

PEMODELAN DAN ANALISIS GEDUNG DENGAN METODE RESPONSE SPEKTRUM (STUDI KASUS: GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS MAHASARASWATI DENPASAR)

Pande Putu Lingga Aditya Prawira, I Made Sastra Wibawa, I Ketut Diartama Kubon Tubuh

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar

Email: pandelingga16@gmail.com

ABSTRAK: Indonesia merupakan daerah rawan gempa, gempa bumi yang terjadi di Indonesia banyak yang menimbulkan kerusakan struktur bangunan gedung di Indonesia. Aturan perencanaan untuk mendirikan bangunan adalah bangunan tersebut harus mampu menahan beban gempa yang ada. Karena pada dasarnya prinsip bangunan tahan gempa adalah boleh terjadi kerusakan pada bangunan tersebut, tetapi tidak pada elemen struktur. Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar yang berlokasi di Jalan Kamboja, Dangin Puri Kangin, Kec. Denpasar Utara, Kota Denpasar, Bali. Gedung ini memiliki ketinggian 20,40 meter dengan jumlah tingkat yaitu 4 lantai. Menurut peraturan SNI 1726:2012 fungsi Gedung ini ditunjukkan sebagai fasilitas Pendidikan dengan kategori resiko II. Perilaku struktur diamati dari hasil analisis elastik linier berupa perbandingan luas, simpangan tingkat dan gaya geser dasar. Hasil dari analisis respon spektrum yaitu perilaku struktur gedung. Luas tulangan yang didapat pada software SAP2000 lebih kecil dari luas tulangan yang di lapangan, hasil simpangan antar tingkat dan gaya geser dasar berdasarkan gaya gempa rencana dari analisis respon spektrum arah X dan arah Y memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2012 yaitu simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur gedung lebih kecil dari pada simpangan antar tingkat yang diizinkan. Adapun gaya geser yang terjadi pada struktur pada arah X sebesar 1373,10 kN dan pada arah Y sebesar 1375,86 kN.

Kata kunci: *Gempa, perilaku struktur, respon spektrum.*

ABSTRACT: *Indonesia is an earthquake-prone area, many earthquakes that occur in Indonesia cause damage to building structures in Indonesia. The planning rule for constructing a building is that the building must be able to withstand the existing earthquake loads. Because basically the principle of earthquake-resistant buildings is that damage may occur to the building, but not to the structural elements. This research takes a case study of the Rectorate Building of Mahasaraswati Denpasar University, which is located on Kamboja Street, Dangin Puri Kangin, North Denpasar, Denpasar City, Bali. This building has a height of 20.40 meters with a total of 4 floors. According to the regulation of SNI 1726:2012, the function of this building is designated as an educational facility with risk category II. Structural behavior was observed from the results of linear elastic analysis in the form of area ratios, level deviations and basic shear forces. The result of the spectrum response analysis is the behavior of the building structure. The area of reinforcement obtained in SAP2000 software is smaller than the area of reinforcement in the field, the results of the deviation between levels and the basic shear force based on the design earthquake force from the analysis of the response spectrum in the X direction and the Y direction meet the requirements in SNI 1726:2012, namely the deviation between levels that occurs in the building structure is smaller than the allowable deviation between levels. The shear force that occurs in the structure in the X direction is 1373,10 kN and in the Y direction is 1375,86 kN.*

Keywords: *Earthquake, structural behavior, spectrum response.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang berada diantara pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Hindia Australia. Pertemuan ketiga lempeng utama ini membuat Indonesia menjadi negara dengan tingkat resiko terjadinya gempa bumi sangatlah besar. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia banyak yang menimbulkan kerusakan struktur bangunan gedung di Indonesia. Dengan merencanakan suatu struktur dengan beban gempa, banyak aspek yang mempengaruhinya diantaranya adalah periode bangunan. Periode bangunan itu

sangat dipengaruhi oleh massa struktur serta kekakuan struktur tersebut. Kekakuan struktur sendiri dipengaruhi oleh kondisi struktur, bahan yang digunakan serta dimensi struktur yang digunakan. Dari hal itu dapat diketahui apakah bangunan tersebut masih layak digunakan dan mampu menahan gaya gempa yang mungkin akan terjadi. Dalam mengetahui perilaku struktur terhadap beban yang bekerja dilakukan dengan analisis respon spektrum.

Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung Beton Bertulang Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar. Gedung ini merupakan gedung baru yang dibangun pada

tahun 2020. Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar terletak di Bali tepatnya di daerah Kota Denpasar yang merupakan daerah rawan gempa. Tinggi bangunan 20,40 meter dengan jumlah tingkat yaitu 4 lantai. Gedung ini menarik untuk dianalisis kinerjanya menggunakan analisis *static pushover* karena fungsi gedung ditujukan sebagai fasilitas perkantoran dengan kategori resiko II menurut SNI Gempa (SNI 1726:2012).

PRINSIP PERENCANAAN ELEMEN STRUKTUR TAHAN GEMPA

Untuk mengurangi kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan yang diakibatkan oleh gempa, prinsip-prinsip dasar dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan harus diperhatikan. Menurut Hoedajanto dan Imran (2002), prinsip-prinsip tersebut antara lain: halaman genap dan gasal, sehingga penulis tidak perlu mengganti format yang telah ada.

- a. Sistem struktur harus disesuaikan dengan tingkat resiko daerah dimana struktur tersebut dibangun.
- b. Sistem struktur harus bersifat kontinu dan utuh. Unsur-unsur bangunan termasuk penulangan harus efektif untuk meningkatkan integritas struktur. Perubahan kekakuan yang terlalu signifikan sebaiknya dihindari.
- c. Asumsi sistem struktur dalam perencanaan desain tidak berubah-ubah.
- d. Material yang digunakan seperti beton dan baja harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk bangunan tahan gempa.
- e. Bagian arsitektural yang mempunyai massa yang masif harus menyatu dengan kuat pada sistem portal utama dan direncanakan pengaruhnya terhadap sistem struktur. Semakin besar massa bangunan, semakin besar pula beban inersia yang timbul akibat gempa. Oleh karena itu, penggunaan unsur arsitektural yang berat dihindari.
- f. Sistem quality control dan quality assurance dalam metode pelaksanaan harus dilakukan dengan tepat sesuai dengan peraturan yang berlaku seperti SNI 1726:2012 untuk perhitungan gempa dan SNI 2847:2019 untuk persyaratan detailing struktur beton bertulang.

SISTEM STRUKTUR BETON BERTULANG PEMIKUL MOMEN GEMPA

Berdasarkan SNI 1726:2012, sistem struktur dasar penahan gempa dapat dikategorikan menjadi:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan suatu sistem rangka tiga dimensi yang terdiri dari elemen struktur berupa balok, kolom dan join. Elemen struktur tersebut menahan gaya yang bekerja melalui gaya dalam yaitu momen, geser dan aksial.
2. Sistem Dinding Struktural (SDS) merupakan dinding yang diperuntukkan untuk menahan gaya geser, momen dan gaya aksial akibat dari gaya gempa. Dinding struktural dikategorikan menjadi dua yaitu Sistem Dinding Struktural Beton Biasa (SDSB) dan Sistem Dinding Struktural Beton Khusus (SDSK).

KETENTUAN UMUM BANGUNAN GEDUNG DALAM PENGARUH GEMPA

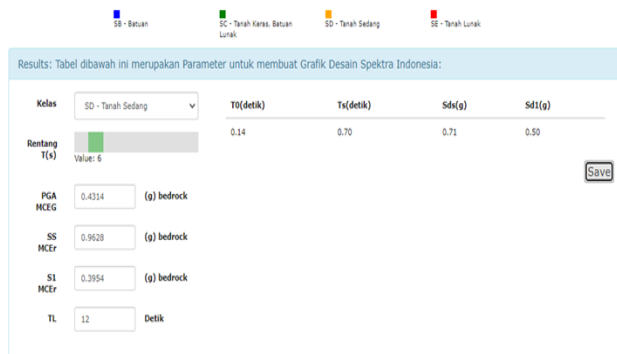
1. Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Gempa rencana adalah gempa yang mempunyai peluang terjadi keruntuhan 2% ($R_n = 2\%$ dari periode umur rencana bangunan 50 tahun sekali. Pengaruh beban gempa rencana ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa yang berperilaku dinamik dan perencanaannya menggunakan analisis gaya gempa lateral ekuivalen yang mengacu pada SNI 1726:2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa

untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 4.1.2, kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e).

2. Klasifikasi Situs dan Faktor Amplifikasi

Klasifikasi kelas situs ditentukan berdasarkan beberapa parameter yaitu, nilai uji penetrasi standar (\bar{N}), kecepatan rambat gelombang geser (v_s) atau kuat geser niralir (S_u), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3, SNI 1726:2012. Adapun nilai S_s dan S_1 didapat dari peta wilayah pada desain spektra Indonesia, seperti pada gambar 1



Gambar 1. Parameter Grafik Desain Respon Spektra
(Sumber: Cipta Karya, 2021)

Untuk nilai F_a dan F_v ditentukan berdasarkan S_s dan S_1 yang dapat dilihat pada tabel 4 dan table 5 SNI 1726:2012

3. Spectrum Respon Desain

Kategori Desain Seismik merupakan klasifikasi yang diberikan untuk struktur berdasarkan seismik dan keparahan dari gerakan desain gempa tanah di situs. Kategori desain seismik dimaksudkan untuk memastikan pendetailan struktur yang memenuhi persyaratan sesuai dengan intensitas gempa yang diperkirakan.

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan parameter percepatan spektral desain periode 1 detik (S_{D1}), harus ditentukan melalui perumusan berikut

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \dots\dots\dots (1)$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

S_{M1} = parameter spektrum respons percepatan periode 1 detik.

$$= F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (3)$$

S_{MS} = parameter spektrum respons percepatan periode pendek

$$= F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (4)$$

F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

4. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} , maka kategori desain seismik bangunan dapat ditentukan sesuai table 6 dan table 7 pada SNI 1726:2012.

5. Sistem Struktur Beton Bertulang Pemikul Momen Gempa

Sistem pemikul gaya horizontal dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam table 9 SNI 1726:2012. Berdasarkan tabel tersebut sistem penahan gaya seismik yang memenuhi batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur untuk kategori desain seismik D yaitu rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Pada sistem penahan gaya seismik lainnya untuk kategori desain seismik D tidak diijinkan (TI).

6. Faktor Redundansi

Faktor redundansi untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E dan F diambil nilai sebesar 1,3

7. Kombinasi Beban

Pembebanan mengikuti kombinasi beban sesuai dengan SNI 1726:2012 sebagai berikut:

- a) 1,4D
- b) 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)
- c) 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (L atau 0,5W)
- d) 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr atau R)
- e) 1,2D + 1,0E + L
- f) 0,9D + 1,0W
- g) 0,9D + 1,0E

Dimana:

- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- Lr = Beban Hidup Atap
- R = Beban Air Hujan
- W = Beban Angin
- E = Beban Gempa

8. Analisis Spektrum Respon Ragam

Bila periode fundamental yang dihitung melebihi $C_u T_a$, maka $C_u T_a$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan

$$0,85 \frac{V}{V_t} \dots\dots\dots (5)$$

Jika respons terkomposisi untuk geser dasar ragam (V_t) kurang dari 85% dari $C_s W$, simpangan antar lantai harus dikalikan dengan:

$$0,85 \frac{C_s W}{V_t} \dots\dots\dots (6)$$

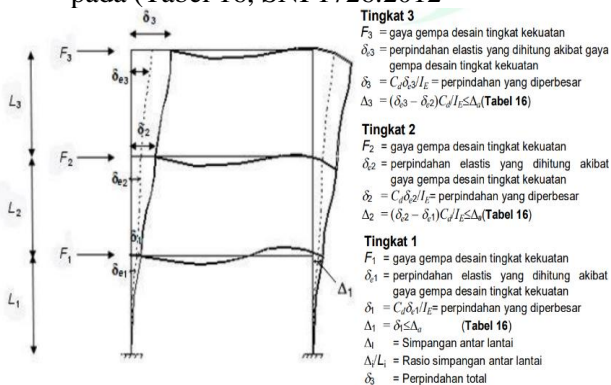
9. Penentuan Simpangan Antar Lantai

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

- C_d = faktor amplifikasi defleksi
- δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis
- I_e = faktor keutamaan gempa
- Δ_a = simpangan antarlantai izin merujuk pada (Tabel 16, SNI 1726:2012



Gambar 2. Penentuan Simpangan Antar Lantai (Sumber: Badan Standar Nasional, 2012)

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan analisis respon spektrum. Adapun dalam analisis ini dibantu dengan software SAP2000..

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer (dimensi struktur gedung) dan data sekunder (*shop drawing* dan spesifikasi teknis). Langkah awal dari analisis ini yaitu membuat pemodelan struktur 3D pada software SAP2000 sesuai dengan geometri dan dimensi struktur pada *shop drawing*, adapun data geometri dan dimensi struktur yaitu sebagai berikut:

- a. Panjang bangunan : 42 meter
- b. Lebar bangunan : 18,5 meter
- c. Tinggi bangunan : 20,40 meter
- d. Jumlah lantai : 5 lantai
- e. Dimensi struktur :

Tabel 1 Elemen struktur yang digunakan

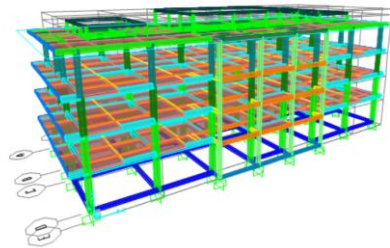
Kolom (cm)	Balok (cm)	Pelat (cm)
C1(50×50)	B1(30×50)	Pelat lt 2 (t=13)
C2(Ø50)	B2(25×40)	Pelat lt 3 (t=13)
C3(35×35)	B3(20×35)	Pelat lt 4 (t=13)
C4(45×45)	B4(15×30)	Pelat atap(t=12)

C5(40×40)	B5(30×60)
C6(20×20)	B6(30×45)
	B7(25×40)
	B8(20×35)
	R1(20×25)

Adapun data material yang diinput pada program SAP2000 yaitu sesuai dengan data berikut:

- a. Mutu beton :
 - Mutu Beton struktur f_c' = 25 MPa
 - Berat / volume = 2400 kg/m³
 - Angka poisson = 0,2
 - Modulus elastisitas = 4700*($f_c'^{0,5}$)=4700*(25^{0,5}) = 23500
- b. Mutu baja :
 - BjTS 40 ($f_y = 400$ MPa dan $f_u = 500$ MPa) untuk besi ulir
 - BJTP 32 ($f_y = 320$ MPa dan $f_u = 400$ MPa) untuk besi polos

Setelah pemodelan struktur 3D selesai dibuat sesuai dengan data-data yang ada.



Gambar 3. Pemodelan gedung pada SAP2000

langkah selanjutnya yaitu memasukan beban pada struktur gedung, adapun beban yang diinput yaitu, beban mati, beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa.

- a. Beban mati yaitu berat sendiri gedung dihitung secara otomatis pada software SAP2000 , yaitu dengan cara *input 1* pada *Self Weight Multiplier* beban mati (*dead load*) di *Define Load Pattern*.
- b. Beban mati tambahan diambil berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPUG) 1987.
 - 1). Berat pasangan bata ringan = 600 kg/m³
 - 2). Berat spesi (0.04 × 2100 Kg/m³) = 84 kg/m²
 - 3). Berat tegel (0.01 × 2400 Kg/m³) = 24 kg/m²
 - 4). Berat plafond = 11 kg/m²
 - 5). Berat penggantung = 7 kg/m²
 - 6). Instalasi MEP (*Mechanical & Electrical*) = 40 kg/m²

- 7). Beban genteng, reng dan usuk = 50 kg/m²
- 8). Berat kaca tempered 12 mm = 111,41 kg/m
- c. Beban hidup besarnya diambil berdasarkan Tabel 4-1 SNI 1727:2013 beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain
- 1). Beban hidup pada lantai atap = 0,96 kN/m²
 - 2). Beban hidup pada ruang kantor = 2,40 kN/m²
 - 3). Beban hidup pada ruang pertemuan = 4,79 kN/m²
 - 4). Beban hidup pada koridor lantai 1 = 4,79 kN/m²
 - 5). Beban hidup pada koridor diatas lantai 1 = 3,83 kN/m²

Untuk pembebanan lateral struktur (*auto lateral load pattern*) terdiri dari beban gempa arah x (Qx) dan beban gempa arah y (Qy). Pada perhitungan pembebanan gempa terdiri dari berbagai metode dan dalam perencanaan kali ini dipakai metode *Autoload* dengan bangunan di daerah Denpasar Timur dengan Site Class = D (Tanah Sedang), S_s = 0,977, dan S₁ = 0,358.

Setelah semua beban diinput, selanjutnya dilakukan *run* analisis untuk menampilkan hasil perilaku struktur dari analisis gaya lateral ekuivalen yang berupa luas tulangan, simpangan antar lantai, dan gaya geser dasar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Tulangan

Dari analisis yang dilakukan pada *software* SAP2000 didapatkan luas tulangan pada *frame* berupa luas tulangan tumpuan dan luas tulangan lapangan. Dari luas tulangan yang didapatkan pada *software* akan dibandingkan dengan luas tulangan yang terpasang, dimana luas tulangan terpasang harus lebih besar dari luas tulangan yang didapatkan dari *software*.

Tabel 2. Perbandingan luas tulangan pada SAP2000 dengan yang di lapangan

Elemen Struktur (cm)	SAP 2000 mm ²	Lapangan mm ²	Letak Luas Tulangan	KET
C1(50x50)	2500	3401		OK
C2 (Ø50)	1963	2268		OK
C3 (35x35)	1225	1608		OK
C4(45x45)	2025	3401		OK

C5 (40x40)	2025	2412		OK
C6 (20x20)	1608	531		OK
B1 (30x50)	798 598	1407 804	Atas Bawah	OK OK
B2 (25x40)	293 239	531 266	Atas Bawah	OK OK
B3 (20x35)	798 372	1005 402	Atas Bawah	OK OK
B4 (15x300)	468 134	531 266	Atas Bawah	OK OK
B5 (30x60)	498 332	1407 804	Atas Bawah	OK OK
B6 (30x45)	368 487	1005 603	Atas Bawah	OK OK
B7 (25x40)	297 215	398 266	Atas Bawah	OK OK
B8 (20x35)	159 40	398 266	Atas Bawah	OK OK
R1 (20x25)	266 135	266 266	Atas Bawah	OK OK

Dari perbandingan tersebut semua luas tulangan elemen struktur yang terpasang lebih besar dari luas tulangan pada *software* SAP2000.

Simpangan Antar Lantai

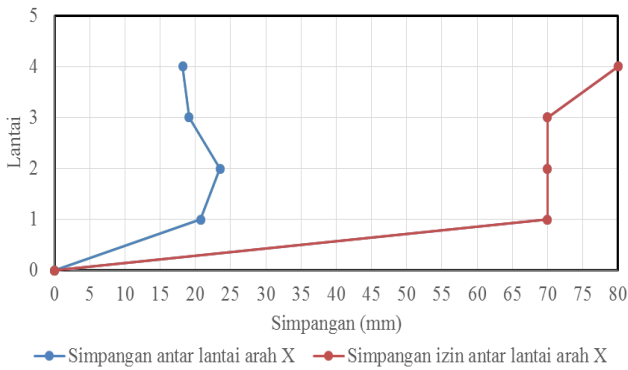
Simpangan yang terjadi pada arah X dan Y disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Dapat dilihat bahwa simpangan yang terjadi akibat beban gempa arah X dan Y memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2012 yaitu simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur gedung lebih kecil dari pada simpangan antar lantai yang diijinkan. Berikut adalah hasil dari simpangan yang sudah dihitung:

Tabel 3. Simpangan Maksimum Arah X dan Y

Lantai	δ _e	
	Arah X	Arah Y
4	14.84	14.79
3	11.53	11.19
2	8.05	7.72
1	3.78	3.62

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Arah X

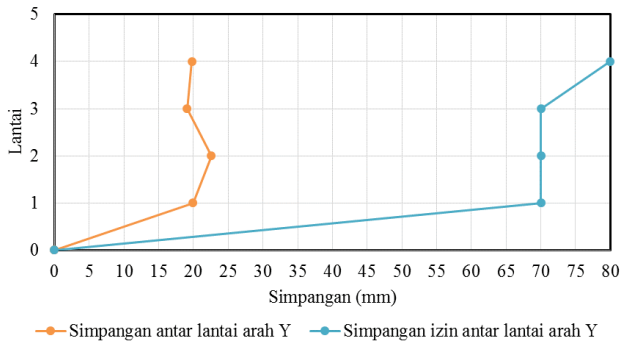
Lantai	H	δ_{xe}	Cd	Ie	$\frac{\delta_e}{\delta_{xe} \cdot Cd/Ie}$	Δ	$\frac{\Delta a}{(0.020 \cdot H_{sx})}$
	mm	mm			mm	mm	mm
4	4000	14.84	5.50	1.00	81.59	18	80
3	3500	11.53	5.50	1.00	63.41	19	70
2	3500	8.05	5.50	1.00	44.30	24	70
1	3500	3.78	5.50	1.00	20.77	21	70



Gambar 4. Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X

Tabel 5. Simpangan Antar Tingkat Arah Y

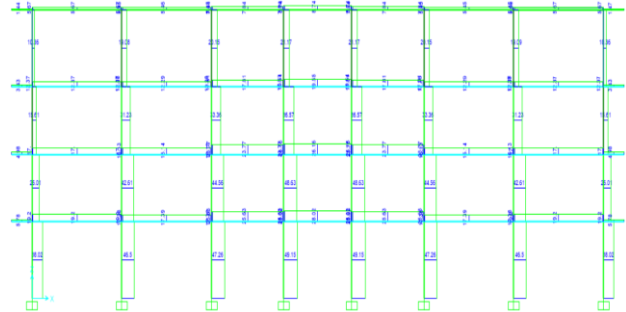
Lantai	H	δ_{ye}	Cd	Ie	$\frac{\delta_e}{\delta_{ye} \cdot Cd/Ie}$	Δ	$\frac{\Delta a}{(0.020 \cdot H_{sy})}$
	mm	mm			mm	mm	mm
4	4000	14.79	5.50	1.00	81.32	20	80
3	3500	11.19	5.50	1.00	61.54	19	70
2	3500	7.72	5.50	1.00	42.48	23	70
1	3500	3.62	5.50	1.00	19.92	20	70



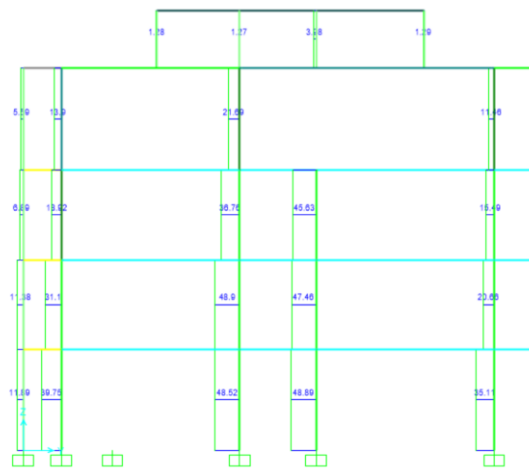
Gambar 5. Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y

Berdasarkan tabel dan grafik simpangan yang terjadi lebih kecil dari simpangan ijin yang disyaratkan sehingga dapat dikatakan memenuhi.

Gaya Geser Dasar



Gambar 6. Gaya Geser Gempa Arah X



Gambar 7. Gaya Geser Gempa Arah Y

Hasil dari perhitungan gaya geser yang dihitung oleh program masih dalam bentuk gaya geser yang bekerja pada setiap kolomnya dan harus dijumlahkan pada tiap tingkat menurut gempa arah X dan arah Y. Dari hasil perhitungan didapatkan gaya geser dasar (V) sebesar 1373,1 kN pada arah X dan gaya geser dasar (V) sebesar 1375,86 kN pada arah Y.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis respon spektrum pada Gedung Universitas Mahasaraswati Denpasar didapatkan perilaku struktur gedung yang meliputi luas tulangan, simpangan antar lantai dan gaya geser dasar. Hasil luas tulangan yang didapat pada software SAP2000 lebih kecil dari luas tulangan yang terpasang, simpangan antar lantai pada arah X dan Arah Y memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2012 yaitu simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur gedung lebih kecil dari pada simpangan

antar tingkat yang diizinkan. Adapun gaya geser yang terjadi pada struktur pada arah X sebesar 1373,10 kN dan pada arah Y sebesar 1375,86 kN.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *SNI-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *SNI 1727-2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Hoedjanto, D. & Imran, I., 2002. The Practice of Concrete Engineering in Indonesia. *Proceedings on Asian Concrete Forum Symposium*, pp. 107-113.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah Dan Gedung (PPPURG 1987)*. Jakarta: Yayasan Badan Pekerjaan Umum.