

Perbandingan Respons Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen Dan *Time History*

Marzwilliam V. Saiya¹, Suryanto Intan², V. Johannes³

¹Mahasiswa Universitas Kristen Indonesia Maluku, Jalan OT Pattimaipauw Talake - Ambon

^{2,3}Staf Pengajar Universitas Kristen Indonesia Maluku, Jalan OT Pattimaipauw Talake - Ambon

Gmail : sui1964@hotmail.com . vectorjohannes@gmail.com

Abstract

To find out the structural response caused by earthquake can be use static analysis equivalent, analysis varied response spectrum and time history analysis. The purpose of this paper is to compare the calculation result between static equivalent analysis method and the method of time history analysis on the respons of regular structure and irregular angle in the earthquake load.

Data collection method used is literature study method which earthquake load for Time history analysis taken from el-centro earthquake recording. The calculation process uses SAP2000 V.18 software.

The result of the research shows that structural analysis with time history method is more accurate than using equivalent static analysis. The maximum story drift ratio of static equivalent methods on the 15% angle to X and Y directions are 2.334% and 7.623%. For time history method maximum value are 1.008% and 0.314%. Static analysis equivalent on the 80% angle to X and Y direction are 4,917% and 11,948% and for time history method are 1,189% and 0,777%. The maximum displacement value of the static equivalent method on the 15% angle to the X and Y directions are 95.685 mm and 312,347 mm and for the time history method are 40.427 mm and 12.533 mm while for the equivalent static method on the 80% the angle has maximum value are 176,428 mm and 505,276 mm, and the time history method has maximum value are 44.238 mm and 30.74 mm. Using the equivalent static analysis on the 15% angle, the bending moment maximum values are 194.878.07 kgm and column 104.871,48 kgm, for 80% angle are 312,465.55 kgm and 178.821,81 kgm. Time history analysis on the 15% angle , the bending moment maximum values are 24,568,15 kgm, and column 46.655,43 kgm, on the 80% angle are 31.060,5 kgm and 57.398,87 kgm.

Keywords : Structure response, Equivalen static, Time history

1. PENDAHULUAN

untuk bangunan bangunan bertingkat yang ada pada jalur wilayah gempa seperti Kota Ambon. Perencanaan yang melibatkan beban gempa sangat diperlukan sehingga bangunan yang didesain tahan terhadap gempa.

Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Pauly dan Priestley, 1992) SNI 1726:2012 menyatakan bahwa struktur bangunan yang memiliki sudut dalam adalah salah satu konfigurasi bangunan yang dapat mengkategorikan suatu gedung menjadi struktur beraturan ataupun tidak beraturan.

Untuk mengetahui respons struktur akibat gempa, maka perlu dilakukan analisis beban gempa yang sesuai dengan peraturan yang berlaku. Analisis beban gempa dapat dilakukan dengan analisis dinamik, yang dikenal dengan analisis *time history* dan Analisis Statik Ekuivalen.

Bertolak dari paparan latar belakang diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang Perbandingan Respons struktur beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen dan *Time History*

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum Gempa

Gempa akan menimbulkan getaran/goyangan pada tanah ke segala arah dan menggetarkan bangunan yang berdiri diatas tanah tersebut. Gaya akibat gempa pada bangunan direpresentasikan sebagai gaya geser dasar V yang bekerja pada dasar bangunan Pada bangunan bertingkat, gaya geser dasar tersebut akan didistribusikan secara vertikal sepanjang ketinggian struktur sebagai gaya horizontal tingkat Fi.(Restu Faizah dan Widodo 2013)

B. Beban Gempa

Analisis beban gempa dilakukan dengan 2 metode, metode pertama adalah analisis statik ekuivalen dengan mengambil parameter-parameter beban gempa dari program Spektra Indonesia dan metode kedua adalah analisis *time history* dengan menggunakan rekaman catatan gempa *El Centro*

C. Pembebanan Struktur

Terdiri dari beban mati dan beban hidup yang diambil dari PPPURG 1987.

D. Persyaratan Perencanaan Ketahanan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Periode Fundamental Pendekatan

$$- T_{a \text{ minimum}} = C_b h_n^x \quad (2-1)$$

$$- T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2-2)$$

E. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1 Perhitungan koefisien respon seismic (C_s) harus ditentukan dengan rumus :

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-3)$$

Nilai C_s yang dihitung pada persamaan di atas tidak perlu melebihi nilai berikut ini :

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-4)$$

Nilai C_s yang dihitung tidak kurang dari nilai berikut :

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (2-5)$$

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0.6 g maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0.5S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-6)$$

F. Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau Defleksi pusat massa di tingkat x (δx (mm)) harus ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \quad (2-7)$$

Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin seperti yang diperlihatkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 1 Simpangan Antar lantai ijin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 $\frac{h}{\delta x}$	0,020 $\frac{h}{\delta x}$	0,015 $\frac{h}{\delta x}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $\frac{h}{\delta x}$	0,010 $\frac{h}{\delta x}$	0,010 $\frac{h}{\delta x}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $\frac{h}{\delta x}$	0,007 $\frac{h}{\delta x}$	0,007 $\frac{h}{\delta x}$
Semua struktur lainnya	0,020 $\frac{h}{\delta x}$	0,015 $\frac{h}{\delta x}$	0,010 $\frac{h}{\delta x}$

(Sumber: SNI 1726:2012)

Keterangan:

- h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x .

G. Kombinasi beban gempa

Kombinasi Beban gempa yang digunakan sebagai berikut:

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2D + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)
- 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2D + 1,0E + L
- 0,9D + 1,0W
- 0,9D + 1,0E

H. Redundansi

Faktor redundansi (ρ), harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan ketentuan berikut.

I. Kondisi Dimana Nilai ρ Adalah 1,0

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
- Desain komponen nonstruktural;
- Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan Gedung
- Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih;
- Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat lebih
- Beban diafragma;
- Struktur dengan sistem peredaman;
- Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya

Faktor Redundansi, ρ , Untuk Kategori Desain Seismik D Sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diijinkan diambil sebesar 1,0:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau;
- Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar

J. Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (2-8)$$

K. Distribusi Gaya Vertikal Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{dan} \quad (2-9)$$

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-10)$$

k adalah eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

L. Distribusi Gaya Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, gaya geser dasar di semua tingkat harus di tentukan dari persamaan :

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_x \quad (2-11)$$

M. Analisis Time History (Analisis Riwayat Waktu)

Persyaratan Analisis

Menurut SNI 1726:2012 pasal 11.1 analisis respons riwayat waktu harus terdiri dari analisis model matematis suatu struktur untuk menentukan responsnya melalui metoda integrasi numerik terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerak tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang bersangkutan.

N. Pemodelan

Model matematika struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan yang dikenakan atau pengaruh P-delta

O. Gerak Tanah

Paling sedikit tiga gerak tanah yang sesuai harus digunakan dalam analisis.

P. Parameter Respons

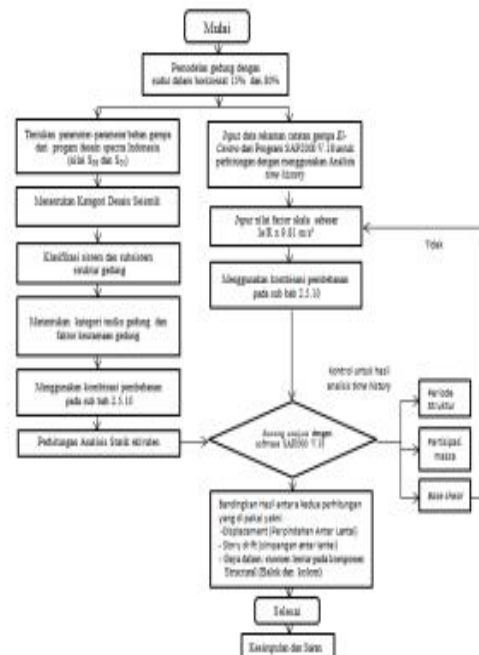
Untuk setiap gerak tanah yang dianalisis, parameter-parameter respons individual harus dikalikan dengan besaran skalar sebagai berikut:

- a. Parameter respons gaya harus dikalikan dengan I_e/R , di mana I_e adalah factor keutamaan gempa dan R adalah Koefisien Modifikasi Respons;
- b. Besaran simpangan antar lantai harus dikalikan dengan C_d/R , di mana C_d adalah faktor pembesaran defleksi.

Apabila gaya geser dasar maksimum hasil analisis yang telah diskalakan, V_i , adalah kurang dari 85 persen nilai V yang ditentukan menggunakan nilai minimum C_s bila berada di lokasi dengan S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, menggunakan nilai minimum C_s , maka gaya-gaya elemen struktur yang diskalakan, Q_{Ei} , harus diperbesar dengan faktor skala V/V_i dimana V adalah gaya geser dasar minimum yang ditentukan dengan menggunakan nilai minimum C_s , atau bila berada di lokasi dengan S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g

3. METODE PENELITIAN

A. Kerangka Penulisan

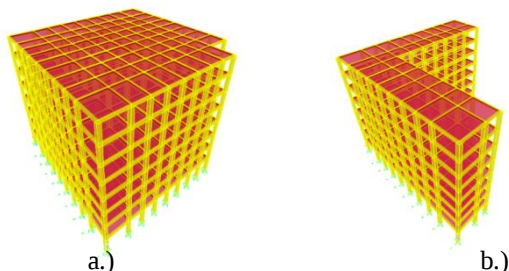


Gambar 1 Kerangka Penulisan

B. Objek Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini digunakan 2 model struktur bangunan yang di modelkan sendiri. Model pertama merupakan model struktur beraturan dengan

sudut dalam sebesar 15 % dan model kedua merupakan struktur tidak beraturan dengan sudut dalam sebesar 80 %.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Gedung dengan program SAP2000 : a) untuk sudut dalam 15% dan b) untuk sudut dalam 80%

C. Data Teknis Struktur

Adapun data- data teknis yang dipakai dalam analisis adalah sebagai berikut :

- Lokasi Bangunan : Kota Ambon
- Jenis Bangunan : Perkantoran
- Konstruksi Bangunan : Struktur Beton Bertulang
- Sistem Struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- Jenis Tanah : Tanah Sedang
- Spesifikasi Material :
- Mutu Beton : $f'c = 25 \text{ MPa}$
- Mutu Tulangan Pokok $f_y = 400 \text{ MPa}$
- Mutu Tulangan Geser $F_{ys} = 240 \text{ MPa}$
- Dimensi Struktur:
- Plat Lantai = 15 cm
- Plat Atap = 12 cm
- Balok Lantai = 30 x 60 cm
- Balok Atap = 30 x 50
- Kolom Lantai 1 s.d 8 = 70 x 70 cm

D. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dipakai dalam penulisan Skripsi ini ialah Studi Literatur. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian (Zed, 2008:3).

E. Metode Analisis Data

Metode analisis data yang dipakai pada penulisan skripsi ini ialah metode analisis gaya lateral ekuivalen dan metode *time history* yang mengacu pada SNI 1726-2012

**Analisis Gaya Lateral Ekuivalen
Geser Dasar Seismik**

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser dasar seismic (V) dalam arah yang di tetapkan harus ditentukan sesuai persamaan (2- 17)

Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2012 Nilai minimum periode bangunan ($T_{a \text{ minimum}}$) dan Nilai maksimum ($T_{a \text{ maksimum}}$) di tentukan dari persamaan (2- 1) dan (2- 2)

Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan (2-9) dan (2- 10)

Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, gaya geser dasar di semua tingkat harus di tentukan dari persamaan (2- 11)

Penentuan Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai di lakukan seperti pada penjelasan subbab 2.3.2

Analisis Time Histories

Beban gempa yang digunakan dalam analisis time histories diambil dari Rekaman catatan gempa *El Centro*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gaya Gempa Dengan Analisis Statik Ekuivalen Untuk Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 15%

Untuk hasil perhitungan gaya horizontal static ekuivalen yang bekerja pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2 Hasil perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa dan Distribusi Horizontal Gaya Gempa Untuk Struktur dengan Sudut Dalam 15 %

Tingkat (l)	W _i (kg)	h _i (m)	w _i h _i ^k	F _i (kg)	V (kg)
8 (atap)	1.112.988	32	93.082.498,97	137.932,3132	137.932,3132
7	1.839.043,2	28	129.688.709,5	192.176,4445	330.108,7577
6	1.839.043,2	24	106.511.801,2	157.832,2379	487.940,9957
5	1.839.043,2	20	84.385.424,92	125.044,7398	612.985,7354
4	1.839.043,2	16	63.459.109,43	94.035,52605	707.021,2615
3	1.839.043,2	12	43.946.290,13	65.120,8715	772.142,133
2	1.839.043,2	8	26.182.943,14	38.798,63512	810.940,7681
1	2.071.891,2	4	12.170.767,52	18.034,99192	828.975,76
0	0	0	0	0	828.975,76
Σ	14.219.138,4		559.427.544,8		

(Sumber : Hasil perhitungan)

B. Gaya Gempa Dengan Analisis Statik Ekuivalen Untuk Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 80%

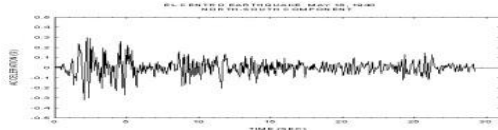
Untuk hasil perhitungan gaya horizontal static ekuivalen yang bekerja pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3 Hasil perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa dan Distribusi Horizontal Gaya Gempa Untuk Struktur dengan Sudut Dalam 80 %

Tingkat (l)	Wl (kg)	Hi (m)	w _i .h _i ^k	Fi (kg)	V (kg)
8 (atap)	534.288	32	44.684.095,61	66.260,8472	66.260,8472
7	879.067,2	28	61.991.524,04	91.925,5687	158.186,4159
6	879.067,2	24	50.912.904,52	75.497,3809	233.683,7968
5	879.067,2	20	40.336.441,91	59.813,8281	293.497,6249
4	879.067,2	16	30.333.611,32	44.980,8988	338.478,5238
3	879.067,2	12	21.006.435,42	31.149,8798	369.628,4036
2	879.067,2	8	12.515.511,6	18.558,9166	388.187,3202
1	999.019,2	4	5.868.469,555	8.702,19614	396.889,5163
0	0	0			
Σ	6.807.710,4		267.648.994		

C. Gaya Gempa Untuk Analisis Time History

Gaya gempa untuk analisis time history diambil dari rekaman catatan *el-centro* yang di peroleh dari progam SAP2000 V18. Dibawah ini gambar grafik rekaman catatan gempa *el-centro* dibawah ini :



Gambar 2 Grafik rekaman catatan gempa *el-centro*

D. Perbandingan Respon Struktur Simpangan Antar Lantai

pada tabel di bawah ini dapat dilihat simpangan antar lantai pada struktur beraturan dengan sudut dalam 15% dan struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 80% dengan analisis static ekuivalen dan *time history*.

1. Struktur beraturan dengan Sudut Dalam 15 %

a. Simpangan Antar Lantai Gempa Static Ekuivalen dengan Menggunakan Kombinasi Pembebanan

Arah X

Tabel 4 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Static Ekuivalen Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 15% arah X

Lantai	Tinggi (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	95,685	4,222	23,221	80	0,580	2	OK
7	4000	91,463	7,641	42,0255	80	1,050	2	OK
6	4000	83,822	11,015	60,5825	80	1,514	2	OK
5	4000	72,807	13,779	75,7845	80	1,894	2	OK
4	4000	59,028	15,82	87,01	80	2,175	2	NO
3	4000	43,208	16,975	93,3625	80	2,334	2	NO
2	4000	26,233	16,415	90,2825	80	2,257	2	NO
1	4000	9,818	9,818	9,818	80	0,245	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas untuk lantai 1,5,6 dan 7 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

Arah Y

Tabel 5 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Static Ekuivalen Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 15% arah Y

Lantai	Tinggi (Li) (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	312,347	13,735	75,5425	80	1,888	2	OK
7	4000	298,612	24,908	136,994	80	3,424	2	NO
6	4000	273,704	35,939	197,6645	80	4,941	2	NO
5	4000	237,765	44,982	247,401	80	6,185	2	NO
4	4000	192,783	51,66	284,13	80	7,103	2	NO
3	4000	141,123	55,446	304,953	80	7,623	2	NO
2	4000	85,677	53,62	294,91	80	7,372	2	NO
1	4000	32,057	32,057	32,057	80	0,801	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas untuk lantai 1 dan 8 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

b.Simpangan Antar Lantai Gempa *Time History* dengan Menggunakan Kombinasi Pembebanan

Arah X

Tabel 5 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Time History Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 15% arah X

Lantai	Tinggi Li (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	40,427	1,411	7,7605	80	0,194	2	OK
7	4000	39,016	2,835	15,5925	80	0,389	2	OK
6	4000	36,181	4,449	24,4695	80	0,611	2	OK
5	4000	31,732	5,933	32,6315	80	0,815	2	OK
4	4000	25,799	6,859	37,7245	80	0,943	2	OK
3	4000	18,94	7,334	40,337	80	1,008	2	OK
2	4000	11,606	7,257	39,9135	80	0,997	2	OK
1	4000	4,349	4,349	4,349	80	0,108	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas , nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 1-8 lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

Arah Y**Tabel 6 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Time History Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 15% arah Y**

Lantai	Tinggi Li (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	12,533	0,522	2,871	80	0,071	2	OK
7	4000	12,011	1,018	5,599	80	0,139	2	OK
6	4000	10,993	1,423	7,8265	80	0,195	2	OK
5	4000	9,57	1,656	9,108	80	0,227	2	OK
4	4000	7,914	1,998	10,989	80	0,274	2	OK
3	4000	5,916	2,284	12,562	80	0,314	2	OK
2	4000	3,632	2,268	12,474	80	0,311	2	OK
1	4000	1,364	1,364	7,502	80	0,187	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas , nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 1-8 lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

2. Struktur tidak beraturan dengan Sudut Dalam 80 %

a. Simpangan Antar Lantai Gempa Static Ekuivalen dengan Menggunakan Kombinasi Pembebanan

Arah X**Tabel 7 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 80% arah X**

Lantai	Tinggi Li (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	176,428	10,293	56,6115	80	1,415	2	OK
7	4000	166,135	15,305	84,1775	80	2,104	2	NO
6	4000	150,83	20,908	114,994	80	2,874	2	NO
5	4000	129,922	25,593	140,7615	80	3,519	2	NO
4	4000	104,329	28,945	159,1975	80	3,979	2	NO
3	4000	75,384	30,524	167,882	80	4,197	2	NO
2	4000	44,86	28,666	157,663	80	3,941	2	NO
1	4000	16,194	16,194	16,194	80	0,404	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas untuk lantai 1 dan 8 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

Arah Y**Tabel 8 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 80% arah Y**

Lantai	Tinggi Li (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	505,276	30,631	168,4705	80	4,211	2	NO
7	4000	474,645	44,646	245,553	80	6,138	2	NO
6	4000	429,999	60,362	331,991	80	8,299	2	NO
5	4000	369,637	73,48	404,14	80	10,103	2	NO
4	4000	296,157	82,766	455,213	80	11,380	2	NO
3	4000	213,391	86,899	477,9445	80	11,948	2	NO
2	4000	126,492	81,097	446,0335	80	11,150	2	NO
1	4000	45,395	45,395	45,395	80	1,134	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas, untuk lantai 1 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

b. Simpangan Antar Lantai Gempa Time History dengan Menggunakan Kombinasi Pembebanan

Arah X**Tabel 9 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Time History Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 80% arah X**

Lantai	Tinggi Li (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	44,238	1,466	8,063	80	0,201	2	OK
7	4000	42,772	2,645	14,5475	80	0,363	2	OK
6	4000	40,127	4,256	23,408	80	0,585	2	OK
5	4000	35,871	5,98	32,89	80	0,822	2	OK
4	4000	29,891	7,571	41,6405	80	1,041	2	OK
3	4000	22,32	8,649	47,5695	80	1,189	2	OK
2	4000	13,671	8,574	47,157	80	1,178	2	OK
1	4000	5,097	5,097	5,097	80	0,127	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel 4.21 diatas , nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 1-8 lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

Arah Y**Tabel 10 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Time History Pada Struktur Beraturan dengan Sudut Dalam 80% arah Y**

Lantai	Tinggi Li (mm)	Total Perpindahan Akibat gempa (mm)	Perpindahan (mm)	Simpangan Antar lantai (mm)	Simpangan antar lantai ijin (mm)	Rasio simpangan antar lantai (%)	Rasio Simpangan Antar Lantai ijin (%)	KET
8	4000	30,74	1,327	7,2985	80	0,182	2	OK
7	4000	29,413	2,194	12,067	80	0,301	2	OK
6	4000	27,219	3,392	18,656	80	0,466	2	OK
5	4000	23,827	4,494	24,717	80	0,617	2	OK
4	4000	19,333	5,272	28,996	80	0,724	2	OK
3	4000	14,061	5,657	31,1135	80	0,777	2	OK
2	4000	8,404	5,342	29,381	80	0,734	2	OK
1	4000	3,062	3,062	3,062	80	0,076	2	OK

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Berdasarkan tabel diatas , nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 1-8 lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin

E. Perpindahan**Tabel 11 Perbandingan Perpindahan (Displacement) Analisis Static Ekuivalen Dan Time History Pada Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 15% Arah X**

Lantai	Perpindahan	
	Statik Ekuivalen (mm)	Time History (mm)
8	95,685	40,427
7	91,463	39,016
6	83,822	36,181
5	72,807	31,732
4	59,028	25,799
3	43,208	18,94
2	26,233	11,606
1	9,818	4,349

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Tabel 12 Perbandingan Perindahan (Displacement) Analisis Static Ekuivalen Dan Time History Pada Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 15% Arah Y

Lantai	Perpindahan	
	Statik Ekuivalen (mm)	Time History (mm)
8	312,347	12,533
7	298,612	12,011
6	273,704	10,993
5	237,765	9,57
4	192,783	7,914
3	141,123	5,916
2	85,677	3,632
1	32,057	1,364

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Tabel 13 Perbandingan Perindahan (Displacement) Analisis Static Ekuivalen Dan Time History Pada Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 80% Arah X

Lantai	Perpindahan	
	Statik Ekuivalen (mm)	Time History (mm)
8	176,428	44,238
7	166,135	42,772
6	150,83	40,127
5	129,922	35,871
4	104,329	29,891
3	75,384	22,32
2	44,86	13,671
1	16,194	5,097

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

Tabel 14 Perbandingan Perindahan (Displacement) Analisis Static Ekuivalen Dan Time History Pada Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 80% Arah Y

Lantai	Perpindahan	
	Statik Ekuivalen (mm)	Time History (mm)
8	505,276	30,74
7	474,645	29,413
6	429,999	27,219
5	369,637	23,827
4	296,157	19,333
3	213,391	14,061
2	126,492	8,404
1	45,395	3,062

Sumber : hasil analisis dengan sap 2000 V.18

F. Momen Balok dan Kolom

1. Struktur beraturan dengan sudut dalam 15%

Tabel 15 Momen Yang Terjadi Pada Balok Dan Kolom Untuk Analisis Static Ekuivalen Dan Time History Pada Struktur Beraturan Dengan Sudut Dalam 15%

Lantai	Momen			
	Balok		Kolom	
	Statik Ekuivalen (kgfm)	Time History (kgfm)	Statik Ekuivalen (kgfm)	Time History (kgfm)
8	32502,75	3623,63	22578,07	9062,91
7	64477,18	7176,27	40884,28	18307,52
6	104020,95	13065,88	55298,3	25389,92
5	138976,64	17979,8	65757,1	29382,49
4	166169,48	21326,6	73005,57	33495,79
3	184655,73	24180,53	76412,36	34243,18
2	194878,07	24568,15	83680,5	37308,67
1	172800,95	21437,22	104871,48	46655,43

Sumber : hasil analisis dengan program sap2000 v.18

2. Struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 80%

Tabel 16 Momen Yang Terjadi Pada Balok Dan Kolom Untuk Analisis Static Ekuivalen Dan Time History Pada Struktur tidak Beraturan Dengan Sudut Dalam 80%

Lantai	Momen			
	Balok		Kolom	
	Statik Ekuivalen (kgfm)	Time History (kgfm)	Statik Ekuivalen (kgfm)	Time History (kgfm)
8	43710,14	4914,69	47389,43	10167,53
7	99401,1	10951,48	80110,27	20990
6	150307,45	16865,84	105233,42	28266,43
5	212309,07	21583,66	122,548,4	33400,39
4	263102,08	24940,53	133,505,8	37148,77
3	299438,37	28714,3	136437,54	40516,35
2	312465,55	31060,5	150696,11	44205,63
1	265014,04	26728,69	178821,81	57398,87

Sumber : hasil analisis dengan program sap2000 v.18

Dari 2 tabel diatas, momen pada balok dan kolom untuk analisis dengan metode statik ekuivalen menghasilkan nilai yang lebih besar daripada analisis dengan metode *time history*.

5. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Rasio simpangan antar lantai (*story drift ratio*) untuk struktur beraturan dengan sudut dalam 15% :
 - Dengan menggunakan metode statik ekuivalen terhadap arah X : pada lantai 1,5,6,7 dan 8 memiliki nilai rasio simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin yakni sebesar 0,245 %, 1,8946 %, 1,5145 %, 1,050 % dan 0,5805 % , sedangkan pada lantai 2,3 dan 4 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih besar daripada nilai simpangan antar lantai ijin yakni 2,257 %, 2,334 % dan 2,175 %. Simpangan lantai maksimum terjadi pada lantai 3 yakni sebesar 2,334 %

- Dengan menggunakan metode statik ekuivalen terhadap arah Y : pada lantai untuk lantai 2-7 memiliki nilai rasio simpangan antar lantai lebih besar daripada nilai simpangan antar lantai ijin yakni sebesar 7,372 %, 7,623 %, 7,103 %, 6,185 %, 4,941 % dan 3,424 %, sedangkan pada lantai 1 dan 8 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan antar lantai ijin yakni sebesar 0,801 % dan 1,888 %. Rasio simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 3 yakni sebesar 7,623 %
 - Dengan menggunakan Metode *time history* terhadap arah X dan Arah Y pada lantai 1-8 mempunyai nilai rasio simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai rasio simpangan antar lantai ijin. Rasio simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 3 untuk arah X dan Y, masing- masing sebesar : 1,008 % dan 0,314 %.
2. Rasio simpangan antar lantai (*drift ratio*) untuk struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 80% :
- Dengan menggunakan metode statik ekuivalen terhadap arah X : pada lantai 1 dan 8 memiliki nilai rasio simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai rasio simpangan antar lantai ijin yakni sebesar : 0,404 % dan 1,415 %. Sedangkan pada lantai 2-7 memiliki nilai rasio simpangan antar lantai lebih besar daripada rasio simpangan antar lantai ijin yakni sebesar : 3,941 %, 4,197 %, 3,979 %, 3,519 %, 2,874 % dan 2,104 %. Rasio simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 3 yakni sebesar 4,197 %.
 - Dengan menggunakan metode statik ekuivalen terhadap arah Y : pada lantai untuk lantai 1 memiliki nilai rasio simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai rasio simpangan antar lantai ijin yakni sebesar 1,134 % sedangkan pada lantai 2-8 memiliki nilai simpangan antar lantai lebih besar daripada simpangan antar lantai ijin 11,510 %, 11,948 %, 11,380 %, 10,103 %, 8,299 %, 6,138 % dan 4,211 %. Rasio simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 3 yakni sebesar 11,948 %.
 - Dengan menggunakan Metode *time history* terhadap arah arah X dan Arah Y pada lantai 1-8 mempunyai nilai simpangan antar lantai lebih kecil daripada nilai simpangan ijin. Rasio simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 3 untuk arah X dan Y, masing- masing sebesar : 1,189 % dan 0,777 %.
3. Perpindahan (*Displacement*) akibat gempa yang terjadi terhadap struktur beraturan dengan sudut dalam 15% :
- Dengan metode statik ekuivalen terhadap arah X dan Y menghasilkan nilai perpindahan maksimum terjadi pada pada lantai 8 yakni sebesar 95,685 mm dan 312,347 mm
 - Dengan metode *time history* terhadap arah X dan Y menghasilkan nilai perpindahan maksimum terjadi pada lantai 8 yakni sebesar 40,427 mm dan 12,533 mm.
4. Perpindahan (*Displacement*) akibat gempa yang terjadi terhadap struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 80% :
- Dengan metode statik ekuivalen terhadap arah X dan Y menghasilkan nilai perpindahan maksimum terjadi pada pada lantai 8 yakni sebesar 176,428 mm dan 505,276 mm
 - Dengan metode *time history* terhadap arah X dan Y menghasilkan nilai perpindahan maksimum terjadi pada lantai 3 yakni sebesar 43,238 mm dan 30,74 mm.
5. Momen balok dan kolom yang terjadi untuk struktur beraturan dengan sudut dalam 15% :
- Dengan metode statik ekuivalen menghasilkan nilai momen maksimum pada balok dan kolom yang terjadi sebesar 194.878,07 kgf dan 104.871,48 kgf
 - Dengan metode *time history* menghasilkan nilai momen maksimum pada balok dan kolom yang terjadi pada lantai 2 yakni sebesar 24.568,15 kgf dan 46.655,43 kgf.
6. Momen balok dan kolom yang terjadi untuk struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 80 % :
- Dengan metode statik ekuivalen menghasilkan nilai momen maksimum pada balok dan kolom yang terjadi sebesar 312.465,55 kgf dan 178.821,81 kgf
 - Dengan metode *time history* menghasilkan nilai momen maksimum pada balok dan kolom yang terjadi sebesar 31.060,5 kgf dan 57.398,87 kgf. Dengan demikian untuk perhitungan struktur dengan sudut dalam beraturan 15 % dan 80 % lebih akurat jika menggunakan metode analisis *time history* karena menghasilkan nilai rasio simpangan antar lantai, perpindahan dan momen balok dan

kolom yang lebih kecil daripada analisis statik ekuivalen.

<http://puskim.pu.go.id>
www.vibrationdata.com/ELC1

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam proses penulisan skripsi ini :

1. Didalam merencanakan struktur gedung bertingkat di wilayah rawan gempa, seperti di kota Ambon, haruslah direncanakan sesimetris dengan tidak menggunakan sudut dalam.
2. Untuk penelitian lebih lanjut dapat juga menggunakan sistem struktur tambahan dengan dinding geser, sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih teliti mengenai perbandingan respons struktur yang memiliki sudut dalam.
3. Untuk penelitian lebih lanjut dapat juga dipakai rekaman catatan gempa selain rekaman catatan gempa el-centro sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih teliti mengenai perbandingan respons struktur yang memiliki sudut dalam

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-03-1726-2012)**. Jakarta :BSN
- Bambang Budiono & Lucky Supriatna. 2011. **Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI- 03- 1726-2002 dan RSNI 03- 1726- 201x**. Bandung : ITB.
- Iman Satyarno, Purbolaras Nawangalam, R. indra Pratomo. 2012. **Belajar SAP2000 Analisis Gempa**. Yogyakarta : Zamil Publishing
- Pauly& Priestly. 1992. **Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building Publisherr-Wiley Interscience 1 Edition**. ISBN- 10 :0471549150 ISBN- 13 : 978-0471549154
- Restu Faizah & Widodo. 2013. **Analisis Gaya Gempa Rencana Pada Struktur Bertingkat Banyak dengan Metode Dinamik Respon Spektra**, disampaikan pada Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 ,24-26 Oktober 2013) di Surakarta
- Standar Konstruksi Bangunan Indonesia. 1987. **Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung**. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum
- Widodo. 1992. **Respon Dinamik Struktur Elastik**. Jogyaakarta.