

ANALISIS RESPONS STRUKTUR PADA GEDUNG BETON BERTULANG 9 LANTAI
(Studi Kasus : Gedung Kejaksaan Tinggi Provinsi Kalimantan Timur)

Victor¹⁾, Tamrin Rahman²⁾, Mardewi Jamal³⁾.

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

e-mail: reyhanalmira@gmail.com

²Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

e-mail: fts_tamrin@yahoo.com

³Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

e-mail: wie_djamil@yahoo.com

Abstrak

Indonesia adalah salah satu negara yang berpotensi mengalami gempa bumi karena keadaannya yang dilalui 2 jalur seismik. Struktur yang terkena gempa akan mengalami gaya horizontal, gaya horizontal ini akan menyebabkan struktur berdeformasi. Oleh karena itu penting untuk melakukan analisis lebih lanjut mengenai gaya horizontal. Gaya horizontal akibat gempa dapat dianalisis secara statik dan dinamik. Analisis statik berupa statik ekuivalen sedangkan analisis dinamik dapat berupa respons spektrum atau analisis riwayat waktu.

Pada penelitian ini mengambil kasus gedung 9 lantai dengan fungsi perkantoran dan dibangun diatas tanah lunak. Analisa gempa yang digunakan adalah analisis statik ekuivalen yaitu penyederhanaan beban gempa menjadi gaya lateral statis yang arah dan besarnya tetap, dan analisis dinamik respons spektrum dimana struktur digetarkan berdasarkan suatu spektrum respons desain.

Dari hasil analisis, diperoleh dimensi untuk balok induk adalah 400 x 600, balok anak 300 x 500, sedangkan kolom untuk lantai 1-3 adalah 700 x 700, lantai 4-6 adalah 600 x 600 dan lantai 7-9 adalah 500 x 500. Dari hasil perhitungan respons struktur diperoleh periode struktur hasil analisa adalah 1,18 detik, kemudian untuk ketidakberaturan torsi nilai δ_{max} terbesar terdapat pada lantai 9 arah Y dari analisis statik ekuivalen yaitu 18.054 mm namun tidak memiliki ketidakberaturan torsi karena nilai δ_{max} pada masing-masing lantai kurang dari δ_{avg} , kemudian untuk analisis P-Delta diperoleh nilai koefisien stabilitas (θ) terbesar pada arah Y dengan nilai 0.006441 dengan koefisien stabilitas maksimum (θ_{maks}) 0,091 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan, kemudian untuk simpangan antar lantai arah X terbesar adalah 15,725 mm sedangkan arah Y adalah 13,177 mm dengan simpangan antar lantai ijin adalah 100 mm sehingga tidak terdapat simpangan berlebih pada setiap lantai.

Kata kunci: Gempa Bumi, Respons Struktur, Statik Ekuivalen, Respons Spektrum

Abstract

Indonesia has high potential for earthquake disaster because of its condition that is traversed two seismic lines. Structure that affected by earthquake will experience horizontal force, this horizontal force will cause the structure to deform. Therefore it is important to carry out further analysis of the horizontal force. Horizontal force due to earthquake can be analyzed statically and dynamically. Static analysis is equivalent static analysis while dynamic analysis can be in the form of response spectrum or time history analysis.

This research takes the case of a 9-story building with office function and is built on soft soil. Earthquake analysis used is equivalent static analysis, which is the simplification of earthquake loads in to a static lateral force whose direction and magnitude are fixed, and dynamic response spectrum analysis where the structure is vibrated based on a design response spectrum.

The results of this study was obtained the dimension for main beam is 400 x 600, joist 300 x 500, while for coloumn at 1 to 3 story is 700 x 700, 4 to 6 story is 600 x 600 and 7 to 9 story is 500 x 500. Based on the results of the structural response analysis, the structure period is 1,18 seconds, then for the torsion

irregularity, the largest δ_{max} value is on the 9th floor Y direction from the equivalent static analysis of 18.054 mm but it does not have torsional irregularities because the δ_{max} value on each floor is less than δ_{avg} , then for the analysis of P-Delta obtained the largest value of the coefficient of stability (θ) in the Y direction with a value of 0.006441 with a maximum stability coefficient (θ_{max}) of 0.091 so that the influence of the P-Delta can be ignored, then for the largest inter-floor deviation of the X direction is 15,725 mm while the Y direction is 13,177 mm with the deviation between permit floors is 100 mm so there is no excess deviation on each floor.

Keywords: Earthquake, Structure Response, Static Equivalent, Response Spectrum

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara yang berpeluang tinggi mengalami bencana gempa bumi. Ditinjau secara geologis, kepulauan Indonesia berada pada pertemuan 2 jalur gempa utama, yaitu gempa Sirkum Pasifik dan jalur gempa *Alpide Transasiatic*, karena itu Indonesia termasuk dalam jalur cincin api Pasifik (*Ring of Fire*).

Perencanaan bangunan yang dikerjakan oleh insinyur teknik sipil haruslah mempertimbangkan gaya gempa guna tercapainya struktur bangunan tahan gempa untuk meminimalisir dampak kerugian akibat gempa, namun suatu perencanaan struktur tidak hanya meninjau pada aspek struktural saja, tetapi harus meninjau aspek ekonomi dan aspek estetika juga turut menjadi bahan pertimbangan. Desain gedung tahan gempa harus memperhatikan kriteria-kriteria dan pendetailan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Struktur yang terkena gempa akan mengalami gaya eksternal yaitu gaya horizontal dan gaya vertikal, namun yang sering menjadi masalah adalah gaya horizontal karena struktur pada umumnya di desain tahan terhadap gaya vertikal sehingga diperlukan analisis yang lebih mendalam mengenai gaya horizontal. Gaya horizontal pada saat gempa terjadi dapat menyebabkan struktur gedung mengalami simpangan horizontal (*drift*) dan apabila simpangan horizontal (*drift*) melebihi syarat yang ditetapkan pada peraturan maka struktur gedung tersebut akan runtuh.

Gaya lateral akibat gempa yang terjadi dapat dianalisis secara statik maupun dinamik. Analisis dinamik dapat dibagi menjadi dua yaitu, Analisis Riwayat Waktu (*Time History*) dan Spektrum Respon Ragam (*Response Spectrum*), sedangkan analisis statik adalah Statik Ekuivalen (*Equivalent*

Lateral Force). Apabila gedung memiliki struktur yang tidak beraturan maka selain dilakukan analisis statik ekuivalen juga diperlukan analisis lebih lanjut, yaitu analisis dinamik, berdasarkan SNI 1726-2012

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui tahapan permodelan struktur gedung beton bertulang serta penerapan analisis statik ekuivalen dan respon spektrum pada *software* SAP 2000.
2. Mengetahui respons struktur berupa, periode struktur, momen torsi, pengaruh P-Delta, dan simpangan antar lantai (*drift*) pada setiap analisis.
3. Memperoleh dimensi penampang elemen struktur yang sesuai dengan syarat dan peraturan yang berlaku dalam perencanaan struktur gedung

1.3 Batasan Masalah

Adapun penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Gedung yang ditinjau adalah gedung beton bertulang terdiri dari 9 lantai dengan fungsi sebagai gedung Kejaksaan Tinggi (Perkantoran).
2. Peraturan gempa yang digunakan dalam perhitungan adalah SNI 1726-2012^[2].
3. Peraturan pembebanan yang digunakan adalah SNI 1727-2013^[3].
4. Peraturan struktur beton yang digunakan adalah SNI 2847-2013^[4].
5. Perilaku yang dipelajari adalah gaya geser dasar, simpangan antar lantai, perpindahan yang terjadi, pengaruh P-Delta, dan momen torsi.
6. *Software* yang digunakan dalam permodelan dan analisis adalah SAP 2000.
7. Struktur direncanakan berada di Kota Samarinda yang dibangun diatas tanah lunak.

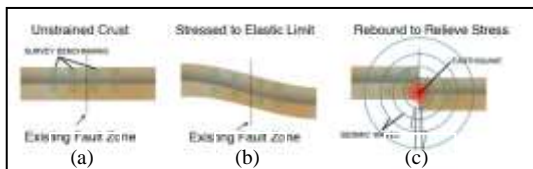
8. Dalam penelitian ini tidak menganalisis atau memperhitungkan struktur fondasi
9. Tidak meninjau pelat lantai dalam analisis.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Gempa

a. Teori Gempa

Reid (1910) menjelaskan mekanisme terjadinya gempa bumi melalui suatu teori yang disebut *Elastic Rebound Theory* yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Dari **Gambar (a)** dapat dijelaskan kondisi tanah yang belum mengalami tegangan, sedangkan **Gambar (b)** menunjukkan adanya gerakan kerak bumi yang mulai menimbulkan tegangan yang menyebabkan akumulasi energi manakala gerakan kerak bumi terus berlanjut. **Gambar (c)** menunjukkan patahan yang terjadi jika batuan kerak bumi sudah tidak mampu menahan tegangan yang terjadi, batuan akan pecah dan terjadi patahan.



Gambar 1 Ilustrasi *Elastic Rebound Theory*

Energi gelombang yang menyebar ke segala arah tersebut ditunjukkan oleh gelombang badan (*p-wave dan s-wave*). Sesampainya di permukaan tanah terjadi modifikasi menjadi gelombang permukaan (*surface waves*) karena bertemunya gelombang badan dengan batas (*boundary*).

b. Faktor Penentu Gaya Gempa Rencana

Faktor Keutamaan Gedung

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e)

Parameter Percepatan Tanah (S_s dan S_1)

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada [website](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/) PU

(http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).

Klasifikasi Tanah Datar

Terdapat dua kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah dasar, yaitu dari nilai N-

SPT dan berdasarkan besarnya kecepatan rambat gelombang geser V_s .

Parameter Percepatan Desain

Dalam desain gaya gempa yang ditetapkan $2/3$ dari S_{MS} dan S_{MI} . Tujuannya adalah untuk menurunkan nilai gerakan tanah untuk kemungkinan 10% terlampaui dalam 50 tahun. Hal ini merepresentasikan nilai gerakan tanah diharapkan terjadi sekali dalam 475 tahun, umumnya dibulatkan menjadi 500 tahun.

c. Analisa Gaya Gempa

Analisis Gaya Statik Ekuivalen

Gaya-gaya horizontal tersebut sifatnya hanya ekuivalen sebagai pengganti/representasi dari efek gaya horizontal tersebut secara umum sebagai Gaya horizontal statik ekuivalen.

Gaya Geser Dasar

$$V = C_s W$$

Koefisien Respons Seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Koefisien Batas Atas

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Koefisien Batas Bawah

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e$$

Dengan S_{DS} adalah parameter percepatan spektrum respons desain periode pendek, S_{D1} adalah parameter percepatan spektrum respons desain periode 1 detik, R adalah faktor modifikasi respons, I_e adalah faktor keutamaan gempa, T adalah periode struktur

Distribusi Beban Gempa Vertikal

Perlu adanya modifikasi sehingga, gaya gempa lateral (F_x) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dengan :

$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Dengan C_{vx} adalah faktor distribusi vertikal, V adalah gaya geser dasar, w adalah berat efektif struktur, h adalah tinggi tiap lantai, dan k adalah exponent yang terkait periode struktur

Analisis Respons Spektrum

Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu.

Periode Fundamental Struktur

Periode getar adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya.

$$T_d = C_t h_n^x$$

Dengan h adalah tinggi total struktur, C_t dan x merupakan koefisien dari tabel SNI 1726-2012

2.2 Stabilitas Lereng

a. Teori Analisis Stabilitas Lereng

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan.

$$F = \frac{\tau}{\tau_d}$$

Dengan τ adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah, τ_d adalah tegangan geser yang timbul akibat gaya berat tanah yang longsor, dan F adalah faktor aman.

2.3 Perilaku Struktur

a. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai adalah perpindahan lateral maksimum dalam 1 lantai. Dalam menentukan simpangan harus menentukan defleksi lateral pada berbagai tingkat dengan persamaan :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Dengan C_d adalah faktor amplifikasi, δ_e adalah defleksi pada lokasi yang disyaratkan dengan analisis elastis, sedangkan I_e adalah faktor keutamaan gempa.

Simpangan antar lantai desain untuk tingkat x adalah :

$$\Delta_x = \delta_x - (\delta_x - 1)$$

b. Efek P-Delta

Efek P-delta disebabkan oleh eksentrisitas gaya gravitasi terhadap sumbu vertikal dari model struktur yang besarnya adalah perpindahan Δ.

Rasio dari momen P-Δ dan momen akibat gaya lateral lantai dinamakan dengan koefisien stabilitas (θ), jika koefisien stabilitas kurang dari 0,01 maka efek P-Delta dapat diabaikan.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Dengan P_x adalah beban desain vertikal, Δ adalah simpangan antar lantai desain, I_e adalah faktor keutamaan gempa, V_x adalah gaya geser seismik, h adalah tinggi tiap lantai, dan C_d adalah faktor

pembesaran defleksi.

c. Pengaruh Torsi

2.4 Pembebanan

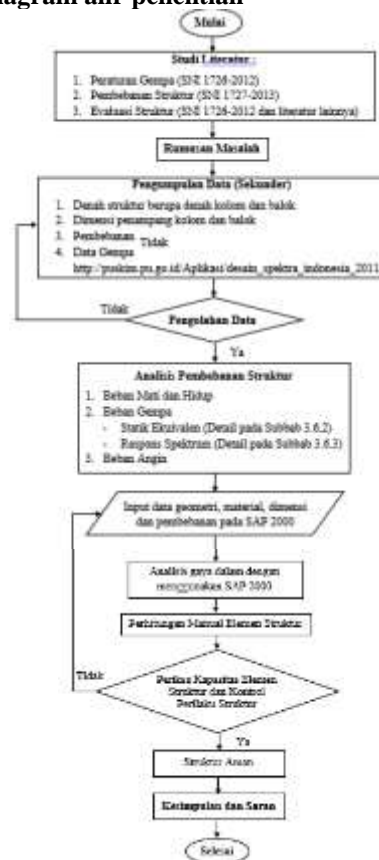
Pembebanan merupakan hal yang penting dan wajib dilakukan dalam perencanaan struktur. Ada beberapa tipe beban yang didefinisikan dalam SNI 1727-2013 diantaranya adalah beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Nilai beban rencana nantinya akan mempengaruhi hasil analisis dan desain.

3 Metodologi Penelitian

3.1 Objek Penelitian

Objek yang diteliti adalah gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Timur, selain itu diperlukan juga data S_s dan S₁ yaitu nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek dan periode 1 detik yang dapat diperoleh dari situs resmi PU, http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/. Nilai S_s dan S₁ inilah yang akan menentukan besarnya beban gempa pada lokasi objek penelitian.

3.2 Diagram alir penelitian

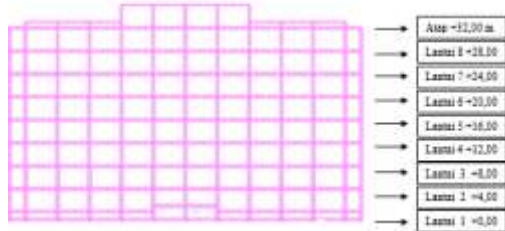


Gambar 2. Bagan alir penelitian

4. Pembahasan dan Analisis

4.1 Data Perencanaan

a. Data Geometri Struktur



Gambar 3 Data Geometri Vertikal



Gambar 4. Data Geometri Horizontal

Dengan panjang bentang arah X dan Y adalah 6 m

b. Data Material

Struktur Balok dan Kolom:

- Kuat Tekan Beton (f'_c) = 25 MPa
- Baja Tulangan Ulir = f_y 400 MPa
- Baja Tulangan Polos = f_y 240 MPa

4.2 Preliminary Desain

a. Balok

Tabel 1 Data dimensi balok

Dimensi Balok	Fungsi
400 x 600 mm	Balok Utama
300 x 500 mm	Balok Anak
250 x 500 mm	Balok Atap
400 x 600 mm	Balok Tangga

b. Kolom

Tabel 2 Data-data dimensi kolom

Lokasi	Dimensi Kolom
Lantai 1	700 x 700 mm
Lantai 2	700 x 700 mm
Lantai 3	700 x 700 mm
Lantai 4	600 x 600 mm
Lantai 5	600 x 600 mm
Lantai 6	600 x 600 mm
Lantai 7	500 x 500 mm
Lantai 8	500 x 500 mm
Lantai 9	500 x 500 mm
Kolom Luar	450 x 450 mm

4.3 Tahapan Permodelan Struktur

Analisis struktur pada penelitian ini menggunakan program komputer SAP2000. Dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Model Baru
- Edit Grid Data
- Pendefinisian Material
- Menginput Data Elemen Struktur (Balok, Kolom dan Pelat)
- Menggambar Kolom, Balok dan Pelat
- Menentukan Jenis Perletakan
- Membuat Tipe Beban
- Menentukan Diafragma
- Input Beban Angin
- Input Beban Gempa Statik Ekuivalen

Tabel 3. Beban Gempa Arah X

Lantai	Beban Gempa (F_x) (Kg)	Arah X	
		Joint	EX (Kg)
Atap	31.403,85	5	6.280,769
8	51.618,51	5	10.323,702
7	42.395,92	5	8.479,184
6	35.102,83	5	7.020,567
5	26.397,75	5	5.279,550
4	18.280,7	5	3.656,140
3	11.447,38	5	2.289,475
2	4.638,43	5	927,686
1	0	5	0

Tabel 4. Beban Gempa Arah Y

Lantai	Beban Gempa (F_x) (Kg)	Arah Y	
		Joint	EY (Kg)
Atap	31.403,85	13	2.415,681
8	51.618,51	13	3.970,655
7	42.395,92	13	3.261,225
6	35.102,83	13	2.700,218
5	26.397,75	13	2.030,596
4	18.280,7	13	1.406,208
3	11.447,38	13	880,567
2	4.638,43	13	356,802
1	0	13	0

K. Input Beban Gempa Respons Spektrum

Tabel 5. Perhitungan S_a dan T

T (detik)	T	S_a
0	0,0	0,084

T ₀	0,2	0,210
T _S	1,0	0,210
T _S + 0	1,0	0,210
T _S + 0,1	1,1	0,191
T _S + 0,2	1,2	0,175
T _S + 0,3	1,3	0,162
T _S + 0,4	1,4	0,150
T _S + 0,5	1,5	0,140
T _S + 0,6	1,6	0,131
T _S + 0,7	1,7	0,124
T _S + 0,8	1,8	0,117
T _S + 0,9	1,9	0,111
T _S + 1,0	2,0	0,105
T _S + 1,1	2,1	0,100
T _S + 1,2	2,2	0,095
T _S + 1,3	2,3	0,091
T _S + 1,4	2,4	0,088
T _S + 1,5	2,5	0,084
T _S + 1,6	2,6	0,081
T _S + 1,7	2,7	0,078
T _S + 1,8	2,8	0,075
T _S + 1,9	2,9	0,072
T _S + 2,0	3,0	0,070
T _S + 2,1	3,1	0,068
T _S + 2,2	3,2	0,066
T _S + 2,3	3,3	0,064
T _S + 2,4	3,4	0,062
T _S + 2,5	3,5	0,060
T _S + 2,6	3,6	0,058
T _S + 2,7	3,7	0,057
T _S + 2,8	3,8	0,055
T _S + 2,9	3,9	0,054
T _S + 4,0	4,0	0,053

Gambar 5. Kurva Respons Spektrum

- L. Rigid Factor Zone untuk beton = 1
M. Analisis Modal
N. Kombinasi Pembebanan

4.4 Perhitungan Elemen Struktur

a. Balok

Dari hasil perhitungan desain balok diperoleh balok dengan dan dimensi sebagai berikut.

Tabel 6. Dimensi Balok

Nama Balok	Balok Induk	Balok Anak
Dimensi Balok	400 x 600	300 x 500
Tulangan Positif	3 D 22	2 D 22
Tulangan Negatif	4 D 22	2 D 22
Tulangan Sengkang	Ø 13-90	Ø 13-100
Tulangan Susut	4 D 10	4 D 10

Tabel 7. Dimensi Balok

Nama Balok	Balok Atap	Tie Beam
Dimensi Balok	300 x 500	500 x 800
Tulangan Positif	3 D 16	4 D 22
Tulangan Negatif	3 D 16	4 D 22
Tulangan Sengkang	Ø 13-100	Ø 13-250
Tulangan Susut	4 D 10	4 D 10

b. Kolom

Dari hasil perhitungan desain kolom diperoleh kolom dengan dimensi.

Tabel 8. Dimensi Kolom

Nama Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Utama	Tulangan Sengkang
K1 (Lt 1-3)	700 x 700	12D-25	Ø13-150
K2 (Lt 4-6)	600 x 600	12D-25	Ø13-130
K3 (Lt 7-9)	500 x 500	12D-25	Ø13-100
K45	450 x 450	8D-25	Ø10-100

4.5 Kontrol Perilaku Struktur

a. Simpangan Antar Lantai Statik Ekuivalen

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_e}{I_e}$$

$$\Delta_x = (\delta_{xe} - \delta_{xe-1})$$

Tabel 9 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Pembesaran Perpindahan (mm)	Drift Ijin(mm)	Keterangan
1	0,93667	25	OK
2	10,02119	100	OK
3	13,88124	100	OK
4	15,72512	100	OK

5	15,24220	100	OK
6	13,73609	100	OK
7	12,90669	100	OK
8	9,52836	100	OK
9	7,31742	100	OK

6	10,110	100	OK
7	9,797	100	OK
8	8,191	100	OK
9	7,704	100	OK

Tabel 10 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Pembesaran Perpindahan (mm)	Drift Ijin(mm)	Keterangan
1	0,883014	25	OK
2	8,275773	100	OK
3	11,257598	100	OK
4	13,17701	100	OK
5	13,13807	100	OK
6	12,339635	100	OK
7	11,96085	100	OK
8	9,72785	100	OK
9	8,42765	100	OK

c. Ketidakberaturan Torsi

$\delta_{maks} < 1.2\delta_{avg}$ Tanpa ketidakberaturan torsi

$1.2\delta_{avg} \leq \delta_{maks} \leq 1.4\delta_{avg}$ Ketidakberaturan torsi 1a

$\delta_{maks} > 1.4\delta_{avg}$ Ketidakberaturan torsi 1b

Analisis Statik Ekuivalen

Tabel 13 Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δ_{avg} (mm)	1.2 δ_{avg} (mm)	1.4 δ_{avg} (mm)	δ_{Maks} (mm)
1	0,138	0,165	0,193	0,161
2	1,528	1,834	2,139	1,665
3	3,372	4,046	4,721	3,712
4	5,465	6,558	7,651	6,108
5	7,519	9,022	10,53	8,497
6	9,41	11,29	13,17	10,740
7	11,22	13,47	15,71	12,915
8	12,65	15,18	17,71	14,684
9	13,97	16,77	19,56	16,216

b. Simpangan Antar Lantai Respons Spektrum

Tabel 11 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Pembesaran Perpindahan (mm)	Drift Ijin(mm)	Keterangan
1	0,822	25	OK
2	8,705	100	OK
3	11,799	100	OK
4	13,194	100	OK
5	12,620	100	OK
6	11,286	100	OK
7	10,580	100	OK
8	8,148	100	OK
9	7,330	100	OK

Tabel 14 Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δ_{avg} (mm)	1.2 δ_{avg} (mm)	1.4 δ_{avg} (mm)	δ_{Maks} (mm)
1	0,163	0,196	0,228	0,170
2	1,914	2,297	2,68	1,992
3	4,326	5,192	6,057	4,516
4	7,064	8,477	9,89	7,375
5	9,722	11,67	13,61	10,147
6	12,12	14,55	16,97	12,644
7	14,37	17,25	20,12	14,991
8	16,06	19,27	22,48	16,721
9	17,32	20,79	24,25	18,054

Tabel 12 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Pembesaran Perpindahan (mm)	Drift Ijin(mm)	Keterangan
1	0,753	25	OK
2	6,869	100	OK
3	9,332	100	OK
4	10,883	100	OK
5	10,787	100	OK

Analisis Respons Spektrum

Tabel 15 Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	δ_{avg} (mm)	1.2 δ_{avg} (mm)	1.4 δ_{avg} (mm)	δ_{Maks} (mm)
1	0,116	0,139	0,162	0,137
2	1,28	1,536	1,792	1,386

3	2,807	3,369	3,93	3,083
4	4,517	5,42	6,324	5,061
5	6,17	7,404	8,638	7,023
6	7,67	9,207	10,74	8,861
7	9,113	10,94	12,76	10,642
8	10,26	12,31	14,37	12,131
9	11,44	13,72	16,01	13,532

Tabel 16 Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	δ_{avg} (mm)	1.2 δ_{avg} (mm)	1.4 δ_{avg} (mm)	δ_{Maks} (mm)
1	0,137	0,165	0,192	0,149
2	1,604	1,924	2,245	1,732
3	3,601	4,322	5,042	3,877
4	5,835	7,001	8,168	6,276
5	7,966	9,559	11,15	8,571
6	9,86	11,83	13,81	12,644
7	11,63	13,96	16,28	12,547
8	12,97	15,56	18,15	14,028
9	14,11	16,93	19,75	15,361

Dikarenakan nilai dari pada δ_{max} lebih kecil dari pada 1,2 δ_{max} pada setiap arah dan analisis, maka struktur dapat dikategorikan tidak memiliki ketidakberaturan torsi

d. Pengaruh P-Delta

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_x C_d}$$

$$\theta_{maks} = \frac{0.5}{\beta C_d}$$

Tabel 17 Pengaruh P-Delta Arah X

Lantai	Tinggi (m)	Stabilitas θ	θ maks
1	1	0,000641	0,091
2	4	0,002286	0,091
3	4	0,003293	0,091
4	4	0,003747	0,091
5	4	0,003988	0,091
6	4	0,004185	0,091
7	4	0,004815	0,091
8	4	0,00537	0,091
9	4	0,005593	0,091

Tabel 18 Pengaruh P-Delta Arah Y

Lantai	Tinggi (m)	Stabilitas θ	θ maks
1	1	0,000641	0,091
2	4	0,002286	0,091
3	4	0,003293	0,091
4	4	0,003747	0,091

5	4	0,003988	0,091
6	4	0,004185	0,091
7	4	0,004815	0,091
8	4	0,00537	0,091
9	4	0,005593	0,091

Karena nilai koefisien stabilitas $< 0,1$ dan tidak melebihi θ_{maks} sehingga pengaruh akibat P-Delta dapat diabaikan

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil studi yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan-kesimpulan yang berupa :

- 1 Permodelan struktur dalam SAP 2000 dilakukan dengan mengidentifikasi gambar denah struktur untuk mengetahui posisi penempatan kolom dan balok, kemudian mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur sesuai dengan peraturan SNI 1727-2013 tentang pembebanan, sedangkan pembebanan gempa dapat dihitung secara otomatis menggunakan program SAP 2000 dengan mendefinisikan fungsi respons spektrum sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- 2 Dari hasil perhitungan respons struktur diperoleh periode struktur hasil analisis komputer (T_c) adalah 1,18 detik, untuk batas bawah (T_a) adalah 1,05 detik, dan untuk batas atas ($T_a C_u$) adalah 1,57 detik, sehingga nilai periode yang digunakan adalah berdasarkan hasil analisis komputer, kemudian untuk ketidakberaturan torsi nilai δ_{max} terbesar terdapat pada lantai 9 arah Y dari analisis statik ekuivalen yaitu 18.054 mm namun tidak memiliki ketidakberaturan torsi karena nilai δ_{max} pada masing-masing lantai kurang dari δ_{avg} , kemudian untuk analisis P-Delta diperoleh nilai koefisien stabilitas (θ) terbesar pada arah Y dengan nilai 0.006441 dengan koefisien stabilitas maksimum (θ_{maks}) 0,091 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan, kemudian untuk simpangan antar lantai arah X yaitu 15,725 mm dan arah Y adalah 13,177 mm dengan simpangan antar lantai ijin adalah 100 mm, sehingga tidak terdapat simpangan yang berlebihan pada setiap lantai.
- 3 Dari perhitungan struktur diperoleh 4 jenis balok dengan dimensi yang berbeda, dengan masing-masing tulangan pokok, tulangan sengkang memiliki jumlah dan jarak bervariasi bergantung pada jenis dan penempatan balok. Kemudian untuk kolom

memiliki 4 variasi dimensi, dengan kolom K1-K3 memiliki jumlah tulangan yang seragam, namun berbeda pada bagian tulangan sengkang, penempatan kolom K1 pada lantai 1-3 kemudian penempatan kolom K2 pada lantai 4-6 sedangkan untuk K3 pada lantai 7-Atap.

Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan penggunaan analisis dinamik *Time History* sebagai pembanding terhadap analisis dinamik respons spektrum dan analisis statik ekuivalen.
2. Menggunakan lokasi yang memiliki frekuensi gempa yang lebih tinggi sebagai pembanding.
3. Menambahkan dinding geser untuk mengetahui perbedaan antara sistem rangka penahan momen dengan sistem ganda.

Daftar Pustaka

1. ASCE Standard ASCE/SEI. 2010. Minimum Design Load for Building and Other Structures (ASCE 7-10). American Society of Civil Engineers. Virginia
2. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726:2012
3. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2013
4. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847:2013
5. Chopra, Anil K. 1995 Dynamic of Structure : theory and application to earthquake engineering , Prentice Hall
6. Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah Dan Gedung (PPURG 1987)*, Yayasan Badan Pekerjaan Umum, Jakarta.
7. Ekaputra, Yudha Aditia. 2016. *Studi Kasus Pengembangan dan Perilaku Dinamik Desain Alternatif Struktur Eksisting Rangkaian Gedung Hotel Zokino*. Universitas Mulawarman : Samarinda.
8. FEMA P-750. 2009. *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*.
9. Mc Cormac, Jack. 2004. *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 2*. Penerbit Erlangga: Jakarta.
10. Kementrian Pekerjaan Umum. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*. Jakarta.
11. Pamungkas, Anugerah dan Erny Harianti. 2018. *Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Penerbit Andi, Yogyakarta
12. Pawirodikromo, Widodo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Belajar : Yogyakarta
13. Reid, H.F. 1910. *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Vol.2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.*
14. Salim, M. Afif, dan Agus B. Siswanto. 2018. *Rekayasa Gempa. K-Media, Yogyakarta*
15. Satyarmo, Iman, dkk. 2015. *Belajar SAP 2000 Analisis Gempa*. Zamil Publishing : Yogyakarta
16. Taranath, B. S. 2010. *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*. CRC Press. New York.
17. Tumillar, S. (2009). *Petunjuk Perancangan Struktur Berdasarkan Ketentuan ASCE 7-05, IBC 2009 dan ACI 318-08*. HAKI. Jakarta.
18. Yogi, Degi Surta. 2016. *Kajian Perilaku Dinamik Struktur Bangunan Tinggi Beton Bertulang Berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012*. Universitas Mulawarman : Samarinda
19. Faizah, Restu. 2015. *Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta*. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*. 18(2): 191.
20. Mulia, Rezky. *Perencanaan Beban Gempa Sesuai ASCE 7-10*. <https://rezkymulia.wordpress.com/2011/07/2/perencanaan-beban-gempa-sesuai-asce-7-10/>. Diakses pada 23 Maret 2019 pukul 22.00
21. Mulia, Rezky. *Perencanaan Respon Spektrum Sesuai ASCE 7-10*. <https://rezkymulia.wordpress.com/2011/03/28/perencanaan-respons-spektrum-sesuai-asce-7-10/>. Diakses pada 23 Maret 2019 pukul 23.00
22. BNPB, 2017, *Data dan Informasi Bencana Indonesia*. https://www.bnpb.go.id/uploads/24/seminar/Pemutahiran_Sumber_dan_Peta_Gempa_Indonesia.pdf. Diakses pada 21 Maret 2019