

SAMBUNGAN LENTUR SEBAGAI PENAHAN BENTURAN DUA GEDUNG TINGGI YANG DIBANGUN BERDAMPINGAN

Yuskar Lase*¹⁾ dan James Jatmiko Oetomo

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: yuskar@eng.ui.ac.id

Abstrak

Untuk mengatasi masalah benturan dari dua gedung yang dibangun berdekatan, biasanya perencana memiliki alternatif berupa dilatasi yang memisahkan kedua gedung, penggabungan kedua struktur atau dengan penggunaan elemen karet sebagai penahan benturan antar kedua gedung tersebut. Pada penelitian ini, kinerja dari sambungan karet dikaji dengan melakukan beberapa variasi simulasi, antara lain variasi model struktur, variasi eksitasi beban gempa dan variasi bukaan dari elemen gap. Pengamatan dari respons struktural akan dilakukan pada: (1) model gabungan dan model dengan sambungan lentur dan (2) model dengan sambungan lentur dan model dengan sambungan kaku (baja). Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan lentur (karet) sebagai elemen penahan benturan memiliki keuntungan khususnya pengurangan gaya dalam pada komponen struktur bangunan yang lebih pendek namun meningkatkan peralihan kedua struktur.

Abstract

Flexible Connection Elastomeric Rubber as a Pounding Resisting Element between Two Adjacent Buildings To solve pounding problem of two adjacent buildings, structural designer usually employs a dilatation between the structures or make the two structures as a monolith structure. Other alternative is by using an elastomeric rubber as a pounding resisting element between the two structures. Effectiveness in applying elastomeric rubber component as flexible connection of two adjacent structures is the main focus of this paper. Various simulations such as structure models, earthquake excitations and openings in gap element are studied. Observation of maximum structural responses will be performed for structure model with elastomeric rubber in comparison with (1) monolith structure model and (2) structure model with rigid element (steel element). Simulation results show that application of elastomeric rubber component to prevent structures from pounding problem provides advantages especially in reducing internal forces in the shorter building. However, it slightly increases displacement of both structures.

Keywords: elastomeric rubber, dilatation, flexible connection, pounding

1. Pendahuluan

Saat terjadi gempa, dua bangunan yang berdampingan akan berpotensi mengalami benturan. Benturan pada elemen struktur dapat menyebabkan keruntuhan pada bangunan akibat rusaknya elemen struktur yang terbentur [1]. Penyelesaian masalah benturan secara konvensional adalah dengan menggunakan dilatasi sebagai jarak antar bangunan sedemikian sehingga benturan tidak terjadi bila terjadi gempa. Menggabungkan dua struktur bangunan menjadi satu kesatuan juga dapat menghindari masalah benturan. Alternatif lainnya adalah menggunakan material penyerap energi benturan sehingga benturan yang

terjadi tidak menyebabkan kerusakan pada elemen struktur.

Penggunaan dilatasi diantara dua bangunan yang berdampingan menyebabkan setiap bangunan bekerja sebagai suatu sistem tunggal yang terpisah. Lebar dilatasi yang dapat mencegah benturan antar dua bangunan telah diatur dalam peraturan gempa Indonesia [2] dan peraturan internasional [3]. Namun penggunaan dilatasi ini kurang disukai oleh arsitek karena sangat mengganggu detail arsitektural bangunan dan seringkali menimbulkan kebocoran di sambungan dilatasi [1]. Sedangkan penggabungan kedua struktur bangunan seringkali menimbulkan torsi pada bangunan akibat

eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan bangunan. Sebagian besar kegagalan struktur bangunan yang terjadi pada saat gempa bumi disumbang oleh torsi ini [4-5].

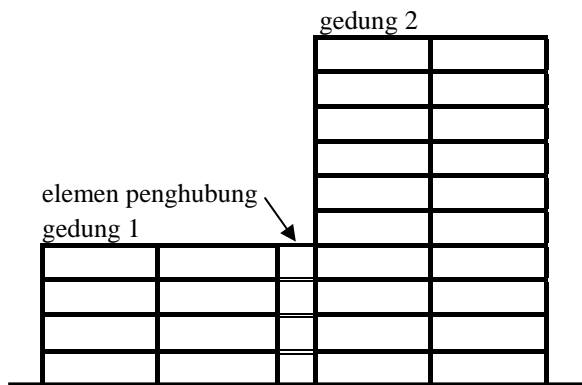
Penggunaan karet (*elastomeric rubber*) sebagai penyerap energi pada bangunan sudah banyak diteliti. *Base isolation* yang berfungsi sebagai *passive damper* sudah diterapkan pada sejumlah bangunan di beberapa negara [4,6-7]. Pada penelitian ini, karet (*elastomeric rubber*) akan digunakan sebagai elemen penyerap energi benturan antara dua bangunan. Karet akan dipasang pada setiap sambungan antar struktur yang berdampingan sehingga saat terjadi gempa karet akan menyerap sebagian besar energi benturan dan sisanya akan ditransfer ke elemen struktur tanpa menyebabkan kerusakan elemen struktur.

Untuk mengevaluasi kinerja karet sebagai sambungan lentur, juga diteliti respons struktur gabungan dan struktur dengan sambungan kaku (elemen baja). Sambungan kaku diperoleh dengan memberikan kekakuan aksial yang sangat besar pada material penghubung kedua bangunan. Elemen gap dengan bukaan (*opening*) pada sambungan lentur juga diterapkan.

Evaluasi beberapa model yang dijelaskan tersebut akan dilakukan dengan mengamati respons peralihan dan gaya dalam (gaya dalam aksial, geser dan momen) pada balok. Perbandingan respons struktur dilakukan antara model struktur gabungan dengan model struktur dengan sambungan lentur dan model sambungan lentur dengan model sambungan kaku.

2. Metode Penelitian

Model Struktur. Gambar 1 menunjukkan model struktur dari dua gedung yang diteliti. Masing-masing gedung mempunyai dua bentang dalam kedua arah horizontalnya [8]. Jumlah lantai Gedung 1 divariasikan 4, 6 dan 8 lantai sedangkan Gedung 2 mempunyai jumlah lantai 10. Jarak antar kolom (panjang bentang)



Gambar 1. Model Struktur Gedung

adalah 6 m sedangkan tinggi antar tingkat 3,5 m. Tebal pelat 12 cm, dimensi balok 40 cm x 70 cm sedangkan dimensi kolom bervariasi sesuai ketinggian gedung yaitu 75 cm x 75 cm; 65 cm x 65 cm dan 55 cm x 55 cm. Balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen frame dengan perletakan jepit di dasar gedung. Pelat dimodelkan sebagai elemen shell dengan ukuran 1x1 m. Panjang elemen balok mengikuti diskretisasi pelat sedangkan elemen kolom menghubungkan antar dua tingkat. Material struktur menggunakan beton bertulang dengan mutu $f_c' = 25$ MPa.

Model Sambungan Lentur. Karet yang digunakan sebagai sambungan lentur antar bangunan atau sebagai bahan penyerap energi benturan terbuat dari bahan *elastomeric rubber* yang biasanya digunakan sebagai bahan isolasi gempa (*base isolation*). Kekakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kekakuan aksial karet yang dirumuskan [9-11]:

$$k_v = \frac{E_C A}{\sum t} \tag{1}$$

dengan E_C adalah modulus tekan, A adalah luas penampang karet, dan $\sum t$ adalah ketebalan total dari bahan elastomerik. Modulus tekan diperoleh dari persamaan:

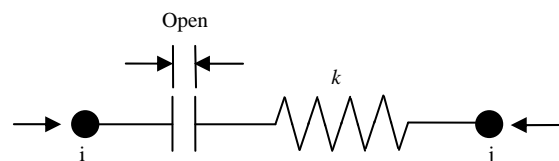
$$E_C = E \left\{ 1 + 2kS_i^2 \right\} \tag{2}$$

dengan E adalah modulus elastisitas bahan, k adalah kekakuan bahan, dan S_i adalah fungsi bentuk untuk penampang persegi yang dihitung berdasarkan:

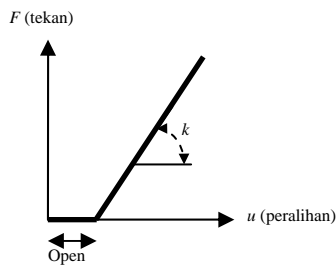
$$S_i = \frac{\phi}{4t_i} \tag{3}$$

dengan ϕ adalah *bonded perimeter* dan t_i adalah tebal dari setiap lapisan karet. Besarnya modulus elastisitas bahan bergantung pada nilai kekerasan karet [12-13].

Penghubung lentur (karet) dimodelkan sebagai elemen gap yang digunakan dalam program CSI SAP® 2000 ver 14.1 [11,14]. Elemen gap terdiri atas bukaan dan pegas dengan konstanta k (Gambar 2). Pegas ini mewakili kekakuan dari penghubung lentur yang hanya bekerja dalam kondisi tekan. Titik i dan j merupakan titik penyambungan antara dua gedung.



Gambar 2. Model Penghubung Lentur sebagai Elemen Gap



Gambar 3. Kurva Gaya–Peralihan Elemen Gap

Ketika kedua gedung bergerak saling mendekati, bukaan semakin lama semakin kecil. Saat bukaan = 0, penghubung lentur mulai bekerja (tertekan) sehingga benturan mendadak antara kedua gedung dapat dihindari. Jika kedua gedung bergerak saling menjauhi, elemen gap tidak bekerja sehingga kedua gedung bebas bergerak. Gambar 3 memperlihatkan kurva yang menghubungkan gaya aksial tekan dengan peralihan.

Persamaan Kesetimbangan Dinamik. Dalam penelitian ini, eksitasi dinamik yang digunakan adalah percepatan tanah akibat gempa yang bervariasi secara sinusoidal dan gempa El Centro N-S 1940 [15]. Tipe pertama mewakili gempa dengan frekuensi tunggal sedangkan tipe kedua mewakili gempa dengan frekuensi majemuk. Amplitudo kedua percepatan tanah ini diskalakan pada 0,3 g untuk mewakili percepatan muka tanah untuk tanah lunak di daerah Jakarta [2]. Periode getar dari gempa sinusoidal ditentukan berdasarkan periode getar alami dari struktur tunggal dan struktur gabungan. Struktur pendek akan menghasilkan periode getar alami yang lebih kecil dari struktur tinggi.

Modelisasi struktur dinamik yang memiliki elemen nonlinear (elemen gap) menghasilkan persamaan kesetimbangan dinamik sebagai berikut:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku + fs(u, \dot{u}) = -MR\ddot{u}_g \quad (4)$$

dengan M adalah matriks massa diagonal, C adalah matriks redaman, K adalah matriks kekakuan untuk elemen linier, $fs(u, \dot{u})$ mewakili gaya nonlinear dari elemen gap, R adalah vektor arah gempa, \ddot{u} , \dot{u} , dan u adalah masing-masing vektor percepatan, kecepatan, dan peralihan dan \ddot{u}_g adalah percepatan tanah.

Penyelesaian persamaan 4 dilakukan dengan pendekatan riwayat waktu berdasarkan metode FNA (*Fast Nonlinear Analysis*) yang dikembangkan pertama kali oleh Wilson [15-16]. Selanjutnya respons maksimum (peralihan dan gaya-gaya dalam) struktur dihitung untuk masing-masing variasi parametrik.

Variasi Parametrik. Pada penelitian ini dilakukan tiga variasi parametrik, yaitu model struktur terdiri atas dua struktur gedung dihubungkan secara monolit (M1 =

model struktur gabungan), dihubungkan dengan sambungan lentur (M2 = model struktur dengan sambungan lentur) dan dihubungkan dengan sambungan kaku (M3 = model struktur dengan sambungan kaku). Jumlah lantai Gedung 1 divariasikan 4, 6 dan 8 lantai sedangkan Gedung 2 mempunyai 10 lantai. Variasi periode getar gempa dilakukan untuk melihat periode gempa sinusoidal yang paling mempengaruhi respons struktur. Periode getar gempa sinusoidal disesuaikan dengan periode alami fundamental dari masing-masing struktur tunggal (T_1 untuk Gedung 1 dan T_2 untuk Gedung 2), Variasi bukaan elemen gap untuk sambungan lentur dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap kinerja sambungan tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Periode getar alami. Periode getar alami fundamental dari struktur tunggal maupun struktur gabungan ditampilkan pada Tabel 1. Semakin tinggi gedung semakin besar periode getar alami fundamentalnya (Tabel 1). Peningkatan nilainya tidak linier dan lebih cepat pada struktur tunggal daripada struktur gabungan. Struktur tunggal 10 lantai mempunyai periode getar alami fundamental 1,67 detik sedangkan struktur gabungan 8 lantai sampai 10 lantai 1,63 detik.

Peralihan Struktur. Rasio perubahan (penambahan atau pengurangan) peralihan yang terjadi di lantai bangunan akibat pemasangan sambungan lentur (M2) terhadap peralihan pada struktur gabungan (model M1) disajikan dalam Tabel 2. Penggunaan karet pada sambungan dua struktur akan meningkatkan kelenturan struktur sehingga peralihannya meningkat dibandingkan dengan model struktur gabungan. Peningkatan peralihan terbesar (62,44%) terjadi pada pada lantai 4 dimana terdapat perbedaan jumlah tingkat yang signifikan dari kedua gedung.

Tabel 1. Periode Getar Alami Fundamental Struktur

Struktur Tunggal		Struktur Gabungan (M1)	
Jumlah lantai	T_1 (detik)	T_1 (detik)	Jumlah lantai
4	0,72	1,58	4 & 10
6	1,03	1,59	6 & 10
8	1,32	1,63	8 & 10
10	1,67	-	-

Tabel 2. Rasio Perubahan Peralihan (%) dari M2 terhadap M1 (Gempa El Centro)

Lantai	Jumlah Lantai Gedung 1 dan Gedung 2		
	4 & 10	6 & 10	8 & 10
4	62,44	18,19	-2,28
6	1,89	14,02	9,02
8	3,41	18,48	6,41
10	1,98	19,74	5,53

Peralihan yang terjadi di atap masing-masing gedung untuk struktur dengan sambungan lentur (M2) dan struktur dengan sambungan kaku (M3) dievaluasi. Untuk periode getar gempa sinusoidal digunakan periode getar alami fundamental dari gedung 1 (T_1) dan Gedung 2 (T_2). Rasio perubahan (penambahan atau pengurangan) peralihan dari M2 terhadap M3 disajikan dalam Tabel 3. Pada gempa sinusoidal, peralihan sangat dipengaruhi oleh periode getar gempa. Jika periodenya sama dengan periode getar alami fundamental dari Gedung 1 (T_1), struktur dengan sambungan lentur menghasilkan peralihan yang lebih kecil di Gedung 1 namun lebih besar di Gedung 2. Sebaliknya jika periodenya identik dengan periode getar alami fundamental dari Gedung 2, secara umum penurunan peralihan terjadi di atap Gedung 2. Pada gempa El Centro, peralihan struktur dengan sambungan lentur (M2) lebih kecil dari pada peralihan struktur dengan sambungan kaku (M3).

Pengaruh bukaan elemen gap dari sambungan lentur pada respons peralihan secara umum relatif proporsional. Semakin besar bukaan, semakin besar peralihan yang terjadi. Penambahan peralihan relatif proporsional terhadap penambahan bukaan. Namun bukaan ini sangat dipengaruhi oleh periode getar gempa sinusoidal. Untuk struktur 4 lantai dan 10 lantai dengan $T_g = T_4$, peralihan pada gedung 4 lantai semakin besar jika bukaan diperbesar. Sebaliknya, peralihan pada gedung 10 lantai semakin kecil jika bukaan diperbesar. Untuk $T_g = T_{10}$, peralihan gedung 4 lantai semakin kecil jika bukaan diperbesar. Sebaliknya, peralihan gedung 10 lantai semakin besar jika bukaan diperbesar.

Gaya Dalam. Gaya dalam aksial balok dihitung terhadap gempa sinusoidal dan gempa El Centro. Untuk model struktur dengan sambungan lentur (M2), periode getar gempa diambil sama dengan periode getar alami fundamental dari struktur tunggal 10 lantai $T_g = T_{10}$, sedangkan untuk model struktur gabungan (M1), periode getar gempa sama dengan periode getar gabungan $T_g = T_{gab}$.

Rasio perubahan gaya dalam aksial yang terjadi pada balok akibat pemasangan sambungan lentur (M2) terhadap gaya dalam aksial pada balok dari struktur gabungan (model M1) dapat disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Rasio Perubahan Peralihan (%) dari M2 terhadap M3

Gempa	Jumlah lantai Gedung 1 dan Gedung 2					
	4 &10		6 &10		8 &10	
	Ged. 1	Ged. 2	Ged. 1	Ged. 2	Ged. 1	Ged. 2
Sinusoidal						
$T_g = T_1$	-30,28	13,79	1,40	2,55	-1,97	12,91
$T_g = T_2$	2,02	-2,92	16,86	14,09	1,42	-1,31
El Centro	-9,21	-9,93	-1,20	-0,49	9,80	-8,03

Dibandingkan struktur gabungan, Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk semua gempa, pemasangan bahan lentur (karet) sebagai sambungan kedua bangunan mengurangi gaya dalam aksial yang terjadi balok secara drastis. Kecuali terhadap gempa El Centro, gaya dalam aksial pada balok dari Gedung 6 lantai – 10 lantai dan Gedung 8 lantai – 10 lantai meningkat cukup pesat.

Gaya dalam (gaya dalam aksial, geser dan momen) di balok dengan model struktur sambungan lentur (M2) juga dibandingkan dengan model struktur sambungan kaku (M3). Rasio perubahan gaya dalam di balok dari M2 terhadap M3 ditampilkan di Tabel 5. Jika dibandingkan terhadap sambungan kaku, pemasangan sambungan lentur diantara dua gedung mengurangi gaya-gaya dalam (gaya dalam aksial, geser dan momen) balok secara drastis baik akibat gempa sinusoidal maupun gempa El Centro. Pengurangan terbesar terjadi

Tabel 4. Rasio Perubahan Gaya dalam Aksial Balok (%) dari M2 terhadap M1

Gempa	Jumlah Lantai Gedung 1 dan Gedung 2		
	4 &10	6 &10	8 & 10
Sinusoidal	-57,70	-79,09	-56,68
El Centro	-64,35	130,78	63,49

Tabel 5. Rasio Perubahan Gaya dalam di Balok (%) dari M2 terhadap M3

Gempa	Jumlah lantai Gedung 1 dan Gedung 2					
	4 &10		6 &10		8 & 10	
	Ged. 1	Ged. 2	Ged. 1	Ged. 2	Ged. 1	Ged. 2
Gaya dalam aksial						
Sinusoidal						
$T_g = T_1$	-49,27	7,24	-22,92	-4,29	-23,88	-24,42
$T_g = T_2$	1,89	30,06	11,74	6,31	-18,44	-12,54
El Centro	-46,21	-8,87	-11,98	-4,73	-27,65	-5,29
Gaya dalam geser						
Sinusoidal						
$T_g = T_1$	-79,42	36,21	-19,28	3,92	-17,43	-10,36
$T_g = T_2$	-5,75	16,09	15,59	15,96	-11,79	-0,92
El Centro	-24,78	-10,62	-42,73	18,34	-19,23	13,52
Gaya dalam momen						
Sinusoidal						
$T_g = T_1$	-56,10	10,56	-15,51	0,43	-19,68	-16,90
$T_g = T_2$	5,46	23,94	17,19	9,63	-12,77	-5,99
El Centro	-19,76	4,64	7,11	18,14	-20,23	10,06

Tabel 6. Rasio Perubahan Gaya Dalam di Balok (%) dengan Bukaannya 3 cm terhadap 0 cm

Gempa	Gaya aksial		Gaya geser		Gaya momen	
	4 lt.	10 lt.	4 lt.	10 lt.	4 lt.	10 lt.
Sinusoidal						
$T_g = T_1$	52,43	27,52	63,32	-10,59	58,51	26,88
$T_g = T_2$	-0,67	-15,56	0,75	-6,14	0,99	-15,31
El Centro	45,18	7,93	30,22	14,47	20,89	2,69

pada gaya dalam geser balok dari gedung yang lebih pendek, yang digetarkan gempa sinusoidal dengan periode getar identik dengan periode getar alami fundamental Gedung 1 (T_1). Beberapa peningkatan gaya dalam diamati terjadi pada gedung yang lebih tinggi (Gedung 2). Khususnya gaya dalam aksial dan momen, jika periode getar gempa sinusoidal sama dengan periode getar alami fundamental dari Gedung 2 tersebut (T_2). Peningkatan gaya geser terbesar pada Gedung 2 terjadi pada saat periode getar gempa identik dengan periode getar alami fundamental Gedung 1 (T_1).

Rasio perubahan (penambahan/pengurangan) gaya dalam yang terjadi pada balok akibat bukaan 3 cm terhadap bukaan 0 cm (tanpa bukaan) disajikan dalam Tabel 6. Pemberian bukaan meningkatkan semua gaya dalam pada balok. Untuk peningkatan bukaan dari 0 cm menjadi 3 cm, terjadi peningkatan lebih dari 50% pada Gedung 1 dan lebih dari 25% pada Gedung 2. Kecenderungan ini berlaku baik untuk gempa sinusoidal maupun gempa El Centro. Pengurangan yang relatif kecil hanya terjadi ketika $T_g = T_2$. Peningkatan gaya-gaya dalam pada bukaan yang semakin besar kemungkinan disebabkan oleh efek benturan yang terjadi antar kedua struktur.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan karet sebagai sambungan lentur antar dua struktur menyebabkan peningkatan kelenturan struktur sehingga peralihannya meningkat jika dibandingkan dengan peralihan pada struktur gabungan. Namun, terhadap struktur dengan sambungan kaku, peralihannya relatif lebih kecil terutama dengan gempa El Centro. Untuk gempa sinusoidal, peralihan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh periode getarnya sehingga peralihan struktur dengan sambungan lentur dapat lebih besar atau lebih kecil dari pada peralihan struktur dengan sambungan kaku. Pengaruh bukaan elemen gap dari sambungan lentur pada respons peralihan secara umum relatif proporsional. Semakin besar bukaan, semakin besar peralihan yang terjadi. Penambahan peralihan

relatif proporsional terhadap penambahan bukaan. Jika dibandingkan terhadap sambungan kaku maupun struktur gabungan, pemasangan sambungan lentur diantara dua gedung mengurangi gaya-gaya dalam (gaya dalam aksial, geser dan momen) balok secara drastis baik akibat gempa sinusoidal maupun gempa El Centro. Pengurangan terbesar terjadi pada gaya dalam dari gedung yang lebih pendek yang digetarkan oleh gempa sinusoidal. Penggunaan bukaan pada sambungan lentur menyebabkan peningkatan gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok. Peningkatan terbesar terjadi pada balok dari struktur yang lebih pendek yang digetarkan oleh gempa sinusoidal. Peningkatan ini disebabkan oleh efek benturan yang terjadi antar kedua struktur. Kinerja sambungan lentur pada dua struktur berdampingan lebih sensitif terhadap bangunan pendek yang digetarkan oleh gempa sinusoidal.

Daftar Acuan

- [1] F. Naeim, *The Seismic Design Handbook*, University Press, Teheran, 2005, p.347.
- [2] Badan Standardisasi Nasional (BSN), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2002.
- [3] International Code Council (ICC), *International Building Code (IBC) 2008*, International Code Council, Virginia, 2008.
- [4] I. Takewaki, *Building Control with Passive Dampers*, John Wiley & Sons (Asia), Singapore, 2009, p.172.
- [5] T.K. Datta, *ISET J. Earthqu. Technol.* 40/1 (2003) 1.
- [6] Y. Wang, S. Dyke, *Structural Control and Health Monitoring*, 30 (2008) 939.
- [7] S.K. Deb, *Seismic Base Isolation – an Overview*, *Curr. Sci.* 87/10 (2004) 1426.
- [8] J.J. Oetomo, *Skripsi Sarjana*, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia, 2007.
- [9] Y. Lase, A. Hernandar, *Perbandingan Nilai Kekakuan Elastomeric Bearing berdasarkan Pemodelan Finite Element dengan Perhitungan Analitis (to be published)*.
- [10] Y. Lase, A. Hernandar, *Civil Engineering Journal*, 1/2 (2010) 75.
- [11] I.N. Doudoumis, F. Gravalas, *Proceeding Paper in the 5th GRACM International Congress on Computational Mechanics*, Cyprus, 2005, p.93.
- [12] O. Lavan, R. Levy, *Optimal Design of Supplemental Viscous Dampers for Linear Framed Structures*, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35 (2006) p.337.
- [13] J. Ou, H. Li, *Proceeding Paper in the 3rd International Conference on Earthquake Engineering*, Nanjing, China, 2004, p.145.

- [14] CSI, Manual of Computer Structure Incorporated (CSI) SAP® 2000 ver 14.1, Berkeley, California USA, 2009, p.154.
- [15] A.K. Chopra, Dynamics of Structure, 3rd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2007, p.876.
- [16] J.C. Ramallo, E.A. Johnson, B.F. Spencer, Journal of Engineering Mechanics, 128/10 (2002) 1088.