

# RASIO INELASTIS STRUKTUR GEDUNG TIDAK SIMETRIS HORIZONTAL AKIBAT GETARAN GEMPA

**Denny Meisandy Hutaeruk**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area, Indonesia  
dennymeisandy@gmail.com

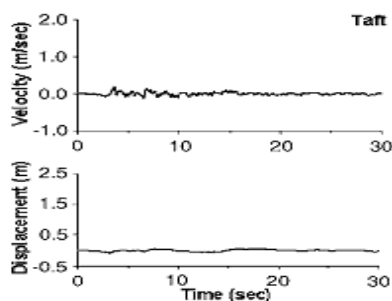
## Abstrak

Penyebab utama terjadinya torsi pada bangunan selama getaran gempa terjadi ialah akibat tidak simetrisnya distribusi massa dan kekakuan. Elemen penahan lateral harus mampu menahan berbagai jenis karakteristik gempa yang terjadi. Kurva backbone (backbone curve) dan gabungan kurva histeresisnya (hysteretic curve) menggambarkan model serbaguna dari perilaku siklik struktur beton bertulang dan memodelkan perilaku penurunan regangan selama pemberian beban. Parameter pembentuk kurva backbone diantaranya ialah kapasitas rotasi plastis. Pada penelitian ini akan dilakukan studi parametrik pada model bangunan dengan elemen penahan lateral berupa dinding geser dengan variasi eksentrisitas kekakuan yang dipengaruhi kapasitas rotasi plastis secara 2D untuk melihat rotasi struktur melalui tinjauan rasio simpangan inelastis yang terjadi pada dinding fleksibel (flexible wall) dan dinding yang lebih kaku (stiff wall). Perbedaan simpangan pada kedua dinding (fleksibel dan kaku) menyebabkan rotasi pada lantai. Struktur tersebut akan dianalisis dengan program Ruaumoko dalam kondisi inelastis dengan metode analisis time history dan diberikan eksitasi gempa. Rasio simpangan inelastis pada sisi kaku dapat mencapai 27% dan pada sisi fleksibel dapat mencapai 20%.

**Kata-Kata Kunci :** Bangunan Tidak Simetris, Eksitasi Gempa, Kekakuan Lateral, Simpangan

## I. Pendahuluan

Rotasi pada bangunan selama getaran gempa terjadi karena penyebab yang bervariasi, namun yang paling sering terjadi adalah akibat distribusi massa dan kekakuan yang tak simetris (Stathopoulos dan Anagnostopoulos, 2004). Perbedaan distribusi tersebut menyebabkan munculnya eksentrisitas pada lantai. Getaran gempa menyebabkan konsentrasi tegangan yang akhirnya menimbulkan rotasi. Karena itu, elemen penahan lateral harus direncanakan agar dapat bertahan terhadap rotasi yang terjadi. Menurut Roy dan Chackoborty (2013), selama gempa dua arah bergetar dalam struktur dengan eksentrisitas 2 arah, eksentrisitas sepanjang 2 arah utama menghasilkan 2 momen torsi.



**Gambar 1.** Tipikal kecepatan dan perpindahan rekaman gempa (Kalkan dan Kunnath, 2006)

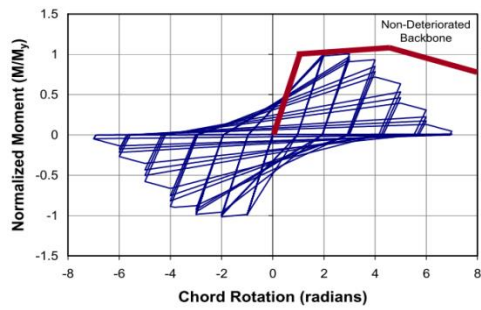
Struktur nonlinear adalah struktur yang massa ( $m$ ), redaman ( $c$ ), dan kekakuannya ( $k$ ) mengalami perubahan dalam kondisi tertentu. Analisa pada

kondisi ini sangat membantu perencana untuk memahami perilaku struktur setelah melewati batas elastisitasnya dan seberapa kuat struktur tersebut dapat bertahan.

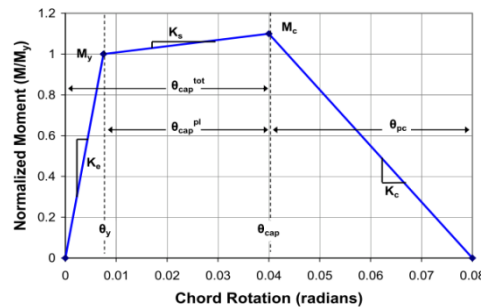
Kurva backbone dan kurva histeresisnya dapat digunakan untuk mensimulasikan kerusakan pada struktur beton bertulang. Haselton (2008) melakukan analisis dan menyederhanakan parameter pembentuk kurva backbone (Gambar 2a dan Gambar 2b). kapasitas rotasi plastis ( $\theta_{cap}^{pl}$ ) merupakan salah satu parameter yang membentuk kurva backbone. Berdasarkan penelitian Haselton, parameter-parameter yang mempengaruhi kapasitas rotasi plastis beserta nilai normalisasinya dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Efek parameter desain dalam memprediksi nilai  $\theta_{cap}^{pl}$  menggunakan persamaan penuh (Haselton, 2008).

parameter	value	$\theta_{cap}^{pl}$
Baseline	$\rho_{sh} = 0.0075, f'_c = 30 \text{ Mpa}, v = 0.10, \alpha_{sl} = 1, S_n = 12.7, \rho = 0.02$	0.055
	$\alpha_{sl}$	0
v	0	0.066
	0.3	0.038
$\rho_{sh}$	0.8	0.015
	0.002	0.033
$f'_c$ (Mpa)	0.01	0.062
	0.02	0.082
$S_n$	20	0.058
	40	0.052
	80	0.040
	8	0.067
p	16	0.048
	20	0.040
	0.01	0.050
	0.03	0.059



a)



b)

**Gambar 2. Kurva backbone**  
 a) gabungan kurva histeresis  
 b) parameter yang mempengaruhi (Haselton, 2008).

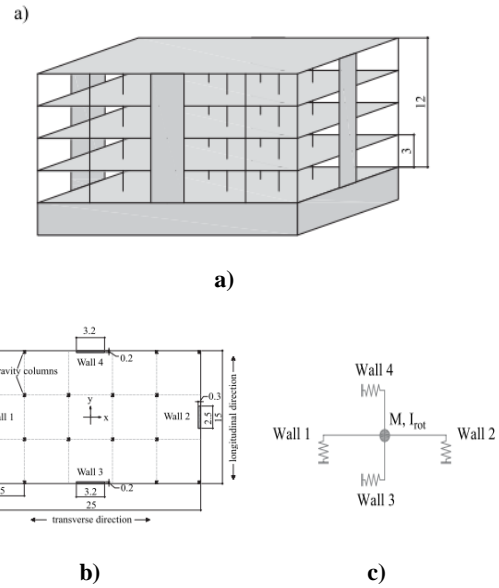
Daktilitas mempengaruhi nilai kapasitas rotasi plastis. Hal ini dibuktikan dengan berpengaruhnya rasio tulangan, baik itu rasio tulangan transversal ( $\rho_{sh}$ ), maupun longitudinal ( $\rho$ ) terhadap nilai  $\theta_{cap}^{pl}$ . Tidak ada ketentuan spesifik mengenai batasan serta pengaruh dari respon struktur dalam kondisi inelastis. Walaupun demikian, nilai kaasitas rotasi plastis berpengaruh besar terhadap respon penahan lateral dalam kondisi ini. Dalam studi parametrik ini, struktur bangunan yang akan dianalisis ialah bangunan yang tidak simetris pada bidang horizontal. Selain itu, pusat kekakuan (CR) tak berimpit dengan pusat massa (CM). Untuk beban beban horizontal yang diberikan berupa eksitasi gempa dalam dua arah. Kapasitas rotasi plastis pada elemen penahan lateral diperhitungkan. Analisis dilakukan dengan bantuan program Ruaumoko 3D secara 2D untuk melihat pengaruh rasio inelastis struktur terhadap perilaku rotasi lantai melalui deformasi inelastis pada elemen penahan lateral.

**II. Metodologi**

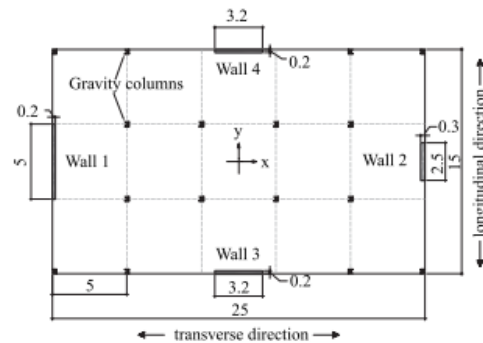
**2.1 Pemodelan Struktur**

Pemodelan struktur berupa struktur beton bertulang 4 lantai (Gambar 3a) seperti yang dimodelkan oleh Beyer (2007), dengan *shear wall* yang diletakkan di setiap sisi (Gambar 3b). Perilaku *shear wall* dimodelkan sebagai pegas (Gambar 3c). Struktur lantai direncanakan sebagai diafragma kaku dan eksitasi gempa diberikan dalam 2 arah (Gambar 4). Modifikasi kekakuan *shear wall* dilakukan untuk

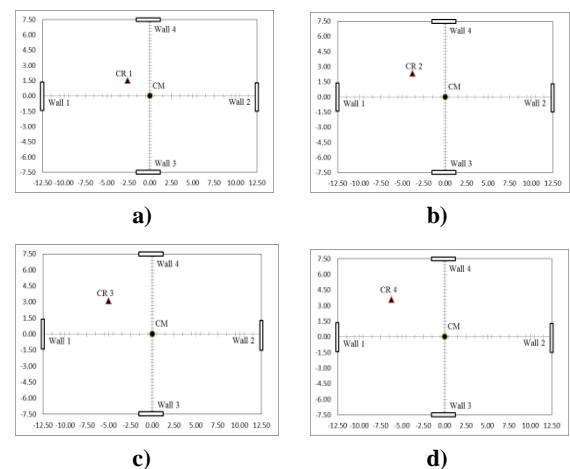
menciptakan eksentrisitas dalam 2 arah, dimana variasi CR seperti pada Gambar 5.



**Gambar 3. Model struktur a) struktur beton bertulang 4 lantai, elevasi b) bidang lantai c) perilaku dinding sebagai pegas (Beyer 2007)**



**Gambar 4. Eksitasi gempa dalam 2 arah**



**Gambar 5. Eksentrisitas kekakuan (CR) a)  $e_1$  (10%), b)  $e_2$  (15%), c)  $e_3$  (20%), d)  $e_4$  (25%)**

## 2.2 Kapasitas Rotasi Plastik ( $\theta_{cap}^p$ )

Nilai kapasitas rotasi yang digunakan ialah 0,054, yaitu nilai pertengahan berdasarkan hasil penelitian Haselton.

## 2.3 Data Rekaman Gempa

Rekaman gempa yang digunakan terdiri dari 10 rekaman (Tabel 2) merupakan rekaman yang berasal dari *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA)*.

Tabel 2. Data rekaman gempa

No	Earthquake Name	Year	Mag.	Mechanism	Rjb (km)	Rrup (km)	Vs30 (m/sec)
1	"Kobe Japan"	1995	6.90	Strike Slip	11.34	11.34	256.00
2	"Northridge-02"	1994	6.05	Reverse	7.36	8.29	269.14
3	"Kobe Japan"	1995	6.90	Strike Slip	49.91	49.91	609.00
4	"Northridge-06"	1994	5.28	Reverse	6.79	14.87	370.52
5	"Chi-Chi Taiwan"	1999	7.62	Reverse Oblique	24.96	24.96	235.13
6	"Kocaeli Turkey"	1999	7.51	Strike Slip	207.81	207.81	225.6
7	"Imperial Valley-06"	1979	6.53	Strike Slip	19.76	21.68	237.33
8	Kern	1952	7.36	Reverse	114.62	117.80	316.46
9	Trinidad	1980	7.20	Strike Slip	76.06	76.26	311.75
10	Tabas, Iran	1978	7.35	Reverse	119.77	120.8	377.56

Koefisien modifikasi Respons (R) yang digunakan dalam studi parametrik ini ialah 6 dengan lokasi bangunan di Aceh pada kondisi tanah sedang dan gaya horizontal berupa eksitasi gempa dalam 2 arah. Getaran gempa diatas diskalakan menggunakan program Ruaumoko hingga didapat rasio simpangan inelastis dengan metode riwayat waktu (*time history*).

## III. Hasil Penelitian

Output studi ini berupa simpangan rata-rata yang berasal dari eksitasi gempa pada masing-masing dinding, yaitu simpangan *wall 1*, *wall 2*, *wall 3* dan *wall 4* pada arah *transversal* (arah-x) dan arah *longitudinal* (arah-y). Simpangan pada transversal didominasi oleh *wall 3* sebagai sisi fleksibel (*flexible wall*) dan *wall 4* sebagai sisi kaku (*stiff wall*). Untuk

longitudinal, simpangan didominasi oleh *wall 2* sebagai sisi fleksibel (*flexible wall*) dan *wall 2* sebagai sisi kaku (*stiff wall*).

### 3.1 Periode Fundamental Bangunan

Empat model eksentrisitas yang dianalisis memiliki perioda fundamental yang bervariasi (Tabel 3). Mode pertama (T1) struktur murni mengalami translasi pada arah transversal dan mode kedua (T2) merupakan gabungan translasi pada arah longitudinal dan rotasi. Pada mode ketiga (T3) struktur mengalami rotasi dengan sedikit translasi pada arah longitudinal. Hasil perioda Beyer menjadi verifikasi dalam mencari nilai perioda model-model yang digunakan dalam studi parametrik ini.

Tabel 3. Periode fundamental bangunan.

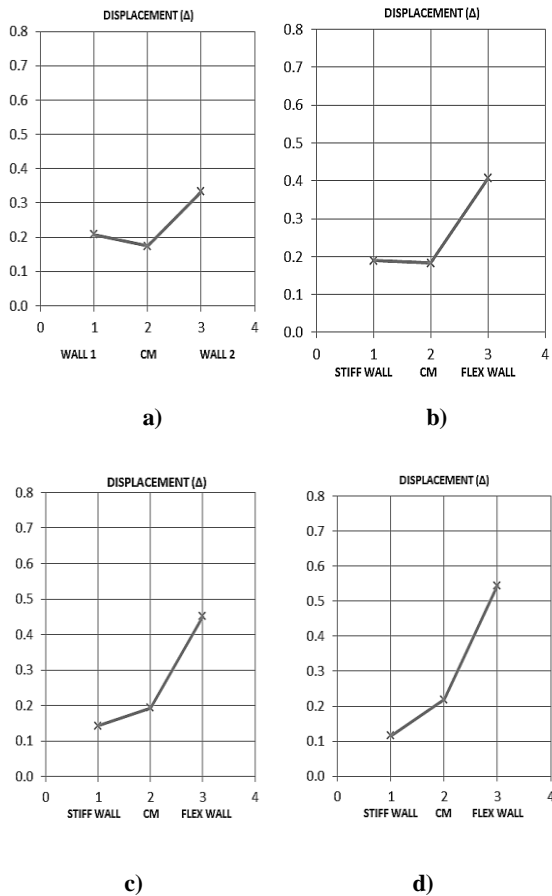
No	Model struktur	Eksentrisitas			Periode fundamental		
		$e_r$ (%)	T <sub>1</sub> (s)	T <sub>2</sub> (s)	T <sub>3</sub> (s)		
1	Beyer	24	0,97	0,88	0,48		
2	eks-1	10	1,22	0,52	0,32		
3	eks-2	15	0,84	0,59	0,31		
4	eks-3	20	1,60	0,57	0,30		
5	eks-4	25	1,98	0,61	0,28		

### 3.2 Simpangan Inelastis Struktur Akibat Eksitasi Gempa

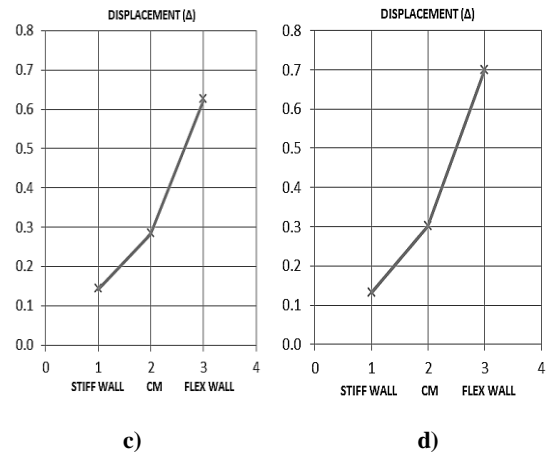
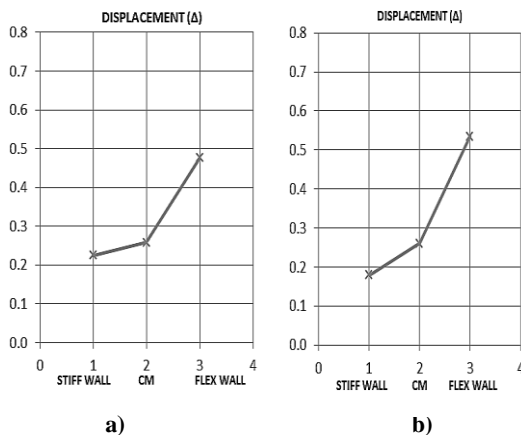
Adanya pengaruh dari kapasitas rotasi elemen penahan lateral, variasi empat eksentrisitas serta adanya eksitasi gempa 2 arah terhadap struktu, memunculkan suatu pola simpangan inelastis pada sisi struktur (yaitu sisi kaku dan sisi fleksibel). Pada

sisi fleksibel, semakin besar eksentrisitas, maka besarnya simpangan yang terjadi semakin meningkat. Pada sisi kaku berlaku sebaliknya, semakin besar eksentrisitas, simpangan inelastis semakin berkurang. Perbedaan besar simpangan antara kedua sisi menyebabkan torsi pada lantai semakin besar. Jika dibandingkan dengan arah

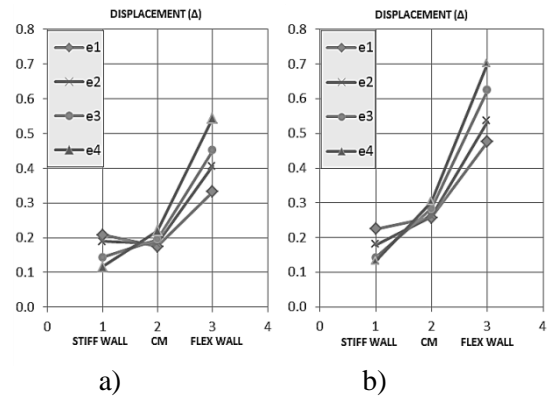
longitudinal (Gambar 6a, b, c, d) simpangan inelastis yang terjadi pada arah transversal (Gambar 7a, b, c, d) lebih besar. Untuk perbandingan simpangan inelastis pada setiap eksentrisitas dapat dilihat pada Gambar 7. Dari simpangan inelastis yang terjadi pada setiap eksentrisitas dapat diketahui seberapa besar rasio simpangan inelastis struktur.



**Gambar 6. Simpangan inelastis arah longitudinal pada sisi kaku dan sisi fleksibel akibat eksitasi gempa a) e1, b) e2, c) e3, d) e4**



**Gambar 7. Simpangan inelastis arah transversal pada sisi kaku dan sisi fleksibel akibat eksitasi gempa a) e1, b) e2, c) e3, d) e4**



**Gambar 8. Perbandingan simpangan inelastis yang terjadi pada setiap eksentrisitas a) arah y, b) arah x**

#### IV. Pembahasan

Bangunan dengan eksentrisitas memiliki efek rotasi yang lebih besar ketika gempa terjadi, baik pada kondisi elastis maupun kondisi inelastisnya. Dalam studi parametrik ini, besar simpangan pada sisi kaku berbeda dengan sisi fleksibel pada simpangan kondisi inelastisnya. Besar simpangan pada sisi fleksibel berbanding lurus dengan pertambahan nilai eksentrisitasnya. Rasio simpangan inelastis pada sisi fleksibel dapat mencapai 20% (simpangan arah x pada eksentrisitas 1). Sebaliknya, pada sisi kaku, eksentrisitas semakin besar berbanding terbalik dengan besarnya simpangan. Rasio simpangan inelastis pada sisi kaku dapat mencapai 27% (simpangan arah longitudinal pada eksentrisitas 4). Perbedaan simpangan di kedua sisi (kaku dan fleksibel) menyebabkan rotasi pada lantai. Simpangan pada kondisi inelastis membuktikan perlunya penelitian lebih lanjut, mengingat tidak adanya peraturan spesifik untuk kondisi inelastis pada desain struktur.

## V. Kesimpulan

Dari hasil studi parametrik terhadap struktur tidak simetris horizontal dengan variasi eksentrisitas pusat kekakuan-pusat massa (CR-CM) dan variasi kapasitas rotasi plastis akibat dua arah gempa, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Simpangan di sisi fleksibel selalu lebih besar dibandingkan simpangan pada sisi kaku.
2. Perbedaan rasio simpangan inelastis pada sisi fleksibel dapat mencapai 15%, dan untuk rasio simpangan inelastis pada sisi kaku dapat mencapai 27%.

## Daftar Pustaka

- 1] Anagnostopoulos, S. A. et al., 2010, *An Answer to an Important Controversy and The Need for Caution When Using Simple Models to Predict Inelastic Earthquake Response of Buildings With Torsion*. Earthquake Engineering Structure Dyn 39: 521-540.
- [2] Anonim, 2005, *International Code Council, Inc*. Illinois: Building Officials and Code Administrators International, Inc.
- [3] Anonim, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [4] Beyer, K., & Bommer, J. J., 2007, *Selection and Scaling of Real Accelerograms for Bi-Directional Loading: A Review of Current Practice and Code Provisions*. *Journal of Earthquake Engineering*, 11, 13-45.
- [5] Carr, A.J. (2008). RUAUMOKO-Inelastic Dynamic Analysis Program. Departement of Civil Engineering, University of Canterbury, Chirstchurc, New Zealand.
- [6] Chopra, A.K., 2002, *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 844pp.
- [7] De Stefano M, & Pintucchi B., 2002, *A model for analyzing inelastic seismic response of plan-irregular building structures*. Proceedings of the 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, New York.
- [8] De Stefano M, Marino EM, Rossi PP, 2006, *Effect of overstrength on the seismic behaviour of multi-storey regularly asymmetric buildings*. Bull Earthquake Eng 4(1):23-42
- [9] De Stefano, M., & Pintucchi, B., 2008, *A Review Of Research On Seismic Behaviour Of Irregular Building Structures Since 2002*. Bull Earthquake Eng 6, 285-308.
- [10] FEMA 451B, 2007, *NEHRP Recomendend Provision for New Building and Other Structure: Training and Instructional Materials*.
- [11] Gavin, H. P., 2014, *Vibration of Single Degree of Freedom Systems*. CEE Structural Dynamics. Department of Civil Engineering. Duke University.
- [12] Haselton, C. B., Liel, A. B., Lange, S. T., & Deierlein, G. G., 2008, *Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings*. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [13] Katsanos, E. I., Sextos, A. G., & Manolis, G. D., 2010, *Selection of Earthquake Ground Motion Records: A State-Of-The-Art Review*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 30, 157-169.
- [14] Kalkan, E., Kunnath, S. K., 2006, *Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings*. Earthquake Spectra 22, 367-390.
- [15] Kunnath SK, Erduran E, Chai YH, Yashinsky M., 2008, *Effect of Near Fault Vertical Ground Motions On Seismic Response of Highway Overcrossings*. J Bridge Engineering ASCE; 13(3):282-90.
- [16] Lucchini, A. et al., 2009, *Seismic Behavior of Single-Story Asymmetric-Plan Buildings Under Uniaxial Excitation*. Earthquake Engineering Structure Dyn 38, 1053-1070.
- [17] Marusic, D., & Fajfar, P., 2005, *On The Inelastic Seismic Response of Asymmetric Buildings Under Bi-axial Excitation*. Earthquake Engineering Structure Dyn 34, 943-963.
- [18] Paulay, T., 1998, *Torsional Mechanisms in Ductile Building Systems*. Earthquake Engineering Structue Dyn 27, 1101-1121.
- [19] Pawirodikromo, W., 2012, *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [20] Pacific Earthquake Engineering Research, 2008, *PEER NGA Database*, available at <http://peer.berkeley.edu/nga/>.
- [21] Peruš I, & Fajfar P, 2002, *On Inelastic Seismic Response of Asymmetric Single-Storey Structures Under Bi-Axial Excitation*. Proceedings of the third European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures, CD ROM. Florence.
- [22] Peruš I, & Fajfar P., 2005, *On the inelastic torsional response of single-storey structures under bi-axial excitation*. Earthquake Engineering Structure Dyn 34:931-941
- [23] Pintucchi, B. et al., 2005, *Numerical Verification of The Effectiveness of The "Alpha Method" for The Estimation of The Maximum Rotational Response of Eccentric Systems*. Proceedings of the 4th European workshop on the seismic behaviour of irregular and complex structures, CD ROM. Thessaloniki, August 2005

- [24] Roy, R., & Chackroborty, S., 2013, *Seismic Demand of Plan-Asymmetric Structures: A Revisit*. Earthquake Engineering and Engineering Vibration 12, 99-117.
- [25] Sommer, A., & Bachmann, H., 2005, *Seismic Behavior of Asymmetric RC Wall Buildings: Principles and New Deformation-Based Design Method*. Earthquake Engineering Structure Dyn 34, 101-124.
- [26] Somerville, P., 2003, *Magnitude Scaling of The Forward Rupture Directivity Pulse in Near-Fault Ground Motions*. URS Group Inc. Award Number: 01HQGR0048.
- [27] Stathopoulos KG, Anagnostopoulos SA, 2002, *Inelastic Earthquake Induced Torsion in Buildings: Results and Conclusions from Realistic Models*. Proceedings of the 12th European conference on earthquake engineering, CD ROM. London, September 2002.
- [28] Stathopoulos KG, Anagnostopoulos SA, 2003, *Inelastic Earthquake Response of Single-Story Asymmetric Buildings: An Assessment of Simplified Shear-Beam Models*. EarthqEng Struct Dyn 32:1813-1831
- [29] Stathopoulos, K. G., & Anagnostopoulos, S. A., 2004, *Earthquake Induced Inelastic Torsion In Asymmetric Multistory Buildings*. World Conference on Earthquake Engineering 13, 558.
- [30] Stathopoulos, K. G., & Anagnostopoulos, S. A., 2005, *Inelastic Torsion of Multistorey Buildings Under Earthquake Excitations*. Earthquake Engineering Structure Dyn 34: 1449-1465.
- [31] Trombetti T. L., & Conte J. P., 2005, *New Insight Into A Simplified Approach to Seismic Analysis of Torsionally Coupled One-Story, Elastic System*. J Sound Vibrat 286:265-312.