* dapat dipakai tanpa harus melakukan penyesuaian pada *friction damper*.

Secara umum, batas bawah dari *slip load* diperkirakan 130% dari beban angin, sedangkan batas atas sekitar 75% dari beban yang menyebabkan struktur mengalami runtuh. Seleksi dari nilai *slip load* harus dapat memastikan bahwa setelah gempa terjadi, sistem struktur akan dapat kembali seperti bentuk semula karena masih dalam batas elastisitas struktur.

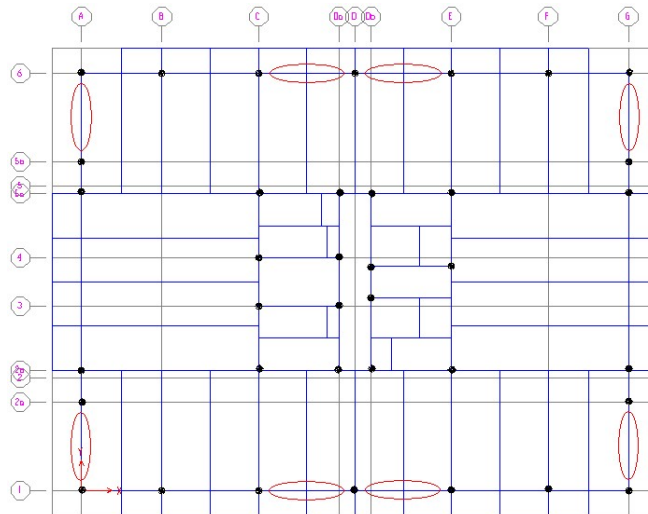
2. METODE PENELITIAN

Studi ini menganalisis suatu gedung yang didirikan dengan menggunakan peraturan gempa lama. Analisis dengan bantuan program SAP dilakukan dengan kondisi yang berbeda-beda yaitu

dengan dan tanpa menggunakan *damper*, kemudian gaya-gaya yang terjadi di bandingkan dan pada akhirnya dilakukan pengecekan kekuatan terhadap elemen-elemen struktur eksisting.

Data bangunan

Bangunan yang akan ditinjau untuk analisis adalah bangunan lama yang berada di Jakarta, bangunan ini merupakan gedung perkantoran 10 lantai. Struktur bangunan ini menggunakan sistem portal terbuka dan ketinggian mencapai 39.7 m, denah lantai gedung ini seragam untuk setiap lantai seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

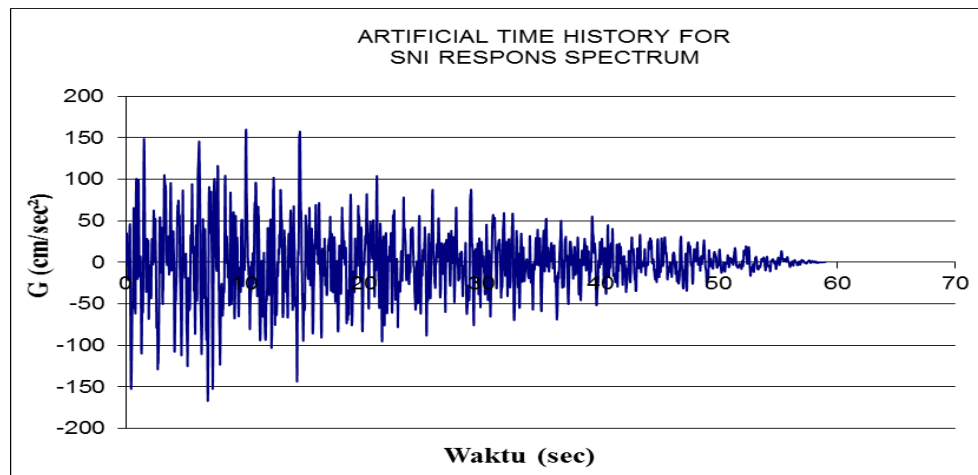


Gambar 2. Denah Gedung

Gedung ini selesai didirikan pada tahun 1985 dengan dasar perencanaan menggunakan peraturan gempa tahun 1983, dan sampai saat ini gedung masih aktif digunakan sesuai dengan fungsi awal gedung yaitu sebagai bangunan perkantoran.

Beban gempa

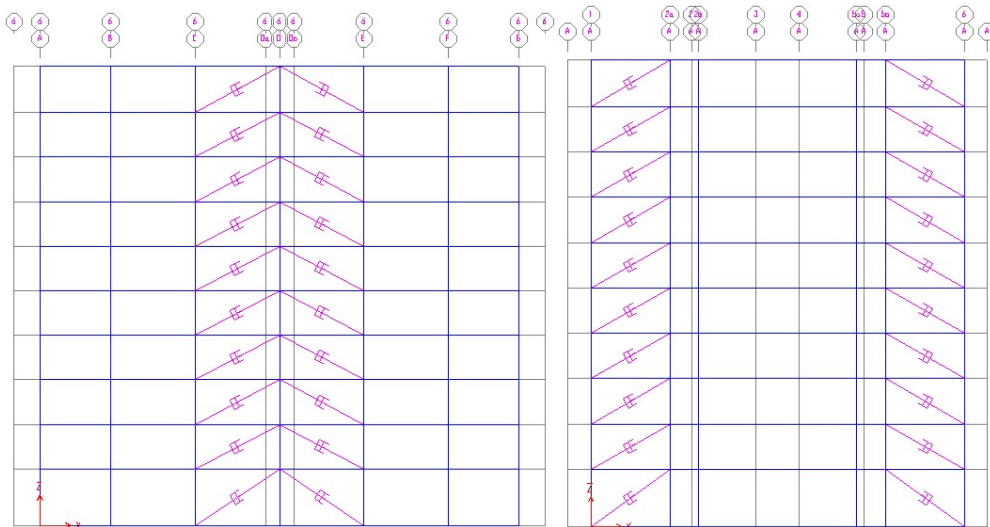
Dalam pembahasan dilakukan analisis dengan non-linear. Rekaman gempa yang di pakai adalah time history untuk gempa berdasarkan peraturan SNI 2002 wilayah 3 tanah sedang, seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Waktu gempa yang dipakai dalam analisis adalah 10 detik.



Gambar 3. Time history SNI 2002 Wilayah 3 Tanah Sedang

Koefisien dan letak *damper*

Dalam permodelan *friction damper* perlu dihitung terlebih dulu nilai *slip load* dari *damper* yang dibutuhkan. Prosedur nilai optimum *slip load* pada struktur dengan *friction damper* (FDBF) tersebut dimuat dalam jurnal ASCE Vol. 116 no. 5 berjudul “Seismic Design Spectra for Friction-Damped Structures”. Perletakan *friction damper* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Portal As 1,6,A, dan G.

Analisis *free vibration* dan respon spektra diselesaikan dengan menggunakan bantuan program elemen hingga SAP 2000. Periode getar alami dan mode shape struktur didapat dari analisis *free vibration*. Dari respon spektra analisis didapat gaya geser dasar, deformasi, dan gaya-gaya dalam (gaya geser, momen, dan aksial).

3. HASIL ANALISIS

Karena *damper* yang digunakan adalah *friction damper*, maka periode getar untuk bangunan dengan *damper* lebih kaku karena *friction damper* menyumbang kekakuan pada struktur keseluruhan. Periode getar untuk keduanya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Mode shape* berdasarkan periode getar

Mode	Periode getar (sec)	
	Struktur tanpa <i>damper</i>	Struktur dengan <i>damper</i>
1	2.464447	1.764358
2	2.408417	1.190065
3	2.138661	0.96609
4	0.824032	0.574495
5	0.798853	0.408747
6	0.716569	0.383665
7	0.449641	0.378741

Deformasi struktur berubah dengan adanya penambahan *damper* (garis biru). Selain itu terlihat bahwa terjadi reduksi deformasi sekitar 60% untuk arah X dan Y akibat penambahan *damper*

dari hasil analisis respon spektra. Kemudian diketahui juga bahwa terjadi peningkatan deformasi hampir linear seiring dengan meningkatnya tinggi struktur. Data lengkap deformasi struktur dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel deformasi srtuktur

Story	<i>Damped</i>		<i>Un-Damped</i>		%	%
	<i>Displacement (cm)</i>		<i>Displacement (cm)</i>			
	X	Y	X	Y	X	Y
1	2.531019	1.568145	3.386326	3.682377	25.258	57.415
2	3.30304	2.767722	6.209842	6.589254	46.810	57.996
3	3.925555	3.840924	9.016499	9.360841	56.463	58.968
4	4.665911	4.718723	11.69976	11.8987	60.120	60.343
5	5.390442	5.366029	14.19417	14.30707	62.024	62.494
6	6.173823	5.931288	16.39602	16.5404	62.346	64.141
7	6.945176	6.411949	18.30597	18.49542	62.061	65.332
8	7.671973	6.764573	19.92883	20.04338	61.503	66.250
9	8.346158	7.3593	21.36853	21.13892	60.942	65.186
10	8.923468	7.906852	22.38764	21.93069	60.141	63.946

Reduksi gaya aksial maksimum terdapat pada lantai 10 yaitu sebesar 20%. Reduksi ini disebabkan karena adanya *friction damper*, maka terbukti bahwa sebagian besar gaya gempa telah diserap oleh *damper*. Data lengkap gaya aksial kolom dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel gaya aksial kolom

Story	<i>Damped</i>		<i>Un-Damped</i>		%	%
	Aksial C (Ton)		Aksial C (Ton)			
	X	Y	X	Y	X	Y
1	45.3774	45.3774	181.6366	181.6366	75.01748	75.01748
2	35.058	35.058	153.7265	153.7265	77.19456	77.19456
3	30.7717	30.7717	127.6416	127.6416	75.89211	75.89211
4	25.616	25.616	102.9213	102.9213	75.11108	75.11108
5	20.5064	20.5064	79.8019	79.8019	74.30337	74.30337
6	15.7873	15.7873	58.922	58.922	73.20644	73.20644
7	11.5756	11.5756	40.1267	40.1267	71.15237	71.15237
8	8.2598	8.2598	25.0014	25.0014	66.96265	66.96265
9	5.2006	5.2006	12.6573	12.6573	58.91225	58.91225
10	2.4812	2.4812	4.0822	4.0822	39.21905	39.21905

Dengan penambahan *damp*er pada struktur maka momen yang terjadi pada kolom menjadi lebih kecil. Presentase reduksi gaya momen dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel gaya momen kolom

Story	<i>Damped</i>		<i>Un-Damped</i>		%	%
	Momen C (Ton-m)		Momen C (Ton-m)			
	X	Y	X	Y		
1	61.59288	36.28518	73.45972	85.19889	16.15421	57.41121
2	22.22504	6.75116	36.82112	22.39437	39.64051	69.85332
3	12.38071	8.23727	33.64563	27.94112	63.20262	70.51918
4	10.7301	6.70984	33.80298	27.28526	68.25694	75.40855
5	9.132	6.98633	27.1427	23.13821	66.35559	69.80609
6	10.47036	7.74487	28.14696	23.25246	62.8011	66.69226
7	8.35438	6.58978	21.54188	17.74534	61.21796	62.86473
8	8.90929	5.9055	19.03223	15.37589	53.18841	61.59247
9	8.21104	3.94161	11.91892	10.01831	31.10919	60.65594
10	9.34949	1.18771	8.41466	5.9908	-11.1095	80.17443

Terlihat reduksi yang cukup besar terjadi pada gaya geser balok. Reduksi ini juga akibat dari pemasangan *damp*er pada struktur. Reduksi rata-rata untuk arah X lebih besar daripada arah Y karena nilai koefisien redaman arah X lebih besar dari pada arah Y. Data lengkap gaya geser balok dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel gaya geser balok

Story	<i>Damped</i>		<i>Un-Damped</i>		%	%
	Geser B (Ton)		Geser B (Ton)			
	X	Y	X	Y		
1	18.7351	10.3744	37.0482	27.1101	49.43047	61.73234
2	7.9132	8.1096	34.4826	23.9146	77.05161	66.08933
3	9.3676	6.264	31.7923	22.1437	70.535	71.71204
4	9.2707	4.6244	28.5002	20.267	67.47146	77.18261
5	8.8212	3.89	25.6109	18.6173	65.55685	79.10546
6	8.6852	4.3027	23.1749	16.9648	62.52325	74.63748
7	7.976	4.0775	19.3036	13.8694	58.68128	70.60075
8	7.9131	3.457	15.5639	11.0537	49.15734	68.7254
9	8.1672	2.033	10.6799	7.425	23.52737	72.61953
10	4.3	0.8575	4.9606	3.8111	13.31694	77.49993

Pada dasarnya, reduksi momen pada balok disebabkan juga karena reduksi gaya geser pada balok tersebut sehingga bila kita perhatikan maka besar reduksi momen balok dan geser balok hampir sama. Data lengkap gaya geser balok dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel gaya momen balok

Story	<i>Damped</i>		<i>Un-Damped</i>			
	Momen B (Ton)		Momen B (Ton)		%	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	39.88975	24.43735	79.86588	65.66283	50.05408	62.78359
2	15.99197	18.50149	74.02224	57.5976	78.39572	67.87802
3	18.89267	14.05865	68.88553	53.6459	72.57382	73.79362
4	18.43313	9.69507	61.40985	48.90852	69.98343	80.17713
5	17.37722	7.72034	55.60273	45.42008	68.74754	83.00236
6	16.76372	8.40226	49.95838	41.22133	66.44463	79.61672
7	15.11078	7.95956	41.73512	34.08632	63.79361	76.64881
8	14.99082	6.24913	33.48779	26.98555	55.23497	76.84268
9	15.70223	3.83679	22.73776	17.87951	30.94205	78.54085
10	6.02032	3.02104	10.2907	9.09929	41.49747	66.79917

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis ini adalah :

1. Berdasarkan analisis ini dapat ditunjukkan bahwa respon daripada struktur terhadap gempa dapat diturunkan dengan menggunakan perangkat *damper*.
2. Dari hasil yang ditunjukkan dalam analisis ini membuktikan bahwa penggunaan *damper* dalam retrofitting suatu bangunan adalah merupakan salah satu cara yang cukup efektif.
3. Dengan menggunakan *friction damper* maka frekuensi alami suatu bangunan akan berubah menjadi lebih kecil.
4. Dapat dilihat dengan adanya pembaharuan pada peraturan gempa di Indonesia bahwa telah terjadi peningkatan besarnya gaya gempa dari peraturan gempa tahun 2002 dan 2013, terlebih lagi dari peraturan gempa tahun 83 dan 70. Oleh karena itu disarankan agar diadakan peninjauan ulang terhadap bangunan-bangunan khususnya bangunan tinggi di Jakarta yang dibangun sebelum peraturan 2002 diberlakukan.

Berdasarkan kesimpulan serta pengalaman selama penyusunan makalah ini, penulis perlu menyampaikan beberapa saran, yaitu:

1. Dalam makalah ini hanya dibahas mengenai *friction damper*, sedangkan masih banyak jenis *damper* yang perlu dianalisis dan dibahas lebih lanjut. Oleh karena itu disarankan agar mengembangkan lebih lanjut studi mengenai *damper* ini dengan lebih mendalam dan luas.
2. Perlunya perhatian yang besar dari para ahli struktur di Indonesia terhadap pengembangan alat *damper*, mengingat wilayah Indonesia merupakan wilayah potensial gempa. Terlebih lagi dengan adanya peraturan gempa yang baru maka bukan tidak

mungkin banyak bangunan tinggi yang sudah tidak memenuhi syarat-syarat ketahanan gempa sehingga perlu di adakan *retrofitting*.

REFERENSI

- Cheng, Franklin Y., Hongping Jiang., Kangyu Lou (2008), Smart Structures Innovative Systems for Seismic Response Control, USA.
- Filiatrault, A. & Cherry, S. (1987), Performance Evaluation of Friction Damped Braced Steel Frames Under Simulated Earthquake Loads.
- Kaur, Naveet., V. A. Matsagar., A. K. Nagpal (2012), Earthquake Response of Mid-rise to High-rise Buildings with Friction Dampers, India.
- SNI-1726-2002 (2002), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum.
- Song, T.T & G.F. Dargush (1997), Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, USA.
- Zahrai, S.M., M. S. Bozorgvar., M. H. Bozorgvar (2014), Application of Friction Pendulum Damper in Braced Frames and Its Effects on Structural Response.