

Performance Analysis of the Pejaten Park Residence Apartment Building Structure Due to Earthquake Loads

Bravian Ariq Akbarulah^{1*}, Budi Kudwadi², Ben Novarro Batubara³
Universitas Pendidikan Indonesia

Corresponding Author: Bravian Ariq Akbarulah bravianariq@upi.edu

ARTICLE INFO

Keywords: Spectrum Response, Time History, ATC-40

Received : 13, September

Revised : 15, October

Accepted: 17, November

©2025 Akbarulah, Kudwadi, Batubara: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT

The Pejaten Park Residence Apartment Building is a reinforced concrete structure building and functions as a 23-storey residential/apartment building with a height of 71 meters located in DKI Jakarta. The analysis method was carried out by analyzing the Spectrum Response method and the Time History method. The purpose of the study is to determine the level of structural performance based on ATC-40 with the maximum deviation value parameters that occur in the Pejaten Park Residence Apartment Building. The results showed that the maximum inter-floor deviation due to earthquake load with the Spectrum Response method was 36.20 mm for the x-direction and 45.02 for the y-direction. Meanwhile, the maximum deviation between floors due to earthquake load using the Time History method is 47,526 mm (x-direction) and 50,232 (y-direction) due to the Chuetsuoki model earthquake, 48,334 mm (x-direction) and 43,808 mm (y-direction) due to the Coastal model earthquake, 48,109 mm (x-direction) and 50,573 mm (y-direction) due to the Tohoku model earthquake.

Analisis Kinerja Struktur Gedung Apartemen Pejaten Park Residence Akibat Beban Gempa

Bravian Ariq Akbarulah^{1*}, Budi Kudwadi², Ben Novarro Batubara³
Universitas Pendidikan Indonesia

Corresponding Author: Bravian Ariq Akbarulah bravianariq@upi.edu

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Respon Spektrum, Time History, ATC-40

Received : 13, September

Revised : 15, Oktober

Accepted: 17, November

©2025 Akbarulah, Kudwadi, Batubara: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Gedung Apartemen Pejaten Park Residence merupakan gedung struktur beton bertulang dan berfungsi sebagai gedung hunian/apartemen bertingkat 23 lantai dengan ketinggian 71-meter yang berlokasi di DKI Jakarta. Metode analisis dilakukan dengan analisis metode Respon Spektrum dan metode Time History. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dengan parameter nilai simpangan maksimum yang terjadi pada Gedung Apartemen Pejaten Park Residence. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpangan antar lantai maksimum akibat beban gempa dengan metode Respon Spektrum adalah 36.20 mm untuk arah-x dan 45.02 untuk arah-y. Sedangkan nilai simpangan antar lantai maksimum akibat beban gempa dengan metode Time History Adalah 47.526 mm (arah-x) dan 50.232 (arah-y) akibat gempa model Chuetsuoki, 48.334 mm (arah-x) dan 43.808 mm (arah-y) akibat gempa model Coastal, 48.109 mm (arah-x) dan 50.573 mm (arah-y) akibat gempa model Tohoku.

PENDAHULUAN

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, yang membuat Indonesia menjadi salah satu wilayah dengan aktivitas gempa tertinggi di dunia. Gempa bumi tersebut, dapat menyebabkan kerusakan struktural terjadi pada bangunan, terutama gedung bertingkat yang memiliki beban dan sistem struktur yang kompleks. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa bangunan yang dirancang dan dibangun di Indonesia mampu menahan beban seismik sesuai dengan standar yang berlaku agar dapat melindungi keselamatan penghuninya dan meminimalkan kerugian yang terjadi.

Gedung Apartemen Pejaten Park Residence merupakan salah satu bangunan bertingkat yang berada di kota Jakarta, wilayah yang memiliki potensi cukup tinggi terhadap aktivitas gempa akibat sesar lokal maupun gempa megathrust di sekitar zona subduksi. Sebagai bangunan yang menampung banyak aktivitas dari penghuni, performa struktur gedung tersebut harus dianalisis secara mendalam. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah desain struktur telah memenuhi persyaratan peraturan gempa yang berlaku di Indonesia.

Pembebanan akibat gempa terbagi menjadi dua yaitu pembebanan statik dan pembebanan dinamik. Dimana metode yang digunakan dalam analisis statik adalah metode statik ekuivalen dan metode pushover, sedangkan metode yang digunakan dalam analisis dinamik adalah Metode Respon Spektrum dan Metode Time History. Metode pembebanan gempa dinamik akan digunakan pada analisis ini untuk mengevaluasi respons gedung terhadap beban gempa. Pendekatan yang digunakan dalam analisis ini meliputi metode respons spektrum dan metode Time History yang dapat memberikan gambaran besaran simpangan (drift) akibat beban yang bekerja.

Setiap simulasi dari metode pembebanan gempa akan memberikan informasi berupa perilaku struktur diantaranya simpangan lateral (drift) antar tingkat. Analisis dilakukan untuk mengetahui nilai simpangan (drift) maksimum gedung akibat beban gempa dan untuk mengetahui level kinerja struktur berdasarkan standar ATC 40. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis kinerja struktur pada Gedung Apartemen Pejaten Park Residence.

TINJAUAN PUSTAKA

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, yang membuat Indonesia menjadi salah satu wilayah dengan aktivitas gempa tertinggi di dunia. Gedung Apartemen Pejaten Park Residence merupakan salah satu bangunan bertingkat yang berada di kota Jakarta, wilayah yang memiliki potensi cukup tinggi terhadap aktivitas gempa akibat sesar lokal maupun gempa megathrust di sekitar zona subduksi. Pembebanan akibat gempa terbagi menjadi dua yaitu pembebanan statik dan pembebanan dinamik.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan sebagai studi kasus untuk dianalisis ini adalah Gedung Apartemen Pejaten Park Residence yang berlokasi di Jalan Buncit Raya No.21, Ragunan, Pasar Minggu, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta. Bangunan ini merupakan struktur gedung beton bertulang 23 lantai dengan total luasan 15.317,83 m². Gedung Apartemen Pejaten Park Residence didirikan pada tahun 2014 sehingga perlu disesuaikan dengan standar desain terbaru.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif digunakan untuk menjelaskan hasil penelitian secara sistematis melalui uraian yang terstruktur, sedangkan pendekatan kuantitatif memanfaatkan data terukur yang dianalisis menggunakan teknik statistik, matematis, atau komputasional.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pembebanan

1. Dead Load

Beban mati didasarkan pada nilai berat material dan dimensi yang digunakan sebagai elemen struktur. Pada analisis ini, elemen struktur yang digunakan adalah beton bertulang dengan berat jenis 2400 kg/m³. Beban mati akibat berat sendiri struktur didapatkan dari summary material list pada perangkat lunak ETABS.

Tabel 1. Berat Sendiri Struktur

Tipe Elemen	Tipe Struktur	Berat
		kN
K01 (700.800)	Kolom	1741.79
K02 (750.1000)	Kolom	4665.50
K03 (800.1200)	Kolom	7464.80
K04 (850.1500)	Kolom	9914.18
K05 (900.1800)	Kolom	13894.70
B01 (300.600)	Balok	1134.14
B02 (350.600)	Balok	763.02
B03 (400.600)	Balok	1185.32
B04 (300.600)	Balok	2268.28
B05 (450.600)	Balok	1970.96
B06 (500.650)	Balok	3185.73
B07 (300.650)	Balok	3071.63
B08 (500.650)	Balok	2768.37
B09 (650.700)	Balok	5532.15
B10 (300.700)	Balok	3307.91
B11 (600.700)	Balok	3399.45
B12 (700.750)	Balok	6333.77
B13 (300.700)	Balok	3307.91
B14 (650.700)	Balok	3489.76
B15 (750.800)	Balok	7182.04

Type Elemen	Type Struktur	Berat kN
B15a (300.200)	Balok	1.41
B.L. (300.500)	Balok	4975.29
S6 (130mm)	Pelat Lantai	28670.99
SW1B (300mm)	Dinding Geser	3061.56
S6A (130mm)	Pelat Lantai	3526.36
S7 (180mm)	Pelat Lantai	2225.15
SW3B (300mm)	Dinding Geser	3212.12
TOTAL		132254.30

2. Superimposed Dead Load

Tabel 2. Beban Area SIDL

Beban Area		
Pasir/cm	0.15	kN/m ²
Adukan Semen/cm	0.15	kN/m ²
Keramik	0.023	kN/m ²
MEP	0.19	kN/m ²
Plafond	0.24	kN/m ²
Waterproofing	0.07	kN/m ²
SIDL Pelat lantai	0.82	kN/m ²
SIDL Atap	0.50	kN/m ²

Tabel 3. Beban Garis SIDL

Beban Garis	Beban (kN/m³)	Tebal (m)	Tinggi (m)	Nilai Beban (kN/m)
Bata Merah Lt.2-Lt.25	10	0.15	3.3	4.95
Bata Merah Lt.LMR	10	0.15	4	6

3. Live Load

Besarnya beban hidup umumnya ditentukan berdasarkan standar yang berlaku. Kategorisasi beban hidup pada gedung didasarkan pada fungsi masing-masing ruangan dalam bangunan. Berikut ini adalah beberapa jenis ruangan yang terdapat dalam Gedung Apartemen Pejaten Park Residence:

- Ruang Pribadi, Koridor, Semua Ruang : 1.92 kN/m².
- Beban Hidup Atap : 0.96 kN/m².

4. Rain Load

Nilai beban hujan ditentukan berdasarkan ketentuan dalam SNI 1727:2020, dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya genangan. Pada perencanaan struktur Gedung Apartemen Pejaten Park Residence, nilai beban hujan adalah 0.10 kN/m² dengan pertimbangan genangan setinggi 10 mm.

5. Earthquake Load

Analisis beban gempa dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lokasi guna menentukan klasifikasi jenis tanah (kelas situs). Pada lokasi pembangunan Gedung Pejaten Park Residence, tanah diasumsikan termasuk dalam kategori tanah lunak (kelas SE), mengingat tidak tersedia data hasil penyelidikan tanah atau uji geoteknik. Parameter respons spektrum untuk lokasi tersebut ditentukan berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726:2019.

a. Parameter Percepatan Gempa

Percepatan Spektral Periode Pendek, $S_s = 0.781$

Percepatan Spektral Periode 1 Detik, $S_1 = 0.382$

b. Faktor Amplifikasi berdasarkan Koefisien Situs

Faktor amplifikasi getaran terkait S_s , $F_a = 1.276$

Faktor amplifikasi getaran terkait S_1 , $F_v = 2.471$

c. Parameter Spektral Respon

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 0.996$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 0.945$$

d. Parameter Percepatan

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0.664$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0.630$$

e. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang telah dihitung, penentuan kategori desain seismik dilakukan dengan mengacu pada kategori desain seismik dalam SNI 1726:2019. Dari hasil tersebut, Gedung Apartemen Pejaten Park Residence diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik D.

f. Periode Waktu

$$T_0 = 0.2 \times S_{D1} / S_{DS} = 0.190 \text{ detik}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0.949 \text{ detik}$$

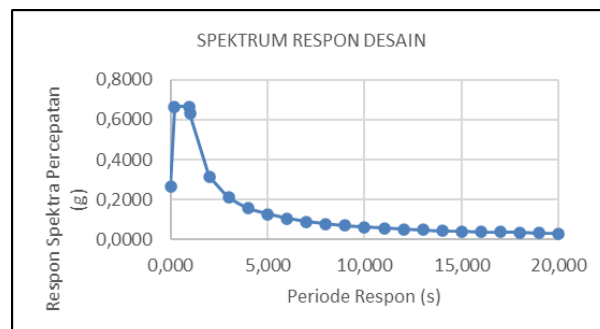
g. Respon Spektra Percepatan

Berikut disajikan nilai dan grafik dari respon percepatan spektra.

Tabel 4. Respon Percepatan Spektra

T (s)	Sa (g)
0.000	0.2655
0.190	0.6638
0.949	0.6638
1.000	0.6297
2.000	0.3149
3.000	0.2099
4.000	0.1574
5.000	0.1259
6.000	0.1050
7.000	0.0900
8.000	0.0787
9.000	0.0700
10.000	0.0630

T (s)	Sa (g)
11.000	0.0572
12.000	0.0525
13.000	0.0484
14.000	0.0450
15.000	0.0420
16.000	0.0394
17.000	0.0370
18.000	0.0350
19.000	0.0331
20.000	0.0315



Gambar 1. Spektrum Respon Desain

Gaya Geser Dasar Seismik

Untuk menentukan nilai gaya geser dasar akibat gempa, diperlukan sejumlah koefisien pendukung serta informasi mengenai berat seismik efektif dari Gedung Apartemen Pejabat Park Residence. Koefisien-koefisien tersebut bersama dengan berat seismik efektif akan digunakan dalam proses analisis dan perhitungan gaya geser dasar statik (V_{statik}). Meskipun nilai gaya geser dasar seismik dapat diperoleh langsung dari output program ETABS, perhitungan manual tetap diperlukan sebagai pembandingan untuk memverifikasi keakuratan hasil analisis perangkat lunak.

Penskalaan Gaya

Penskalaan gaya geser dasar seismik dilakukan apabila nilai gaya geser dasar dari analisis dinamik ternyata lebih kecil dibandingkan dengan nilai gaya geser dasar dari analisis statik. Berikut tabel Simpangan Antar Tingkat.

Tabel 5. Simpangan antar Tingkat Arah-X (Respon Spektrum)

Arah X							
Story	h (m)	Δh (mm)	δx_e (mm)	δx (mm)	Δx (mm)	$\Delta a/p$ (mm)	Status
LT LMR	71.0	3300	121.565	668.61	18.74	50.769	Oke
LT25	67.7	3300	118.157	649.86	24.43	50.769	Oke
LT23	64.4	3300	113.715	625.43	27.56	50.769	Oke
LT22	61.1	3300	108.705	597.88	30.97	50.769	Oke
LT21	57.8	3300	103.074	566.91	33.41	50.769	Oke
LT20	54.5	3300	96.999	533.49	33.63	50.769	Oke
LT19	51.2	3300	90.885	499.87	32.40	50.769	Oke

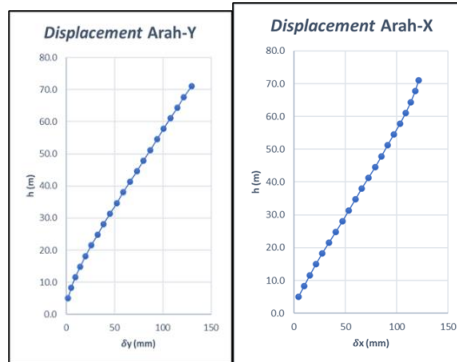
Arah X							
Story	h (m)	Δh (mm)	δx_e (mm)	δx (mm)	Δx (mm)	$\Delta a/\rho$ (mm)	Status
LT18	47.9	3300	84.994	467.47	33.53	50.769	Oke
LT17	44.6	3300	78.897	433.93	34.96	50.769	Oke
LT16	41.3	3300	72.540	398.97	35.94	50.769	Oke
LT15	38.0	3300	66.006	363.03	35.61	50.769	Oke
LT12	34.7	3300	59.531	327.42	34.32	50.769	Oke
LT11	31.4	3300	53.291	293.10	34.97	50.769	Oke
LT10	28.1	3300	46.933	258.13	35.82	50.769	Oke
LT9	24.8	3300	40.420	222.31	36.20	50.769	Oke
LT8	21.5	3300	33.838	186.11	35.21	50.769	Oke
LT7	18.2	3300	27.436	150.90	33.29	50.769	Oke
LT6	14.9	3300	21.384	117.61	32.75	50.769	Oke
LT5	11.6	3300	15.430	84.87	31.58	50.769	Oke
LT3	8.3	3300	9.689	53.29	28.45	50.769	Oke
LT2	5.0	5000	4.517	24.84	24.84	76.923	Oke

Tabel 6. Simpangan Antar Tingkat Arah-Y (Respon Spektrum)

Arah Y							
Story	h (m)	Δh (mm)	δy_e (mm)	δy (mm)	Δy (mm)	$\Delta a/\rho$ (mm)	Status
LT. LMR	71.0	3300	130.051	715.28	45.02	50.769	Oke
LT25	67.7	3300	121.866	670.26	38.45	50.769	Oke
LT23	64.4	3300	114.876	631.82	38.23	50.769	Oke
LT22	61.1	3300	107.925	593.59	37.93	50.769	Oke
LT21	57.8	3300	101.028	555.65	38.26	50.769	Oke
LT20	54.5	3300	94.072	517.40	38.51	50.769	Oke
LT19	51.2	3300	87.070	478.89	38.68	50.769	Oke
LT18	47.9	3300	80.038	440.21	38.20	50.769	Oke
LT17	44.6	3300	73.093	402.01	38.20	50.769	Oke
LT16	41.3	3300	66.147	363.81	38.09	50.769	Oke
LT15	38.0	3300	59.222	325.72	38.09	50.769	Oke
LT12	34.7	3300	52.297	287.63	37.19	50.769	Oke
LT11	31.4	3300	45.536	250.45	36.37	50.769	Oke
LT10	28.1	3300	38.923	214.08	35.71	50.769	Oke
LT9	24.8	3300	32.430	178.37	34.64	50.769	Oke
LT8	21.5	3300	26.132	143.73	32.92	50.769	Oke
LT7	18.2	3300	20.147	110.81	30.39	50.769	Oke
LT6	14.9	3300	14.621	80.42	27.38	50.769	Oke
LT5	11.6	3300	9.643	53.04	23.29	50.769	Oke
LT3	8.3	3300	5.409	29.75	17.79	50.769	Oke
LT2	5.0	5000	2.175	11.96	11.96	76.923	Oke

Tabel di atas menunjukkan bahwa nilai simpangan antar tingkat pada Gedung Pejaten Park Residence, berdasarkan hasil analisis respons spektrum, masih berada di bawah batas simpangan maksimum yang diizinkan. Dengan demikian, struktur Gedung Pejaten Park Residence dinyatakan aman terhadap gempa berdasarkan analisis respons spektrum.

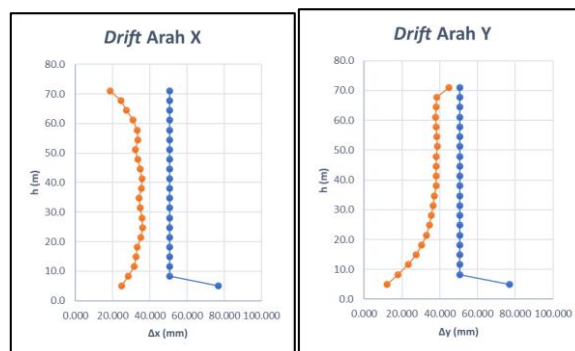
Berikut grafik dari perpindahan (*displacements*) arah X dan arah Y yang terjadi pada Gedung Pejaten Park Residence berdasarkan gempa Metode Respon Spektrum.



Gambar 2. Displacement Arah Horizontal (Analisis Metode Respon Spektrum)

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai perpindahan maksimum kedua arah terjadi pada lantai LMR (71m) dengan nilai perpindahan arah-x sebesar 121.565 mm dan arah-y sebesar 130.051 mm.

Berikut diberikan grafik dari simpangan antar tingkat untuk masing-masing arah-x dan arah-y pada Gedung Pejaten Park Residence dengan analisis Metode Respon Spektrum.



Gambar 3. Simpangan Antar (Drift) Tingkat Arah Horizontal (Analisis Metode Respon Spektrum)

Terlihat pada grafik di atas untuk simpangan arah-x memiliki nilai maksimum 35.94 mm pada lantai 16, sedangkan simpangan arah-y memiliki nilai maksimum 45.02 mm pada lantai LMR serta dapat dilihat bahwa nilai simpangan masih ada di bawah batas izin simpangan inelastic.

Pengaruh P-Delta ($P-\Delta$)

Nilai P pada perhitungan simpangan antar tingkat merupakan total beban vertikal desain, dengan faktor beban masing-masing komponen tidak melebihi 1,0. Oleh karena itu, digunakan kombinasi beban layan berupa: 1 DL + 1 SIDL + 1 LL. Rekapitulasi koefisien stabilitas dan pengaruh $P-\Delta$ untuk arah-x dan arah-y disajikan berikut ini.

Tabel 7. Pengaruh P-Δ (Analisis Metode Respon Spektrum) arah-X

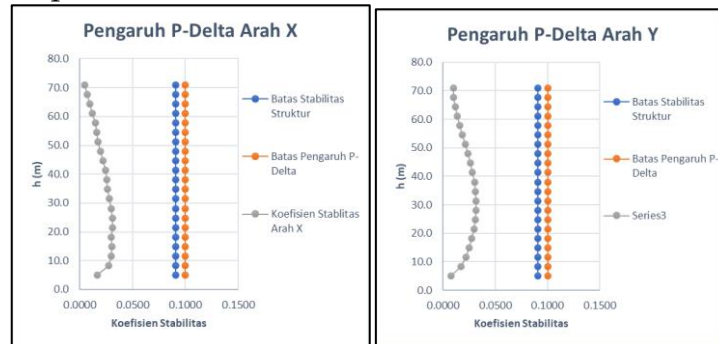
Story	<i>Inelastic Drift</i>	<i>Story Forces</i>		<i>h</i> (mm)	<i>Koefisien Stabilitas</i>	<i>Batas Pengaruh P-Delta</i>	<i>Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}</i>	<i>Cek</i>
	Δ_x	<i>P</i>	<i>V_x</i>		θ_X			
	(mm)	(kN)	(kN)					
LT. LMR	18.7	4930.7	1045.1	3300	0.0049	0.1	0.0909	OK
LT25	24.4	11182.2	2036.3	3300	0.0074	0.1	0.0909	OK
LT23	27.6	18103.6	2838.7	3300	0.0097	0.1	0.0909	OK
LT22	31.0	25025.1	3473.1	3300	0.0123	0.1	0.0909	OK
LT21	33.4	31946.5	3969.2	3300	0.0148	0.1	0.0909	OK
LT20	33.6	38867.9	4357.1	3300	0.0165	0.1	0.0909	OK
LT19	32.4	46544.8	4708.7	3300	0.0176	0.1	0.0909	OK
LT18	33.5	54221.7	5037.4	3300	0.0199	0.1	0.0909	OK
LT17	35.0	61898.6	5342.2	3300	0.0223	0.1	0.0909	OK
LT16	35.9	69575.5	5626.4	3300	0.0245	0.1	0.0909	OK
LT15	35.6	77252.4	5896.3	3300	0.0257	0.1	0.0909	OK
LT12	34.3	85750.3	6186.5	3300	0.0262	0.1	0.0909	OK
LT11	35.0	94248.3	6500.4	3300	0.0279	0.1	0.0909	OK
LT10	35.8	102746.2	6829.3	3300	0.0297	0.1	0.0909	OK
LT9	36.2	111244.2	7167.5	3300	0.0310	0.1	0.0909	OK
LT8	35.2	119742.1	7506.9	3300	0.0309	0.1	0.0909	OK
LT7	33.3	128961.7	7865.3	3300	0.0301	0.1	0.0909	OK
LT6	32.7	138181.3	8233.0	3300	0.0303	0.1	0.0909	OK
LT5	31.6	147400.9	8572.0	3300	0.0299	0.1	0.0909	OK
LT3	28.4	156620.5	8833.5	3300	0.0278	0.1	0.0909	OK
LT2	24.8	167168.5	8990.5	5000	0.0168	0.1	0.0909	OK

Tabel 8. Pengaruh P-Δ (Analisis Metode Respon Spektrum) Arah-Y

Story	<i>Inelastic Drift</i>	<i>Story Forces</i>		<i>h</i> (mm)	<i>Koefisien Stabilitas</i>	<i>Batas Pengaruh P-Delta</i>	<i>Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}</i>	<i>Cek</i>
	Δ_x	<i>P</i>	<i>V_x</i>		θ_x			
	(mm)	(kN)	(kN)					
LT. LMR	45.0	4930.7	1205.1	3300	0.0101	0.1	0.0909	OK
LT25	38.4	11182.2	2317.1	3300	0.0102	0.1	0.0909	OK
LT23	38.2	18103.6	3164.1	3300	0.0121	0.1	0.0909	OK
LT22	37.9	25025.1	3746.0	3300	0.0140	0.1	0.0909	OK
LT21	38.3	31946.5	4134.9	3300	0.0163	0.1	0.0909	OK
LT20	38.5	38867.9	4408.8	3300	0.0187	0.1	0.0909	OK
LT19	38.7	46544.8	4636.2	3300	0.0214	0.1	0.0909	OK
LT18	38.2	54221.7	4824.0	3300	0.0237	0.1	0.0909	OK
LT17	38.2	61898.6	4985.1	3300	0.0261	0.1	0.0909	OK
LT16	38.1	69575.5	5150.9	3300	0.0283	0.1	0.0909	OK
LT15	38.1	77252.4	5356.3	3300	0.0303	0.1	0.0909	OK
LT12	37.2	85750.3	5643.6	3300	0.0311	0.1	0.0909	OK
LT11	36.4	94248.3	6003.1	3300	0.0315	0.1	0.0909	OK
LT10	35.7	102746.2	6404.6	3300	0.0316	0.1	0.0909	OK
LT9	34.6	111244.2	6833.9	3300	0.0311	0.1	0.0909	OK
LT8	32.9	119742.1	7284.8	3300	0.0298	0.1	0.0909	OK
LT7	30.4	128961.7	7767.5	3300	0.0278	0.1	0.0909	OK
LT6	27.4	138181.3	8233.6	3300	0.0253	0.1	0.0909	OK
LT5	23.3	147400.9	8614.8	3300	0.0220	0.1	0.0909	OK
LT3	17.8	156620.5	8867.4	3300	0.0173	0.1	0.0909	OK
LT2	12.0	167168.5	8990.5	5000	0.0081	0.1	0.0909	OK

Tabel di atas memperlihatkan bahwa nilai koefisien stabilitas pada Gedung Pejaten Park Residence, berdasarkan hasil analisis respons spektrum, berada dalam batas yang dipersyaratkan dan tidak melebihi nilai maksimum yang diizinkan. Dengan demikian, struktur Gedung Pejaten Park Residence dinyatakan stabil terhadap gempa berdasarkan analisis respons spektrum.

Berikut merupakan bentuk grafik dari koefisien stabilitas masing-masing arah-x dan arah-y untuk Gedung Pejaten Park Residence berdasarkan gempa Metode Respon Spektrum.



Gambar 4. Pengaruh P- Δ Arah-X dan Arah-Y (Analisis Metode Respon Spektrum)

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai koefisien stabilitas untuk arah-x dan arah-y tidak melampaui syarat stabilitas struktur dan batas pengaruh P- Δ , sehingga Gedung Pejaten Park Residence tidak memiliki pengaruh P- Δ dalam analisisnya.

Pemilihan Data Rekaman Gerak Tanah

Dalam analisis gempa dengan metode Time History, diperlukan data rekaman gerakan tanah dari lokasi tertentu. Data yang digunakan harus mencerminkan karakteristik gerakan tanah yang mewakili kondisi di lokasi studi. Pemilihan data didasarkan pada kesesuaian nilai magnitudo (M) dan jarak sumber gempa (R) dan hubungannya dengan nilai periode getar bangunan (T). Sesuai dengan SNI 1726:2019, data percepatan tanah yang digunakan untuk analisis Metode *Time History* linear harus terdiri dari minimal tiga pasang komponen ortogonal.

Rekaman gerak tanah yang digunakan berasal dari tiga jenis sumber gempa, yaitu gempa dari pergerakan sesar dangkal (*shallow crustal*), gempa dari subduksi lempeng dalam (*Benioff*), dan gempa dari subduksi lempeng dangkal (*Megathrust*).

Tabel 9. Kriteria Magnitudo dan Jarak Gempa Metode Time History

Sumber	Magnitudo (SR)	Jarak (km)
	3 detik	3 detik
Shallow Crustal	6.8 - 7.0	20 - 30
Benioff	7.6 - 7.8	120 - 150
Megathrust	8.6 - 8.8	150 - 200

Dalam proses pencarian data, input yang dibutuhkan meliputi nilai magnitudo, jarak sumber gempa, serta nilai V_{s30} . Untuk jenis tanah lunak (klasifikasi SE), nilai V_{s30} yaitu berkisar antara 0 hingga 175 m/s. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh data riwayat gerakan tanah yang sesuai, sebagaimana ditampilkan dalam tabel di bawah.

Tabel 10. Data Riwayat Rekaman Gerak Tanah

RSN	Event	Lokasi	Tahun	M	R (km)	V_{s30} (m/s)
5260	Chuetsuoki	Japan	2007	6.80	27.09	128.12
6002697	Coastal Ecuador	Ecuador	2016	7.82	169.51	122.00
4000628	Tohoku	Japan	2011	9.12	192.82	158.30

Spectral Matching

Mengacu pada SNI 1726:2019, setiap komponen dari data riwayat percepatan tanah yang digunakan dalam analisis struktur wajib disesuaikan secara spektral (*spectral matching*) dalam rentang periode antara $0.8 T_{lower}$ hingga $1.2 T_{upper}$. Dalam rentang periode tersebut, untuk masing-masing arah, nilai rata-rata percepatan semu (*pseudo acceleration*) dengan redaman 5% yang diperoleh dari rekaman hasil pencocokan spektral tidak boleh menyimpang lebih dari $\pm 10\%$ terhadap spektrum respons target.

Penskalaan Gaya

Penskalaan gaya geser dasar seismik dilakukan apabila nilai gaya geser dasar dari analisis dinamik ternyata lebih kecil dibandingkan dengan nilai gaya geser dasar dari analisis statik. Berikut nilai rekapitulasi dari penskalaan gaya pada analisis gempa Metode *Time History* Gedung Apartemen Pejabat Park Residence disajikan dalam tabel.

Tabel 11. Rekapitulasi Penskalaan Gaya Metode Time History

Gempa	Sumbu	V statik (kN)	Vdinamik Unscaled (kN)	Vdinamik Scaled (kN)
Chuetsuoki	X	8981.51	3271.10	8982.39
	Y	8981.52	3061.41	8982.43
Coastal Ecuador	X	8981.51	3222.16	8990.48
	Y	8981.52	4226.99	8990.50
Tohoku	X	8981.51	3804.31	8981.51
	Y	8981.52	2995.06	8981.53

Dapat dilihat bahwa nilai V dinamik pada analisis gempa Metode *Time History* sudah diskalakan sehingga nilainya lebih besar atau sama dengan $100\% \times V$ statik, sehingga analisis dapat dilanjutkan.

Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*drift*) diperoleh dari nilai perpindahan (*displacement*) yang dihasilkan melalui output program ETABS. Nilai simpangan yang dihitung tersebut harus dibandingkan dengan batas simpangan izin sesuai ketentuan yang berlaku. Nilai perpindahan arah horizontal sebagai respons terhadap pembebanan gempa Metode *Time History* diambil langsung dari hasil analisis ETABS, dan ringkasan data perpindahan tersebut ditampilkan dalam Tabel berikut.

Tabel 12. Perpindahan (Displacement) arah-X (Analisis Metode Time Histrory)

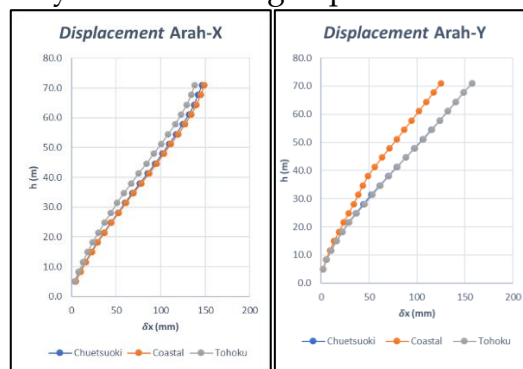
Story	H (mm)	Perpindahan Arah-x (mm)		
		Chuetsuoki	Coastal	Tohoku
LT. LMR	3300	146.079	148.848	138.262
LT25	3300	142.178	145.008	134.174
LT23	3300	137.225	139.914	128.968
LT22	3300	131.437	133.985	123.129
LT21	3300	124.699	127.092	116.274
LT20	3300	117.175	119.402	108.501
LT19	3300	109.416	111.456	100.4
LT18	3300	101.772	103.662	92.367
LT17	3300	93.763	95.507	83.954
LT16	3300	85.363	86.959	75.207
LT15	3300	76.732	78.171	66.642
LT12	3300	68.264	69.53	58.516
LT11	3300	60.23	61.324	51.049
LT10	3300	52.198	53.112	43.801
LT9	3300	44.173	44.902	36.866
LT8	3300	36.297	37.043	30.093
LT7	3300	28.897	29.605	23.774
LT6	3300	22.149	22.765	18.165
LT5	3300	15.733	16.214	12.872
LT3	3300	9.742	10.064	7.957
LT2	5000	4.491	4.648	3.663

Tabel 13. Perpindahan (Displacement) arah-Y (Analisis Metode Time History)

Story	H (mm)	Perpindahan Arah-y (mm)		
		Chuetsuoki	Coastal	Tohoku
LT. LMR	71	157.538	125.257	157.619
LT25	67.7	148.64	117.292	148.424
LT23	64.4	140.494	109.81	140.413
LT22	61.1	132.206	102.224	132.377
LT21	57.8	123.729	94.599	124.127
LT20	54.5	115.178	86.893	115.548
LT19	51.2	106.382	79.11	106.676
LT18	47.9	97.415	71.352	97.585
LT17	44.6	88.361	63.677	88.417
LT16	41.3	79.228	56.131	79.709

Story	H (mm)	Perpindahan Arah-y (mm)		
		Chuetsuoki	Coastal	Tohoku
LT15	38	70.117	48.811	70.923
LT12	34.7	61.141	43.387	62.127
LT11	31.4	52.502	38.676	53.561
LT10	28.1	44.158	33.777	45.237
LT9	24.8	36.16	28.699	37.186
LT8	21.5	28.857	23.527	29.534
LT7	18.2	22.14	18.406	22.445
LT6	14.9	15.989	13.52	16.125
LT5	11.6	10.484	9.008	10.52
LT3	8.3	5.844	5.097	5.832
LT2	5	2.335	2.067	2.312

Berikut diberikan bentuk grafik dari nilai *displacement* untuk masing-masing arah-x dan arah-y akibat beban gempa Metode *Time History*.



Gambar 5. Grafik Perpindahan pada Analisis Metode Time History

Tabel dan grafik di atas menunjukkan adanya perilaku perpindahan yang mana semakin tinggi lantainya maka semakin tinggi perpindahannya, nilai perpindahan terbesar untuk arah-x ada di lantai LMR untuk Chuetsuoki 146.08 mm, Coastal 148.85 mm, Tohoku 138.26 mm. sedangkan nilai perpindahan arah-y, nilai maksimum berada di lantai LMR masing-masing untuk Chuetsuoki 157.54 mm, Coastal 125.26 mm, Tohoku 157.62 mm.

Berikut diberikan rekapitulasi perhitungan simpangan antar tingkat arah-x dan arah-y untuk ketiga jenis gempa masing-masing yaitu gempa Chuetsuoki, gempa Coastal, gempa Tohoku.

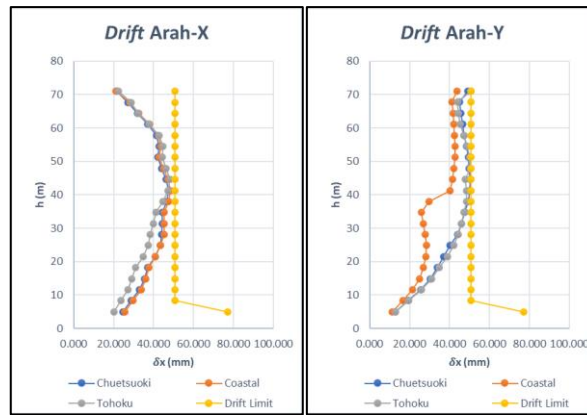
Tabel 14. Simpangan Antar Lantai Arah-X (Analisis Metode Time History)

Story	H (mm)	Simpangan Antar Lantai Arah-x (mm)			Drift Limit	Cek
		Chuetsuoki	Coastal	Tohoku		
LT. LMR	71	21.456	21.120	22.484	50.769	OK
LT25	67.7	27.242	28.017	28.633	50.769	OK
LT23	64.4	31.834	32.609	32.114	50.769	OK
LT22	61.1	37.059	37.912	37.703	50.769	OK
LT21	57.8	41.382	42.295	42.752	50.769	OK
LT20	54.5	42.675	43.703	44.555	50.769	OK
LT19	51.2	42.042	42.867	44.182	50.769	OK
LT18	47.9	44.050	44.853	46.272	50.769	OK
LT17	44.6	46.200	47.014	48.109	50.769	OK

Story	H (mm)	Simpangan Antar Lantai Arah-x (mm)			Drift Limit	Cek
		Chuetsuoki	Coastal	Tohoku		
LT16	41.3	47.471	48.334	47.108	50.769	OK
LT15	38	46.574	47.526	44.693	50.769	OK
LT12	34.7	44.187	45.133	41.069	50.769	OK
LT11	31.4	44.176	45.166	39.864	50.769	OK
LT10	28.1	44.138	45.155	38.143	50.769	OK
LT9	24.8	43.318	43.225	37.252	50.769	OK
LT8	21.5	40.700	40.909	34.755	50.769	OK
LT7	18.2	37.114	37.620	30.850	50.769	OK
LT6	14.9	35.288	36.031	29.112	50.769	OK
LT5	11.6	32.951	33.825	27.033	50.769	OK
LT3	8.3	28.881	29.788	23.617	50.769	OK
LT2	5	24.701	25.564	20.147	76.923	OK

Tabel 15. Simpangan Antar Lantai Arah-Y (Analisis Metode Time History)

Story	H (mm)	Simpangan Antar Lantai Arah-y (mm)			Drift Limit	Cek
		Chuetsuoki	Coastal	Tohoku		
LT. LMR	71	48.939	43.808	50.573	50.769	OK
LT25	67.7	44.803	41.151	44.060	50.769	OK
LT23	64.4	45.584	41.723	44.198	50.769	OK
LT22	61.1	46.623	41.938	45.375	50.769	OK
LT21	57.8	47.031	42.383	47.185	50.769	OK
LT20	54.5	48.378	42.807	48.796	50.769	OK
LT19	51.2	49.319	42.669	50.001	50.769	OK
LT18	47.9	49.797	42.213	50.424	50.769	OK
LT17	44.6	50.232	41.503	47.894	50.769	OK
LT16	41.3	50.110	40.260	48.323	50.769	OK
LT15	38	49.368	29.832	48.378	50.769	OK
LT12	34.7	47.514	25.911	47.113	50.769	OK
LT11	31.4	45.892	26.945	45.782	50.769	OK
LT10	28.1	43.989	27.929	44.281	50.769	OK
LT9	24.8	40.167	28.446	42.086	50.769	OK
LT8	21.5	36.944	28.166	38.990	50.769	OK
LT7	18.2	33.831	26.873	34.760	50.769	OK
LT6	14.9	30.278	24.816	30.828	50.769	OK
LT5	11.6	25.520	21.511	25.784	50.769	OK
LT3	8.3	19.300	16.665	19.360	50.769	OK
LT2	5	12.843	11.369	12.716	76.923	OK



Gambar 6. Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X dan Y (Analisis Metode Time History)

Berdasarkan grafik dan tabel pengecekan simpangan antar lantai di atas, menunjukkan bahwa ketiga jenis tipe gempa masih memenuhi syarat simpangan sehingga Gedung Pejaten Park Residence dinyatakan aman berdasarkan analisis gempa Metode *Time History*.

Pengaruh P-delta (P-Δ)

Pengaruh P-Δ (P-delta effect) adalah efek tambahan pada struktur akibat interaksi antara beban aksial (P) dan simpangan lateral (Δ) dari elemen struktur, seperti kolom atau dinding geser. Pengaruh P-Δ dihitung apabila nilai koefisien stabilitas (θ) lebih dari 0.1.

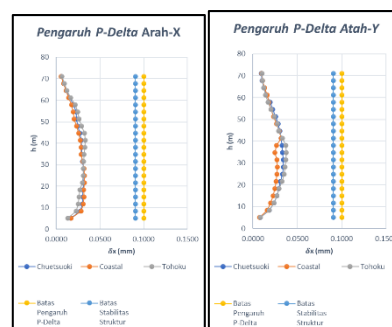
Nilai P pada perhitungan simpangan antar tingkat merupakan total beban vertikal desain, di mana faktor beban masing-masing komponen tidak perlu melebihi 1,0. Oleh karena itu, digunakan kombinasi beban layan (service load) yaitu: 1 DL + 1 SIDL + 1 LL.

Tabel 16. Gaya yang Terjadi Antar Tingkat (Analisis Metode Time History)

Story	H (mm)	Story Forces (kN)						
		P	Chuetsuoki		Coastal		Chuetsuoki	
			Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy
LT.LMR	71	4930.74	929.90	1404.96	996.64	1152.53	924.12	1328.35
LT25	67.7	11182.19	1924.55	2665.83	2010.12	2244.72	1864.22	2519.06
LT23	64.4	18103.63	2774.13	3619.30	2830.72	3069.59	2627.70	3551.74
LT22	61.1	25025.07	3351.60	4153.91	3581.97	3595.63	3160.23	4363.89
LT21	57.8	31946.51	3602.01	4242.98	4251.68	4104.99	3457.57	4871.38
LT20	54.5	38867.95	3990.34	4582.39	4779.81	4444.32	3849.27	5063.04
LT19	51.2	46544.84	4637.11	4921.93	5281.40	4657.89	4303.35	5304.15
LT18	47.9	54221.73	5250.37	5143.35	5679.91	4747.88	4718.12	5464.72

Story y	H (mm)	Story Forces (kN)						
		P	Chuetsuoki		Coastal		Chuetsuoki	
			V _x	V _y	V _x	V _y	V _x	V _y
LT17	44.6	61898.62	5812.9 5	5621.9 9	6182.4 8	4747.0 3	5043.5 4	5571.5 4
LT16	41.3	69575.51	6322.5 6	6038.9 8	6653.8 7	4789.1 8	5420.9 7	5563.4 1
LT15	38	77252.40	6778.2 8	6390.0 8	7051.6 9	4738.3 1	5763.1 4	5553.1 9
LT12	34.7	85750.35	7211.2 4	6693.6 0	7407.9 9	4926.0 8	6069.4 2	5914.0 5
LT11	31.4	94248.29	7600.4 0	6966.9 3	7711.0 8	5122.2 6	6536.2 1	6394.8 8
LT10	28.1	102746.2 3	7931.1 8	7202.2 7	7954.3 4	5675.9 2	6993.6 3	6888.1 8
LT9	24.8	111244.1 8	8226.0 5	7390.5 0	8140.6 5	6418.0 2	7371.2 5	7343.7 2
LT8	21.5	119742.1 2	8466.1 3	7820.0 7	8310.0 8	7076.5 1	7658.9 8	7852.6 9
LT7	18.2	128961.7 2	8660.1 2	8198.6 3	8452.7 6	7655.3 7	7993.9 2	8277.8 0
LT6	14.9	138181.3 3	8806.4 0	8502.2 4	8559.3 1	8189.5 0	8384.5 2	8601.2 5
LT5	11.6	147400.9 3	8904.9 0	8724.9 5	8773.6 8	8589.6 2	8688.7 9	8817.1 5
LT3	8.3	156620.5 3	8962.7 7	8875.7 8	8912.3 9	8833.8 0	8891.2 9	8939.0 3
LT2	5	167168.4 5	8988.1 9	8945.1 0	8981.4 0	8947.2 3	8987.2 5	8991.6 0

Berikut merupakan bentuk grafik dari koefisien stabilitas masing-masing arah-x dan arah-y untuk Gedung Pejaten Park Residence berdasarkan gempa Metode *Time History*.



Gambar 7. Pengaruh P- Δ Arah X dan Arah Y (Analisis Metode Time History)

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai koefisien stabilitas untuk arah-x dan arah-y tidak melampaui syarat stabilitas struktur dan batas pengaruh P- Δ , sehingga Gedung Pejaten Park Residence tidak memiliki pengaruh P- Δ dalam analisisnya.

Level Kinerja Struktur

Tingkat atau level kinerja struktur dapat ditentukan melalui nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastik maksimum. Kedua nilai ini dihitung dengan membagi besar perpindahan (*displacement*) terhadap tinggi keseluruhan struktur.

Berikut merupakan rekapitulasi dari hasil perhitungan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 pada arah-x dan arah-y untuk semua model gempa.

Tabel 17. Level Kinerja Struktur Arah-X

Gempa	Displacement Target (m)	Displacement Pertama (m)	Indeks Simpangan Total Maksimum	Level Kinerja Struktur	Indeks Simpangan Inelastik Maksimum	Level Kinerja Struktur
Response Spectrum	0.121565	0.004517	0.001712	IO	0.001649	IO
Chuetsu-oki	0.146079	0.004491	0.002057	IO	0.001994	IO
Coastal	0.148848	0.004648	0.002096	IO	0.002031	IO
Tohoku	0.138262	0.003663	0.001947	IO	0.001896	IO

Tabel 18. Level Kinerja Struktur Arah-Y

Gempa	Displacement Target (m)	Displacement Pertama (m)	Indeks Simpangan Total Maksimum	Level Kinerja Struktur	Indeks Simpangan Inelastik Maksimum	Level Kinerja Struktur
Response Spectrum	0.130051	0.002175	0.001832	IO	0.001801	IO
Chuetsu-oki	0.157538	0.002335	0.002219	IO	0.002186	IO
Coastal	0.125257	0.002067	0.001764	IO	0.001735	IO
Tohoku	0.157619	0.002312	0.002220	IO	0.002187	IO

Berdasarkan hasil analisis, indeks simpangan total maksimum memiliki nilai kurang dari 0.01 dan indeks simpangan inelastic maksimum memiliki nilai lebih kecil dari 0.005 sehingga dapat disimpulkan bahwa Gedung Apartemen Pejaten Park Residence memiliki level kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO) pada semua model gempa. Bangunan dalam kategori ini (*Immediate Occupancy*) dirancang untuk sepenuhnya menahan gaya geser dasar, baik dalam arah vertikal maupun horizontal. Fokus utamanya adalah meminimalkan risiko terhadap keselamatan manusia serta mencegah kegagalan struktur.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan dari hasil dan pembahasan pada poin 3, analisis kinerja struktur gedung Apartment Pejaten Park Residence akibat beban gempa, didapatkan nilai displacement maksimum yang didapatkan dari Gedung tersebut akibat beban gempa respon spektrum adalah 121.565 mm untuk arah-x dan 130.051 mm untuk arah-y. sedangkan nilai simpangan maksimum dari model Metode Respon Spektrum adalah 36.20 mm untuk arah-x dan 45.02 untuk arah-y.

Nilai displacement maksimum yang didapatkan berdasarkan beban gempa metode Time History terbagi menjadi 3, yaitu 146.079 mm (arah-x) dan 157.538 mm (arah-y) untuk gempa Chuetsuoki, 148.848 mm (arah-x) dan 125.257 mm (arah-y) untuk gempa Coastal, 138.262 mm (arah-x) dan 157.619 mm (arah-y) untuk gempa Tohoku. Sedangkan nilai simpangan maksimum dari model Metode Time History adalah 47.526 mm (arah-x) dan 50.232 (arah-y) untuk gempa Chuetsuoki, 48.334 mm (arah-x) dan 43.808 mm (arah-y) untuk gempa Coastal, 48.109 mm (arah-x) dan 50.573 mm (arah-y) untuk gempa Tohoku.

PENELITIAN LANJUTAN

Masih melakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui lebih jauh tentang Analisis Kinerja Struktur Gedung Apartemen Pejaten Park Residence Akibat Beban Gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC. (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1. California: California Seismic Safety Commission.
- BSN. (2019). SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Elnashai, A., & Di Sarno, L. (2008). Fundamentals of earthquake engineering. Chichester: Jhon Wiley and Sons.
- Fauziah, N., & Daniel, R. T. (2014). Perbandingan analisis Statik Ekuivalen Dan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons Pada Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan Massa Sesuai Rsn 03-1726-201x. Jurnal Teknik Sipil USU, 1-11.
- Imran, I., & Hendrik, F. (2014). Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB Press.
- Imran, I., & Hendrik, F. (2014). Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB Press.
- Listryorini, Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2015). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis Time History (Studi Kasus: Gedung Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta). Matriks Teknik Sipil, 1047-1055.
- Purnomo, E. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel Di Semarang). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.