

PEMODELAN DAN ANALISIS STRUKTUR GEDUNG A FAKULTAS EKONOMI UNIVERSITAS UDAYANA YANG DIBEKANI GEMPA BERDASARKAN METODE RESPON SPEKTRUM

I Putu Jaya Kusuma, I Gede Gegiranang Wiryadi, I Ketut Diartama Kubon Tubuh

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar

Email: putukusuma18@gmail.com

ABSTRAK: Paper ini menyajikan perilaku struktur bangunan gedung bertingkat rendah yang direncanakan berdiri pada wilayah gempa tinggi yang berfungsi sebagai bangunan pendidikan. Gedung A Fakultas Ekonomi Universitas Udayana yang terletak di Denpasar memiliki empat lantai yang berfungsi sebagai fasilitas Pendidikan. Berdasarkan data kegempaan Gedung tersebut masuk dalam kategori resiko IV. Sistem struktur gedung yang digunakan yaitu SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi. Analisis gempa menggunakan metode *respons spektrum* dan meninjau perilaku struktur untuk mendapatkan informasi ketahanan gedung ini terhadap beban gempa. Hasil analisis yang ditinjau adalah simpangan dan gaya geser akibat beban gempa. Simpangan antar tingkat yang didapat dengan metode *Respon Spektrum* arah X antara lain lantai 1 = 10,12 mm, lantai 2 = 13,79 mm, lantai 3 = 10,45 mm, lantai 4 = 6,75 mm dan arah Y antara lain lantai 1 = 19,76 mm, lantai 2 = 24,79 mm, lantai 3 = 17,49 mm, lantai 4 = 8,32 mm telah memenuhi syarat simpangan ijin antar tingkat yaitu lantai 1,2,3 = 51,3mm dan lantai 4 = 45,9 mm. Gaya geser dasar yang didapat dengan maksimum arah X = 2742,09 kN dan pada arah Y = 2589,46 kN.

Kata kunci: *Respon Spektrum, Simpangan, Gaya Geser*

ABSTRACT: *This paper presents the structural behavior of low-rise buildings located at high earthquake areas that function as educational buildings. Building A, Faculty of Economics, Udayana University, located in Denpasar, has four floors which function as educational facilities. Based on seismic data, the building is included in risk category IV. The building structural system used is SRPMK (Special Moment Resisting Framing System) which is used in areas with a high earthquake risk. Earthquake analysis uses the spectrum response method and reviews the behavior of the structure to obtain information on the building's resistance to earthquake loads. The results of the analysis reviewed are the story drift and shear force due to the earthquake load. The story drift obtained using the in the 1st floor = 19.76 mm, 2nd floor = 24.79 mm, 3rd floor = 17.49 mm, 4th floor = 8.32 mm have met the allowable drift, namely floors 1, 2, 3 = 51.3 mm and floor 4 = 45.9 mm. The maximum base shear force obtained in the X direction = 2742.09 kN and in the Y direction = 2589.46 kN.*

Keywords: *Respon Spektrum, Drift, Base Shear*

PENDAHULUAN

Sebagai negara berkembang, Pembangunan gedung bertingkat pada umumnya digunakan untuk pendidikan, sosial, dan kesehatan. Infrastruktur Indonesia telah diprioritaskan oleh Presiden seperti dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2016 tentang penyediaan infrastruktur prioritas. Salah satu prioritas pembangunan infrastruktur yaitu gedung bertingkat. Dengan wilayah yang kerawanan yang tinggi terhadap gempa. Gempa yang terjadi menyebabkan bangunan bergerak baik dalam arah vertikal maupun arah horizontal. Pergerakan yang paling membahayakan adalah gerak horizontal, gerak ini menyebabkan struktur mengalami deformasi horizontal atau simpangan. Struktur bangunan harus memiliki mekanisme atau sistem penahan gempa dan dirancang khusus sehingga mampu bertahan ketika gempa terjadi (Gunawan et al., 2021).

Sistem struktur yang baik digunakan dan efektif untuk wilayah gempa tinggi antara lain sistem rangka, sistem dinding pengisi, sistem dinding geser, maupun sistem bresing (Wiryadi and Sudarsana, 2019; Wiryadi et al., 2024). Sistem struktur rangka yang elemen – elemen struktur dan sambungannya menahan beban – beban lateral melalui mekanisme lentur. Menurut SNI 1726-2019, sistem ini terbagi menjadi 3 yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). SRPMB digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang rendah, SRPMM digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang sedang, SRPMK digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi, maka sistem strukturnya harus menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Gedung A Fakultas Ekonomi

Universitas Udayana. Gedung Fakultas Ekonomi Universitas Udayana yang terletak di Bali pada daerah Sudirman dan merupakan daerah rawan gempa yang berfungsi sebagai fasilitas Pendidikan, gedung tersebut termasuk pada kategori resiko IV (BSN, 2019). Struktur gedung yang direkomendasikan yaitu SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi.

Analisis beban gempa yang dapat praktid diaplikasikan melalui program SAP2000 antara lain *Auto-load*, *Respon Spektrum*, dan *Time History Analisi*. Semua metode analisis tersebut mampu memberikan informasi terkait dengan perilaku struktur dalam menahan beban gempa (Candra *et al.*, 2021; Trangipani *et al.*, 2022). Analisis dinamik respons spektrum yang dibantu dengan program SAP2000 dapat memberikan informasi perilaku struktur akibat beban gempa. Berdasarkan hasil analisis dinamik respon spektrum yang menggunakan gempa rencana berdasarkan SNI 1726-2019, didapatkan bahwa bangunan mempunyai nilai S_1 0,30g dan S_s 0,75g.

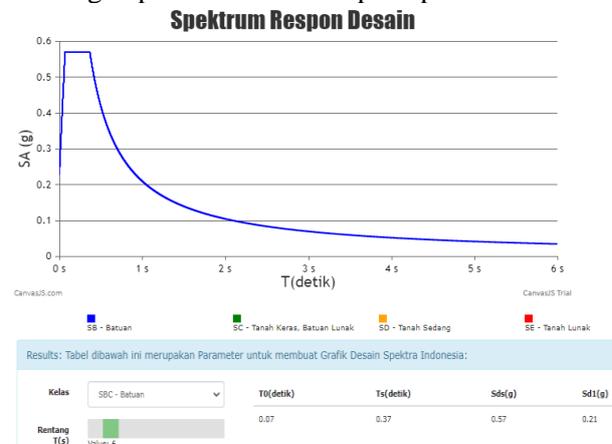
Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung A Fakultas Ekonomi Universitas Udayana. Gedung Fakultas Ekonomi Universitas Udayana yang terletak di Bali pada daerah Sudirman dan merupakan daerah rawan gempa yang berfungsi sebagai fasilitas Pendidikan, gedung tersebut termasuk pada kategori resiko IV, menurut SNI 1726 : 2019, 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 dengan analisis metode *respons spektrum* dan perilaku struktur Gedung A Fakultas Ekonomi Universitas Udayana untuk mendapatkan informasi ketahanan gedung ini terhadap beban gempa.

PERANCANGAN BANGUNAN TAHAN GEMPA

Konstruksi bangunan tahan gempa adalah bangunan yang bisa merespon gempa, dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan bersifat fleksibel untuk meredam getaran gempa. Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dirancang dan diperhitungkan secara analisis, baik kombinasi beban, penggunaan material, dan penempatan massa strukturnya (Presisi, 2020).

Analisis Respon Spektrum

Analisis respon spektrum adalah salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa berdasarkan respon spektrum.



Gambar 1. Respon Spektrum Gempa
Sumber: Puskim PU (2011)

Simpangan

Deformasi merupakan parameter utama dalam perencanaan struktur tahan gempa dibandingkan gaya dan kekuatan yang merupakan metode konvensional yang diterapkan pada kebanyakan peraturan bangunan. Salah satu bentuk deformasi ini ialah simpangan antar lantai.

Simpangan antar lantai harus dihitung dari simpangan struktur akibat pengaruh gempa yang telah dibagi oleh factor skala. Agar memenuhi batas layanan menurut SNI 1726-2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2012), simpangan tidak boleh melampaui persamaan:

$$\Delta_1 = \frac{0,0003}{R} h_i \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- Δ_1 = simpangan antar tingkat yang telah dibagi faktor skala
- R = faktor reduksi gempa struktur gedung
- h_i = tinggi tingkat yang bersangkutan

Simpangan ijin ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta_a = 0,020 \times h_{sx} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

Δ_a = simpangan lantai ijin (Tabel 16, SNI 1726:2012)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

Simpangan total ditentukan dengan persamaan :

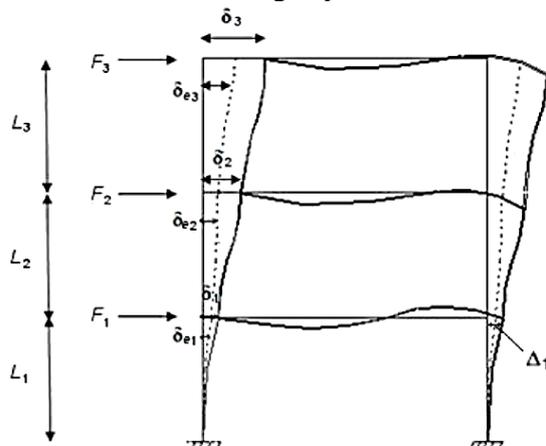
$$\delta X = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_x = defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis

I_e = faktor keutamaan gempa



Tingkat 3

F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_{e3} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta_3 = C_d \delta_{e3} / I_E$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_E \leq \Delta_a$ (Tabel 16)

Tingkat 2

F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_{e2} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I_E$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_E \leq \Delta_a$ (Tabel 16)

Tingkat 1

F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_{e1} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I_E$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$ (Tabel 16)
 Δ_1 = Simpangan antar lantai
 Δ_i / L_i = Rasio simpangan antar lantai
 δ_3 = Perpindahan total

Gambar 2. Penentuan Simpangan
 Sumber : SNI 1726-2012 hal.61

Gaya Geser

Gaya geser dasar merupakan pengganti atau penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Menurut SNI 1726-2019, gaya geser dasar pada struktur gedung beraturan dapat ditentukan dengan metode statik ekuivalen, sedangkan untuk struktur gedung tidak beraturan ditinjau dengan metode dinamik. Berdasarkan SNI 1726-2019 gaya geser dasar ditentukan dengan:

$$V = C_s W t \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

V = gaya geser
 C_s = koefisien respons seismic
 Wt = berat seismic efektif

Koefisien respons seismic, C_s , harus ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left[\frac{R}{I_e}\right]} \dots\dots\dots(5)$$

Nilai C_s tidak boleh melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left[\frac{R}{I_e}\right]} \dots\dots\dots(6)$$

dan C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,44 SDS I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

$SD1$ = parameter spektrum respons percepatan periode 1 detik
 SDS = parameter spektrum respons percepatan periode pendek
 R = faktor modifikasi respons
 I_e = faktor keutamaan gempa

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan analisis *respon spektrum* dengan menggunakan aplikasi SAP 2000. Data – data yang diperlukan dalam analisis ini yaitu :

Gedung ini memiliki geometri struktur sebagai berikut :

- a. Panjang bangunan : 32 meter
- b. Lebar Bangunan : 22 meter
- c. Tinggi bangunan : 20,8 meter
- d. Jumlah lantai : 4 lantai

Dimensi Struktur sebagai berikut :

Tabel 1. Elemen Struktur yang digunakan

Kolom (cm)	Balok (cm)	Plat (cm)
K1 (50×70)	B1(45×80)	PL 2 (t = 15)
K2 (40×60)	B2(35×70)	PL 3 (t = 15)
K3 (40×40)	B3(30×50)	PL 4 (t = 15)
K4 (40×50)	B4 (25×40)	
K5 (30×30)	B5 (40×50)	
K6 (25×50)	TB1(25×40)	
	TB2(30×50)	
	TB3(40×60)	

Sumber : PT. Kencana Adhi Karma

Setelah pemodelan 3D pada SAP 2000 selesai, maka dilakukan penginputan beban-beban seperti beban mati (dead load), beban mati tambahan (super dead load), beban hidup (live load) dan beban gempa. Pemberian beban dilakukan berdasarkan peraturan yang sudah tertera pada SNI 1727 – 2020 (BSN, 2020), SNI 1726 – 2019 (BSN, 2019), dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPIUG) 1987. Berikut adalah perhitungan masing-masing beban :

Beban mati (Dead Load) yang bekerja adalah sesuai dengan dimensi struktur yaitu berat sendiri struktur. Untuk beban mati akibat

berat sendiri dihitung otomatis dengan software SAP 2000, yaitu dengan cara input 1 pada Self Weight Multiplier beban mati (dead load) di Define Load Pattern.

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*).

Tabel 2. Beban Mati Tambahan pada Plat Lantai

No	Material	Beban (kg/m ²)
1	Berat spesi (2100 kg/m ³ × 0.04 m)	84
2	Berat tegel (2400 kg/m ³ × 0.01 m)	24
3	Berat plafond	11
4	Berat Penggantung	7
5	Instalasi MEP	40
	Total	166

Tabel 3. Beban Mati Tambahan pada Plat Atap

No	Material	Beban (kg/m ²)
1	Berat spesi (2100 kg/m ³ × 0.04 m)	84
2	Berat plafond	11
3	Berat Penggantung	7
4	Instalasi MEP	40
	Total	142

Tabel 4. Beban Mati Tambahan pada Balok Lantai 1-3

No	Material	Beban (kg/m)
1	Bata ringan(600 kg/m ³ × 2,9m × 0,10m)	174
2	Plesteran (1850 kg/m ² × 0,02 m)	37
3	Acian (5,1 kg/m ² × 0,02 m)	0,102
	Total	211,102

Tabel 5. Beban Mati Tambahan pada Balok Lantai 4

No	Material	Beban (kg/m)
1	Bata ringan(600 kg/m ³ × 2,9m × 0,10m)	156
2	Plesteran (1850 kg/m ² × 0,02 m)	37
3	Acian (5,1 kg/m ² × 0,02 m)	0,102
	Total	193,102

Beban hidup besarnya diambil berdasarkan Tabel 4-1 SNI 1727:2013 (Badan Standardisasi Nasional, 2013) beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Adapun beban hidup yang bekerja pada

struktur Gedung Fakultas Pariwisata Universitas Udayana adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Beban Hidup

No	Ruangan	Beban (kN/m ²)
1	Beban hidup pada ruang kelas	1,92
2	Beban hidup pada koridor lantai 1	4,79
3	Beban hidup pada koridor diatas lantai 1	3,83
4	Beban hidup pada ruang kantor	2,4
5	Beban hidup pada ruang Pertemuan	5

Adapun beban hidup atap (roof live) yaitu beban hujan yang di input sebesar 20 kg/m² dan satuannya diubah mejadi kg/m untuk diinput ke ring balok atap :

- a. Luas atap total = 780,788 m²
- b. Keliling ring balok = 145,381 m
- c. Total berat hujan = 20 kg/m² x 780,788 m² = 14.415,76 kg
- d. Beban merata hujan = 14.415,76 kg / 145,381 m = 99 kg/m

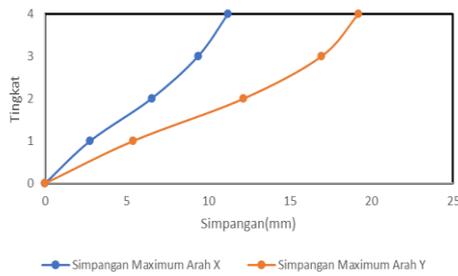
Beban gempa yaitu beban yang bekerja pada struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi. Analisis *respon spektrum* adalah salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa berdasarkan *respon spektrum*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simpangan Maksimum yang didapat dari hasil analisis respon spektrum terjadi pada arah X dan arah Y yang terlihat pada tabel dan grafik berikut :

Tabel 7. Simpangan Maksimum Arah X & Y

Lantai	Simpangan (δe)	
	X	Y
1	2.76	5.39
2	6.52	12.15
3	9.37	16.92
4	11.21	19.19

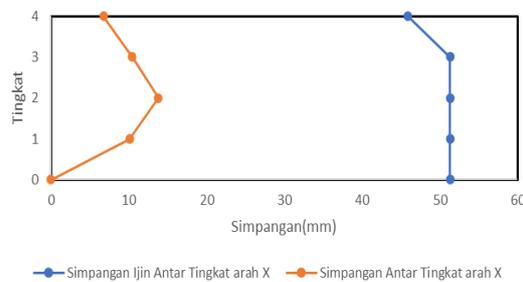


Gambar 4. Grafik Simpangan Maksimum arah X dan Y

Simpangan Antar Tingkat yang didapat dari hasil analisis respon spektrum terjadi pada arah X dan arah Y yang terlihat pada tabel dan grafik berikut :

Tabel 8. Simpangan antar tingkat arah X

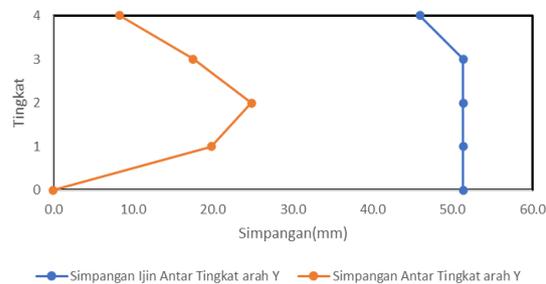
Lt.	δe	Cd	Ie	δ	Δ	Δa
1	2.76	5.5	1.5	10.12	10.12	51.3
2	6.52	5.5	1.5	23.91	13.79	51.3
3	9.37	5.5	1.5	34.36	10.45	51.3
4	11.21	5.5	1.5	41.10	6.75	45.9



Gambar 5. Grafik Simpangan antar tingkat arah X

Tabel 4. Simpangan antar tingkat arah Y

Lt.	δe	Cd	Ie	δ	Δ	Δa
1	5.39	5.5	1.5	19.76	19.76	51.3
2	12.15	5.5	1.5	44.55	24.79	51.3
3	16.92	5.5	1.5	62.04	17.49	51.3
4	19.19	5.5	1.5	70.36	8.32	45.9



Gambar 6. Grafik Simpangan antar tingkat arah Y

Terlihat dari dua grafik yang ada simpangan antar tingkat yang terjadi antara grafik simpangan arah X dan arah Y yaitu simpangan yang terbesar terjadi pada arah Y, karena pada arah Y jumlah kolom yang ada lebih sedikit

dibandingkan pada arah X, maka simpangan yang terjadi pada arah X lebih kecil, yang akan kuat menahan gempa lebih besar dari pada arah Y.

Gaya Geser Dasar yaitu Hasil dari perhitungan gaya geser yang dihitung oleh program masih dalam bentuk gaya geser yang bekerja pada setiap kolomnya dan harus dijumlahkan pada tiap lantai menurut gempa arah X dan arah Y. Berikut adalah hasil perhitungan gaya geser dasar (V) dan gaya geser antar tingkat (F_x)

Tabel 5. Gaya geser arah X

Tingkat	Total	F_x (kN)
4	628,63	628,63
3	1699,87	1071,24
2	2415,71	715,84
1	2742,09	326,38
V (kN)		2742,09

Tabel 6. Gaya geser arah Y

Tingkat	Total	F_x (kN)
4	595,21	595,21
3	1592,3	997,09
2	2273,68	681,38
1	2589,46	315,78
V (kN)		2589,46

KESIMPULAN

Simpangan antar tingkat yang didapat dengan metode Respon Spektrum yaitu arah X (lantai 1 = 10,12 mm, lantai 2 = 13,79 mm, lantai 3 = 10,45 mm, lantai 4 = 6,75 mm) dan arah Y (lantai 1 = 19,76 mm, lantai 2 = 24,79 mm, lantai 3 = 17,49 mm, lantai 4 = 8,32 mm) telah memenuhi syarat simpangan ijin antar tingkat yaitu lantai 1,2,3 = 51,3mm dan lantai 4 = 45,9 mm.

Gaya geser dasar yang didapat dengan metode Respon Spektrum yaitu V maksimum arah X = 2742,09 kN dan pada arah Y = 2589,46 kN.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (2012) 'Sni 1726-2012', *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, 15(3), pp. 316-325. Available at: <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>.
- Badan Standardisasi Nasional (2013) 'SNI 1727-2013', *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, p. 196.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) *SNI 1726:2019 Indonesian Seismic Code for Structural Building and Non-Building*. Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional (2020) *SNI 1727:2020 Minimum Design Loads for Building and Other Structure*.
- Candra, I.M.A. *et al.* (2021) 'Analisis Perilaku Struktur Gedung Fakultas Pariwisata Universitas Udayana Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum', *Jurnal Ilmiah Teknik Unmas*, 1(2), pp. 24–29.
- Gunawan, I.P.A.S., Giatmajaya, I.W. and Wiryadi, I.G.G. (2021) 'Analisis Dan Pemodelan Struktur Gedung Rumah Sakit Pada Wilayah Gempa Tinggi', *Jurnal Ilmiah Teknik Unmas*, 1(1), pp. 7–13.
- Presisi, P. (2020) 'Hal Penting Ketika Membangun Konstruksi Bangunan Tahan Gempa', *Stefan*.
- Puskim PU (2011) *Desain Spektra Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman*. Available at: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/ (Accessed: 1 January 2015).
- Trangipani, N.M. *et al.* (2022) 'Analisis Perilaku Struktur Gedung Sekolah dengan Metode Respon Spektrum Studi Kasus: SMAN 9 Denpasar', *Jurnal Ilmiah Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar (JITUMAS)*, 2(1), pp. 21–28.
- Wiryadi, I.G.G. *et al.* (2024) 'Behavior and Performance Analysis of Reinforced Concrete and Steel Infilled-Frame', *Civil Engineering and Architecture*, 12(3), pp. 1621–1633. Available at: <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120327>.
- Wiryadi, I.G.G. and Sudarsana, I.K. (2019) 'Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas dan Luas Tulangan', *Jurnal Spektran*, 7(2), pp. 187–194.