

## PEMODELAN STRUKTUR GEDUNG B SMP NEGERI 14 DENPASAR AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN METODE GAYA LATERAL EKIVALEN

I Wayan Sukharatta, I Wayan Giatmajaya, I Ketut Diartama Kubon Tubuh

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar

Email: iwayansukharatta1011@gmail.com

**ABSTRAK:** 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 di gedung B SMP Negeri 14 Denpasar yang berlokasi di Jalan W.R. Supratman, Denpasar Timur, Bali. Tinggi bangunan 16,11 meter dengan jumlah tingkat yaitu 3 lantai. Fungsi gedung ditujukan sebagai fasilitas pendidikan sehingga berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 masuk dalam kategori risiko IV. Perilaku struktur diamati dari hasil analisis gaya lateral ekuivalen berupa perbandingan luas, simpangan tingkat dan gaya geser dasar. Hasil dari analisis gaya lateral ekuivalen yaitu perilaku struktur gedung. Luas tulangan yang didapat pada software SAP2000 lebih kecil dari luas tulangan yang di lapangan, simpangan antar lantai pada arah X dan arah Y memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2012 yaitu simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur gedung lebih kecil dari pada simpangan antar lantai yang diizinkan. Adapun gaya geser yang terjadi pada struktur pada arah X sebesar 1855,54 kN dan pada arah Y sebesar 1855,54 kN.

**Kata kunci:** Gempa, perilaku struktur, gaya lateral ekuivalen.

**ABSTRACT:** 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 structural elements. This research takes a case study in building B of SMP Negeri 14 Denpasar, which is located on Jalan W.R. Supratman, East Denpasar, Bali. The height of the building is 16,11 meters with the number of floors, namely 3 floors. The function of the building is intended as an educational facility so that based on the regulations of SNI 1726:2012 it is included in the risk category IV. Structural behavior was observed from the analysis of equivalent lateral forces in the form of a ratio of area, level displacement and basic shear force. The result of the equivalent lateral force analysis is the behavior of the building structure. The area of reinforcement obtained in the SAP2000 software is smaller than the area of reinforcement in the field, the displacement between floors in the X direction and the Y direction meets the requirements of SNI 1726:2012, namely the displacement between floors that occurs in the building structure is smaller than the allowed displacement between floors. The shear force that occurs in the structure in the X direction is 1855,54 kN and in the Y direction is 1855,54 kN.

**Keywords:** Earthquake, structural behavior, equivalent lateral force.

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang wilayahnya memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa, hal ini dikarenakan Indonesia terletak di antara tiga pertemuan lempeng besar. Pada saat terjadi gempa, permukaan bumi akan mengalami getaran atau guncangan akibat pelepasan energi dari bawah permukaan secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik (BPBD, 2018). 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. Untuk itu diperlukan assessment terhadap suatu bangunan konstruksi yang telah ada, agar dapat dievaluasi kerentanannya. 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 gaya lateral ekuivalen.

Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung B SMP Negeri 14 Denpasar, Bali. Gedung ini merupakan fasilitas pendidikan, adapun menurut SNI 1726:2012 fasilitas pendidikan masuk kedalam kategori risiko IV yang berarti gedung ini memiliki risiko yang tinggi terhadap jiwa manusia ketika struktur mengalami kegagalan saat terjadinya gempa. Oleh karena itu gedung ini perlu dianalisis perilakunya untuk mendapatkan informasi ketahanan gedung ini terhadap beban gempa.

**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.

- Sistem struktur harus disesuaikan dengan tingkat resiko daerah dimana struktur tersebut dibangun.
- 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.
- Asumsi sistem struktur dalam perencanaan desain tidak berubah-ubah.
- Material yang digunakan seperti beton dan baja harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk bangunan tahan gempa.
- 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.
- 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.

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

Gempa rencana adalah gempa yang mempunyai peluang terjadi keruntuhan 2% (Rn= 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 (Ie).

**2. Klasifikasi Situs dan Faktor Amplifikasi**

Klasifikasi kelas situs ditentukan berdasarkan beberapa parameter yaitu, nilai uji penetrasi standar (N), kecepatan rambat gelombang geser (vs) atau kuat geser niralir (Su), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3, SNI 1726:2012. Adapun nilai Ss dan S1 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 Fa dan Fv ditentukan berdasarkan Ss dan S1 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 perioda pendek (SDS) dan parameter percepatan spektral desain perioda 1 detik (SD1), harus ditentukan melalui perumusan berikut

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

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

Dimana :

S<sub>M1</sub> = parameter spektrum respons percepatan perioda 1 detik.

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

S<sub>MS</sub> = parameter spektrum respons percepatan perioda pendek

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

F<sub>a</sub> = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek

F<sub>v</sub> = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik.

S<sub>DS</sub> = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

S<sub>D1</sub> = 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:

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

Analisis gaya lateral ekuivalen merupakan perhitungan yang disederhanakan dari beban gempa sebenarnya, penyederhanaan menjadi gaya horizontal diakibatkan dari gaya inersia yang bekerja di suatu massa akibat gempa. Pembebanan gempa yang sebenarnya bersumber dari gerakan tanah di dasar, yang kemudian menjaral pada elemen bangunan. (Rifandi, 2020)

Adapun prosedur gaya lateral ekuivalen:

##### a. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik berdasarkan SNI 1726:2012 ditentukan sebagai berikut:

$$V = C_s W_t \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03 1726:2010 pasal 7.8.1.1

$W_t$  = berat seismik efektif

##### b. Periode Alami Fundamental

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari table 14 SNI 1726:2012 dan periode fundamental ( $T_a$ ) pendekatan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

- $h_n$  = ketinggian struktur (m)
- $T_a$  = nilai batas bawah periode struktur
- $C_t$  = Koefisien periode
- x = Jumlah efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau

##### c. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral pertingkat ditentukan dengan persamaan:

$$F_x = C_{vx} V \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

- $C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal
- V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (W) (kN)

##### d. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \dots \dots \dots (8)$$

Dimana:

- $F_i$  = bagian dari geser seismik gaya dasar yang timbul di tingkat i (kN)

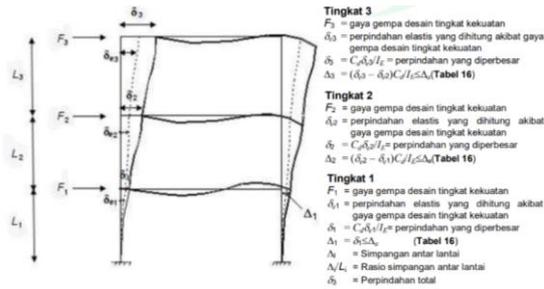
##### 9. Penentuan Simpangan Antar Lantai

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

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

- $C_d$  = faktor amplifikasi defleksi
- $\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis
- $I_e$  = faktor keutamaan gempa
- $\Delta a$  = 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 gaya lateral ekuivalen. Adapun dalam analisis ini dibantu dengan software SAP2000..

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

- a. Panjang bangunan : 31,5 meter
- b. Lebar bangunan : 12,675 meter
- c. Tinggi bangunan : 16,11 meter
- d. Jumlah lantai : 3 lantai
- e. Dimensi struktur :

Tabel 1 Elemen struktur yang digunakan

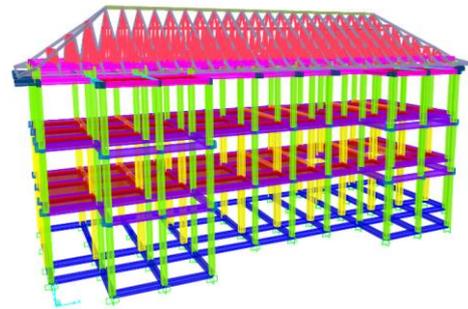
Kolom (cm)	Balok (cm)	Pelat (cm)	Baja Ringan (cm)
K1 (40x40)	B1 (30x60)	Pelat lt (t=12)	C 7,5x3,5x0,075
K2 (30x30)	B2 (25x40)	Pelat kl (t=10)	
	BK1 (25x40)		
	BK2 (20x30)		
	RB1 (20x30)		
	RB2 (20x30)		

(Sumber : Gambar kerja kegiatan, 2020)

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

- a. Mutu beton :  $f'_c = 21,7$  Mpa
- b. Mutu baja :
  - BJTP 32 untuk  $\varnothing < 12$ mm
  - BJTP 40 untuk  $\varnothing > 12$ mm

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.

- 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 (*super dead load*) yaitu beban tambahan yang bukan termasuk elemen struktur, seperti *finishing* lantai, dinding, partisi, dan lain - lainnya, dihitung berdasarkan berat satuan (*specific gravity*) sesuai dengan peraturan pembebanan PPPURG 1987.
  - 1). Berat pasangan bata merah = 250 kg/m<sup>2</sup>
  - 2). Berat spesi (0.04 × 2100 Kg/m<sup>3</sup>) = 84 kg/m<sup>2</sup>
  - 3). Berat tegel (0.01 × 2400 Kg/m<sup>3</sup>) = 24 kg/m<sup>2</sup>
  - 4). Berat plafond = 11 kg/m<sup>2</sup>
  - 5). Berat penggantung = 7 kg/m<sup>2</sup>
  - 6). Instalasi MEP = 40 kg/m<sup>2</sup>
  - 7). Beban genteng, reng dan usuk = 50 kg/m<sup>2</sup>
- c. Beban hidup yaitu beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, beban hidup yang diinput sesuai dengan peaturan pembebanan SNI 1727:2013
  - 1) Ruang kelas = 1,92 kN/m<sup>2</sup>
  - 2) Koridor diatas lantai pertama = 3,83 kN/m<sup>2</sup>
  - 3) Beban air hujan = 20 kg/m<sup>2</sup>
- d. Beban angin 40 kg/m<sup>2</sup> berdasarkan PPPURG 1987
  - 1) Angin tekan untuk  $\alpha < 60^\circ = (0,02 \alpha - 0,4)$   
 Koefisien pada angin tekan ( $\alpha = 37^\circ$ )  
 $= 0,002 \times 37 - 0,4$   
 $= 0,34$
  - 2) Angin hisap untuk semua  $\alpha = -0,4$   
 Koefisien pada angin hisap = -0,4



e. Beban gempa atau pembebanan lateral struktur (*auto lateral load pattern*) terdiri dari beban gempa arah x ( $Q_x$ ) dan beban gempa arah y ( $Q_y$ ). 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),  $S_s = 0,9628$  g, dan  $S_1 = 0,3954$  g

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* SAP2000.

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

Elemen Struktur (cm)	SAP2000 Terpasang		Letak Luas Tulangan	KET
	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>		
K1 40x40	1600	3215.36		OK
K2 30x30	900	2411.52		OK
B1 30x60	504	803.84	Atas	OK
	511	803.84	Bawah	OK
B2 25x40	311	803.84	Atas	OK
	271	803.84	Bawah	OK
BK1 25x40	18	602.88	Atas	OK
	9	602.88	Bawah	OK
BK2 20x30	85	398.00	Atas	OK
	42	398.00	Bawah	OK
RB1 20x30	105	398.00	Atas	OK
	77	398.00	Bawah	OK
RB2 20x30	100	398.00	Atas	OK
	56	398.00	Bawah	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

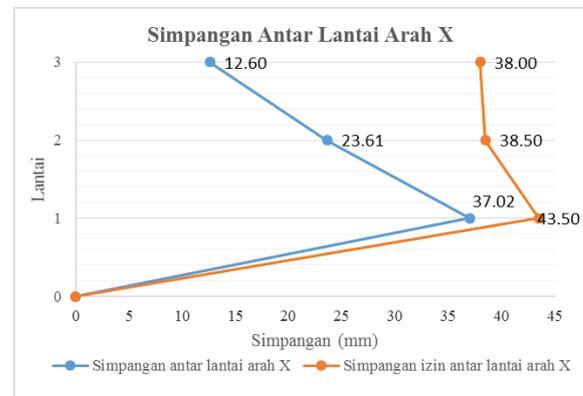
gempa arah X dan Y memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2012 yaitu simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur gedung lebih kecil dari pada simpangan antar lantai yang diijinkan. Berikut adalah hasil dari simpangan yang sudah dihitung:

Tabel 3. Simpangan Maksimum Arah X dan Y

Lantai	$\Delta e$	
	Arah X	Arah Y
3	19,97	20,57
2	16,53	16,81
1	10,10	10,22
0	0	0

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Arah X

Lantai i	h	$\delta e$	$C_d$	$I_e$	$\delta$	$\Delta$	$\Delta a$
					$\frac{\delta e \cdot C_d}{I_e}$		(0.010 $\cdot h_{sx}$ )
		mm	mm		mm	mm	mm
3	380	19.9	5.	1.	73.2	12.6	
	0	7	5	5	2	0	38.00
2	385	16.5	5.	1.	60.6	23.6	
	0	3	5	5	2	1	38.50
1	435	10.1	5.	1.	37.0	37.0	
	0	0	5	5	2	2	43.50

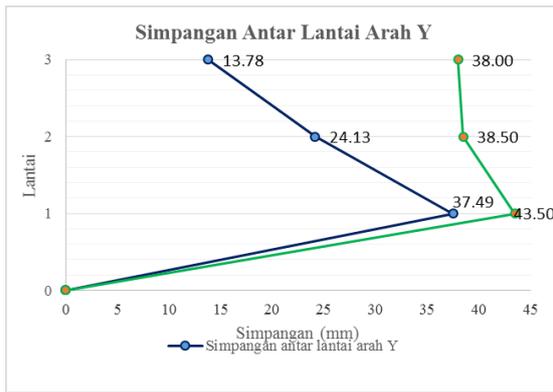


Gambar 4. Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X

Tabel 5. Simpangan Antar Tingkat Arah Y

Lantai i	h	$\delta y_e$	$C_d$	$I_e$	$\delta$	$\Delta$	$\Delta a$
					$\frac{\delta e \cdot C_d}{I_e}$		(0.010 $\cdot h_{sx}$ )
		mm	mm		mm	mm	mm
3	380	20.5	5.	1.	75.4	13.7	
	0	7	5	5	1	8	38.00
2	385	16.8	5.	1.	61.6	24.1	
	0	1	5	5	2	3	38.50
1	435	10.2	5.	1.	37.4	37.4	
	0	2	5	5	9	9	43.50

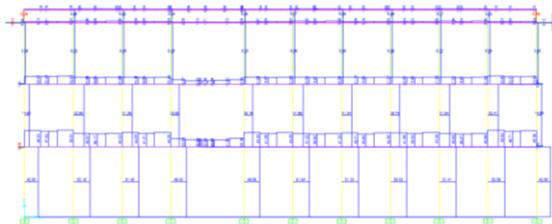




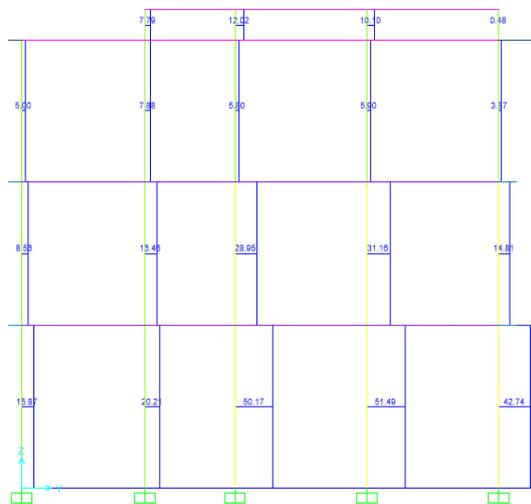
Gambar 5. Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y

Berdasarkan table 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 1855,54 kN pada arah X dan gaya geser dasar ( $V$ ) sebesar 1855,57 kN pada arah Y.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis gaya lateral ekuivalen pada Gedung B SMP Negeri 14 Denpasar, didapatkan Hasil dari analisis gaya lateral ekuivalen yaitu 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 lantai yang terjadi pada struktur gedung lebih kecil dari pada simpangan antar lantai yang diizinkan. Dan adapun gaya geser yang terjadi pada struktur pada arah X sebesar 1855,54 kN dan pada arah Y sebesar 1855,57 kN.

Dari analisis terhadap variabel terikat, pemodelan struktur yang dilakukan aman dalam menahan simpangan berlebihan yang dapat menimbulkan kerusakan struktur bangunan.

### 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.
- BPBD. 2018. Pengertian Gempa Bumi, Jenis-Jenis, Penyebab, Akibat, dan Cara Menghadapi Gempa Bumi <http://bpb.d.bandaacehkota.go.id/2018/08/05/pengertian-gempa-bumi-jenis-jenis-penyebab-akibat-dan-cara-menghadapi-gempa-bumi/>, diakses pada 15 Februari 2021.
- 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.
- PUSKIM. 2021. Desain Spektra Indonesia, <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, diakses pada 14 Juli 2021.

Rifandi, I. & Walujodjati, E., 2020. Analisis Beban Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung IPAL. *Jurnal Konstruksi*, Volume 18 No. 2.