



ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG ASIMETRIS AKIBAT BEBAN GEMPA (Studi Kasus : Gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi)

**Fajar Abdilah^{*}, Istiqomah, Ben Novarro Batubara, Budi Kudwadi, Odih
Supratman**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan UPI, Bandung, Indonesia

*Corresponding author, email: fajarabdilah212@gmail.com, istiqomah@upi.edu, bensnovr@upi.edu

ABSTRACTS

The infrastructure of high-rise buildings must have an earthquake resistance. As a mitigation effort, a building must be symmetrical. When an earthquake occurs the response of the structure easily predictable. However, along with the development of architectural design, many buildings with irregular shapes (asymmetrical). So, it is necessary to analyze the behavior of structures in irregular buildings. The purpose of this study was to determined the maximum displacement value and a structural performance due to an earthquake loads based on ATC-40. The earthquake analysis used a Response Spectrum and Time History with the help of ETABS V17.0.1 software, case study located in Bekasi City Government Service Office (POLRES) building. The research used quantitative descriptive method. Based on the analysis, the maximum displacement value due to earthquake loads using the Response Spectrum analysis method for the X direction were 74,655 mm and 54,566 mm for the Y direction.

ARTICLE INFO

Article history:

Submitted/Received: 2
September 2021

First Revised: 2 November 2021

Accepted: 22 November 2021

First Available online: 26
Desember 2021

Publication Date: 01 Januari
2022

Keywords:

Asymmetrical, Displacement
structure, Earthquake loads,
Earthquake Resistance,
Structure performance,

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia merupakan negara yang rawan terjadi gempa bumi. Tingginya potensi gempa bumi disebabkan letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia. Dengan adanya kejadian gempa di Indonesia yang mengakibatkan kerusakan dan kerugian sangat besar terhadap bangunan, maka diperlukan pengembangan analisis gempa terhadap struktur. Ada dua pendekatan yang digunakan untuk memperhitungkan beban lateral (gempa bumi) yang bekerja pada suatu struktur bangunan, yaitu analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (response spectrum atau time history). (Honarto, R., et.al. 2019; Arifin, Z., et.al. 2022; Tanauma, C., et.al. 2023). Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di kawasan cincin api pasifik (Ring of Fire) sehingga memiliki potensi tinggi terjadinya suatu gempa (Utomo, et al., 2019) Beberapa tahun terakhir di Indonesia sering terjadi gempa bumi. Contohnya pada tahun 2019, masyarakat Maluku dikejutkan dengan musibah gempa bumi berkekuatan 6,5 Mw. Kejadian tersebut memakan korban 30 orang meninggal, puluhan bangunan rusak. Berkaca dari fakta tersebut, pembangunan infrastruktur tahan gempa sudah menjadi keharusan bagi Indonesia sebagai upaya mitigasi karena gempa tidak bisa dihindari dan diprediksi (Agustin, 2014). Salah satu infrastruktur yang harus memiliki ketahanan terhadap gempa adalah gedung bertingkat.

Sebagai salah satu upaya mitigasi, suatu gedung harus dibuat simetris karena ketika terjadi gempa respon struktur tersebut mudah terprediksi. Desain Seismik untuk bangunan gedung berbasis kinerja merupakan desain elastis yang dilakukan pada kemungkinan kinerja bangunan di bawah input gerakan tanah. (Khan, R. A. 2014). Tetapi, seiring dengan perkembangan desain arsitektur, banyak bangunan dengan bentuk tidak beraturan (asimetris). Maka, diperlukan analisis perilaku struktur pada gedung yang tidak beraturan agar dapat memprediksi respon struktur yang terjadi akibat pengaruh beban gempa (Dary, R. W. et.al. 2019; Reyani, E., et.al. 2021). Dalam penelitian ini, penulis tertarik untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur gedung yang memiliki ketidakberaturan struktur akibat beban gempa. Sebagai contoh kasus gedung yang memiliki ketidakberaturan struktur adalah Gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi.

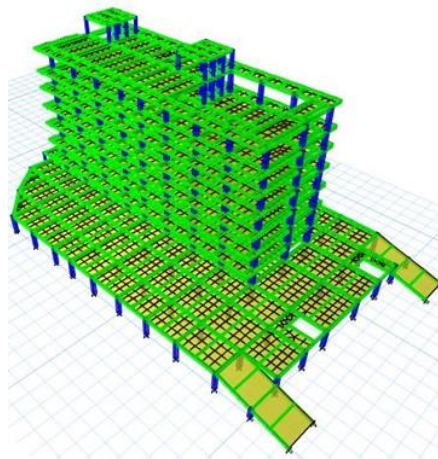
Tujuan dari penelitian ini adalah 1) Mengetahui besarnya simpangan maksimum struktur gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi akibat beban gempa dengan metode analisis Respon Spektrum. 2) Mengetahui besarnya simpangan maksimum struktur gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi akibat beban gempa dengan metode analisis Riwayat Waktu (Time History). 3) Mengetahui kinerja struktur gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi akibat beban gempa dinamis.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menjelaskan suatu fenomena dengan menggunakan angka yang menggambarkan karakteristik subjek yang diteliti. (Ridwan, M., et.al. 2021). Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sistem analisis hitungan yang didasarkan pada data yang diperoleh dari data lapangan, sedangkan pembahasan hasil hitungan didasarkan pada teori yang diperoleh dari berbagai pustaka.

Penelitian ini berstudi kasus pada proyek pembangunan Gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) di Jalan Pangeran Jayakarta (depan Kantor Kelurahan Harapan Mulya), Kelurahan Harapan Mulya, Kecamatan Medan Satria, Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat. Desain penelitian yang digunakan adalah analisis dinamik terhadap beban gempa dibantu dengan software ETABS V17.0.1. Berikut adalah data struktur dan gambar model 3D struktur gedung Kantor pemerintah (POLRES) Kota Bekasi.

Lokasi bangunan	: Kota Bekasi
Fungsi bangunan	: Kantor
Jenis struktur	: Beton Bertulang
Jenis tanah	: Lunak
Kategori risiko	: II
Faktor keutamaan gempa	: 1,0
Koefisien Modifikasi Respons	: 8
Kategori desain seismik	: D



Gambar 1. Model Struktur gedung 3D

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Secara umum langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah seperti sebagaiberikut:

1. Mengidentifikasi gambar kerja pekerjaan struktur Gedung Kantor Pelayanan Pemerintah(POLRES) Kota Bekasi.

DOI:

2. Membuat pemodelan struktur 3D dengan bantuan *software* ETABS V17.0.1 sesuai *existing*.
3. Menginput data material, dimensi elemen dan beban struktur pada pemodelan ETABS.
4. Untuk analisis gempa respons spektrum, data gempa yang digunakan adalah data gempa berdasarkan karakteristik gedung yang didapat dari SNI 1726-2019 atau bisa dari *website* yang telah disediakan oleh Departemen Pekerjaan Umum di <http://puskim.pu.go.id/>.
5. Untuk analisis gempa riwayat waktu (*time history*), data gempa yang digunakan adalah data akselelogram rekaman gempa dari 3 wilayah yang memiliki kekuatan magnitudo berdekatan dengan kekuatan magnitudo lokasi gedung yang ditinjau.
6. Melakukan pengecekan (*running*) struktur pada ETABS untuk mendapatkan hasil yang optimal, hingga struktur dalam kapasitas aman.
7. Menganalisis hasil output ETABS dengan melakukan pengecekan (kontrol) terhadap nilai gayageser dasar dan simpangan antar lantai
8. Melakukan analisis kinerja struktur berdasarkan ATC-40 untuk mengetahui level kinerja strukturyang ditinjau
9. Membuat kesimpulan dan saran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil penelitian ini akan dipaparkan beberapa temuan penelitian sebagai hasil daripengumpulan serta pengolahan data.

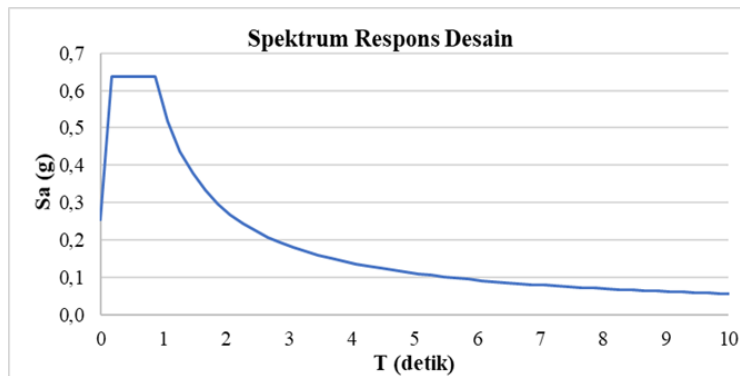
Tabel 1. Berat seismik efektif (W)

Lantai	Total
Lt. Crown	65782,46
Lt. Atap	537736,73
Lt. 7	797450,02
Lt. 6	819976,04
Lt. 5	889406,61
Lt. 4	907024,12
Lt. 3	910070,92
Lt. 2	915488,92
Lt. 1	3434490,15
Total	9277425,96

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

3.1. Analisis Ragam Respons Spektrum

Analaisis Ragam Respons Spektrum untuk mengetahui kondisi struktur yang menerima beban gempa akan memunculkan suatu perilaku atau respons khusus. (Miranda, M., et.al. 2019; Handayani, N. et.al. 2022; Harnedi, R. A. et.al. 2023). Berikut adalah grafik respons spektrum desain Kota Bekasi :



Gambar 2. Grafik respons spektrum desain

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Tabel 2. Rasio massa partisipasi modal

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,696	0,5495	0,00002	0,5495	0,00002
2	1,517	0,006	0,0273	0,5555	0,0274
3	1,411	0,0002	0,5104	0,5556	0,5378
4	0,629	0,103	0,00003	0,6586	0,5378
5	0,559	0,0068	0,006	0,6654	0,5438
6	0,535	0,0002	0,0916	0,6656	0,6355
7	0,383	0,0852	0,0001	0,7508	0,6355
8	0,338	0,003	0,0076	0,7538	0,6431
9	0,332	0,0001	0,0548	0,7539	0,6979
10	0,272	0,1374	0,0003	0,8912	0,6982
11	0,244	0,0015	0,0003	0,8927	0,6984
12	0,24	0,0002	0,0245	0,8929	0,7229
13	0,226	0,0045	0,0507	0,8974	0,7735
14	0,222	0,0065	0,0046	0,9039	0,7782
15	0,216	0,0245	0,0115	0,9284	0,7897
16	0,201	0,0182	0,0231	0,9466	0,8128
17	0,197	0,0327	0,0048	0,9793	0,8176
18	0,187	0,0027	0,0137	0,9821	0,8313
19	0,174	0,0002	0,0011	0,9823	0,8324
20	0,17	0,0001	0,0007	0,9824	0,8332
21	0,162	0,0001	0,1121	0,9825	0,9452

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Dari tabel 5 terdapat jumlah partisipasi massa pada mode ke-21 untuk arah X sebesar 98,25% dan arah Y sebesar 94,52% sehingga telah memenuhi syarat minimum jumlah ragam 90% partisipasi massa sesuai SNI 1726-2019.

1. Kontrol Gaya Geser Dasar

Syarat gaya geser dasar sesuai SNI 1726-2019 yaitu:

$$V_{dinamik} \geq V_{statik}$$

Didapat nilai gaya geser statik adalah:

$$V_s = CS \times W = 396733,037 \text{ kg}$$

Nilai gaya geser ($V_{dinamik}$) pada output ETABS v.17.0.1 :

DOI:

$V_x = 396733,074 \text{ kg} > V_s = 396733,037 \text{ kg}$

$V_y = 396734,185 \text{ kg} > V_s = 396733,037 \text{ kg}$

2. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Tabel 3. Simpangan arah X

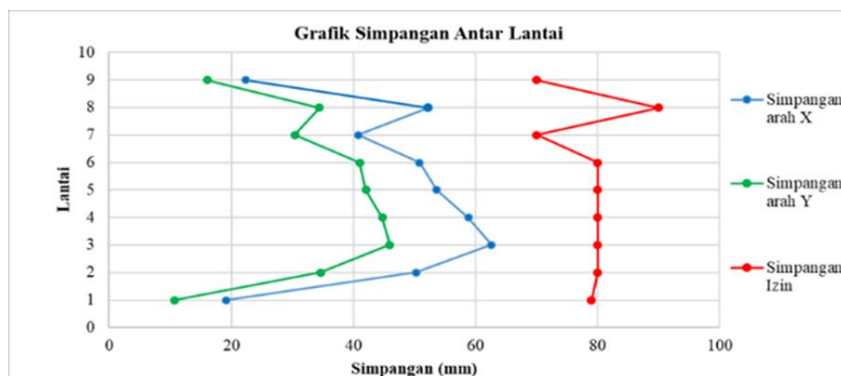
Lantai	H	Simpangan	Simpangan	Simpangan ijin	Cek
		(Δ)	antar lantai (δ_x)	antar lantai (δ_i)	
	mm	mm	mm	mm	
Lt. Crown	3500	74,655	22,396	70	OK
Lt. Atap	4500	70,583	52,25	90	OK
Lt. 7	3500	61,083	40,755	70	OK
Lt. 6	4000	53,673	50,8255	80	OK
Lt. 5	4000	44,432	53,6085	80	OK
Lt. 4	4000	34,685	58,795	80	OK
Lt. 3	4000	23,995	62,5735	80	OK
Lt. 2	4000	12,618	50,2315	80	OK
Lt. 1	3950	3,485	19,1675	79	OK

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Tabel 4. Simpangan arah Y

Lantai	H	Simpangan	Simpangan	Simpangan	Cek
		(Δ)	antar lantai (δ_x)	ijin antar lantai (δ_i)	
	mm	mm	mm	mm	
Lt. Crown	3500	54,566	16,049	70	OK
Lt. Atap	4500	51,648	34,4245	90	OK
Lt. 7	3500	45,389	30,4205	70	OK
Lt. 6	4000	39,858	41,0135	80	OK
Lt. 5	4000	32,401	42,0805	80	OK
Lt. 4	4000	24,75	44,748	80	OK
Lt. 3	4000	16,614	45,98	80	OK
Lt. 2	4000	8,254	34,65	80	OK
Lt. 1	3950	1,954	10,747	79	OK

Sumber : Hasil Olah Data (2022)



Gambar 3. Grafik simpangan antar lantai

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

DOI:

3.2. Analisis Riwayat Waktu (Time History)

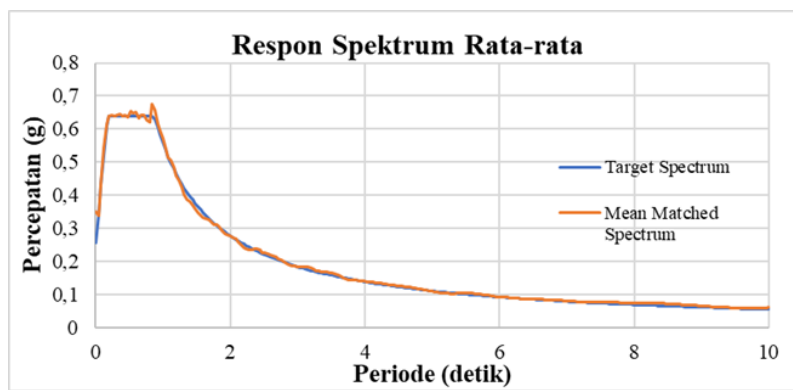
Berikut adalah data rekaman gempa yang digunakan untuk analisis riwayat waktu.

Tabel 5. Data rekaman gempa

No	Tempat	Lokasi	Tahun	Magnitudo
1	Kobe	Kobe University	1995	6,9
2	Chuetsu	Kashiwazaki	2007	6,8
3	Sierra	ElCentro	2010	7,2

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

SNI 1726-2019 mensyaratkan untuk respon spektrum dari rekaman gempa yang dipilih sebagai gempa masukan harus memiliki nilai percepatan yang berdekatan dengan respon spektrum desain pada periode 0,2T sampai 1,5T.



Gambar 4. Respon spektrum rata-rata dari rekaman akselelogram terpilih

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Nilai Sa respon spektrum desain rata-rata pada periode 0,2T – 1,5T = 0,436 detik.

Nilai Sa respon spektrum aktual rata-rata pada periode 0,2T – 1,5T = 0,435 detik.

Berdasarkan data diatas, kedua respon spektrum memiliki nilai percepatan yang berdekatan. Jadi, 3 akselelogram pilihan dapat digunakan untuk analisis riwayat waktu (*time history*).

1. Kontrol Gaya Geser Dasar

Syarat gaya geser dasar sesuai SNI 1726-2019 yaitu:

$$V_{dinamik} \geq V_{statik}$$

Tabel 6. Kontrol gaya geser dasar arah X

Data gempa	V dinamik (kg)	V statik (kg)	Keterangan
Kobe-Kobe University (1995)	396733,1		OK!

Chuetsu-Kashiwazaki (2007)	396733	396733	OK!
Sierra-El Centro (2010)	396733		OK!

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Tabel 7. Kontrol gaya geser dasar arah Y

Data gempa	V dinamik (kg)	V statik (kg)	Keterangan
Kobe-Kobe University (1995)	396733,1		OK!
Chuetsu-Kashiwazaki (2007)	396734,7	396733	OK!
Sierra-El Centro (2010)	396736,1		OK!

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

2. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Tabel 8. Simpangan arah X

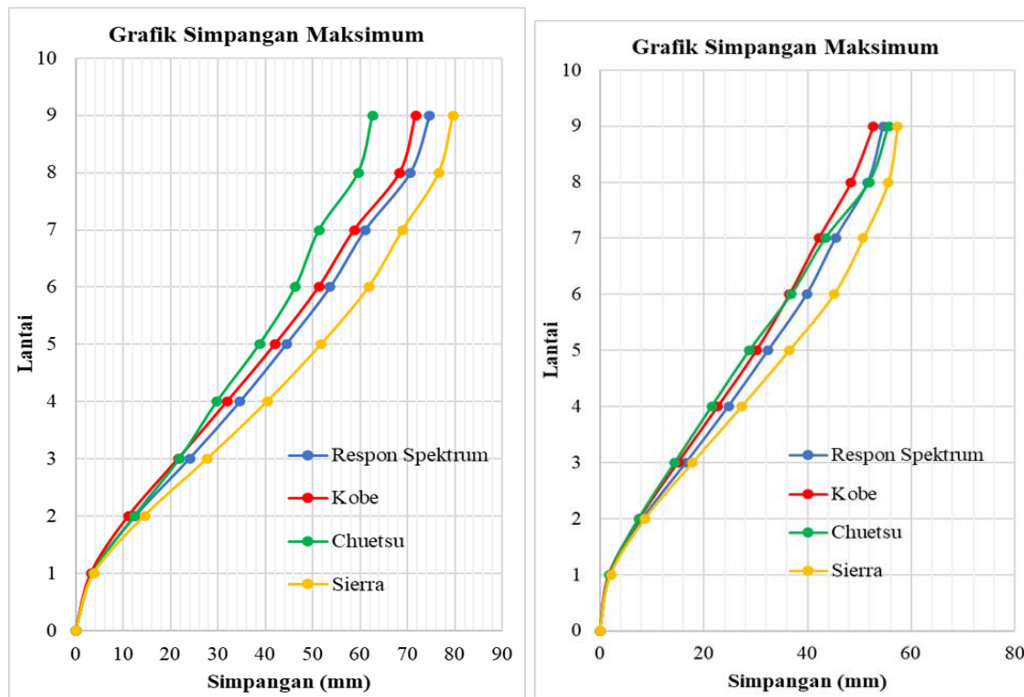
Lantai	H	Simpangan (Δ)			Simpangan maksimum antar lantai (Δ)	Simpangan antar lantai (δ_x)	Simpangan ijin antar lantai (δ_i)	Cek
		Kobe	Chuetsu	Sierra				
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Lt. Crown	3500	71,725	62,639	79,662	79,662	16,401	70	OK
Lt. Atap	4500	68,373	59,62	76,68	76,68	42,015	90	OK
Lt. 7	3500	58,788	51,378	69,041	69,041	39,463	70	OK
Lt. 6	4000	51,276	46,34	61,866	61,866	55,297	80	OK
Lt. 5	4000	42,037	38,784	51,812	51,812	62,618	80	OK
Lt. 4	4000	31,957	29,811	40,427	40,427	69,592	80	OK
Lt. 3	4000	21,613	21,912	27,774	27,774	73,117	80	OK
Lt. 2	4000	11,120	12,404	14,48	14,48	58,542	80	OK
Lt. 1	3950	3,218	3,647	3,836	3,836	21,098	79	OK
Base	0	0	0	0	0	0	0	OK

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Tabel 9. Simpangan arah Y

Lantai	H	Simpangan (Δ)			Simpangan maks (Δ)	Simpangan antar lantai (δx)	Simpangan ijin antar lantai (δi)	CEK
		Kobe	Chuetsu	Sierra				
	mm	mm	mm	mm	Mm	mm	mm	
Lt. Crown	350	52,70	55,654	57,35	57,35	9,845	70	OK
	0	4		6	6			
Lt. Atap	450	48,40	51,893	55,56	55,56	26,411	90	OK
	0	5		6	6			
Lt. 7	350	42,16	43,451	50,76	50,76	30,981	70	OK
	0	3		4	4	5		
Lt. 6	400	36,53	36,894	45,13	45,13	47,432	80	OK
	0	1		1	1			
Lt. 5	400	30,15	28,817	36,50	36,50	50,539	80	OK
	0	8		7	7	5		
Lt. 4	400	22,71	21,534	27,31	27,31	51,925	80	OK
	0	3		8	8	5		
Lt. 3	400	15,03	14,422	17,87	17,87	50,347	80	OK
	0	4		7	7			
Lt. 2	400	7,593	7,472	8,723	8,723	36,470	80	OK
	0					5		
Lt. 1	395	1,747	1,875	2,092	2,092	11,506	79	OK
	0							
Base	0	0	0	0	0	0	0	OK

Sumber : Hasil Olah Data (2022)



Gambar 5. Grafik simpangan maksimum arah X dan Y

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

3.3. Level Kinerja Struktur (ATC-40)

Kinerja suatu struktur dapat dievaluasi dengan analisis pushover pada software berbasis elemen hingga dengan memperhitungkan perilaku inelastis elemen struktur. (Sudarsana, I. K., Asmara, A. A. G. A., & Mahayani, G. A. R. 2018). Berdasarkan perhitungan, nilai maksimum drift untuk semua model struktur dengan beban gempa respon spektrum dan riwayat gempa (time history) kurang dari 0,01 dan nilai maksimum inelastic drift untuk semua model struktur kurang dari 0,005. Maka, level kinerja struktur pada gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi yaitu Immediate Occupancy (IO) dimana elemen utama struktur tidak mengalami kerusakan, tidak ada drift permanen, kekuatan dan kekakuan struktur tidak mengalami perubahan berarti, risiko korban jiwa dari kegagalan struktur rendah, secara keseluruhan gedung tidak mengalami kerusakan dan dapat segera difungsikan.

Tabel 10. Level kinerja struktur arah X

Data Gempa	Dt	D1	Maksimum Total Drift	Maksimum Inelastic Drift	Level Kinerja
	(m)	(m)			
Respon Spektrum	0,0747	0,0126	0,00211	0,00175	IO
Kobe - Kobe University	0,0717	0,0111	0,00202	0,00171	IO
Chuetsu - Kashiwazaki	0,0626	0,0124	0,00177	0,00142	IO
Sierra - El Centro	0,0797	0,0145	0,00225	0,00184	IO

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

Tabel 11. Level kinerja struktur arah Y

Data Gempa	Dt	D1	Maksimum Total Drift	Maksimum Inelastic Drift	Level Kinerja
	(m)	(m)			
Respon Spektrum	0,0546	0,0083	0,00154	0,00131	IO
Kobe - Kobe University	0,0527	0,0076	0,00149	0,00127	IO
Chuetsu - Kashiwazaki	0,0557	0,0075	0,00157	0,00136	IO
Sierra - El Centro	0,0574	0,0087	0,00162	0,00137	IO

Sumber : Hasil Olah Data (2022)

4. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah simpangan maksimum struktur gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi akibat beban gempa dengan metode analisis Respons Spektrum untuk arah X sebesar 74,655 mm, sedangkan untuk arah Y sebesar 54,566 mm. Simpangan maksimum struktur gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi akibat beban gempa dengan metode analisis Riwayat Waktu (*Time History*) untuk arah X sebesar 79,662 mm, sedangkan untuk arah Y sebesar 57,356 mm. Kinerja struktur gedung Kantor Pelayanan Pemerintah (POLRES) Kota Bekasi akibat beban gempa respons spektrum maupun riwayat waktu (*time history*) dengan nilai maksimum total drift lantai atap sebesar 0,0022 dan nilai maksimum inelastic *drift* lantai atap sebesar 0,0018 menunjukkan bahwa level kinerja struktur tersebut adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

REFERENSI

- Agustin, H. (2014). Persepsi masyarakat Kenagarian Sumani tentang kesiapsiagaan bencana gempa bumi. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 2(5), 199-206.
- Arifin, Z. A., DIAH, S., & Rudianto, M. A. (2022). ANALISIS KINERJA GEDUNG TINGKAT TINGGI BERBASIS PEMODELAN SAP 2000 (*Doctoral dissertation, Universitas Islam Majapahit*).
- Dary, R. W., Frapanti, S., & Utami, C. (2019). Evaluasi Kekakuan Batu Bata Lubuk Pakam Pada Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Pushover. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 11-15..
- Handayani, N. K., Setiawan, B., & Nurchasanah, Y. (2022, August). Perencanaan Dinding Geser pada Gedung Kuliah 7 Lantai dengan Sistem Ganda. *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 9-15).
- Harnedi, R. A., Tanjung, J., & Sunaryati, J. (2023). Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan Dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat Di Indonesia. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 3(1), 45-57.
- Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. E. (2019). Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 201-208.
- Khan, R. A. (2014). Performance based seismic design of reinforced concrete building. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(6), 13495-13506.
- Miranda, M., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2019). Analisis Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Box Girder. *Sainstek (e-Journal)*, 7(2), 62-72.

DOI:

Ridwan, M., Suhar, A. M., Ulum, B., & Muhammad, F. (2021). Pentingnya penerapan literature review pada penelitian ilmiah. *Jurnal Masohi*, 2(1), 42-51.

Reyani, E., Ishak, I., & Priana, S. E. (2021). EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN DENGAN METODE PUSHOVER ANALYSIS PADA GEDUNG RUMAH SAKIT STROKE NASIONAL BUKITTINGGI. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(1), 151-157.

Sudarsana, I. K., Asmara, A. A. G. A., & Mahayani, G. A. R. (2018). Evaluasi Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Tidak Beraturan dengan Penambahan Tingkat Menggunakan Struktur Baja. *Jurnal Spektran*, 6(2), 246.

Tanauma, C., Windah, R. S., & Wallah, S. E. (2023). Analisa Dinamik Bangunan Bertingkat Yang Memiliki Ketidakberaturan Horisontal Berbentuk T Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726: 2019. *TEKNO*, 21(85), 957-968.

Utomo, D. P., & Purba, B. (2019, September). Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia. In *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)* (Vol. 1, pp. 846-853).