

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu sangat dibutuhkan ketika akan melakukan sebuah penelitian agar penelitian yang dilakukan saat ini mendapatkan hasil yang lebih baik dan optimal serta menghindari adanya plagiasi. Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian yang terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

#### 2.1.1 Respon Dinamik 2 Arah

Penelitian ini dilakukan oleh Zhenbao dkk. (2013) dari Key Laboratory of Earthquake Engineering and Structural Retrofit, Beijing University of Technology, Beijing, China. Peneliti menyatakan bahwa karakteristik gerakan tanah akibat gempa bumi adalah multi-dimensi, acak, dan tidak memiliki arah yang pasti. Setiap arah dapat menjadi arah dari getaran seismik baik seismik horizontal maupun seismik vertikal. Pada penelitian ini, gempa horizontal dihitung secara terpisah pada arah X dan Y. Struktur yang diteliti harus simetris dan teratur untuk mencegah terjadinya eksentrisitas pusat massa dan kekakuan sehingga deformasi arah torsi dapat dikurangi. Pengujian dilakukan pada portal dengan kekakuan yang berbeda pada arah X dan arah Y. Pengujian ini disimulasikan menggunakan *software ABAQUS finite element analysis* dengan input beban gempa pada berbagai sudut yang berbeda.

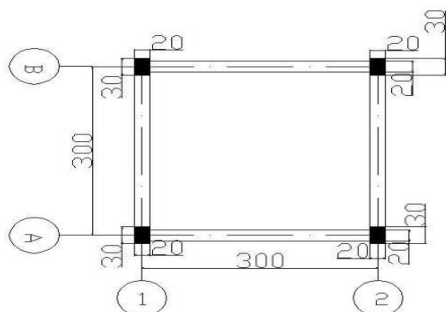


Fig. 1 The size of the frame



Fig. 2 The overview of the model

### Gambar 2.1 Pemodelan Struktur pada *Software ABAQUS*

(Sumber: Zhenbao dkk, 2013)

**Tabel 2.1 Detail Komponen Frame**

Type	Section of tube	Size (mm)	Area /cm <sup>2</sup>	Moment of inertia /cm <sup>4</sup>		Radius of gyration /cm		Section modulus /cm <sup>3</sup>	
				$I_x$	$I_y$	$r_x$	$r_y$	$W_x$	$W_y$
Beam	Square	20×20×2×2	1.34	0.692	0.692	0.720	0.720	0.498	0.498
Beam	Rectangular	30×20×2×2	1.74	2.210	1.150	1.030	0.742	1.470	1.150
Column	Rectangular	30×20×1.5×1.5	1.35	1.590	0.840	1.080	0.788	1.060	0.840

Sumber: Zhenbao dkk (2013)

Analisis simulasi struktur rangka baja dengan 2 kekakuan pada arah sumbu horizontal dilakukan di bawah aksi seismik dengan arah masukan yang berbeda. Sudut input adalah 0 °, 15 °, 30 °, 45 °, 60 °, 75 ° dan 90 ° dan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Peningkatan sudut aksi input, kecuali 0 ° dan 90 °, menyebabkan respon dinamik dari frame dalam arah kekakuan lemah menurun secara bertahap, respon dalam arah kekakuan yang kuat meningkat, dan respon seluruh struktur menunjukkan kecenderungan menurun.
2. Perubahan sudut input dari aksi seismik menyebabkan komponen dalam 2 arah sumbu melakukan aksi bersama. Namun, perbedaan kekakuan dalam 2 arah sumbu menyebabkan respon pada arah kekakuan lemah menjadi besar yang membuat arah x menjadi kelemahan dalam struktur. Komponen-komponen dalam arah kekakuan yang kuat tidak memiliki banyak kontribusi pada daya dukung struktur.
3. Perbedaan kekakuan dalam 2 arah menyebabkan respon struktur seperti percepatan dan perpindahan memiliki kecenderungan yang jelas berbeda dengan aksi input miring.

#### 2.1.2 Respon Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak

Penelitian ini dilakukan oleh Aryani (2014) sebagai tugas akhir jurusan teknik sipil Universitas Islam Indonesia. Peneliti membahas tentang Respon Dinamik Bangunan *Set Back* Bertingkat Banyak dengan Kekakuan Muto. Tujuannya untuk mengetahui perbandingan nilai *mode shape*, simpangan horizontal, *interstorey drift ratio*, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling pada bangunan regular dan *set-back* bertingkat banyak. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang dengan jumlah lantai adalah 15 lantai yang sesuai dengan SNI

1726-2012. Tinjauan struktur dilakukan pada portal bidang (2 dimensi) pada bentang yang pendek. Perhitungan inersia balok menggunakan analisis balok T. Kekakuan struktur bangunan menggunakan prinsip kekakuan muto, massa struktur menggunakan sistem *lumped mass*, dan redaman struktur menggunakan redaman konstan. Perhitungan respon struktur menggunakan integrasi numerik metode *central difference*.

Kesimpulan yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

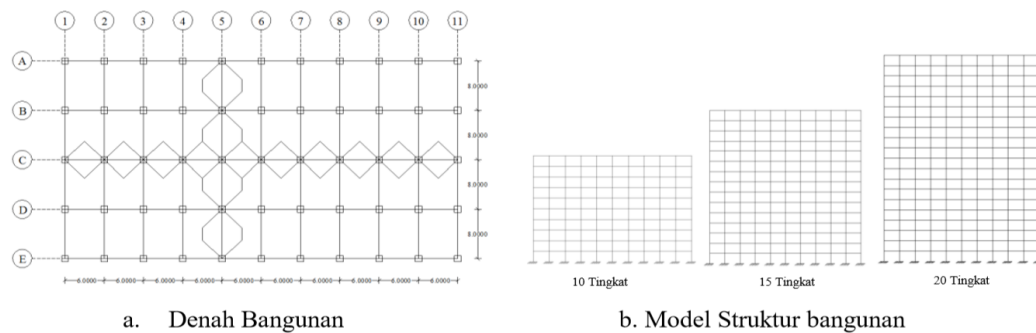
1. Nilai *mode shape*, simpangan horizontal, *interstorey drift ratio*, dan gaya geser tingkat pada bangunan *set-back* lebih besar dibandingkan dengan bangunan reguler.
2. Gaya geser dasar dan momen guling pada bangunan *set-back* lebih kecil dibandingkan dengan bangunan reguler. Gaya geser dasar dan momen guling cenderung naik pada bagian yang mengalami *set-back*.

Pada penelitian ini, tanah dianggap dapat menjepit fondasi secara sempurna, padahal sebenarnya tanah tidak sepenuhnya kaku dan akan terpengaruh apabila terjadi getaran akibat gempa. Oleh karena itu, pengaruh interaksi tanah dengan fondasi sebaiknya diperhitungkan. Matriks redaman tidak diperhitungkan dan struktur dianggap memiliki redaman hanya dari nilai rasio redaman yang konstan. Struktur ditinjau dalam 2 dimensi dan hanya pada bentang yang pendek saja.

### 2.1.3 Pengaruh Frekuensi Beban Gempa

Penelitian ini dilakukan oleh Stiawan (2014) sebagai tugas akhir jurusan teknik sipil Universitas Islam Indonesia. Peneliti ini membahas tentang pengaruh frekuensi beban gempa, yaitu frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi terhadap respon dinamik struktur bangunan bertingkat dengan beberapa variasi jumlah tingkat, yaitu 10 tingkat, 15 tingkat, dan 20 tingkat. Selanjutnya, peneliti membandingkan hasil simpangan horizontal struktur dengan metode analisis riwayat waktu (*time history analysis*), *interstorey drift ratio*, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling. Dimensi balok dan kolom pada struktur bangunan yang digunakan didapatkan dari hasil *trial and error* pada program SAP2000 v14. Perhitungan inersia balok menggunakan analisis balok T. Kekakuan struktur bangunan menggunakan prinsip kekakuan muto, massa struktur

menggunakan sistem *lumped mass*, dan redaman struktur menggunakan redaman konstan. Perhitungan respon struktur menggunakan integrasi numerik metode *central difference*.



**Gambar 2.2 Denah Bangunan dan Model Struktur Bangunan**

Sumber: Stiawan (2014)

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Gempa dengan frekuensi rendah memiliki dampak yang paling besar terhadap respon struktur, diikuti oleh gempa dengan frekuensi sedang, dan gempa dengan frekuensi tinggi memiliki dampak yang paling kecil terhadap respon struktur. Hal ini berlaku pada setiap variasi jumlah tingkat yakni 10 tingkat, 15 tingkat, dan 20 tingkat.
2. Nilai simpangan horizontal dan simpangan antar tingkat yang paling besar disebabkan oleh gempa frekuensi rendah sedangkan gempa frekuensi tinggi sangat fluktuatif.
3. Nilai *interstorey drift ratio* terbesar ada pada tingkat kedua, karena kekakuan struktur lantai dasar lebih besar dibandingkan tingkat di atasnya jika menggunakan kekakuan muto sehingga terjadi perbedaan kekakuan yang cukup signifikan.
4. Nilai gaya horizontal, gaya geser, dan momen guling akan semakin besar pada bentang portal yang lebih besar.

#### 2.1.4 Pengaruh Kekakuan dan Redaman Tanah

Penelitian ini dilakukan oleh Prihantoro dan Yovist (2002) sebagai tugas akhir jurusan teknik sipil Universitas Islam Indonesia. Kedua peneliti menganalisis

Respon Elastik Struktur MDOF dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi. Penelitian ini menggunakan struktur bangunan beraturan 12 lantai dengan beton sebagai material utama. Maksud dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kekakuan dan redaman tanah yang berbeda terhadap respon struktur serta mengetahui hubungan antara penggunaan parameter gerakan tanah terhadap respon struktur.

Penelitian ini memiliki kesimpulan bahwa respon struktur akibat beban gempa dengan percepatan tanah maksimum belum tentu maksimum pada waktu yang bersamaan kemudian pengaruh kekakuan rotasi tanah ( $k_r$ ) lebih besar daripada pengaruh kekakuan horizontal tanah ( $k_h$ ) karena kekakuan horizontal ( $k_h$ ) hanya berpengaruh pada simpangan maksimum fondasi. Pada penelitian ini, kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi masih berupa nilai tetapan atau dengan kata lain belum diperhitungkan secara pasti. Kekakuan struktur atas menggunakan prinsip kekakuan *shear building* sehingga kekakuan struktur atas bersifat *upperbound* kemudian analisis respon dinamik juga ditinjau dalam 1 arah atau 2 dimensi.

#### 2.1.5 Pengaruh Rotasi Fondasi pada Respon Dinamik Bangunan Bertingkat

Penelitian ini dilakukan oleh Wibowo dan Auzzami (2003) sebagai tugas akhir jurusan teknik sipil Universitas Islam Indonesia. Kedua peneliti menganalisis tentang Pengaruh Penggunaan *Bracing* Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi. Tujuannya untuk mengetahui pengaruh penggunaan *bracing* terhadap respon struktur, pengaruh penggunaan parameter gerakan tanah terhadap respon struktur, dan mengetahui respon struktur yang terjadi apabila nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi yang digunakan berbeda-beda. Struktur yang digunakan berupa struktur baja *open frame* dengan penambahan pengaku tipe X dan tipe V. Analisis massa menggunakan model *lumped mass*. Perhitungan kekakuan struktur atas menggunakan prinsip *shear building*. Nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi ditetapkan. Matriks redaman dicari menggunakan analisis redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*mass and stiffness proportional damping*). Analisis struktur ditinjau dengan model bangunan 2 dimensi pada sumbu

inersia terkuat. Beban gempa hanya terjadi 1 arah. Perhitungan integrasi numerik dilakukan secara langsung menggunakan formula  $\beta$ -Newmark. Analisis dilakukan dengan membuat program menggunakan Microsoft Visual Basic 6.0.

Kesimpulan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Frekuensi bangunan akan semakin kecil apabila interaksi tanah dengan fondasi diperhitungkan sehingga akan memperkecil nilai simpangan netto, simpangan antar tingkat, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling, tetapi akan memperbesar simpangan total yang terjadi karena terdapat simpangan tambahan akibat rotasi.
2. Penggunaan *bracing* akan memperkecil simpangan netto dan simpangan antar tingkat, tetapi akan memperbesar rotasi yang terjadi pada fondasi sehingga akan memperbesar nilai simpangan akibat rotasi, simpangan total, momen guling, gaya horizontal tingkat, dan gaya geser tingkat.
3. Semakin tinggi bangunan maka pengaruh penggunaan *bracing* dalam mengurangi besarnya simpangan yang terjadi akan semakin kecil.
4. Gempa dengan durasi waktu yang lama tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum.
5. Gempa dengan frekuensi rendah menghasilkan respon struktur yang lebih besar dibandingkan gempa dengan frekuensi sedang dan frekuensi tinggi.
6. Redaman proporsional dengan massa menghasilkan respon struktur yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan redaman proporsional dengan kekakuan maupun redaman proporsional dengan massa dan kekakuan.

Pada penelitian ini, kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan fondasi masih berupa nilai tetapan atau dengan kata lain belum diperhitungkan secara pasti. Kekakuan struktur atas juga menggunakan prinsip kekakuan *shear building* sehingga kekakuan struktur atas bersifat *upperbound* kemudian analisis respon dinamik juga ditinjau dalam 1 arah atau 2 dimensi.

## 2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan karya asli dan bukan hasil dari plagiasi. Oleh karena itu, berikut ini akan dijelaskan perbedaan antara penelitian pada tugas akhir ini dengan penelitian-penelitian terdahulu.

1. Struktur bangunan beraturan didesain di atas tanah lunak yang berlokasi di daerah Padang, Sumatera Barat (SNI 1726-2012).
2. Struktur bangunan yang ditinjau adalah struktur bangunan beraturan berbentuk pipih dengan jumlah lantai 15 lantai.
3. Massa, kekakuan, redaman, pembebanan dinamik, dan respon struktur ditinjau secara 3 dimensi (3D).
4. Jenis struktur fondasi yang digunakan adalah *mat foundation* seluas bangunan.
5. Perhitungan kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi menggunakan metode Gazetas (1991).
6. Menggunakan variasi beban gempa 2 arah, yaitu:
  - a. Dominan searah sumbu x, dimana sumbu x diberi beban gempa 100% dan sumbu y diberi beban gempa 30%,
  - b. Dominan searah sumbu y, dimana sumbu x diberi beban gempa 30% dan sumbu y diberi beban gempa 100%,
7. Analisis perhitungan respon dinamik struktur menggunakan program Ms Excel 2016 dan MATLAB R2013a.

**Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan**

No	Aspek	Prihantoro dan Yovist (2002)	Wibowo dan Auzzami (2003)	Aryani (2014)	Setiawan (2014)	Penulis (2018)
1.	Judul	Respon Elastik Struktur MDOF dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi	Pengaruh Penggunaan Pengaku ( <i>Bracing</i> ) Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi	Respon Dinamik Struktur Bangunan <i>Set-Back</i> Bertingkat Banyak dengan Kekakuan Muto	Analisis Pengaruh Frekuensi Terhadap Respons Struktur Bangunan dengan Kekakuan Muto	Respon Dinamik 2 Arah Struktur Bangunan Beraturan Bertingkat Banyak dengan Memperhitungkan Rotasi Fondasi
2.	Tujuan Penelitian	Mengetahui pengaruh penggunaan kekakuan horizontal dan kekakuan putar tanah yang berbeda terhadap respon struktur.	Mengetahui pengaruh penggunaan <i>bracing</i> terhadap respon struktur jika nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi yang digunakan berbeda.	Mengetahui perbandingan nilai respon dinamik pada bangunan <i>set-back</i> bertingkat banyak dibandingkan dengan bangunan reguler bila menggunakan kekakuan muto.	Mengetahui respon dinamik pada struktur bangunan bertingkat terhadap frekuensi gempa	Mengetahui respon dinamik struktur bangunan beraturan bertingkat banyak terhadap beban gempa 2 arah jika pengaruh interaksi tanah dengan fondasi diperhitungkan.



**Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan**

3.	Sampel / Model bangunan	Bangunan struktur beton bertulang 12 tingkat dengan prinsip desain <i>strong column weak beam</i> . Struktur merupakan tipe <i>open frame</i> .	Bangunan struktur baja bertingkat dengan jumlah tingkat 7, 10, dan 15 tingkat dengan pemodelan 3D. Struktur tipe <i>open frame</i> dengan <i>bracing</i> tipe X dan tipe V. Prinsip desain bangunan adalah <i>strong column weak beam</i> .	Bangunan struktur beton bertulang 15 tingkat dengan variasi <i>set-back</i> vertikal dan <i>set-back</i> horizontal. Tinggi antar lantai 4 m dengan bentang balok 8 m. Pemodelan ditinjau secara 2D.	Bangunan struktur portal beton dengan jarak antar portal 6 m dan bentang balok 8 m dengan variasi tinggi tingkat yaitu 10, 15, dan 20 tingkat.	Bangunan reguler berbentuk pipih dengan jumlah lantai 15 lantai dengan jenis struktur beton bertulang. Tinggi antar lantai 3,5 m dengan bentang pendek 5 m dan bentang panjang 7 m. Pemodelan ditinjau secara 3D. Fondasi menggunakan jenis <i>mat foundation</i> yang masif seluas bangunan.
4.	Properti Bahan	Struktur beton bertulang bertingkat.	Struktur baja bertingkat dengan <i>bracing</i> tipe X dan tipe V.	Struktur beton bertulang bertingkat.	Struktur beton bertulang bertingkat.	Struktur beton bertulang bertingkat.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

5.	Metode Analisis	Menggunakan sistem massa <i>lumped mass</i> , kekakuan struktur atas menggunakan prinsip <i>shear building</i> , kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi ditetapkan nilainya, analisis respon struktur menggunakan metode <i>time history</i> .	Menggunakan sistem massa <i>lumped mass</i> , kekakuan struktur atas menggunakan prinsip <i>shear building</i> , kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi ditetapkan nilainya, analisis respon struktur menggunakan metode <i>time history</i> dengan integrasi numerik menggunakan metode $\beta$ - <i>Newmark</i> , dan menggunakan <i>software</i> Microsoft Visual Basic 6.0.	Menggunakan sistem massa <i>lumped mass</i> , kekakuan struktur atas menggunakan prinsip Muto, redaman struktur atas menggunakan redaman konstan, analisis respon struktur menggunakan metode analisis <i>time history</i> dengan integrasi numerik <i>central difference</i> dan menggunakan <i>software</i> Ms Excel 2010 dan Matlab R2010a.	Menggunakan sistem massa <i>lumped mass</i> , kekakuan struktur atas menggunakan prinsip Muto, redaman struktur atas menggunakan redaman konstan, analisis respon struktur menggunakan metode analisis <i>time history</i> dengan integrasi numerik <i>central difference</i> dan menggunakan <i>software</i> Ms Excel 2010 dan Matlab R2010a.	Menggunakan sistem massa <i>lumped mass</i> , kekakuan struktur atas menggunakan prinsip Muto, redaman struktur atas menggunakan <i>mass and stiffness proportional damping</i> , kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi menggunakan metode Gazetas (1991), analisis <i>time history</i> dengan integrasi numerik $\beta$ - <i>Newmark</i> , dan menggunakan <i>software</i> MATLAB R2013a dan Ms Excel 2016.
----	-----------------	---	--	--	--	--

**Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan**

6.	Cakupan Penelitian	<p>Nilai simpangan horizontal, <i>drift ratio</i>, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling, kemudian membandingkan respon akibat penggunaan nilai kekakuan interaksi tanah dengan fondasi yang berbeda pada bangunan reguler.</p>	<p>Nilai simpangan netto, sudut rotasi, simpangan rotasi, simpangan total, <i>interstorey drift ratio</i>, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling, kemudian untuk mengetahui pengaruh penggunaan <i>bracing</i>. Tinjauan struktur 2D pada sumbu terkuat.</p>	<p>Nilai <i>mode shape</i>, simpangan, <i>inter story drift</i>, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling, kemudian membandingkan respon akibat frekuensi beban gempa pada bangunan reguler dan <i>set-back</i>. Tinjauan struktur 2D pada bentang yang pendek.</p>	<p>Nilai <i>mode shape</i>, simpangan horizontal, <i>inter story drift</i>, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling, kemudian membandingkan respon akibat frekuensi beban gempa pada bangunan dengan variasi tingkat.</p>	<p>Nilai simpangan netto, sudut rotasi, simpangan rotasi, simpangan total, <i>interstorey drift ratio</i>, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling, tinjauan struktur 3D dengan beban gempa 2 arah.</p>
7.	Peraturan Yang Digunakan	<p>1. Perencanaan gedung tahan gempa, SNI 03-1726-2002 2. Peraturan pembebanan Indonesia untuk Gedung (1983).</p>	<p>1. Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, SNI 03-1726-2002.</p>	<p>1. Perencanaan beban gempa, SNI 03-1726-2012 2. Peraturan pembebanan Indonesia untuk Gedung (1983).</p>	<p>1. Perencanaan beban gempa, SNI 03-1726-2012. 2. Perencanaan struktur beton bertulang, SNI 03-2847-2002.</p>	<p>1. Perencanaan beban gempa, SNI 03-1726-2012 2. Perencanaan struktur beton bertulang, Peraturan SNI 03-2847-2012</p>

**Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan**

8.	Hasil	<p>Respon struktur akibat beban gempa dengan percepatan tanah maksimum belum tentu maksimum pada waktu yang bersamaan. Pengaruh kekakuan putar tanah (<math>k_r</math>) lebih besar daripada pengaruh kekakuan horizontal tanah (<math>k_h</math>) karena kekakuan horizontal (<math>k_h</math>) hanya berpengaruh pada simpangan maksimum fondasi.</p>	<p>Adanya interaksi tanah dengan bangunan akan memperkecil nilai simpangan netto, simpangan antar tingkat, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling, namun akan memperbesar simpangan total karena terdapat simpangan tambahan akibat rotasi.</p>	<p>Nilai <i>mode shape</i>, simpangan horizontal, <i>interstorey drift ratio</i>, dan gaya geser tingkat lebih besar pada bangunan <i>set-back</i> baik itu horisontal maupun vertikal dibanding dengan bangunan reguler, gaya geser dasar dan momen guling pada bangunan <i>set-back</i> justru lebih kecil.</p>	<p>Gempa dengan frekuensi rendah memiliki dampak yang paling besar terhadap respon struktur pada setiap variasi tingkat. Gempa dengan frekuensi tinggi memiliki dampak paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang berada diantaranya.</p>	<p>Respon struktur sangat dipengaruhi oleh kedekatan nilai frekuensi struktur dengan frekuensi beban gempa, pada gempa dengan frekuensi rendah, respon struktur bangunan dengan rotasi lebih besar daripada struktur bangunan tanpa rotasi (<i>fixed</i>) dan sebaliknya pada gempa dengan frekuensi sedang dan frekuensi tinggi.</p>
----	-------	---	--	---	---	---