

ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG FT E.03 UNIVERSITAS TIDAR TERHADAP GAYA GESER DASAR SEISMİK DENGAN METODE DINAMIK RESPONS SPEKTRUM

Fajar Setianto, Yudhi Arnandha*, Lalu Samsul Aswadi

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116, Indonesia

*Corresponding author: yudhiarnandha@untidar.ac.id

Abstract

According to BMKG earthquakes that occurred in Indonesia in 2023 with a minimum magnitude of 5.0 with various depths of 243 times. This condition is due to the geographical location of Indonesia is located between three tectonic plates so prone to earthquakes. Therefore, preventive measures are needed to reduce the impact of earthquakes on the failure of building structures. Faculty Of Engineering Building E.03 Tidar University is planned for 2015 with earthquake resistance Planning Standards in accordance with SNI 1726:2012. The planning standard has been revised to SNI 1726: 2019. Therefore, re-analysis according to the latest standards is required to determine the safety of the structure. Analysis using dynamic spectral response method. The maximum deviation of the roof ring beam in the x direction is 49.52 mm and the y direction is 61.25 mm. The largest shear force in the x direction is 7113.99 kN and the y direction is 6971.90 kN. The structural performance level is immediate occupancy with a roof drift ratio in the x direction of 0.0024 and y direction of 0.0030. Faculty of Engineering Building E.03 Tidar University has the ability to withstand earthquake forces with no damage to the structure.

Keywords: dynamic response spectrum, seismic base shear force, structural performance level

Abstrak

Menurut BMKG gempa bumi yang terjadi di Indonesia tahun 2023 dengan magnitudo minimum sebesar 5,0 dengan berbagai kedalaman sebanyak 243 kali. Kondisi tersebut dikarenakan letak Indonesia secara geografis berada diantara tiga lempeng tektonik sehingga rawan terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu, diperlukan tindakan preventif untuk mengurangi dampak gempa bumi terhadap kegagalan struktur bangunan. Gedung Fakultas Teknik E.03 Universitas Tidar direncanakan tahun 2015 dengan standar perencanaan ketahanan gempa sesuai dengan SNI 1726:2012. Standar perencanaan tersebut telah direvisi menjadi SNI 1726:2019. Oleh karena itu, diperlukan analisis ulang sesuai dengan standar terbaru untuk mengetahui keamanan dari struktur. Analisis menggunakan metode dinamik respons spektrum. Hasil simpangan maksimum pada balok ring atap arah x sebesar 49,52 mm dan arah y sebesar 61,25 mm. Jumlah gaya geser terbesar arah x sebesar 7113,99 kN dan arah y sebesar 6971,90 kN. Level kinerja struktur merupakan *immediate occupancy* dengan *roof drift ratio* arah x sebesar 0,0024 dan arah y sebesar 0,0030. Gedung Fakultas Teknik E.03 Universitas Tidar memiliki kemampuan dalam menahan gaya gempa dengan tidak terjadi kerusakan pada struktur.

Kata Kunci : dinamik respons spektrum, gaya geser dasar seismik, level kinerja struktur

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan pasifik sehingga letak geografis Indonesia rawan terhadap terjadinya gempa bumi (Zebua, 2018). Pertemuan lempeng Eurasia dengan lempeng Indo-Australia mengakibatkan daerah pesisir selatan Pulau Jawa sering mengalami gempa bumi (Rochman, 2024). Gempa bumi yang terjadi di Indonesia pada tahun 2023 dengan magnitudo minimum sebesar 5,0 dan berbagai kedalaman sebanyak 243 kali (BMKG, 2024). Kejadian gempa bumi sering mengakibatkan korban jiwa. Akan tetapi, dapat dipastikan penyebab hilangnya nyawa tidak secara langsung disebabkan oleh gempa bumi, melainkan disebabkan oleh gagalnya struktur bangunan sehingga menyebabkan runtuhnya bangunan (Mayesi dkk., 2022).

Acuan dasar yang mengatur perencanaan terhadap gempa di Indonesia yaitu SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung diperbarui menjadi SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Pedoman yang diperbarui bertujuan agar struktur bangunan gedung harus didesain dapat menahan gaya geser seismik tanpa terjadi kerusakan yang signifikan dan menjamin keselamatan penghuni (Setiawan, 2021). Bangunan Gedung FT E.03 Universitas Tidar dalam menahan gaya seismik direncanakan sesuai dengan SNI 1726:2012. Perubahan standar acuan dalam menentukan beban gempa rencana dapat mengakibatkan peningkatan nilai beban gempa, sehingga kondisi struktur *existing* berpotensi tidak mampu menahan beban gempa rencana (Hafid, 2020).

Analisis ulang kinerja struktur yang dilakukan terhadap bangunan Gedung FT E.03 Universitas Tidar bertujuan untuk mengetahui simpangan maksimum struktur bangunan Gedung FT E.03 Universitas Tidar akibat gaya geser dasar seismik sesuai dengan SNI 1726:2019. Tindakan preventif untuk menjaga ketahanan bangunan gedung dalam menahan gempa salah satunya dilakukan dengan memenuhi standar perencanaan bangunan gedung (Rochman, 2024). Parameter percepatan gempa dalam SNI 1726:2019 terdapat perubahan pada periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_1), faktor amplifikasi getaran pada periode pendek (F_a) dan periode periode 1 detik (F_v) sehingga dapat mempengaruhi nilai koefisien seismik (C_s) (Enggartiasto dkk., 2023). Penskalaan gaya dan simpangan dalam analisis dinamik respons spektrum dipersyaratkan sebesar 100 persen. Selain itu, SNI 1726:2019 memperhitungkan nilai periode panjang (T_1) yang dapat mempengaruhi kinerja seismik gedung yang sudah terbangun (Enggartiasto dkk., 2022).

Ketentuan dalam SNI 1726:2019 disusun berdasarkan *American Society of Civil Engineers* (ASCE) 7-16 yang telah diadopsi dan dilakukan beberapa modifikasi dengan memperhatikan catatan kegempaan di Indonesia sampai dengan tahun 2017. Hasil pengamatan terhadap salah satu kecamatan di Bantul yang membandingkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 diperoleh nilai peningkatan dan penurunan parameter S_{DS} dan S_{D1} pada klasifikasi tanah lunak (SE), tanah sedang (SD), dan tanah keras (SC) (Patria dkk., 2022). Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 parameter respons spektrum nilai S_{DS} diberbagai provinsi di Indonesia mengalami peningkatan dan penurunan (Afnan dkk., 2020). Periode ulang desain respons spektrum terdapat perbedaan, sesuai dengan SNI 1726:2002 dengan periode ulang 500 tahun, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 periode ulang 2500 tahun (Kallakus, 2022). Nilai spektra desain dalam SNI 1726:2012 diperoleh berdasarkan perangkat lunak desain spektra Indonesia (Hafid, 2020).

Kontrol partisipasi massa untuk mencapai jumlah ragam sesuai dengan SNI 1726:2019, syarat ragam terkombinasi sebesar 100% dan sebagai alternatif diizinkan minimal 90%. Kontrol kombinasi dalam menentukan geser dasar ragam sesuai dengan SNI 1726:2019, nilai geser dasar ragam (V_i) harus memenuhi syarat presentase gaya geser dasar statik (V atau V_1) sebesar 100%. Nilai presentase yang belum memenuhi syarat gaya geser dinamik atau geser dasar ragam (V_i) harus memenuhi syarat dengan dikalikan skala gaya. Faktor yang mempengaruhi perhitungan gaya geser dasar, salah satunya adalah faktor skala ketika gaya geser dasar statik tidak memenuhi syarat (Kallakus, 2022).

Nilai batas simpangan antar tingkat (*interstorey drift limit*) menurut ketentuan dalam ATC-40 digunakan untuk menilai kinerja dari struktur bangunan akibat beban gempa. Struktur bangunan dapat segera beroperasi kembali apabila level kinerja struktur berada dalam level *Immediate Occupancy* (IO), artinya tidak terjadi kegagalan struktur yang berarti dan struktur bangunan masih aman terhadap risiko korban jiwa. *Interstorey drift limit* dapat menunjukkan komponen struktur memiliki kekuatan dan kekakuan dalam menahan beban yang bekerja (Kono, 2021).

Kekakuan model struktur salah satunya dapat ditunjukkan dari besar simpangan antar lantai bangunan, hasil pemeriksaan simpangan dengan analisis respons spektrum, nilai simpangan terbesar terjadi di lantai teratas bangunan sebesar 59,644 mm dengan ketinggian bangunan 16,5 m (Mayesi dkk., 2022).

Simpangan gedung dapat diperkecil dengan pemasangan *shear wall*, penambahan *shear wall* dapat mereduksi simpangan gedung terhadap kinerja batas *ultimit* dengan nilai simpangan tanpa *shear wall* sebesar 3,25 mm menjadi 3,03 mm (Prismastanto, 2019).

Simpangan antar tingkat maksimum dapat ditingkatkan dengan penambahan *bresing* konsentris, hasil analisis perbandingan simpangan antar tingkat maksimum pada sumbu lemah bangunan (arah y), diperoleh nilai variasi tanpa *bresing* sebesar 7,90 mm, variasi *bresing* diagonal sebesar 21,01 mm, dan variasi *bresing* k sebesar 21,32 mm (Alfiana dkk., 2021).

METODE

Penyediaan data dilakukan dengan teknik penyediaan data sekunder. Data yang digunakan antara lain data laporan pengujian bore log, data desain spektra Indonesia, data as built drawing. Analisis data dilakukan dengan metode linier dinamik respons spektrum sesuai dengan SNI 1726:2019. Permodelan dan analisis struktur bangunan dengan bantuan software SAP 2000. Tahapan analisis dilaksanakan dengan membuat permodelan struktur kolom, balok,

pelat lantai, pelat tangga, dan dinding penahan tanah. Metode perhitungan beban dilakukan dengan kombinasi beban dengan metode ultimit. Beban yang diperhitungkan antara lain beban mati sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, beban hidup di atap, beban angin, beban gempa vertikal dan horizontal. Hasil analisis SAP 2000 selanjutnya digunakan untuk pengecekan gaya geser dasar, stabilitas struktur, ragam partisipasi massa, dan simpangan maksimum. Teknik analisis data untuk memperoleh level kinerja dari struktur bangunan didasarkan pada ATC-40. Deskripsi gedung yang dianalisis dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Deskripsi Gedung

Deskripsi Gedung	Keterangan
Fungsi gedung	Bangunan sekolah dan fasilitas pendidikan
Jumlah lantai	4
Jumlah lantai <i>basement</i>	1
Tinggi bangunan dari muka tanah	+ 18 m (Sampai dengan ring balok atap)
Tinggi ke bawah muka tanah	- 2,5 m
Luas Bangunan	4135,29 m ²
Tahanan penetrasi standar rata-rata	43,61
Kategori desain struktur	D
Sistem struktur	SRPMK (Rangka Beton Bertulang)
Kategori risiko	IV
Faktor keutamaan gempa, I _e	1,5
Faktor pembesaran simpangan, C _d	5,5
Koefisien modifikasi respons, R _a	8
Mutu beton	f _c 25 MPa
Mutu baja tulangan	> D10, BJTS 40; f _y = 390 MPa; f _u = 560 MPa < Ø 8, BJTP 24; f _y = 235 MPa; f _u = 380 MPa
Berat seismik efektif, W	43692,10 kN (W = D + SDL)
Faktor redudansi, ρ	1,3
Koefisien batas atas, C _u	1,4
Tipe struktur	Semua sistem struktur lainnya C _t = 0,0488; x = 0,75

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Parameter Desain Spektra

Parameter desain spektra Indonesia diperoleh dari laman rsa cipta karya 2021. Input kelas situs tanah termasuk dalam tanah sedang (SD). Hasil yang diperoleh antara lain percepatan tanah periode pendek dan 1 detik, (S_s) = 0,777 g dan (S₁) = 0,384 g; peta transisi periode panjang (T₁) = 20 detik; percepatan desain periode pendek dan 1 detik, S_{DS} = 0,61 g dan S_{D1} = 0,49 g; periode pendek (T₀) = 0,16 detik; T_s = 0,80 detik.

2. Respons Spektrum Desain

A. Periode Fundamental Pendekatan

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t / h_n^x \dots\dots\dots [1] \\
 &= 0,0488 / 20,50^{0,75} \\
 &= 0,005065 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

B. Periode Struktur, T

$$\begin{aligned}
 T &= C_u \times T_a \dots\dots\dots [2] \\
 &= 1,4 \times 0,005065 \\
 &= 0,007 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

C. Spektrum Respons Percepatan Desain, S_a

Nilai T_a < T₀

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \times (0,4 + (0,6 T / T_0)) \dots\dots\dots [3] \\
 &= 0,61 \times (0,4 + (0,6 \times 0,007 / 0,16)) \\
 &= 0,260 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Nilai $T > T_s$, untuk $T = 2$ detik

$$\begin{aligned} S_a &= S_{D1} / T \dots\dots\dots [4] \\ &= 0,49 / 2 \\ &= 0,245 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai $T > T_L$, untuk $T = 21$ detik

$$\begin{aligned} S_a &= S_{D1} \times T_L / T^2 \dots\dots\dots [5] \\ &= 0,49 \times 20 / 21^2 \\ &= 0,022 \text{ detik} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai percepatan spektrum respons desain untuk berbagai periode getar disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spektrum Respons Desain

T (detik)	S _a	T (detik)	S _a	T (detik)	S _a
0	0,260	9	0,054	20	0,025
0,200	0,610	10	0,049	21	0,022
0,805	0,610	11	0,045	22	0,020
1	0,490	12	0,041	23	0,019
2	0,245	13	0,038	24	0,017
3	0,163	14	0,035	25	0,016
4	0,123	15	0,033	26	0,014
5	0,098	16	0,031	27	0,013
6	0,082	17	0,029	28	0,013
7	0,070	18	0,027	29	0,012
8	0,061	19	0,026	30	0,011

3. Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan ultimit dengan pengaruh gempa ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi	Keterangan	Jumlah Beban Statik (kN)			Jumlah Beban Dinamik (kN)		
		F _x	F _y	F _z	F _x	F _y	F _z
1	1,4 D	0,00	0,00	61168,70	0,00	0,00	61168,70
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 L _e	0,00	0,00	69208,99	0,00	0,00	69208,99
3a	1,2 D + 1,6 L + L	0,00	0,00	63225,58	0,00	0,00	63225,58
3b	1,2 D + 1,6 L + 0,5 W	-336,72	-950,88	52813,80	-336,72	-950,88	52813,80
4	1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 L _e	-673,43	-1901,75	62961,93	-673,43	-1901,75	62961,93
5	0,9 D + 1,0 W	-673,43	-1901,75	39322,73	-673,43	-1901,75	39322,73
6a	1,2 D + E _v + E _{hx} + 0,3 E _{hy} + L	-6560,37	-1968,11	68224,93	7113,99	3339,62	68258,71
6b	1,2 D + E _v + 0,3 E _{hx} + E _{hy} + L	-1968,11	-6560,37	68224,93	3813,10	6971,90	68273,42
7a	0,9 D - E _v + E _{hx} + 0,3 E _{hy}	-6560,37	-1968,11	33939,89	7113,99	3339,62	33973,67
7b	0,9 D - E _v + 0,3 E _{hx} + E _{hy}	-1968,11	-6560,37	33939,89	3813,10	6971,90	33988,37
8a	D + 0,7 E _v + 0,7 E _{hx} + 0,7 × 0,3 E _{hy}	-4592,26	-1377,68	47458,17	4979,80	2337,73	47481,81
8b	D + 0,7 E _v + 0,7 × 0,3 E _{hx} + 0,7 E _{hy}	-1377,68	-4592,26	47458,17	2669,17	4880,33	47492,11
9a	D + 0,525 E _v + 0,525 E _{hx} + 0,525 × 0,3 E _{hy} + 0,75 L	-3444,19	-1033,51	54327,62	3734,92	1753,55	54345,36
9b	D + 0,525 E _v + 0,525 × 0,3 E _{hx} + 0,525 E _{hy} + 0,75 L	-1033,51	-3444,19	54327,62	2002,13	3660,30	54353,08
10a	0,6 D - 0,7 E _v + 0,7 E _{hx} + 0,7 × 0,3 E _{hy}	-4592,26	-1377,68	22448,91	4979,80	2337,73	22472,56
10b	0,6 D - 0,7 E _v + 0,7 × 0,3 E _{hx} + 0,7 E _{hy}	-1377,68	-4592,26	22448,91	2669,17	4880,33	22482,85

4. Gaya Geser Dasar Seismik

$$\begin{aligned} C_s &= S_{Ds} / (R / I_e) \dots\dots\dots [6] \\ &= 0,61 / (8 / 1,5) \\ &= 0,1155 \end{aligned}$$

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots [7]$$

$$= 0,1155 \times 43692,10 \text{ kN}$$

$$= 5046,43 \text{ kN}$$

Distribusi gaya geser dasar seismik pada setiap tingkat bangunan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Distribusi Gaya Geser Dasar Seismik

Keterangan	Berat, W (kN)	Gaya Geser, V (kN)
Tingkat 1	1482,21	171,20
Tingkat 2	11639,21	1344,33
Tingkat 3	12000,34	1386,04
Tingkat 4	11741,53	1356,15
Tingkat 5	5832,01	673,60
Tingkat 6	996,81	115,13
Jumlah	43692,10	5046,44

5. Analisis Respons Spektrum

A. Jumlah Ragam

Kontrol kombinasi jumlah ragam yang dipersyaratkan SNI 1726:2019 sebesar 100% dan sebagai alternatif diizinkan minimal 90%. Jumlah ragam partisipasi massa diperoleh dengan jumlah mode sebanyak 15. Hasil kontrol jumlah ragam berdasarkan partisipasi massa struktur ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Jumlah Ragam

Output Case	Item Type Text	Item Text	Static Percent	Dynamic Percent	Keterangan
Modal	<i>Acceleration</i>	UX	100,00	97,55	Memenuhi
Modal	<i>Acceleration</i>	UY	100,00	98,78	Memenuhi

B. Kombinasi Ragam

Kombinasi respons ragam digunakan metode CQC ketika waktu getar alami gedung dalam setiap modenya berdekatan secara signifikan. Apabila waktu getar alami gedung berjauhan maka dapat digunakan metode SRSS.

$$\Delta T_1 = (T_1 - T_2) / T_1 \times 100 \dots\dots\dots [8]$$

$$= (0,7985 - 0,7801) / 0,7985 \times 100$$

$$= 2,31 \%$$

Hasil perhitungan perbedaan waktu getar alami pada setiap mode struktur disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbedaan Waktu Getar Alami

Mode	Periode, T (detik)	ΔT (%)	Mode	Periode, T (detik)	ΔT (%)
1	0,7985	2,31	9	0,1499	1,42
2	0,7801	6,27	10	0,1478	20,48
3	0,7312	64,22	11	0,1175	14,35
4	0,2616	1,71	12	0,1007	8,43
5	0,2571	2,42	13	0,0922	55,94
6	0,2509	15,37	14	0,0406	33,27
7	0,2123	20,85	15	0,0271	100
8	0,1681	10,79			

Waktu getar alami gedung tidak berdekatan secara signifikan sehingga penjumlahan kombinasi respons ragam digunakan metode SRSS.

C. Penskalaan Gaya dan Simpangan

Hasil penskalaan gaya gempa berdasarkan komponen arah beban disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Penskalaan Gaya

Beban	Tipe Beban	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
Sx	Linier Statik	-5046,43	0,00	0,00
Sy	Linier Statik	0,00	-5046,43	0,00
RSx	Linier Respons Spektrum	5046,43	966,03	12,89
RSy	Linier Respons Spektrum	1327,45	5046,43	29,56

Penskalaan gaya dan simpangan dilakukan apabila gaya geser dasar hasil analisis dinamik (V_t) kurang dari 100% gaya geser analisis statik (V), maka gaya geser dasar analisis dinamik harus dikalikan dengan V/V_t .

D. Pengaruh P-Delta

$$\theta = (P_x \times \Delta \times I_e) / (V_x \times h_{sx} \times C_d) \dots \dots \dots [9]$$

$$= (29553,59 \times 42,44 \times 1,5) / (1515,52 \times 4000,00 \times 5,50)$$

$$= 0,06$$

$$\theta_{max} = 0,5 / (\beta \times C_d) \dots \dots \dots [10]$$

$$= 0,5 / (1,00 \times 5,50)$$

$$= 0,09$$

Hasil analisis efek P-Delta pada arah X ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Analisis P-Delta Arah X

Tingkat	P_t (kN)	P_x (kN)	V_t (kN)	V_x (kN)	h_{sx} (mm)	Δ_x (mm)	θ	θ_{max}	Keterangan
1	1873,01	16069,20	171,20	171,20	2500,00	0,39	0,00	0,09	Memenuhi
2	14196,19	29553,59	1344,33	1515,52	4000,00	43,55	0,06	0,09	Memenuhi
3	15357,40	31205,83	1386,04	2730,37	4000,00	55,87	0,04	0,09	Memenuhi
4	15848,43	21680,44	1356,15	2742,19	4000,00	41,43	0,02	0,09	Memenuhi
5	5832,01	7068,50	673,60	2029,74	4000,00	29,94	0,01	0,09	Memenuhi
6	1236,49	1236,49	115,13	788,73	2000,00	10,41	0,00	0,09	Memenuhi

Hasil analisis efek P-Delta pada arah Y disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Analisis P-Delta Arah Y

Tingkat	P_t (kN)	P_x (kN)	V_t (kN)	V_x (kN)	h_{sx} (mm)	Δ_x (mm)	θ	θ_{max}	Keterangan
1	1873,01	16069,20	171,20	171,20	2500,00	8,73	0,09	0,09	Memenuhi
2	14196,19	29553,59	1344,33	1515,52	4000,00	47,61	0,06	0,09	Memenuhi
3	15357,40	31205,83	1386,04	2730,37	4000,00	65,41	0,05	0,09	Memenuhi
4	15848,43	21680,44	1356,15	2742,19	4000,00	51,72	0,03	0,09	Memenuhi
5	5832,01	7068,50	673,60	2029,74	4000,00	36,35	0,01	0,09	Memenuhi
6	1236,49	1236,49	115,13	788,73	2000,00	14,75	0,00	0,09	Memenuhi

6. Output Simpangan

Nilai simpangan struktur hasil analisis ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Output Simpangan

Tingkat	Simpangan, δe (mm) Tanpa Shearwall		Simpangan, δe (mm) Dengan Shearwall		Reduksi Simpangan (%)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	0,11	2,38	0,00	0,41	100,00	82,77
2	11,98	15,37	0,95	2,65	92,07	82,76
3	27,22	33,20	2,33	5,67	91,44	82,92
4	38,52	47,31	3,59	9,08	90,68	80,81
5	46,68	57,22	4,86	16,72	89,59	70,78
6	49,52	61,25	5,46	21,24	88,97	65,32

7. Analisis Level Kinerja Struktur

Hasil perbandingan simpangan antar tingkat pada masing-masing arah struktur disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Level Kinerja Struktur

Arah	Roof Drift (mm)	H (mm)	Roof Drift Ratio	Keterangan
X	49,52	20500	0,0024	IO
Y	61,25	20500	0,0030	IO

Gedung Fakultas Teknik E.03 Universitas Tidar memiliki kemampuan dalam menahan gaya gempa, dengan tidak terjadi kerusakan pada struktur. Struktur masih memiliki kekakuan dan kekuatan yang sama setelah dan sebelum terjadinya gempa sehingga gedung dapat segera beroperasi setelah terjadi gempa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh bahwa gaya geser dasar seismik akibat beban gempa dinamik maksimum pada arah x sebesar 7113,99 kN yang disebabkan oleh kombinasi beban 6a, sedangkan pada arah y sebesar 6971,90 kN akibat kombinasi beban 6b. Nilai gaya geser dinamik ini mengalami peningkatan dibandingkan gaya geser statik, yaitu sebesar 966,03 kN pada arah x dan 1327,45 kN pada arah y. Simpangan maksimum terjadi pada balok ring atap dengan nilai sebesar 49,52 mm pada arah x dan 61,25 mm pada arah y. Berdasarkan hasil analisis pengaruh P-delta pada kedua arah tersebut, gaya geser dan momen akibat beban vertikal tidak mempengaruhi perpindahan horizontal yang terjadi, sehingga struktur dapat dikatakan stabil. Penambahan elemen *shearwall* memberikan pengaruh signifikan terhadap pengurangan simpangan maksimum, yaitu sebesar 88,97% pada arah x dan 65,32% pada arah y. Berdasarkan kriteria ATC-40, level kinerja struktur Gedung Fakultas Teknik E.03 Universitas Tidar termasuk dalam kategori *immediate occupancy*, dengan simpangan total maksimum sebesar 0,0024 pada arah x dan 0,0030 pada arah y. Nilai tersebut berada di bawah batas simpangan total maksimum yang diizinkan, yaitu 0,01, sehingga struktur dinyatakan aman terhadap beban gempa yang bekerja.

REKOMENDASI

- Jumlah ragam partisipasi massa harus terpenuhi minimal 90% sehingga beban gempa dapat memberikan pengaruh maksimum sesuai yang dipersyaratkan oleh SNI 1726:2019. Apabila ragam partisipasi massa belum terpenuhi dapat meningkatkan jumlah mode pada beban modal.
- Penskalaan gaya dan simpangan beban gempa dinamik harus terpenuhi 100% beban gempa statik. Apabila belum terpenuhi harus dilakukan penskalaan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih Bapak Prof. Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., Ibu Ir Anis Rakhmawati, S.T., M.T., IPM., Bapak Ir. Dwi Sat Agus Yuwana, M.T., Manajemen PT Cakra Manggilingan Jaya, dan BPKU Universitas Tidar.

REFERENSI

- Afnan, Y.A.K., Shulhan, M.A., Yasin, I. (2020). *Perbandingan Respons Spektrum Gempa antara SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 di Indonesia*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa: Yogyakarta, 5(2), 36-42.
- Alfiana, W.D.A., Diredja, N.V., Nuranita, B. (2021). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Rangka Baja dengan Variasi Konfigurasi Bentuk Biring Konsentris*. Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional: Bandung.
- Applied Technology Council-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I. Seismic Safety Commission State of California*. Reston, Virginia.
- BMKG. (2024). *EQ Repository: Requested Data*. BMKG: Jakarta.
- Enggartiasto L, Cholida NFF, Purwanto P. (2022). *Performance of The Existing Building Under Earthquake Loads Based on Current Indonesian*. Program Studi Teknik Sipil Universitas PGRI Semarang: Semarang, 5(2), 94-102.
- Enggartiasto L, Mahmud F, Widiatmoko K. W. (2023). *Evaluasi Tingkat Kelayakan Struktur Gedung Eksisting 8 Lantai di Kota Semarang*. Program Studi Teknik Sipil Universitas PGRI Semarang: Semarang, 18(1), 12-22.
- Hafid, N. (2020). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Menggunakan Beban Gempa SNI 1726:2012 (Studi Kasus: Gedung KUMKM Center Kabupaten Magelang)*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Tidar: Magelang.
- Kallakus, P.A. (2022). *Perbandingan Perancangan Gedung Taban Gempa dengan Menggunakan SNI 1726 Tahun 2002, 2012, dan 2019*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya: Surabaya 10(2). 1-9.
- Kono, H.A. (2021). *Analisis Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Beratung dengan Penambahan Tingkat Menggunakan Struktur Baja*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana: Kupang.
- Mayesi, Imani, R., Nanda. (2022). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Berbasis Kinerja (Perfoma BaseDesign)*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Putra Indonesia: Padang 7(1), 1-6.

- Patria, A.S.N., Dewi, K., Krisdiyanto, A. (2022). *Perbandingan Nilai Parameter Spektrum Respons Desain SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 pada Kecamatan-Kecamatan di Kabupaten Bantul Yogyakarta*. Program Studi Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang: Semarang 5(1), 33-41.
- Prismastanto, N. (2019). *Metode Analisis Ragam Spektrum Respons pada Struktur Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Hotel Tosan, Solo Baru)*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara: Sukoharjo 1(1), 25-34.
- Rochman, H. N. (2024). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Perkuatan Shearwall Terhadap Gempa dengan Menggunakan Metode Pushover (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Tower Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gombong*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Tidar: Magelang.
- Setiawan, D. B. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung pada Kondisi Batas Layan dan Batas Ultimit dengan Analisis Dinamik Metode Respons Spektrum (Studi Kasus: Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi)*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. (2019). *SNI 1726:2019*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Zebua, A. W. (2018). *Analisis Gaya Gempa Bangunan Rumah Tinggal di Wilayah Gempa Tinggi*. Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Pendidikan Indonesi: Bandung 4(1), 23-35.