

ANALISA TANGGAP STRUKTUR GEDUNG TINGGI TERHADAP BEBAN GEMPA STATIK DAN GEMPA DINAMIK DENGAN PEMODELAN 3 DERAJAT KEBEBASAN DAN 6 DERAJAT KEBEBASAN

Rahman Satrio Prasajo

Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
Jl. Sunter Permai Raya, Jakarta 14350. Telp: 021-64715666, Fax: 021-6410287
e-mail: prasojo.uta45@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan terhadap pembebanan gempa, baik gempa statik maupun gempa dinamik pada struktur gedung adalah syarat wajib yang harus dipenuhi dalam proses perencanaan struktur. Keandalan suatu sistem struktur terhadap beban gempa dapat dilihat dari perilaku tanggap strukturnya. Parameter yang dapat dilihat antara lain, frekuensi natural (ω_n), periode getar (T), serta deformasi struktur (δ). Keruntuhan akibat pembebanan gempa pada umumnya berupa keruntuhan geser, dimana deformasi yang ditimbulkan berupa translasi (perpindahan), pada kasus tertentu, dapat pula terjadi perpindahan rotasi baik rotasi lokal elemen maupun rotasi global struktur. Dari kondisi diatas, dengan mempertimbangkan gaya gempa yang dominan menimbulkan perpindahan sebidang maka analisa struktur dapat disederhanakan dengan hanya meninjau derajat kebebasan yang berpotensi untuk bergerak. Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, periode, frekuensi natural, serta deformasi struktur yang diperoleh dari hasil analisis *plane frame* (3 derajat kebebasan aktif) menghasilkan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur yang dianalisis sebagai *space frame* (6 derajat kebebasan aktif).

Kata Kunci : Derajat Kebebasan Struktur, Plane Frame, Space Frame

ABSTRACT

Design of earthquake loading, both static and dynamic earthquakes on the structure of the building is a mandatory requirement that must be met in the process of structural planning. The reliability of a structural system to the earthquake load can be seen from the responsiveness of its structure. Parameters that can be seen include, natural frequency (ω_n), vibration period (T), and structural deformation (δ). From the above conditions, taking into consideration the dominant earthquake force caused the displacement of the plot then the structure analysis can be simplified by just reviewing the degree of potency that has the potential to move. Based on the result of the analysis, period natural, frequency, and the structural deformation obtained from the plane frame analysis (3 degrees of freedom actived) have greater value when compared to the structure analyzed as the frame space (6 degrees of freedom actived).

Keywords: Degree of Freedom Structures, Plane Frame, Space Frame

1. Pendahuluan

Perencanaan struktur terhadap pembebanan gempa, baik gempa statik maupun gempa dinamik pada struktur gedung adalah syarat wajib yang harus dipenuhi dalam proses perencanaan struktur. Keandalan suatu sistem struktur terhadap beban gempa dapat dilihat dari perilaku tanggap strukturnya. Parameter yang dapat dilihat antara lain, frekuensi natural (ω_n), periode getar (T), serta deformasi struktur (δ).

Keruntuhan akibat pembebanan gempa pada umumnya berupa keruntuhan geser, dimana deformasi yang ditimbulkan berupa translasi (perpindahan), pada kasus tertentu, dapat pula

terjadi perpindahan rotasi baik rotasi lokal elemen maupun rotasi global struktur.

Berdasarkan analisa diatas, dengan mempertimbangkan gaya gempa yang dominan menimbulkan perpindahan sebidang maka analisa struktur dapat disederhanakan dengan hanya meninjau derajat kebebasan yang berpotensi untuk bergerak.

Pada struktur dengan ketidakberaturan bentuk yang tinggi, serta dengan penyebaran kekakuan struktur yang tidak seimbang, dapat memicu terjadinya torsi baik lokal maupun global. Oleh sebab itu, dalam perencanaan dinamik struktur harus mempertimbangkan hal tersebut.

2. Tinjauan Pustaka

2.5. Gempa Statik

Berdasarkan SNI 1726-2012, beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

C_1 = Nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung

W_t = Berat total gedung

I = Faktor keutamaan gedung

R = Faktor reduksi gempa

V = Gaya geser dasar rencana

Distribusi gempa pada tiap tingkat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$F_i = \frac{W_i Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i Z_i} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

F_i = Beban gempa per tingkat

W_i = Berat struktur pada tingkat ke- i

Z_i = Ketinggian tingkat dari dasar bangunan

n = Jumlah tingkat

V = Gaya geser dasar rencana

Periode natural T_a dihitung dengan persamaan :

$$T_{a1} = 0.0466 H^{\frac{3}{4}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

T_a = Periode getar natural (s)

H = Ketinggian struktur

Koefisien seismik C_s dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_a}{T^{\frac{1}{T}}} \dots \dots \dots (2.4)$$

C_s = Koefisien respons seismik

SD_1 = Ground motion parameter

2.2. Respons Spektrum

Spektrum percepatan akan berhubungan dengan gaya geser maksimum yang bekerja pada dasar struktur. Terdapat dua macam respons spektrum yang ada yaitu respons spektrum elastik dan respons spektrum inelastik.

Spektrum elastik adalah suatu spektrum respons spektrum yang didasarkan atas respon elastik suatu struktur, sedangkan spektrum inelastik adalah respon spektrum yang *discale down* dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu.

3. Metode Penelitian

A. Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan beban gempa meliputi perhitungan beban gempa statik ekuivalen, menggunakan parameter berat struktur, serta perhitungan beban gempa dinamik dengan respons spektrum menggunakan peta zonasi wilayah gempa untuk memperoleh parameter percepatan gempa pada permukaan tanah.

B. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur terbagi dalam 3 tahap, antara lain :

1. Pemodelan Geometri Struktur, meliputi pemodelan properti penampang elemen kolom, balok, serta plat lantai.
2. Pemodelan Material Elemen Struktur, meliputi pemodelan material properti beton, serta baja tulangan.
3. Pemodelan Beban gempa, meliputi beban gempa statik ekuivalen, serta beban gempa dinamik dengan respons spektrum.

C. Analisa Struktur

Tahapan analisa struktur dilakukan dengan 2 metode analisis, yaitu dengan menganalisis struktur sebagai *plane frame* (3DOF) dan *space frame* (6DOF). *Output* dari analisis ini berupa parameter frekuensi getar (ω_n), periode getar (T), serta deformasi struktur (δ).

4. Pembahasan dan Analisa

4.1 Pemodelan Struktur

Parameter pemodelan geometri struktur ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 1. Parameter Pemodelan Geometri Struktur

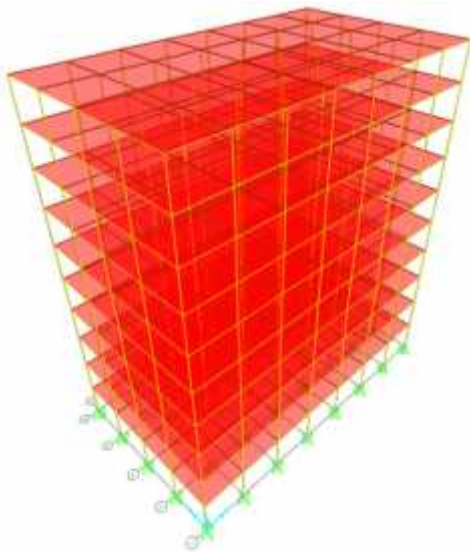
Jumlah Grid Tiap Sumbu			
X	Y	Z	
8	5	11	
Panjang Bentang Tiap Sumbu (m)			
X	Y	Z	
5	5	4	
Properti Penampang (m)			
Balok		Kolom	
b	h	b	h
0.4	0.5	0.8	0.8

Pelat Lantai (tebal dalam satuan m)	
t ₁	t ₂
0.18	0.15

Parameter pemodelan material elemen struktur ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Parameter Pemodelan Material Elemen Struktur

Parameter	Nilai
Modulus Elastisitas Beton (Ec)	25000MPa
Mutu Beton (f'c)	27.5 Mpa
Modulus Elastisitas Baja (Es)	200000MPa
Kuat Leleh Baja (fy)	344 MPa



Gambar 2. 3D View Struktur

4.2 Beban Gempa Dengan Statik Ekuivalen

A. Berat Struktur

Rekapitulasi berat struktur sebagai berikut :

Tabel 3. Berat Struktur

Lantai	Ketinggian(Z _i)	Berat Struktur (W _i)
Atap	40	6301.8
9	36	8034.6
8	32	8034.6
7	28	8034.6
6	24	8034.6
5	20	8034.6
4	16	8034.6
3	12	8034.6
2	8	8034.6
1	4	9263.4
Σ		79842

B. Perhitungan Beban Statik Ekuivalen

Beban statik ekuivalen dibagi menjadi 2 arah, terhadap sumbu struktur, yaitu arah Utara-Selatan (U-S) dan arah Barat-Timur (B-T).

1. Arah Utara-Selatan

Tabel 4. Gaya Lateral dan Gaya Geser per Lantai arah Utara-Selatan

Lantai	Tinggi dari lantai dasar z _x (m)		Berat lantai w _x (kn)	Momen w _x z _x ² (kN-m)	Lateral F _x (kN-m)	Geser V _x (kN-m)
	Z _x (m)	Z _x ^k (m)				
Atap	40	62.4	6301.8	393302.7	1356.7	1356.7
9	36	55.5	8034.6	445605.8	1537.1	2893.8
8	32	48.6	8034.6	390507.6	1347.1	4240.9
7	28	41.8	8034.6	336235.8	1159.9	5400.8
6	24	35.2	8034.6	282894.0	975.8	6376.6
5	20	28.7	8034.6	230618.1	795.5	7172.1
4	16	22.4	8034.6	179595.9	619.5	7791.6
3	12	16.2	8034.6	130104.0	448.8	8240.4
2	8	10.3	8034.6	82596.8	284.9	8525.4
1	4	4.7	9263.4	43796.2	151.1	8676.4
Σ			79842	2515257.1	8676.4	60674.8

2. Arah Barat-Timur

Tabel 5. Gaya Lateral dan Gaya Geser per Lantai arah Barat-Timur

Lantai	Tinggi dari lantai dasar z _x (m)		Berat lantai w _x (kn)	Momen w _x z _x ² (kN-m)	Lateral F _x (kN-m)	Geser V _x (kN-m)
	Z _x (m)	Z _x ^k (m)				
Atap	40	171.4	6301.8	1080205.4	874.1	874.1
9	36	148.0	8034.6	1189044.4	962.1	1836.2
8	32	125.6	8034.6	1008943.5	816.4	2652.6
7	28	104.2	8034.6	837525.8	677.7	3330.3
6	24	84.1	8034.6	675526.2	546.6	3876.9
5	20	65.2	8034.6	523872.3	423.9	4300.8
4	16	47.8	8034.6	383783.5	310.5	4611.4
3	12	32.0	8034.6	256957.7	207.9	4819.3
2	8	18.2	8034.6	145984.2	118.1	4937.4
1	4	6.9	9263.4	64022.3	51.8	4989.2
Σ			79842	6165865.4	4989.2	36228.2

3. Proporsi Beban Gempa Statik Tiap Grid

Proporsi Beban Pada Arah Utara-Selatan

Tabel 6. Proporsi Gaya Lateral per Grid arah Utara-Selatan

Grid	Elemen	Dimensi (m)		Luas (m ²)	I (m ⁴)	ΣI	Proporsi (%)
		B	H				
1	A	0.8	0.8	0.64	0.027	0.218	20
	B	0.8	0.8	0.64	0.027		
	C	0.8	0.8	0.64	0.027		
	D	0.8	0.8	0.64	0.027		
	E	0.8	0.8	0.64	0.027		
	F	0.8	0.8	0.64	0.027		
	G	0.8	0.8	0.64	0.027		
	H	0.8	0.8	0.64	0.027		
2	A	0.8	0.8	0.64	0.027	0.218	20
	B	0.8	0.8	0.64	0.027		
	C	0.8	0.8	0.64	0.027		
	D	0.8	0.8	0.64	0.027		
	E	0.8	0.8	0.64	0.027		
	F	0.8	0.8	0.64	0.027		
	G	0.8	0.8	0.64	0.027		
	H	0.8	0.8	0.64	0.027		

3	A	0.8	0.8	0.64	0.027	0.218	20	
	B	0.8	0.8	0.64	0.027			
	C	0.8	0.8	0.64	0.027			
	D	0.8	0.8	0.64	0.027			
	E	0.8	0.8	0.64	0.027			
	F	0.8	0.8	0.64	0.027			
	G	0.8	0.8	0.64	0.027			
	H	0.8	0.8	0.64	0.027			
4	A	0.8	0.8	0.64	0.027	0.218	20	
	B	0.8	0.8	0.64	0.027			
	C	0.8	0.8	0.64	0.027			
	D	0.8	0.8	0.64	0.027			
	E	0.8	0.8	0.64	0.027			
	F	0.8	0.8	0.64	0.027			
	G	0.8	0.8	0.64	0.027			
	H	0.8	0.8	0.64	0.027			
5	A	0.8	0.8	0.64	0.027	0.218	20	
	B	0.8	0.8	0.64	0.027			
	C	0.8	0.8	0.64	0.027			
	D	0.8	0.8	0.64	0.027			
	E	0.8	0.8	0.64	0.027			
	F	0.8	0.8	0.64	0.027			
	G	0.8	0.8	0.64	0.027			
	H	0.8	0.8	0.64	0.027			
Σ							1.092	100

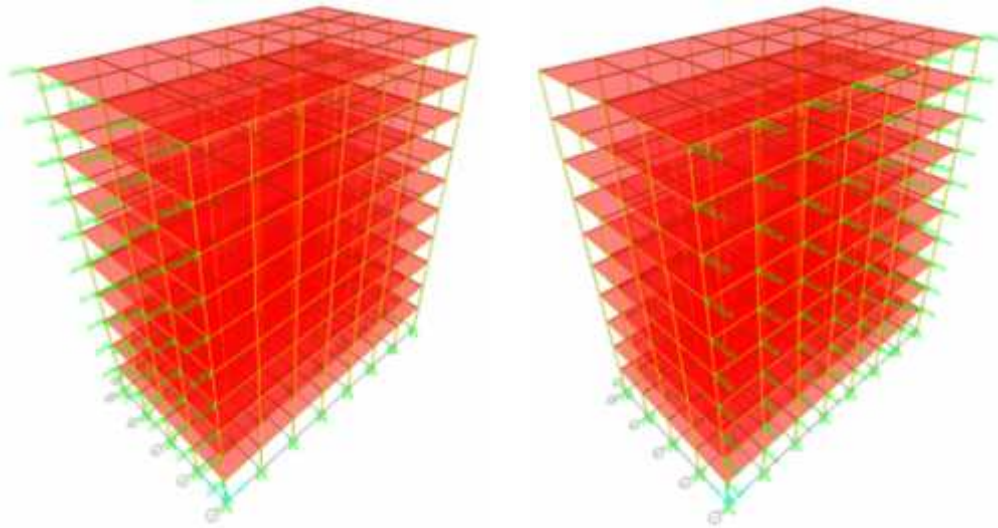
E	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5	
	2	0.8	0.8	0.64	0.027			
	3	0.8	0.8	0.64	0.027			
	4	0.8	0.8	0.64	0.027			
	5	0.8	0.8	0.64	0.027			
F	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5	
	2	0.8	0.8	0.64	0.027			
	3	0.8	0.8	0.64	0.027			
	4	0.8	0.8	0.64	0.027			
	5	0.8	0.8	0.64	0.027			
G	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5	
	2	0.8	0.8	0.64	0.027			
	3	0.8	0.8	0.64	0.027			
	4	0.8	0.8	0.64	0.027			
	5	0.8	0.8	0.64	0.027			
H	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5	
	2	0.8	0.8	0.64	0.027			
	3	0.8	0.8	0.64	0.027			
	4	0.8	0.8	0.64	0.027			
	5	0.8	0.8	0.64	0.027			
Σ							1.092	100

Proporsi Beban Pada Arah Barat-Timur

Tabel 7. Proporsi Gaya Lateral per Grid arah Barat-Timur

Grid	Elemen	Dimensi (m)		Luas (m ²)	I (m ⁴)	ΣI	Proporsi (%)
		B	H				
A	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5
	2	0.8	0.8	0.64	0.027		
	3	0.8	0.8	0.64	0.027		
	4	0.8	0.8	0.64	0.027		
	5	0.8	0.8	0.64	0.027		
B	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5
	2	0.8	0.8	0.64	0.027		
	3	0.8	0.8	0.64	0.027		
	4	0.8	0.8	0.64	0.027		
	5	0.8	0.8	0.64	0.027		
C	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5
	2	0.8	0.8	0.64	0.027		
	3	0.8	0.8	0.64	0.027		
	4	0.8	0.8	0.64	0.027		
	5	0.8	0.8	0.64	0.027		
D	1	0.8	0.8	0.64	0.027	0.137	12.5
	2	0.8	0.8	0.64	0.027		
	3	0.8	0.8	0.64	0.027		
	4	0.8	0.8	0.64	0.027		
	5	0.8	0.8	0.64	0.027		

Pemodelan beban gempa pada struktur ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Pemodelan Beban Statik Ekuivalen

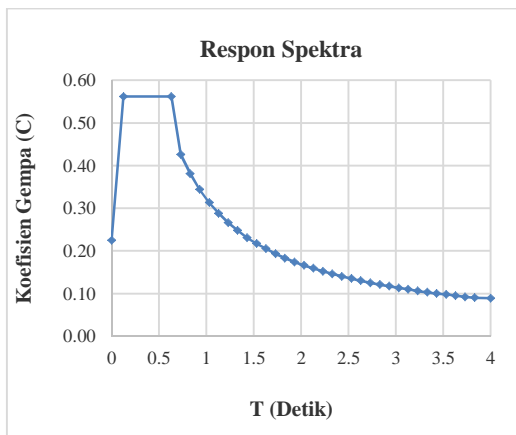
4.3 Beban Gempa Dengan Respon Spektrum

Kriteria respons spektrum desain elastis sebagai berikut :

Tabel 8. Parameter Respon Spektrum Desain

Parameter	Nilai
Kondisi Tanah	Sedang (SD)
Keutamaan Gedung (I)	1
Faktor Modifikasi Respons (R)	5.5

Dari Parameter di atas dapat diperoleh *respons spektrum function* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Respons Spektrum Function

Percepatan Grafitasi (m/s^2)	9.81
PGA (g)	0.353
S_s (g)	0.664
S_1 (g)	0.293
SD_s (g)	0.562
SD_1 (g)	0.354
T_0 (s)	0.126
T_s (s)	0.63

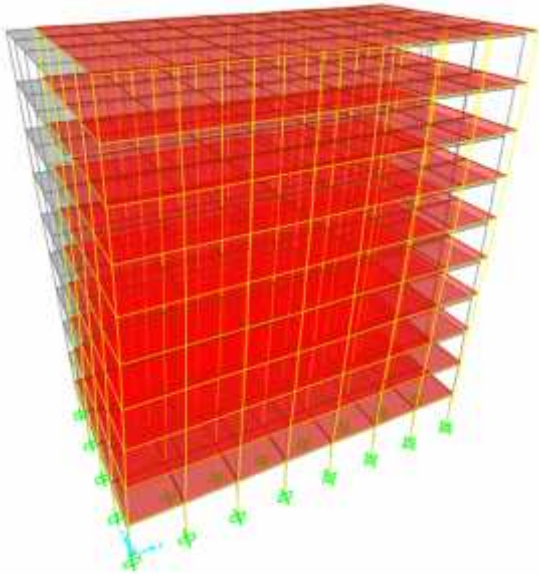
4.4 Hasil Analisis

Parameter dinamik yang ditinjau dalam penelitian ini adalah periode getar struktur (T), frekuensi natural struktur (ω_n), serta deformasi struktur (δ) pada lantai paling atas (*top story*) dimana simpangan maksimum struktur terjadi. Hasil analisa disajikan dalam tabulasi sebagai berikut :

Tabel 9. Komparasi Hasil Analisis 3DOF dan 6DOF

Metode	Parameter	Statik Ekuivalen	Respons Spektrum
3DOF	T (s)	1.247905	1.247905
	F (Hz)	0.80134	0.80134
	δ (m)	0.305689	0.376784
6DOF	T (s)	1.289258	1.289258
	F (Hz)	0.77564	0.77564
	δ (m)	0.305729	0.37678

Pola deformasi akibat pembebanan gempa dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Pola Deformasi Lateral Struktur Akibat Beban Gempa

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Parameter tanggap struktur dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Periode getar (T), frekuensi natural (ω_n), serta deformasi struktur (δ) yang diperoleh dari hasil analisis *plane frame* (3 derajat kebebasan aktif) menghasilkan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur yang dianalisis sebagai *space frame* (6 derajat kebebasan aktif).
2. Derajat kebebasan struktur mempengaruhi perilaku suatu struktur dalam merespon beban gempa.

5.2. Saran

1. Untuk analisa perilaku struktur yang lebih lengkap, analisa dapat dilanjutkan sampai pada tahap pemodelan *static nonlinear* dengan *push over analysis* untuk melihat pola keruntuhan dari masing-masing metode analisa dengan *plane frame* dan *space frame*.

2. Perlu dilakukan kajian tanggap struktur dengan penambahan dinding geser sebagai elemen struktur pemikul beban geser akibat gempa.
3. Untuk struktur dengan tingkat ketidakteraturan geometri struktur yang tinggi, perlu dilakukan kajian dengan konsep *balance stiffness* terhadap sebaran kekakuan dari elemen-elemen strukturnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nasution, Amrinsyah., 2009, *Analisa dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Bandung, Penerbit ITB.
2. Imran, I & Hendrik, F., 2014, *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung, Penerbit ITB.
3. Chopra, A. K., 1980, *Dynamics of Structures A Primer*. Berkeley.
4. Clough, R.W., Penzien, J., Ginting, D., 1997, *Dinamika Struktur*, Jakarta, Erlangga.
5. Standar Nasional Indonesia, SNI 03-2847-2013, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan gedung*.
6. Standar Nasional Indonesia, SNI 03-1726-2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan gedung dan Non Gedung*.
7. Wantalangie, Revie OF, Jorry D. Pangouw, and Reky S. Windah. "Analisa Statik Dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan Sni 1726-2012 Dengan Variasi Jumlah Tingkat." *Jurnal Sipil Statik* 4.8 (2016).
8. Cornelis, Remigildus, Wilhelmus Bunganaen, and Bonaventura Haryanto Umu Tay. "Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat, Gaya Geser Dasar, Perpindahan Tingkat Dan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Berdasarkan." *Jurnal Teknik Sipil* 3.2 (2014): 205-216.
9. Tarigan, Matahari. "Perbandingan Respon Struktur Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen dan Time History." *Jurnal Teknik Sipil USU* 3.1 (2014).