

# PENGARUH EKSENTRISITAS PUSAT MASSA PORTAL BETON BERTULANG TERHADAP STABILITAS STRUKTUR YANG MENGALAMI BEBAN GEMPA

## (The Influence of Centre of Mass Eccentricity in Reinforced Concrete Portal to Earthquake-Loaded Structure Stability)

Mochamad Solikin <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Staf pengajar jurusan Teknik Sipil - Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.  
Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102. e-mail: msolikin@yahoo.com

### ABSTRACT

*The earthquake happen in Indonesia made believe that Indonesia locates in affected earthquake area. One method recognized to reduce the earthquake risk in building structure is by knowing its behavior. This analysis aim to know the behavior of building structure suffer with earthquake load where there is an eccentricity between its centre of mass and center of rigidity. The eccentricity happens because there is a difference Live Load occurs in the same level. This analysis using two models building structure with 3 Dimension analyses suffer with earthquake load, where the analysis use static equivalent analyzes. There is a difference about the placement of Live Load between two-model structures. The result of this analysis is there isn't influence of Live Load position in building level to the analysis structure result, when the eccentricity less than 0.3 b and the analyses using 3 Dimension structure analysis. The lateral displacement result are 2.04 mm for the 1<sup>st</sup> model and 2,02 mm for the 2<sup>nd</sup> model, that is lower than limitation of kinerja batas layan.*

Keywords: *affected earthquake, structure behavior, eccentricity, and kinerja batas layan*

### PENDAHULUAN

Beberapa tahun belakangan ini beberapa peristiwa gempa besar melanda negara Indonesia. Peristiwa-peristiwa gempa itu adalah gempa di Aceh (Desember 2004), gempa di Nias (2005), gempa Yogyakarta (Mei 2006) dan gempa Madina (November 2006). Gempa Aceh yang disertai tsunami, bahkan merupakan gempa yang tercatat sebagai yang terbesar selama 1 abad ini setelah gempa alaska 1964 (Sieh, dalam Dewobroto 2005). Kejadian-kejadian gempa tersebut menunjukkan bahwa Indonesia terletak di daerah rawan terjadinya gempa yang cukup besar.

Resiko timbulnya korban jiwa ketika terjadi gempa dapat dikurangi dengan cara, bangunan yang berada di daerah rawan gempa semestinya direncanakan sebagai bangunan tahan gempa. Pengetahuan tentang perilaku struktur bangunan yang mengalami beban gempa merupakan faktor penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Pengetahuan perilaku tersebut bermanfaat untuk mengetahui kekuatan elemen struktur bangunan yang diperlukan untuk mengantisipasi resiko gempa yang telah ditetapkan.

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah timbulnya momen torsi pada elemen bangunan. Timbulnya momen torsi tersebut disebabkan adanya eksentrisitas antara pusat massa bangunan dengan pusat rotasi bangunan. Pusat massa adalah letak titik

tangkap resultante beban mati dan beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat tersebut. Sedangkan pusat rotasi (pusat kekakuan) adalah titik dimana pada suatu lantai bangunan, apabila bekerja gaya horizontal pada titik tersebut, lantai tingkat tersebut tidak mengalami rotasi tapi hanya bertranslasi (BSN, 2002).

Letak pusat massa dan pusat rotasi struktur gedung, tidak selalu terletak pada tempat yang sama, meskipun pada struktur gedung beraturan. Sebagai contoh adalah, pada perencanaan gedung sekolah yang terdiri dari beberapa lantai. Pada gedung sekolah dipastikan ada beberapa bagian luas bangunan yang direncanakan sebagai ruang perpustakaan dan ruang pertemuan (aula), dimana ruang-ruang tersebut memiliki beban hidup rencana yang lebih besar dibandingkan dengan ruang-ruang kelas. Hal ini tentu saja mengakibatkan letak pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat tidak berimpit, sehingga menimbulkan eksentrisitas.

Struktur gedung yang dibangun, agar terjamin keamanannya terhadap momen torsi tak terduga maka letak titik tangkap beban yang bekerja setidaknya harus berjarak 5% terhadap lebar bangunan, dari pusat kekakuannya (Miamis, 2006). Jarak 5% tersebut digunakan meskipun pada gedung yang letak pusat massa dan pusat kekakuan berimpit (tidak terdapat eksentrisitas).

Peraturan gempa di Indonesia (SNI 1726-2002) memberikan persyaratan tentang besarnya eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) yang diperhitungkan

terhadap beban horizontal yang bekerja pada tiap lantai. Persyaratan tersebut ditetapkan untuk memberikan keamanan akibat eksentrisitas beban gempa yang terjadi pada struktur gedung.

Analisis ini dimaksudkan melihat pengaruh penempatan beban hidup bangunan terhadap letak eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) bangunan dan meninjau besarnya gaya dalam yang ditimbulkannya. Stabilitas struktur akan ditinjau dengan cara melihat besarnya lendutan arah lateral akibat eksentrisitas beban gempa pada model struktur yang dianalisa.

### Beban Gempa SNI 1726-2002

Peraturan gempa Indonesia yang baru, SNI 1726-2002, membagi Indonesia dalam 6 wilayah gempa, dimana wilayah gempa 6 merupakan daerah dengan resiko gempa sangat tinggi. Perhitungan beban gempa pada masing-masing wilayah gempa didasarkan nilai faktor respon spektrum (C) pada grafik respon spektrum gempa rencana. Dalam grafik respon spektrum gempa rencana tersebut selain faktor wilayah gempa, jenis tanah dasar juga menentukan besarnya faktor respon spektrum (C). Terdapat 3 jenis tanah dasar yang dapat dipilih yaitu tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras.

Besarnya beban gempa yang merupakan beban lateral pada bangunan dapat diperoleh dengan rumus

$$V = \frac{C \cdot I}{R} \cdot W_t \quad (1)$$

- dengan  $V$  = beban gempa rencana (kN)
- $C$  = faktor respon spektrum
- $I$  = faktor keutamaan gedung
- $R$  = faktor reduksi gempa
- $W_t$  = berat total bangunan (kN)

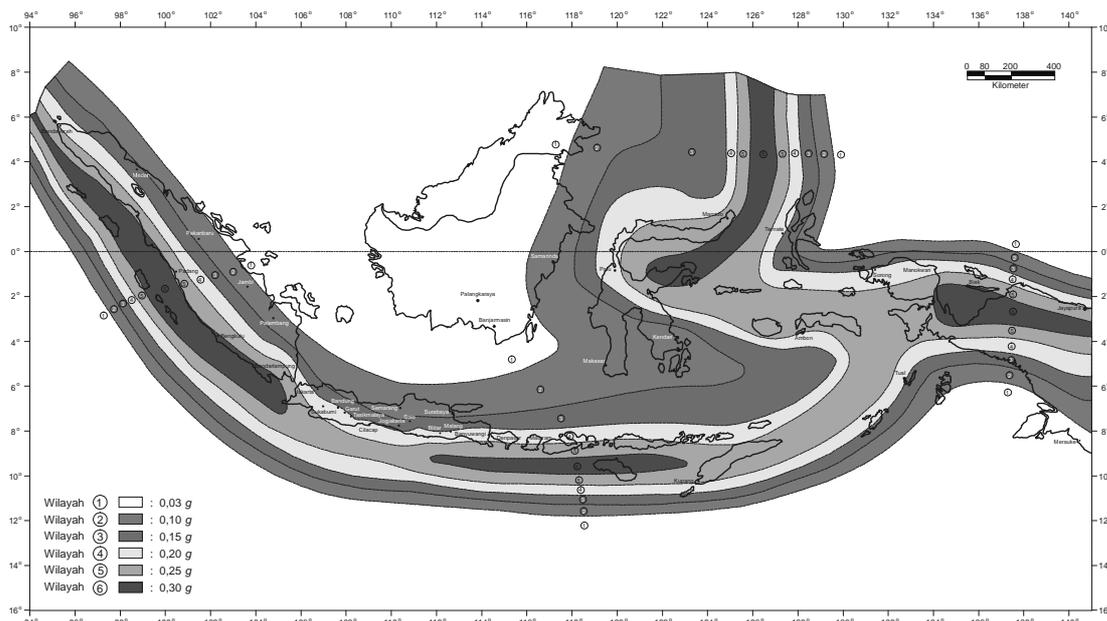
Pada gedung yang termasuk kriteria gedung beraturan, maka pengaruh beban rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh gempa statik ekuivalen (BSN, 2002). Besarnya beban gempa tiap lantai dapat didistribusikan dengan rumus:

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum (W_i \cdot h_i)} \cdot V \quad (2)$$

- dengan  $F_i$  = gaya geser pada tingkat ke-i (kN)
- $W_i$  = berat pada tingkat ke-i (kN)
- $h_i$  = tinggi tingkat ke-i dari dasar perletakan lateral (m)

### Letak eksentrisitas beban Gempa SNI 1726-2002

Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana  $e_d$ . Apabila ukuran horisontal denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa dinyatakan dengan  $b$  dan eksentrisitas pusat massa dan pusat rotasi dinyatakan



Gambar 1 Pembagian wilayah gempa Indonesia (BSN, 2002)

dengan  $e$ , maka eksentrisitas rencana  $e_d$  harus ditentukan sebagai berikut :

1. untuk  $0 < e \leq 0,3 b$  :

$$e_d = 1,5 e + 0,05 b \quad (3)$$

atau

$$e_d = e - 0,05 b \quad (4)$$

dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan

2. untuk  $e > 0,3 b$  :

$$e_d = 1,33 e + 0,1 b \quad (5)$$

atau

$$e_d = 1,17 e - 0,1 b \quad (6)$$

dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan

### Stabilitas Struktur

Beban beban lateral yang bekerja pada suatu struktur gedung, misalnya beban gempa, akan menimbulkan lendutan arah horizontal. Untuk menghindari lendutan yang berlebihan pada struktur gedung yang mengalami beban lateral maka efek torsional harus diminimalkan, dengan cara memperkecil eksentrisitas antara pusat masa dan pusat rotasi (Paulay dan Priestly, 1992).

Peraturan gempa Indonesia, SNI 1726-2002, membatasi besarnya lendutan arah ke samping (simpangan) struktur gedung dalam 2 istilah, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh Gempa Rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui  $\frac{0,03}{R}$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil. Sedangkan untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat

yang dihitung tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

### METODE ANALISIS

Metode analisis untuk mengetahui pengaruh penempatan beban hidup bangunan terhadap letak eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) bangunan dan meninjau besarnya gaya dalam yang ditimbulkannya, dilakukan dengan cara membuat analisis struktur secara 3 dimensi terhadap gedung sekolah 4 lantai. Sebagaimana diketahui, beban hidup ruang pertemuan dan perpustakaan sebesar  $4 \text{ kN/m}^2$ , lebih besar apabila dibandingkan beban hidup lantai sekolah sendiri sebesar  $2,5 \text{ kN/m}^2$ . Perbedaan beban hidup pada suatu lantai bangunan tersebut akan menimbulkan eksentrisitas antara pusat massa dengan pusat rotasi lantai bangunan.

Analisis dilakukan terhadap perbedaan penempatan ruang pertemuan dan ruang perpustakaan pada lantai 2 dan 3 bangunan, dimana dipilih 2 buah model penempatan sebagaimana digambarkan pada gambar 3 dan gambar 4.

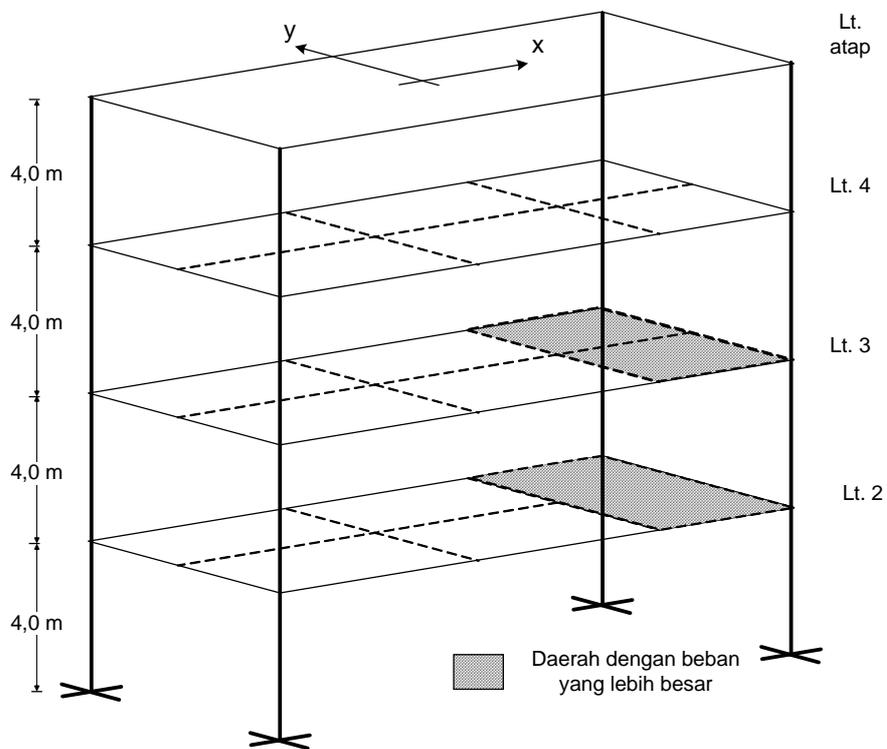
Analisis mula-mula dilakukan dengan mencari besarnya eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) dari struktur gedung model 1 dan model 2. Selanjutnya dihitung besarnya beban gempa statik ekuivalen yang bekerja pada tiap lantai bangunan. Besarnya beban gempa tersebut digunakan sebagai data masukan untuk melakukan analisis struktur secara 3 dimensi dengan program SAP 2000, sehingga diperoleh besarnya gaya-gaya dalam elemen struktur dan besarnya simpangan yang terjadi.

Beban yang ditinjau dalam analisis struktur di atas adalah beban gempa statik ekuivalen karena struktur gedung termasuk kriteria gedung yang teratur. Perhitungan analisis struktur dilakukan tanpa memperhitungkan besarnya beban mati dan beban hidup yang bekerja.

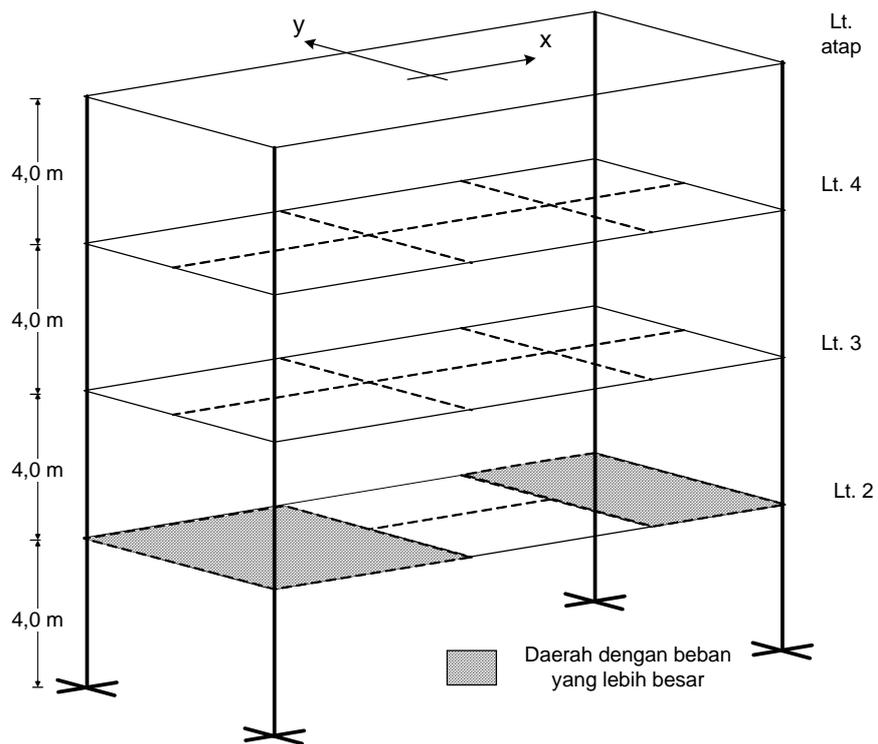
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data rencana model struktur yang dianalisis adalah:

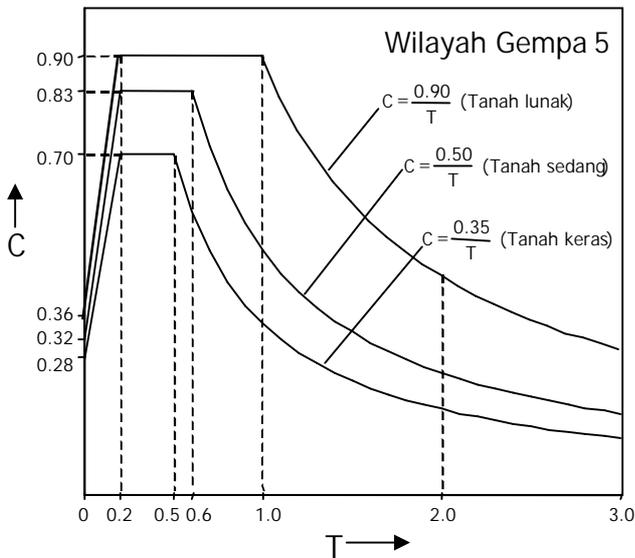
Dimensi balok	= $500 \times 700 \text{ mm}^2$
Dimensi kolom	= $600 \times 600 \text{ mm}^2$
Tebal pelat lantai	= 15 mm
Tebal pelat atap	= 12 mm
Berat partisi	= $1 \text{ kN/m}^2$ (untuk analisis 3 dimensi)
Berat dinding	= $17 \text{ kN/m}^3$ (untuk analisis 2 dimensi)
Berat jenis beton	= $24 \text{ kN/m}^3$
Wilayah gempa	= 5
Tanah dasar	= lunak
Nilai R	= 5,5 (untuk $V = \frac{C.I}{R} \cdot W_t$ )



Gambar 2. Letak aula dan perpustakaan pada model 1



Gambar 3. Letak aula dan perpustakaan pada model 2



Gambar 4. Grafik respon spektrum wilayah gempa 5

Besarnya eksentrisitas ( $e$ ) mula-mula dihitung dengan cara mencari letak pusat masa tiap lantai gedung. Pada lantai atap dan lantai ke-4 kedua model yang dianalisis, letak pusat masa adalah tepat di sumbu x-y, karena denah gedung yang simetris dan letak beban bangunan dengan besar yang sama pada setiap bagian. Pada lantai ke-2 dan ke-3 struktur gedung model 1 letak pusat masa bergeser ke arah sumbu x positif, karena letak beban hidup yang lebih besar terdapat di bagian sumbu x positif. Sedangkan pusat masa lantai ke-2 dan ke-3 struktur gedung model 2 tepat di sumbu x-y, karena penempatan beban hidup diletakkan saling mengimbangi pada lantai yang sama.

Pusat kekakuan struktur gedung dihitung pada tiap portal arah x dan y. Letak pusat kekakuan adalah

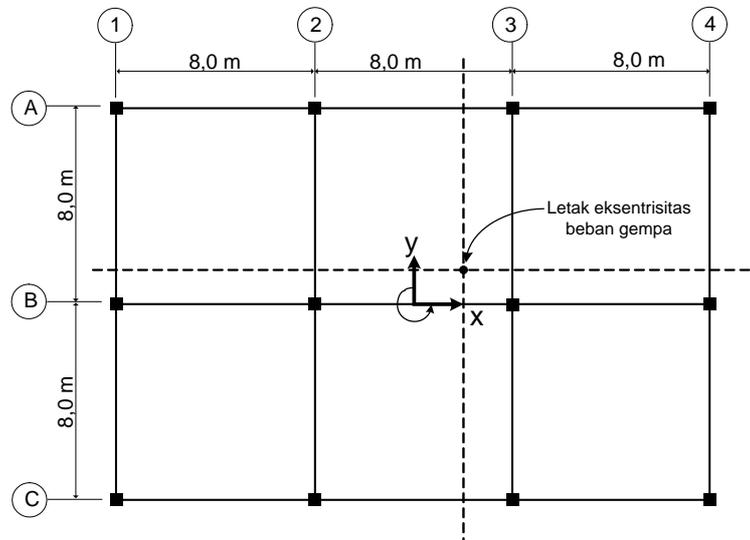
tepat di sumbu x dan y, karena dimensi balok dan kolom sama dan penempatan denah balok dan kolom simetris untuk semua lantai. Besarnya eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) dihitung karena terjadi eksentrisitas antara pusat masa dan pusat kekakuan terutama pada lantai ke-2 dan ke-3 model 1. Demikian pula eksentrisitas rencana sebesar 5% lebar bangunan juga dihitung pada lantai bangunan yang pusat masa dan pusat rotasi berimpit. Besarnya eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) serta beban gempa yang bekerja pada tiap lantai bangunan ditunjukkan pada gambar 5 dan tabel 1. Dari tabel 1 dapat dilihat terdapat perbedaan letak eksentrisitas ( $e$ ) pada lantai 2 dan lantai 3 antara model 1 dan model 2 untuk arah sumbu x. Besarnya perbedaan eksentrisitas ( $e$ ) tersebut dalam batas kurang dari  $0,3 b$  ( $0,3.b = 7,2 \text{ m}$ ), sehingga perhitungan eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) menggunakan persamaan (3) atau (4). Pada model struktur gedung yang letak pusat masa dan pusat rotasi lantai berimpit, tetap digunakan eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) sebesar 5% dari lebar bangunan pada arah yang dianalisis (Dewobroto, 2005).

Tabel 1 di atas juga menunjukkan bahwa besar beban gempa rencana ( $V$ ) model 1 dan model 2 adalah sama namun terdapat perbedaan mengenai distribusi beban gempa tiap lantai, yang dipengaruhi penempatan beban hidup pada lantai kedua dan ketiga. Besar beban gempa rencana yang sama tersebut disebabkan berat seluruh bangunan kedua model yang dianalisis adalah sama.

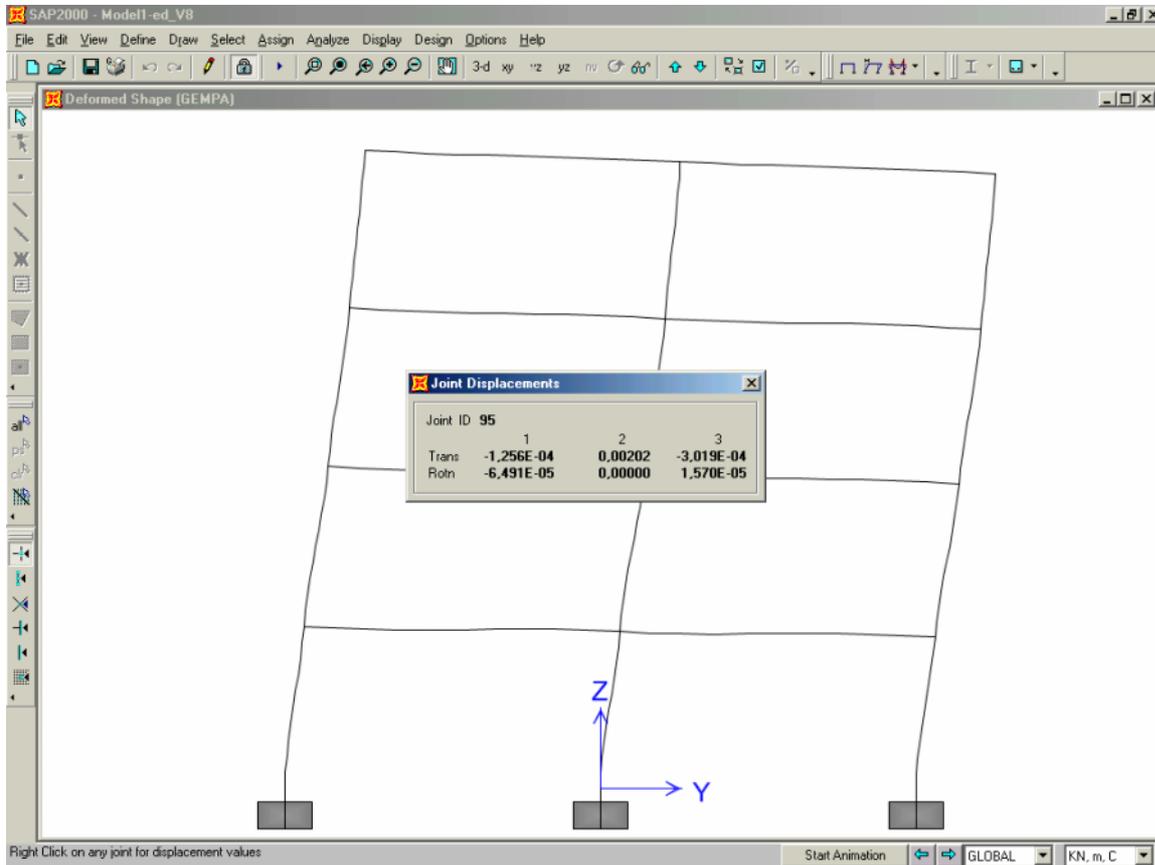
Selanjutnya dilakukan analisis struktur terhadap struktur gedung model 1 dan model 2 akibat beban gempa yang bekerja secara statik ekuivalen, menggunakan program SAP 2000 secara 3 Dimensi. Hasil yang diperoleh berupa gaya dalam elemen struktur, balok dan kolom, serta simpangan yang terjadi ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 1. Besarnya beban gempa rencana

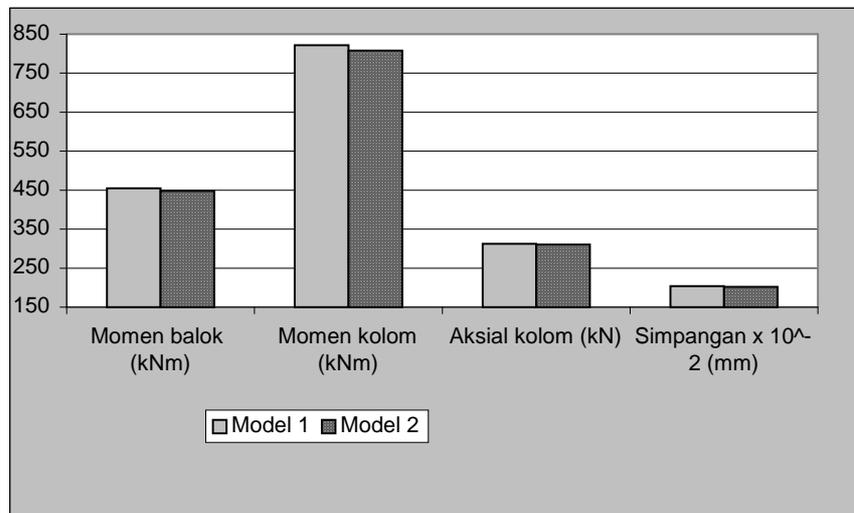
		Eksentrisitas ( $e$ ) (m)		Eks. rencana ( $e_d$ ) (m)		Beban gempa $V$ (kN)	Beban gempa tiap lantai ( $F_i$ ) (kN)	
		$e_x =$	$e_y =$	$ed_x =$	$ed_y =$			
Model 1	Lt atap =	0,00	0,00	1,20	0,80	2.493,35	Lt atap =	801,49
	Lt. 4 =	0,00	0,00	1,20	0,80		Lt. 4 =	836,01
	Lt. 3 =	+1,21	0,00	+3,02	0,80		Lt. 3 =	570,57
	Lt. 2 =	+1,21	0,00	+3,02	0,80		Lt. 2 =	285,28
Model 2	Lt atap =	0,00	0,00	1,20	0,80	2.493,35	Lt atap =	803,62
	Lt. 4 =	0,00	0,00	1,20	0,80		Lt. 4 =	838,23
	Lt. 3 =	0,00	0,00	1,20	0,80		Lt. 3 =	558,82
	Lt. 2 =	0,00	0,00	1,20	0,80		Lt. 2 =	292,67



Gambar 5. Denah bangunan dan letak eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) pada analisis struktur 3 dimensi



Gambar 6. Gambar Simpangan portal As-3 model 1 hasil analisis struktur dengan SAP 2000



Gambar 7. Grafik besarnya gaya dalam portal akibat beban gempa

Tabel 2. Hasil analisis struktur model yang dianalisis

	Model 1	Model 2
Momen balok (kNm)	455,13	448,08
selisih =		1,55%
Momen kolom (kNm)	821,71	808,24
selisih =		1,64%
Aksial kolom (kN)	312,53	310,43
selisih =		0,67%
Simpangan x 10 <sup>-2</sup> (mm)	204	202
selisih =		0,98%

Hasil analisis struktur menunjukkan, bahwa gaya dalam terbesar diperoleh dari hasil analisis struktur model 1, yang merupakan model struktur yang memiliki nilai eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) yang paling besar. Hasil analisis struktur juga menunjukkan, besarnya momen pada balok, momen pada kolom dan gaya aksial pada kolom untuk model 1, dan model 2 menghasilkan nilai yang tidak terlalu besar perbedaannya. Hal ini menunjukkan hampir tidak ada pengaruh besarnya eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) terhadap nilai-nilai gaya dalam yang dihasilkan akibat beban gempa, apabila besarnya eksentrisitas ( $e$ ) kurang dari 0,3 b dan analisis struktur dilakukan secara 3 dimensi.

Besarnya simpangan yang terjadi diukur pada simpangan maksimum portal As-3 di bagian atap arah lateral diperoleh sebesar 2,04 mm untuk model 1 dan 2,02 untuk model 2. Hampir tidak terdapat perbedaan besarnya simpangan maksimum kedua model yang dianalisis. Hasil simpangan tersebut juga menunjukkan kedua model struktur dapat memenuhi

batasan kinerja batas layan yang ditetapkan SNI 1726-2002, yaitu sebesar

$$\frac{0,03}{R} \times h = \frac{0,03}{5,5} \times 4 = 21,8 \text{ mm atau } 30 \text{ mm}$$

(dipilih yang terkecil yaitu 21,8 mm). Besar simpangan tersebut menunjukkan stabilitas struktur dalam batasan yang diijinkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tidak ada perbedaan yang signifikan besarnya hasil analisis struktur akibat beban gempa pada struktur gedung yang mengalami beban gempa apabila besarnya eksentrisitas pusat masa dan pusat rotasi kurang dari 0,3 kali lebar bangunan arah yang ditinjau (0,3 b). Stabilitas struktur yang dibatasi oleh kinerja batas layan masih dalam batasan yang diijinkan. Analisis struktur akibat beban gempa dengan analisis struktur 3 dimensi akan memberikan gambaran sedekat mungkin dengan perilaku struktur, karena kemudahannya dalam meletakkan titik tangkap bekerjanya beban gempa. Pemakaian analisis struktur secara 3 dimensi diharapkan diperoleh hasil yang lebih tepat.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat disampaikan dari penelitian Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Portal Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur Yang Mengalami Beban Gempa adalah: perkembangan software analisis struktur saat ini telah mampu melakukan analisis struktur secara 3 dimensi agar diperoleh perilaku struktur yang lebih tepat sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat. Selanjutnya dari

penelitian ini diperoleh, tidak ada pengaruh penempatan beban hidup lantai terhadap gaya dalam yang dihasilkan maupun stabilitas struktur, apabila nilai eksentrisitas (e) bangunan kurang dari 0,3 b dan analisis struktur dilakukan secara 3 dimensi. Agar diperoleh hasil yang lebih akurat, analisis struktur terhadap bangunan yang mengalami beban gempa sebaiknya menggunakan analisis struktur secara 3 dimensi. Perlu dilakukan kajian tambahan mengenai perbedaan hasil yang diperoleh antara analisis struktur secara 3 dimensi dengan 2 dimensi pada struktur gedung yang mengalami beban gempa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- BSN, 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*
- SNI – 1726 – 2002. Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Paulay, T, and Priestley, M.J.N., 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley and Sons, INC. Canada
- Dewobroto, W., 2005. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 3 No.1, Universitas Pelita Harapan, Jakarta.
- Miamis, K., dan Fernandez, J. G., 2006. *Special Moment Resisting Frame (design and performance evaluation)*. Course design Project, Purdue University.
- Purwono, R., dkk., 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. ITS Press, Istitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.