Journal of Civil Engineering and Sustainable Infrastructure
CENTER

Vol. 01, No. 01, Maret 2024
Halaman 35 - 46

Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Analisis Respon Spektrum Dan *Time History* (Studi Kasus: Gedung UNU Yogyakarta)

Jamil Sayyid Nurrahman *, Pramudiyanto

Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 55128

Keywords:
Evaluasi Kinerja Struktur
Respon Sprektum
Time History

ABSTRAK

Perencanaan bangunan gedung di wilayah Indonesia, perlu mempertimbangkan risiko akan gempa bumi secara menyeluruh mengingat tingginya potensi gempa yang disebabkan oleh posisi geografis Indonesia. Secara tektonik, Yogyakarta terletak di zona yang memiliki tingkat aktivitas gempa yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku struktur bangunan Gedung Universitas Nahdlatul Ulama (UNU) Yogyakarta terhadap beban gempa yang direncanakan berdasarkan metode respon spektrum dan *time history*. Adapun parameter yang ingin diteliti antara lain: (1) ketidakberaturan horizontal, (2) ketidakberaturan vertikal, (3) kontrol simpangan antar tingkat (*drift*), (4) pengaruh P-Delta, dan (5) level kinerja struktur. Parameter evaluasi struktur gedung ini dilakukan sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 dan ATC-40. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan open frame tiga dimensi struktur Gedung UNU Yogyakarta yang memiliki 9 lantai dengan total ketinggian struktur 43,2 meter menggunakan bantuan software analisis struktur berbasis finite element analysis. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gambar struktur, gambar arsitektur, mutu bahan, serta rekaman gempa. Setelah struktur dimodelkan selanjutnya dilakukan input pembebanan yang mana nantinya hasil analisis struktur yang didapatkan dilakukan perbandingan respon struktur terhadap beban gempa metode respon spektrum dan *time history*.Hasil penelitian menunjukan nilai untuk nilai *drift* pada beberapa tingkat untuk gempa arah-x melampaui *drift* izin dengan nilai terbesar diakibatkan oleh gempa *time history* Kobe. Untuk pengaruh P-Delta atau koefisien stabilitas struktur tidak terjadi baik di arah-x maupun arah-y. Dan yang terkhir untuk pengecekan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 level kinerja struktur berada pada level *immediate occupancy* (IO) untuk semua metode gempa yang diberikan baik itu repon spektrum maupun *time history*.

Kata kunci:
Structure Perfomance Evaluations Response Spectrum
Time History

ABSTRACT

Building planning in Indonesian territory needs to consider the risk of earthquakes as a whole considering the high potential for earthquakes caused by Indonesia's geographical position. Tectonically, Yogyakarta is located in a zone that has a significant level of earthquake activity. This study aims to evaluate the behavior of the building structure of the Nahdlatul Ulama University (UNU) Yogyakarta building against the planned earthquake load based on the response spectrum and time history methods. The parameters to be examined include: (1) horizontal irregularities, (2) vertical irregularities, (3) drift control, (4) the effect of P-Delta, and (5) structural performance levels. The parameters for evaluating the structure of this building are carried out in accordance with the regulations of SNI 1726: 2019 and ATC-40.This research was carried out with a three-dimensional open frame modeling of the structure of the UNU Yogyakarta building which has 9 floors with a total height of 43.2 meters using structural analysis software based on finite element analysis. The data used in this study are structural drawings, architectural drawings, material quality, and earthquake records. After the structure is modeled, loading input is then carried out, which later results of the structural analysis obtained, a comparison of the structure's response to earthquake loads is carried out using the spectrum response method and time history.The results showed that the values for the drift values at several levels for the x-direction earthquake exceeded the allowable drift with the largest value caused by the Kobe time history earthquake. The effect of P-Delta or structural stability coefficient does not occur in either the x-direction or the y-direction. And finally, to check the structural performance level based on ATC-40, the structural performance level is at the immediate occupancy (IO) level for all the earthquake methods given, both spectrum response and time history.

This is an open access article under the CC–BY license.

*Corresponding author.
E-mail: jamilsayyid.2019@student.uny.ac.id
Available online 31 Maret 2024

1. Pendahuluan

Perencanaan bangunan gedung di wilayah Indonesia, perlu mempertimbangkan risiko akan gempa bumi secara menyeluruh mengingat tingginya potensi gempa yang disebabkan oleh posisi geografis Indonesia. Lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia merupakan 3 (tiga) lempengan utama dunia yang bertemu di wilayah Indonesia, kehadiran tiga lempeng utama ini mengakibatkan wilayah Indonesia menjadi rentan terhadap gempa bumi tektonik [1].

Pulau Jawa, sebagai bagian dari Indonesia, tergolong sebagai zona rentan akan bencana gempa bumi. Lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia secara geologis bertabrakan di zona konvergen pulau Jawa [2].Yogyakarta merupakan sebuah kota di pulau Jawa yang memiliki populasi penduduk tinggi, pembangunan infrastruktur dan bangunan gedung bertingkat tinggi di kota ini semakin marak dewasa ini. Secara tektonik, Yogyakarta terletak di zona yang memiliki tingkat aktivitas gempa yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh dekatnya wilayah kota ini dengan zona tumpukan lempeng di Samudra Indonesia, serta aktivitas sesar-sesar lokal di daratan. Oleh sebab itu, guna meminimalisir atau bahkan mencegah munculnya kerugian saat gempa bumi terjadi, penting untuk mempelajari terkait beban gempa yang diantisipasi baik itu dalam tahap desain ataupun evaluasi struktur bangunan gedung berdasarkan tata cara perencanaan bangunan tahan gempa dan juga fungsi bangunan tersebut [3].

Peninjauan beban gempa terhadap struktur bangunan gedung dapat dilakukan dalam suatu proses evaluasi respon kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa. Langkah ini melibatkan pembuatan model bangunan yang direncanakan, kemudian melakukan simulasi kinerja untuk berbagai kejadian gempa [4]. Proses evaluasi ini dapat ditentukan dengan menganalisis level kinerja (*perfomance leveI*) struktur berdasarkan ATC-40 1996. Melalui evaluasi kinerja struktur bangunan, informasi tentang dampak beban gempa terhadap struktur bangunan dapat diperoleh [5].

Dalam mengestimasi dampak gaya akibat gempa bumi terhadap struktur bangunan gedung, umumnya dilakukan menggunakan 2 metode analisis, yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik (analisis respons spektrum dan riwayat waktu). Metode statik ekuivalen merupakan pendekatan dengan mengasumsikan bahwa dampak beban gempa pada struktur dapat dianggap sebagai beban statik horizontal yang hanya mempertimbangkan respon dari ragam getaran pertama. Dalam metode ini, umumnya dilakukan penyederhanaan penyebaran gaya geser dari ragam getar pertama menjadi bentuk terbalik dari segitiga [6]. Metode analisis dinamik merupakan pendekatan analisis yang mempertimbangkan efek atau konsekuensi dinamis pergerakan tanah kepada struktur dengan membagi gaya geser akibat gempa pada setiap tingkat. Secara sederhana, istilah "dinamik" dalam konteks ini dapat diartikan sebagai perubahan gaya yang bekerja pada struktur seiring waktu [7]. Analisis dinamik terdiri dari dua metode, yaitu analisis respon spektrum dan analisis *time history*. Dalam analisis respon spektrum, keseluruhan respon struktur didapatkan dengan menggabungkan respon setiap mode getar secara superposisi. Sementara itu, analisis time history melibatkan pemberian rekaman gempa pada model struktur dan menghitung respon spektrum secara bertahap dan berurutan pada interval yang ditentukan.

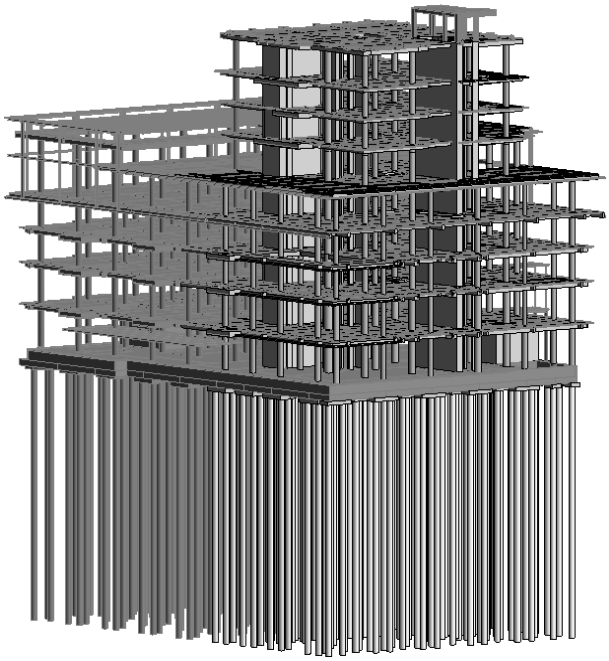
Dalam SNI 1726:2019 mengatur prosedur perencanaan ketahanan akan beban gempa untuk struktur bangunan gedung, standar ini merujuk pada panduan yang diterbitkan oleh American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16). Terdapat metode analisis dinamik dalam melakukan evalusi kinerja struktur jika merujuk SNI 1726:2019, kata dinamik dapat diartikan pada perubahan waktu, sedangkan beban dinamik menggambarkan pada beban yang mengalami perubahan dalam magnitudo, arah, dan posisi seiring berjalannya waktu. Dalam analisis dinamik, terdapat dua pendekatan yang dapat dilakukan, yaitu analisis respon spektrum dan analisis *time history* atau riwayat waktu [8].

Bangunan Gedung Universitas Nahdlatul Ulama (UNU) Yogyakarta berlokasi di Jl. Ringroad Barat, Padukuhan Dowangan, Banyuraden Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung ini memiliki 9 lantai dengan ketinggian total bangunan 43,2 m, sehingga gedung ini dapat digolongkan kedalam bangunan tinggi karena memiliki ketinggian lebih dari 15 meter dan jumlah lantai lebih dari 5 lantai. Bangunan ini berada di kota Yogyakarta yang rentan akan gempa, sebab itu seharusnya bangunan ini harus dibangun sesuai standar yang sudah ditentukan dan juga menggunakan konsep bangunan tahan gempa.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk meneliti perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa, dengan tujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan parameter simpangan antar tingkat (drift) dan pengaruh P-Delta untuk mengetahui keamanan serta stabilitas struktur, serta mengetahui level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dengan perbandingan menggunakan metode analisis dinamik respons spektrum dan analisis dinamik *time history*.

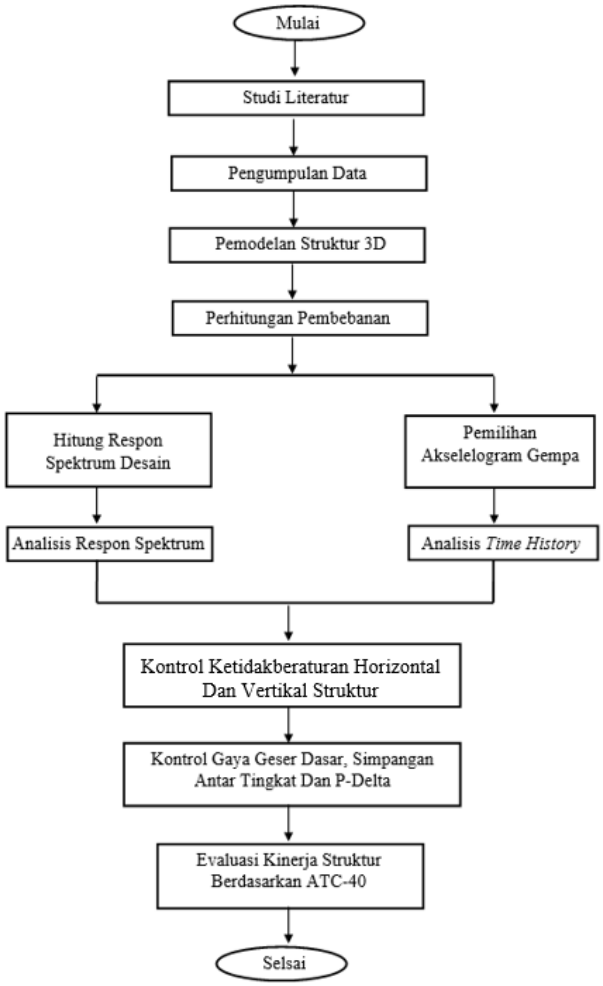
2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat studi kasus dengan metode deskriptif, hal tersebut dikarenakan pada penelitian yang dilakukan ini bersifat faktual dan dimaksudkan untuk mencari prilaku dan sifat-sifat dari suatu fenomena yang terjadi. Dalam kasus ini yaitu untuk mencari dan mengevaluasi bagaimana respon struktur jika dikenai beban gempa menggunakan metode respon spektrum dan riwayat waktu, dengan objek pada gedung UNU Yogyakarta. Proses analisis ini menggunakan program bantu software analisis struktur berbasis *finite element analisys.* Desain struktural gedung UNU Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain struktural gedung UNU Yogyakarta

Tahapan analisis dimulai dengan melakukan pemodelan tiga dimensi berdasarkan gambar shop drawing struktur gedung UNU Yogyakarta, untuk selanjutnya yaitu input atau memasukan beban-beban yang direncanakan. Setelah langkah pemodelan dan input beban selesai, selanjutnya model gedung akan dianalisis untuk mendapatkan output sistem struktur. Output sistem struktur yang nantinya akan dilakukan evaluasi mulai dari pengecekan ketidakberaturan, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, persyaratan P-Delta dan yang terakhir yaitu dilakukan pengecekan level kinerja struktur dengan mengacu pada peraturan ATC – 40. Mengenai tahapan penelitian, dapat diringkas kedalam bentuk diagram alir seperti yang ditunjukan Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1 Analisis Respon Spektrum

Respon spektrum merupakan representasi hasil pemetaan atau plotting suatu spektrum yang dihasilkan berbentuk grafik hubungan periode getaran struktur (T) dengan respon maksimum yang terjadi, berdasar tingkat redaman dan karakteristik gempa yang spesifik. Grafik tersebut memiliki sumbu-x yang merupakan frekuensi (periode/waktu) dan sumbu-y yang mewakili nilai respon maksimum. Respon maksimum ini dapat berupa percepatan maksimum, simpangan maksimum, atau kecepatan maksimum dari sistem SDOF (*single degree of freedom*) [9].

Analisis pembebanan gempa metode respons pektrum ini dilakukan berdasar pada SNI 1726:2019 dengan tinjauan lokasi Banyuraden, Gamping, Sleman, D.I. Yogyakarta

a. Penentuan kategori risiko, didasarkan pada jenis dan fungsi bangunan sesuai rencana.
b. Faktor keutamaan gempa merujuk berdasarkan.

c. Menetapkan kelas situs, didapatkan dari hasil pengujian tanah dimana bangunan akan dibangu
d. Menetapkan parameter S_S dan S_1
e. Menetapkan nilai faktor situs F_a dan F_v

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2)$$

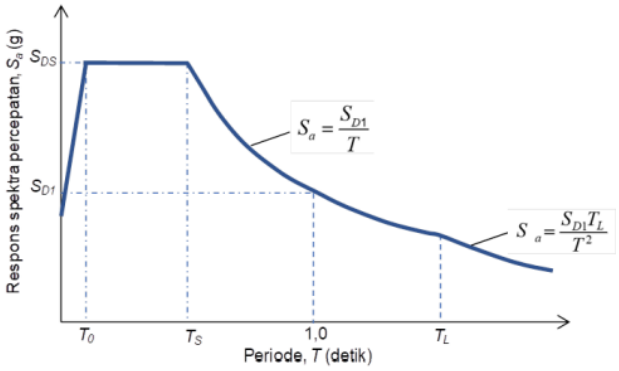
f. Menghitung respon spektral percepatan S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (4)$$

g. Menghitung parameter percepatan S_{DS} dan S_{D1}
h. Mendesain respon spektrum desain.

Spektrum respon desain dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Srektum respon desain

2.2. Analisis *Time History*

Metode analisis ini termasuk kedalam analisis dinamik pada struktur bangunan di mana pemodelan matematika struktur dipengaruhi oleh gempa yang dihasilkan dari rekaman atau simulasi, untuk mengamati respons struktur terhadap riwayat waktu tersebut. Pada pemilihan data percepatan tanah untuk metode analisis *time history*, terdapat beberapa kriteria dalam pemilihan data diantaranya yaitu, memiliki skala magnitude 4,9 sampai 7,9, pilih data gempa yang sering dipakai pada penelitian sebelumnya, minimal menggunakan tiga data rekaman gempa, dan pilih data rekaman gempa yang memiliki pola grafik yang mirip dengan pola grafik respon spektra [10]. Pada penelitian ini digunakan tiga data percepatan gempa diantaranya sebagai berikut. Hasil rekaman gempa *time history* dapat dilihat pada Tabel 1.

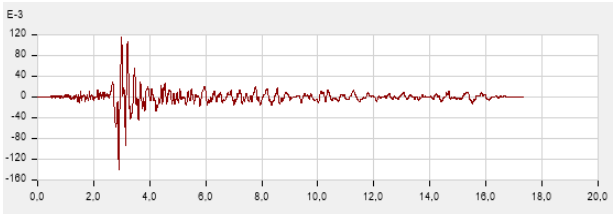
Tabel 1. Rekaman gempa *time history*

Nama Gempa	Tahun	Magnitudo
Kobe-Japan	1995	6,9
Imperial Valley	1979	6,7
Northridge	1994	6,5

Data gempa merupakan percepatan tanah yang didapatkan dari website NGAWEST2.BERKELEY.EDU dan data tersebut adalah data gempa asli yang masih belum diskala terhadap gempa Kota Yogyakarta. Kemudian diskalakan dalam *software* analisis struktur terhadap gaya gempa respon spektrum Yogyakarta. Akselogram gempa Kobe dapat dilihat pada Gambar 4. Akselogram gempa Imperial Valley dapat dilihat pada Gambar 5. Dan akselogram gempa Northbridge dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 4. Akselogram gempa Kobe



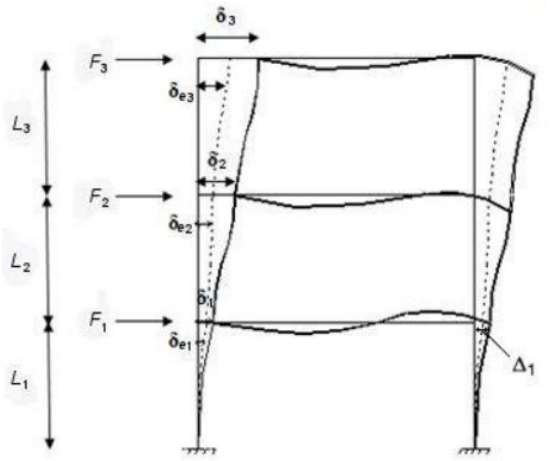
Gambar 5. Akselogram gempa Imperial Valley



Gambar 6. Akselogram gempa Northbridge

2.3. Simpangan Antar Tingkat

Untuk menentukan simpangan antar tingkat desain (Δ), perlu dilakukan perhitungan dengan perkurangan antara simpangan di atas lantai dan di bawah lantai yang sedang dianalisis. Jika titik tengah massa tidak berada dalam garis lurus secara vertikal, diperbolehkan menghitung simpangan tingkat dasar dari proyeksi tingkat di atas. Apabila tegangan izin dipakai, maka *drift* wajib diperhitungkan menggunakan gaya gempa desain tanpa pengurangan tegangan izin. Simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Simpangan antar tingkat

Untuk menghitung δ_x, simpangan titik tengah atau pusat massa pada tingkat -x, digunakan persamaan berikut ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (5)$$

Keterangan:

δ_x = Simpangan tinggkat -x, dalam satuan (mm)
I_e = Faktor keutamaan gempa
C_d = Koefisien pembesar simpangan
δ_{xe} = Simpangan di tingkat -x

Drift desain (Δ), harus mematuhi batas *drift* izin (Δa) yang tercantum dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025h_{sx}	0,020h_{sx}	0,015h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010h_{sx}	0,010h_{sx}	0,010h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h_{sx}	0,007h_{sx}	0,007h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h_{sx}	0,015h_{sx}	0,010h_{sx}

2.4. P-Delta

Efek P-Delta pada tingkat tidak perlu dipertimbangkan apabila θ atau nilai koefisien stabilitas, lebih kecil atau sama dengan 0,10.seperti yang ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\theta_x = \frac{Px\ \Delta Ie}{Vx\ h_{SX}\ Cd} \quad (6)$$

Keterangan:

P_x = Beban vertikal total pada dan di atas tingkat-x
Δ = Simpangan antar tingkat
I_e = Koefisien keutamaan gempa
V_x = Gaya geser seismik
h_{sx} = Tinggi tingkat

Nilai faktor stabilitas dilarang lebih besar dari nilai θ_{max} yang dihitung sebagaimana persamaan di bawah ini. Dimana β merupakan perbandingan kebutuhan dan kapasitas geser tingkat yang ditinjau dan tingkat sebelumnya. Nilai rasio diperbolehkan dengan pendekatan konservatif hingga mencapai 1.

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta\ Cd} \leq 0{,}25 \quad (7)$$

Apabila nilai koefisien stabilitas berada di antara 0,1 hingga θmax, pengaruh P-Delta struktur perlu diperhitungkan melalui analisis yang logis. Sebagai pilihan lain, diperbolehkan digunakan perkalian perpindahan dengan gaya elemen struktur menggunakan faktor 1,0/(1 - θ). Namun, apabila nilai θ melebihi θ_{max}, struktur memiliki kecenderungan ketidakstabilan dan harus direncanakan kembali.

2.5. Kinerja Struktur ATC-40

Performa struktur merujuk pada sejauh mana struktur bangunan dapat bertahan dan berkinerja dengan baik dalam menghadapi gempa yang telah direncanakan [6]. Evaluasi kinerja struktur dapat dilakukan dengan memeriksa deformasi lateral pada titik kinerja dan membandingkannya dengan batas deformasi yang ditentukan dalam ATC-40, 1996 bagian 11.3.3 [11]. Sesuai dengan ATC-40 (1996), rasio *drift* pada titik kinerja digunakan sebagai langkah mengevaluasi kinerja struktur dan nilainya tertera dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3. *Deflections Limit* ATC-40

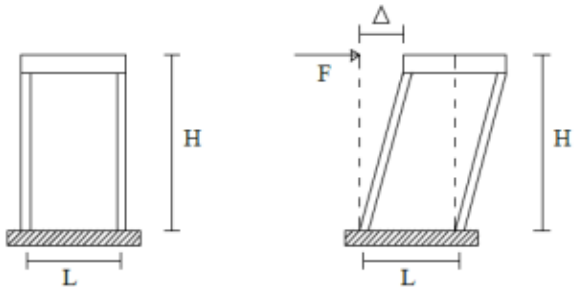
Parameter	*Perfomance Level*			
	Immediate Occupancy	*Damage Control*	*Life Safety*	*Structural Stability*
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01 s/d 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 s/d 0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

Drift atau simpangan total maksimal merupakan perbandingan antara simpangan maksimum pada lantai tertinggi atau atap terhadap keseluruhan tinggi bangunan terhitung dari lantai terbawah sampai lantai tertinggi atau atap [12]. Nilai simpangan total maksimum ini dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$Simpangan\ Total\ Max = \frac{\Delta}{H} \quad (8)$$

Keterangan:
Δ = Besar simpangan maksimum tingkat tertinggi
H = Total Ketinggian Struktur

Gambar deflesi lateral dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Defleksi lateral

Mengacu kepada regulasi ATC-40, kinerja struktur pada bangunan dapat dikelompokkan ke dalam kategori-kategori seperti yang ditunjukan Tabel 4 di bawah.

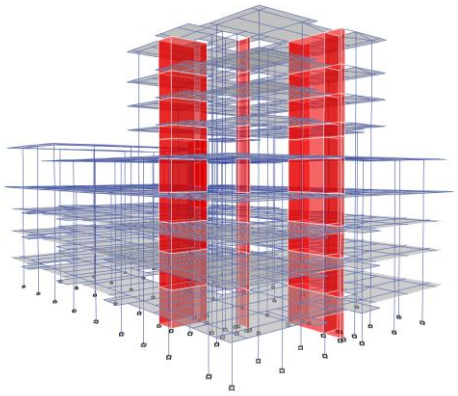
Tabel 4. Level Kinerja Struktur ATC-40

Level Kinerja	Keterangan
Immediate Occupancy (IO)	Kategori ini struktur bangunan aman. Resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan / beroperasi kembali
Damage Control (DC)	Kategori ini struktur bangunan yang dalam pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*. Resiko korban jiwa sangat rendah. Struktur bangunan boleh rusak, namun tidak runtuh
Life Safety (LS)	Kategori ini struktur bangunan terlalu daktail. Termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa tidak dapat mendesak sebagai fasilitas penyelamatan. Resiko korban jiwa sangat rendah
Structural Stability	*Structural Stability* termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa, gedung diambang batas runtuh total.

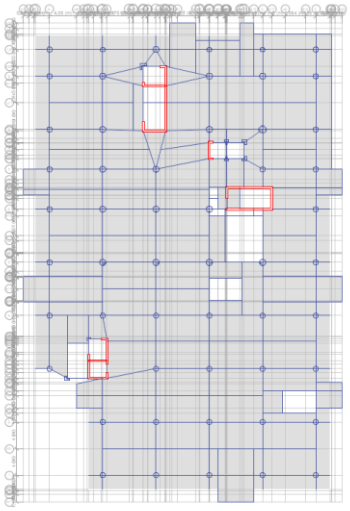
3. Pembahasan

3.1. Pemodelan Struktur

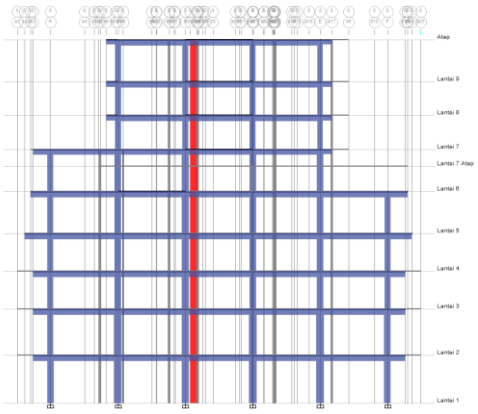
Dalam pemodelan tiga dimensi struktur gedung UNU Yogyakarta dimulai dengan mendefinisikan material struktur yang digunakan kemudian dilanjutkan memodelkan elemen struktur, tahapan pemodelan ini dilakukan dengan *software* analisis struktur berbasis finite element analisys sesuai dengan *shop drawing* gedung UNU Yogyakarta seperti balok, kolom, dinding geser, dan pelat lantai. Gambar tampak 3D struktur dari Gedung ini dapar dilihat pada Gambar 9. Gambar tampak X-Y struktur dapat dilihat pada Gambar 10. Gambar tampak X-Z struktur dapat dilihat pada Gambar 11. Gambar tampak Y-Z struktur dapat dilihat pada Gambar 12.



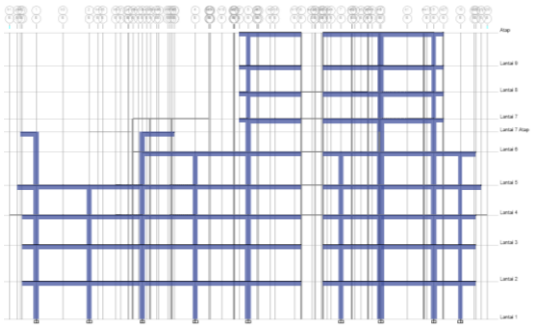
Gambar 9. Tampak 3D struktur



Gambar 10. Tampak X-Y struktur



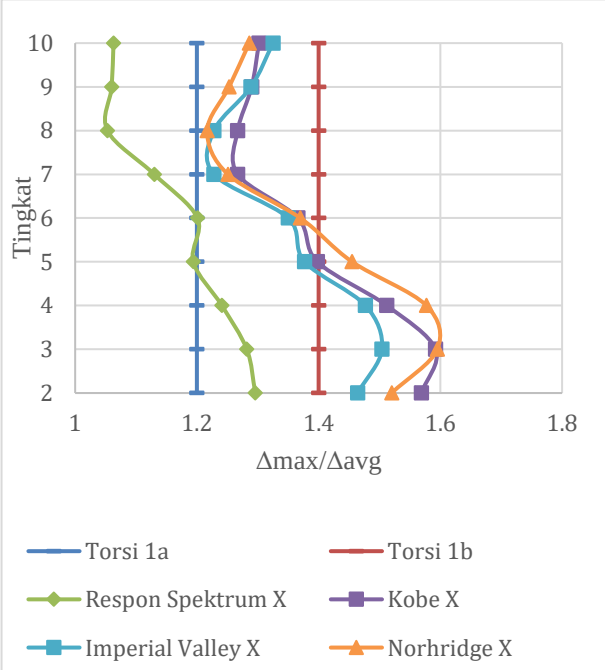
Gambar 11. Tampak X-Z struktur



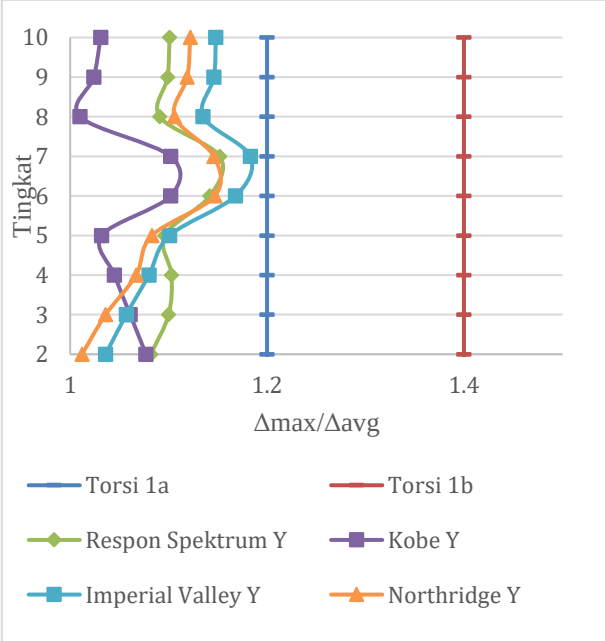
Gambar 12. Tampak Y-Z struktur

3.2. Ketidakberaturan Horizontal

Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal struktur, struktur gedung UNU Yogyakarta mengalami ketidakberaturan torsi (tipe 1a) untuk gempa respon spektrum, dan untuk gempa *time history* struktur mengalami ketidakberaturan torsi berlebihan (tipe 1b). struktur gedung UNU Yogyakarta juga mengalami ketidakberaturan sudut dalam. Hasil ketidakberaturan torsi arah-X dapat dilihat pada Gambar 13. Hasil ketidakberaturan torsi arah-Y dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Ketidakberaturan Torsi Arah-X



Gambar 14. Ketidakberaturan Torsi Arah-Y

3.3. Ketidakberaturan Vertikal

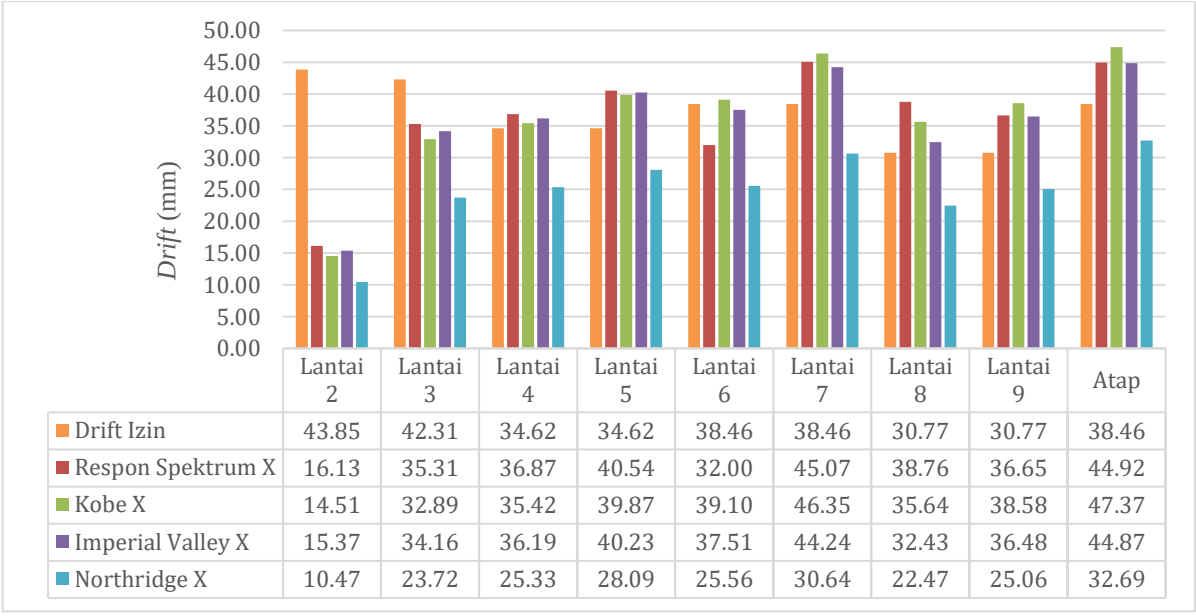
Hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal struktur didapatkan ketidakberaturan berat massa pada lantai ke-6. Berat massa pada lantai 6 nilainya lebih besar dari 150% berat massa pada lantai 7.

3.4. Konsekuensi Ketidakberaturan Struktur

Setelah dilakukan pengecekan ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur bangunan mengalami beberapa ketidakberaturan. Ketidakberaturan itu antara lain yaitu ketidakberaturan horizontal tipe 1b, tipe 2 dan ketidakberaturan vertikal tipe 2. Konsekuensi dari terjadinya ketidakberaturan pada struktur bangunan ini, maka perlu untuk memenuhi beberapa persyaratan mengacu peraturan SNI 1726:2019.

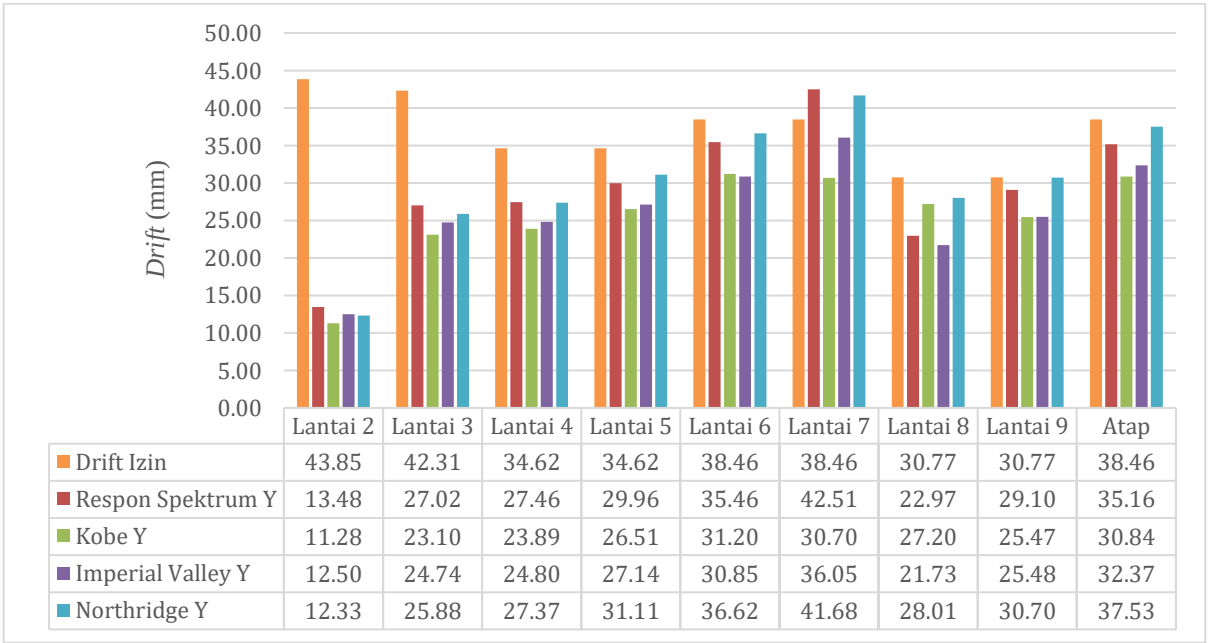
3.5. Simpangan Antar Tingkat

Dalam studi kasus ini karena kategori resiko IV simpangan izin yang digunakan adalah 0,010hsx. Serta bangunan ini memiliki KDS D, juga mengalami ketidakberaturan 1b, maka simpanagan izin harus dibagi dengan faktor redundansi ρ = 1,3. Berikut merupakan contoh perhitungan *drift* pada lantai 6 akibat gempa respon spektrum pada arah-x. Rekapitulasi *drift* gempa arah-X dapat dilihat pada Gambar 15. Rekapitulasi *drift* gempa arah-Y dapat dilihat pada Gambar 16.



	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 4	Lantai 5	Lantai 6	Lantai 7	Lantai 8	Lantai 9	Atap
Drift Izin	43.85	42.31	34.62	34.62	38.46	38.46	30.77	30.77	38.46
Respon Spektrum X	16.13	35.31	36.87	40.54	32.00	45.07	38.76	36.65	44.92
Kobe X	14.51	32.89	35.42	39.87	39.10	46.35	35.64	38.58	47.37
Imperial Valley X	15.37	34.16	36.19	40.23	37.51	44.24	32.43	36.48	44.87
Northridge X	10.47	23.72	25.33	28.09	25.56	30.64	22.47	25.06	32.69

Gambar 15. Rekapitulasi *drift* gempa arah-X



	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 4	Lantai 5	Lantai 6	Lantai 7	Lantai 8	Lantai 9	Atap
Drift Izin	43.85	42.31	34.62	34.62	38.46	38.46	30.77	30.77	38.46
Respon Spektrum Y	13.48	27.02	27.46	29.96	35.46	42.51	22.97	29.10	35.16
Kobe Y	11.28	23.10	23.89	26.51	31.20	30.70	27.20	25.47	30.84
Imperial Valley Y	12.50	24.74	24.80	27.14	30.85	36.05	21.73	25.48	32.37
Northridge Y	12.33	25.88	27.37	31.11	36.62	41.68	28.01	30.70	37.53

Gambar 16. Rekapitulasi *drift* gempa arah-Y

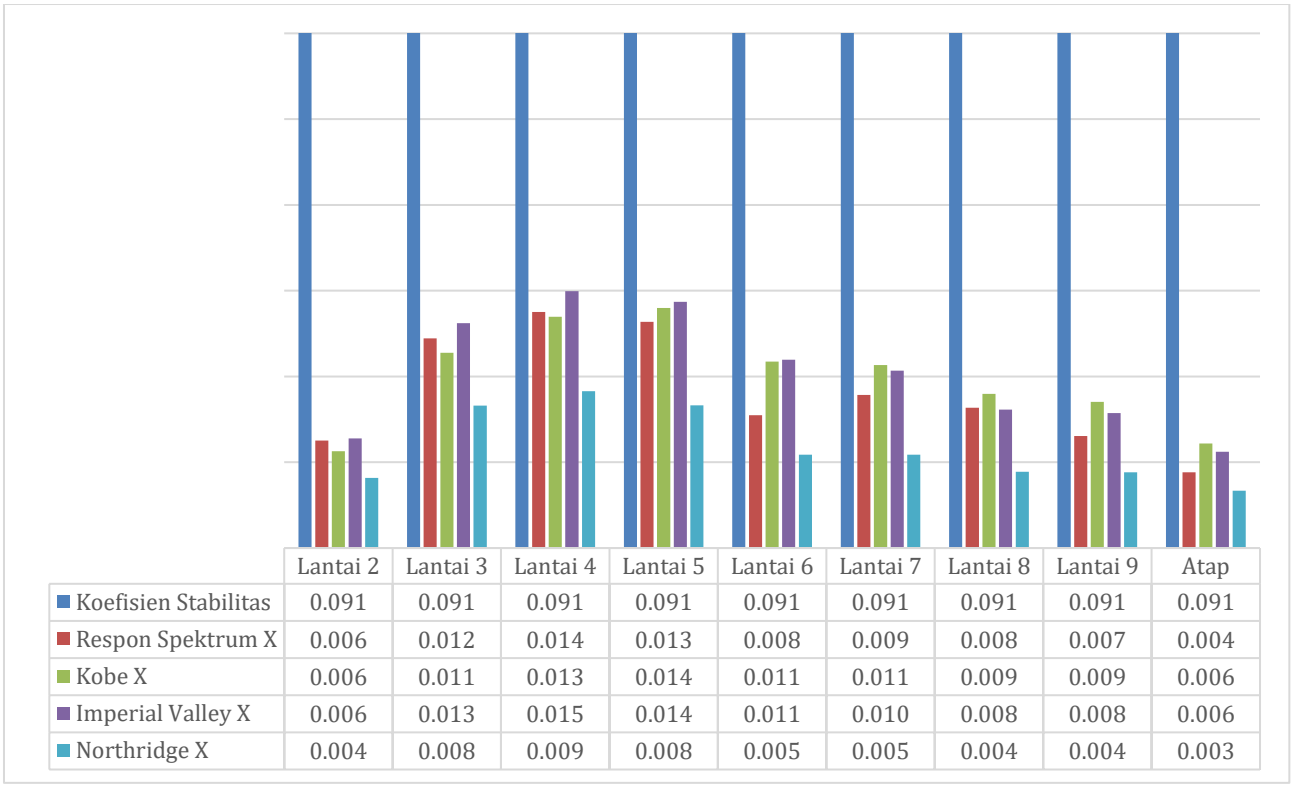
Berdasarkan grafik Simpangan antar tingkat (*drift*) dapat dilihat bahwa terdapat beberapa nilai simpangan antar tingkat yang melampaui *drift* izin baik pada arah-x maupun arah-y. Berikut merupakan pembahasan simpangan antar tingkat berdasarkan masing-masing gaya gempa:

a. Akibat gaya gempa metode respon spektrum terjadi simpangan yang melampaui simpangan antar tingkat izin. Hasil ini terjadi pada lantai 4, 5, 7, 8, 9, dan lantai atap untuk gempa arah-x. sedangkan Untuk gempa arah-y hanya terjadi pada lantai 7.
b. Akibat gaya gempa *time history* Kobe terjadi simpangan yang melampaui simpangan antar tingkat izin. Hasil ini terjadi pada lantai 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan lantai atap untuk gempa arah-x. sedangkan Untuk gempa arah-y tidak terjadi simpangan antar tingkat yang melebihi nilai simpangan antar tingkat izin.
c. Akibat gaya gempa *time history* Imperial Valley terjadi simpangan yang melampaui simpangan antar tingkat izin. Hasil ini terjadi pada lantai 4, 5, 7, 8, 9, dan lantai atap untuk gempa arah-x. sedangkan Untuk gempa arah-y tidak terjadi simpangan antar tingkat yang melebihi nilai simpangan antar tingkat izin.
d. Akibat gaya gempa *time history* Northridge terjadi simpangan yang melampaui simpangan antar tingkat izin. Hasil ini terjadi pada lantai 7 untuk gempa arah-y. sedangkan Untuk gempa arah-x tidak terjadi simpangan antar tingkat yang melebihi nilai simpangan antar tingkat izin.

Berdasarkan nilai simpangan antar tingkat ini dapat disimpulkan bahwa bidang struktur horizontal arah-x memiliki kekakuan yang lebih lemah jika dibandingkan dengan bidang stuktur horizontal arah-y, hal ini dapat dilihat dari nilai simpangan antar tingkat yang lebih besar pada arah-x. Akan tetapi berbeda untuk gempa *time history* Northridge justru nilai simpangan antar tingkat untuk arah-y cenderung lebih besar.

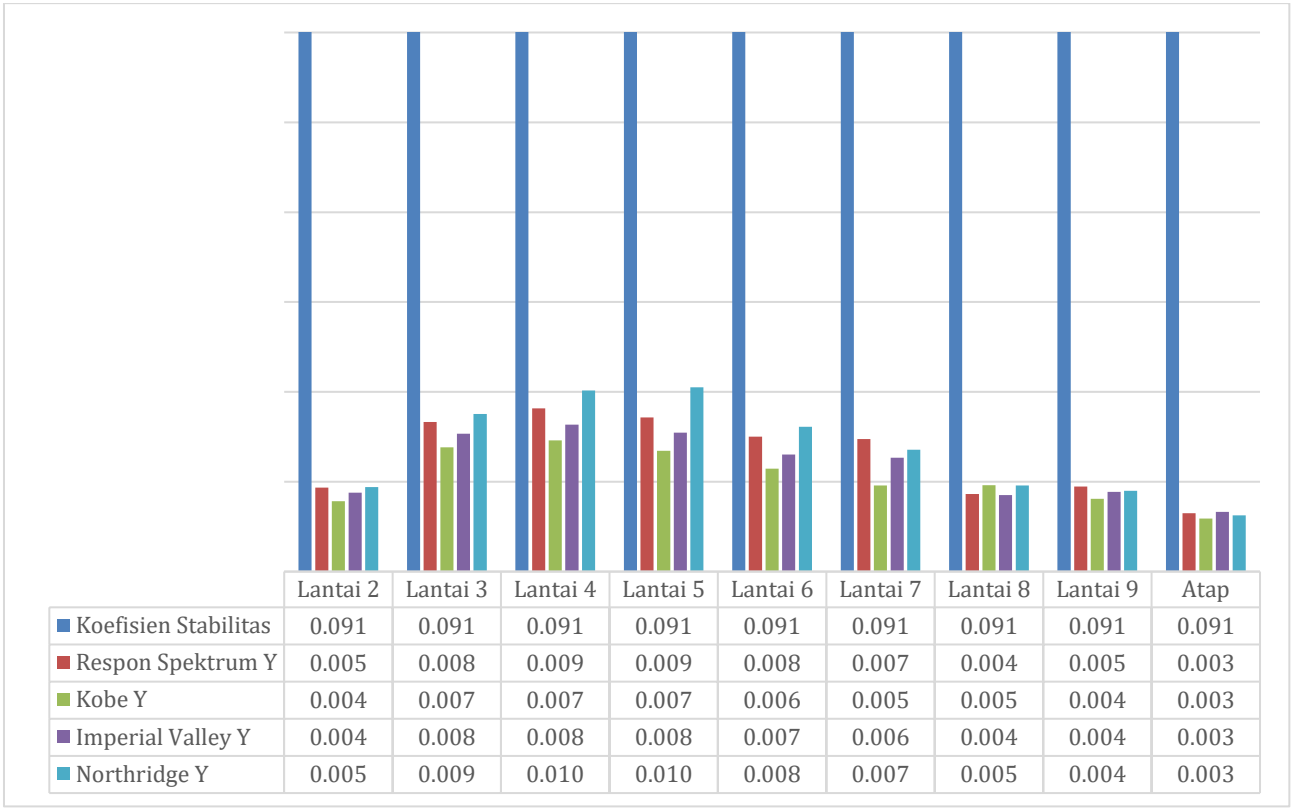
3.6. Pengaruh P-Delta

Menjelaskan jika faktor yang melebihi batas izin 0,1 maka perlu memeperhitungkan P-Delta. Berikut merupakan sampel hitungan pengaruh P-Delta di tingkat 5 untuk arah-x akibat beban gempa respon spektrum. Pengaruh P-delta arah-X dapat dilihat pada Gambar 17. Pengaruh P-delta arah-Y dapat dilihat pada Gambar 18.



	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 4	Lantai 5	Lantai 6	Lantai 7	Lantai 8	Lantai 9	Atap
Koefisien Stabilitas	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
Respon Spektrum X	0.006	0.012	0.014	0.013	0.008	0.009	0.008	0.007	0.004
Kobe X	0.006	0.011	0.013	0.014	0.011	0.011	0.009	0.009	0.006
Imperial Valley X	0.006	0.013	0.015	0.014	0.011	0.010	0.008	0.008	0.006
Northridge X	0.004	0.008	0.009	0.008	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003

Gambar 17. Pengaruh P-delta arah-X



	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 4	Lantai 5	Lantai 6	Lantai 7	Lantai 8	Lantai 9	Atap
Koefisien Stabilitas	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
Respon Spektrum Y	0.005	0.008	0.009	0.009	0.008	0.007	0.004	0.005	0.003
Kobe Y	0.004	0.007	0.007	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004	0.003
Imperial Valley Y	0.004	0.008	0.008	0.008	0.007	0.006	0.004	0.004	0.003
Northridge Y	0.005	0.009	0.010	0.010	0.008	0.007	0.005	0.004	0.003

Gambar 18. Pengaruh P-delta arah-Y

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada grafik di atas, menunjukan koefisien stabilitas baik itu arah-x ataupun arah y pada gaya gempa respon spektrum dan time history tidak melebihi batas koefisien stabilitas yang diizinkan.

3.7. Level Kinerja ATC-40

Berdasarkan hasil nilai *drift* rasio yang diperoleh pada Tabel 5 di bawah, dapat ditarik kesimpulan bahwa level kinerja banguna gedung UNU Yogyakarta yang didapat merupakan Immediate Occupancy pada semua metode analisis gempa baik itu respon spektrum atau *time history*. Level kinerja Immediate Occupancy ini didapatkan karena *drift* rasio struktur yang terjadi nilainya dibawah 1%, yaitu batas *drift* berdasarkan peraturan ATC-40 untuk *Immediate Occupancy*. Level kinerja *Immediate Occupancy* mengindikasikan bahwa gedung UNU Yogyakarta dalam kategori aman, dengan risiko korban jiwa akibat kegagalan struktur yang tidak signifikan. Gedung ini tidak terjadi kerusakan yang berarti dan segera dapat digunakan atau beroperasi kembali.

Tabel 5. Nilai *drift* rasio

Gaya Gempa	*Arah Gaya*	Elevasi Titik Kontrol	Simpangan δ_{max}	*Drift* Rasio	*Level Kinerja*
		m	*m*	%	
R.S Yogyakarta	X	43,2	0,0890	0,206%	*IO*
	Y	43,2	0,0718	0,166%	*IO*
TH. Kobe	X	43,2	0,0899	0,208%	*IO*
	Y	43,2	0,0628	0,145%	*IO*
TH. Imperial Valley	X	43,2	0,0877	0,203%	*IO*
	Y	43,2	0,0643	0,149%	*IO*
TH. Northridge	X	43,2	0,0611	0,141%	*IO*
	Y	43,2	0,0740	0,171%	*IO*

4. Simpulan

Bergasarkan hasil analisis struktur gedung UNU Yogyakarta memiliki ketidakberaturan torsi, sudut dalam, dan berat (massa). Terjadi beberapa nilai simpangan antar tingkat yang melampaui nilai simpangan antar tingkat izin. Niliai simpangan antar tingkat terbesar dihasilkan oleh metode *time history* pada gempa Kobe. Pengecekan

pengaruh P-Delta koefisien stabilitas baik itu arah-x ataupun arah-y pada gaya gempa respon spektrum dan *time history* tidak melebihi batas koefisien stabilitas yang diizinkan. Level kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy* (IO) baik untuk analiasi respon spektrum maupun *time history*.

Daftar Rujukan

[1] G. A. Pratiwi et al., "Analisis dan desain struktur beton bertingkat banyak berdasarkan perbandingan analisis respons spektrum dan dinamik riwayat waktu," pp. 281–293, 2017.

[2] G. Tua, N. Silaban, S. P. Tampubolon, and A. S. Mulyani, "Performance Evaluation of High-rise Buildings with Respons Spectrum Analysis and Time History Analysis," pp. 84–95, 2023.

[3] E. Nehe, P. Simanjuntak, and S. P. Tampubolon, "Evaluation of the performance of high-rise building structures with plan 'H' shaped for earthquake with height increase (Case study: Apartment Urban Sky-Bekasi)," I*OP Conf. Ser. Earth Environ.* Sci., vol. 878, no. 1, pp. 8–13, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/878/1/012053.

[4] M. Firdaus, W. Pratama, E. Faisal, and N. Hidayatullah, "Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Surakarta Menggunakan Baja Konvensional," *INERSIA Inf. dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 17, no. 2, 2021.

[5] Y. A. Pranata, "EVALUASI KINERJA GEDUNG BETON BERTULANG TAHAN GEMPA dengan PUSHOVER ANALYSIS (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)," vol. 3, no. 1, pp. 41–52, 2006.

[6] B. Priya, "Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah sakit Santa Maria Pemalang dengan Non-linier Static Pushover Analysis Metode ATC-40 dan," *INERSIA Inf. dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 17, no. 2, 2021.

[7] Mukmin, N. Kencanwati, and Suparjo, "STUDI PERBANDINGAN PEMBEBANAN GEMPA DINAMIK RESPON SPEKTRUM DAN DINAMIK RIWAYAT WAKTU PADA GEDUNG DI MATARAM," 2020.

[8] R. Rendra, A. Kurniawandy, and Z. Djauhari, "KINERJA STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (Studi Kasus : Hotel SKA Pekanbaru)," vol. 2, no. 2, pp. 1–15, 2015.

[9] M. Rifai, F. Alami, and M. Isneini, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Time History (Studi Kasus : Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro)," vol. 10, no. 1, pp. 99–114, 2022.

[10] B. C. Ertanto, I. Satyarno, and B. Suhendro, "PERFORMANCE BASED DESIGN BANGUNAN GEDUNG," *INERSIA Inf. dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, pp. 189–204, 2017.

[11] E. Susanti and R. O. Indarto, "Studi Perilaku Struktur Beton Bertulang Pasca Elastis akibat Beban Gempa SNI 03-1726-2012 dengan ATC 40 dan FEMA 440," 2012.

[12] L. Zulaicha and R. Setioningsih, "Analisis Gempa Pada Struktur Atas Gedung RS Pratama Dengan Metode Pushover Analysis Berdasarkan ATC-40 dan SNI 1726-2019," *Equilib*, vol. 02, no. 02, pp. 193–202, 2021.

[halaman kosong]