

Perbandingan respons struktur gedung dengan variasi bentuk denah menggunakan metode respons spektrum dan *time history*

Firdaus Sukma Putra^{1,*}, Elvis Saputra¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

RSA

THA

Base shear

Irregularity

Displacement

Drift story

Abstract

Yogyakarta is one of the regions in Indonesia with a high level of seismic vulnerability, as evidenced by the 2006 earthquake with a magnitude of 5.9. Therefore, structural response analysis is essential to ensure the safety and serviceability of buildings in this area. In the design of earthquake-resistant buildings, dynamic structural analysis is required to obtain a more accurate representation of structural behavior. This study aims to compare the structural responses obtained using the Response Spectrum Analysis (RSA) and Time History Analysis (THA) methods for different building plan configurations. Structural models with square, T-shaped, and L-shaped plans were developed using ETABS V22 software. The evaluated parameters include base shear, structural irregularity, displacement, and story drift. Based on the results of the analysis, the Response Spectrum Analysis (RSA) showed a more conservative structural behavior with a very small difference in the base shear between directions, which was 0,872% on average, indicating a relatively balanced response in the X and Y directions. The displacement response in RSA tends to be more dominant in the X direction with an average of 194,175 mm compared to the Y direction of 179,262 mm, resulting in a difference of 7,680%, and a similar pattern is shown by the story drift with a difference of 6,975%. In contrast, Time History Analysis (THA) showed a higher sensitivity to the direction of loading and the characteristics of the earthquake input, reflected in the difference in base shear of 11,040% with a greater X-direction response. Although no structural irregularities were detected, the THA displacement response was more dominant in the Y direction with a difference of 14,442%, while the difference in story drift was relatively small, which was 0,560%.

Corresponding Author:

Firdaus Sukma Putra

20511316@students.uii.ac.id

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Indonesia berada pada wilayah Cincin Api Pasifik yang memiliki tingkat aktivitas sesmik tinggi, sehingga menjadikan gempa bumi sebagai salah satu ancaman bencana utama (Rahayu & Pawirodikromo, 2023). Kerentanan ini semakin meningkat karena Indonesia terletak pada zona pertemuan empat lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, Pasifik, dan Filipina, yang secara aktif memicu proses tektonik di wilayah tersebut. Interaksi antar lempeng ini meningkatkan

potensi terjadinya gempa bumi berkekuatan besar (Hutchings & Mooney, 2021) dan berpotensi menimbulkan kerusakan signifikan pada lingkungan terbangun, khususnya bangunan gedung.

Kerusakan bangunan akibat gempa bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain tingkat seismisitas wilayah, kondisi dan jenis tanah, masa layan bangunan, jumlah lantai, keberadaan elemen non-struktural, serta konfigurasi dan ketidakberaturan bentuk denah struktur (FEMA, 2015). Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan keterbatasan lahan perkotaan,

perencana dan pengembang semakin banyak menerapkan desain bangunan dengan variasi bentuk denah yang kompleks. Kondisi ini, meskipun memberikan fleksibilitas fungsi dan nilai estetika, berpotensi meningkatkan kerentanan struktur terhadap beban gempa apabila tidak direncanakan secara tepat.

Bentuk denah bangunan terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap respons seismik struktur. Bangunan dengan denah reguler, seperti denah persegi, umumnya menunjukkan perilaku struktur yang lebih stabil dan merata saat menerima beban gempa dibandingkan bangunan dengan denah *irreguler*, seperti denah L (Haque dkk., 2016). Hal serupa juga teramati pada penelitian (J & G, 2024) yang menyatakan bangunan berdenah persegi menunjukkan kinerja seismik yang lebih baik dibandingkan denah T, L, dan H yang ditandai oleh simpangan dan rasio *drift* lantai yang lebih kecil serta kekakuan lantai yang lebih tinggi, sehingga lebih tahan terhadap beban gempa.

Dalam konteks perencanaan bangunan di wilayah rawan gempa, pemahaman yang komprehensif terhadap respons struktur menjadi aspek yang sangat krusial. Hal ini sejalan dengan ketentuan SNI 1726-(2002) Pasal 4.2.2 yang menyatakan bahwa struktur bangunan dengan ketidakberaturan, termasuk ketidakberaturan bentuk denah, harus dianalisis dengan mempertimbangkan pengaruh gempa rencana melalui analisis dinamik. Oleh karena itu, penggunaan metode analisis respons dinamik menjadi keharusan guna mendapatkan gambaran perilaku struktur yang lebih realistis.

Penelitian ini menerapkan dua metode analisis dinamik, yaitu *Response Spectrum Analysis* (RSA) dan *Time History Analysis* (THA). RSA dipilih karena kemudahannya dalam mengevaluasi respons maksimum struktur berdasarkan spektrum respons gempa rencana serta efisiensinya dalam aspek komputasi. Namun, metode ini tidak mempertimbangkan urutan waktu kejadian gempa maupun interaksi simultan antar

mode getar. Sebaliknya, THA mampu merepresentasikan respons struktur secara lebih rinci melalui penggunaan data akselerogram aktual, meskipun memerlukan proses pemodelan yang lebih kompleks dan waktu komputasi yang lebih panjang.

Perbedaan karakteristik kedua metode tersebut berpotensi menghasilkan respons struktur yang berbeda, khususnya pada bangunan dengan variasi bentuk denah dan ketinggian. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi komparatif untuk menilai konsistensi hasil antara RSA dan THA dalam merepresentasikan perilaku seismik struktur. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respons struktur bangunan dengan bentuk denah reguler dan *irreguler* serta variasi ketinggian menggunakan metode RSA dan THA. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dan teoretis dalam perencanaan struktur tahan gempa, serta menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan metode analisis yang paling representatif bagi bangunan di wilayah seismik aktif

Analisis respons spektrum

Menurut (Pawirodikromo, 2012) respons spektrum merepresentasikan secara grafis hubungan antara periode getar struktur (T) dan respons maksimum yang terjadi pada suatu sistem dengan mempertimbangkan rasio redaman serta karakteristik beban gempa tertentu. Dalam analisis ini, peneliti mengevaluasi respons maksimum berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement*, SD), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity*, SV), atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration*, SA) pada sistem struktur satu derajat kebebasan (*Single Degree of Freedom*, SDOF). Spektrum ini berperan sebagai alat analisis untuk mengevaluasi respons dinamis struktur terhadap eksitasi seismik secara lebih mendalam, sehingga memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai perilaku struktur dalam menghadapi beban gempa

Analisis time histroy

Untuk memperoleh gambaran perilaku dinamis struktur secara lebih rinci dan realistis terhadap beban gempa, dilakukan analisis menggunakan metode *time history*. Metode ini memungkinkan evaluasi respons struktur terhadap rekaman gerakan tanah aktual dalam domain waktu, sehingga mampu menggambarkan interaksi kompleks antara massa, kekakuan, dan redaman secara lebih komprehensif dibandingkan metode statik ekuivalen maupun respons spektrum. Analisis ini menjadi krusial dalam menilai kinerja struktur terutama pada kondisi ketidakberaturan geometri dan distribusi massa, serta dalam mengidentifikasi potensi mekanisme keruntuhan lokal yang tidak dapat terdeteksi melalui pendekatan linier statik atau spektrum respons.

Gaya geser dasar

Pemeriksaan gaya geser dasar dilakukan sesuai dengan SNI 1726-2019. Apabila kombinasi respons gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_{dinamik}) bernilai kurang dari 100% gaya geser dasar (V_{statik}) yang dihitung menggunakan metode statik ekuivalen, maka perencana mengalikan gaya geser tersebut dengan faktor koreksi sebesar $V_{\text{statik}}/V_{\text{dinamik}}$.

Ketidakteraturan

SNI 1726-2019 menjelaskan bahwa ketidakberaturan terdiri dari jenis yaitu ketidakberaturan horizontal dan vertikal.

1. Ketidakteraturan horizontal

Pada penelitian ini menggunakan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b. Jika suatu struktur memiliki satu atau lebih dari jenis ketidakberaturan ini, maka struktur tersebut dianggap memiliki ketidakberaturan horizontal. Pengklasifikasian ketidakberaturan torsi 1a dan 1b dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 1, 2, dan 3 berikut.

$$\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}} \quad (1)$$

$$1,2\delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\max} < 1,4\delta_{\text{avg}} \quad (2)$$

$$\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad (3)$$

dengan :

$\delta_{\max}$ = perpindahan maksimum pada tingkat ke-x dan

δ_{avg} = nilai rata – rata perpindahan di titik – titik paling jauh struktur pada tingkat x.

2. Ketidakteraturan vertikal

Penelitian ini menggunakan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b, serta 5a dan 5b. Apabila sebuah struktur memiliki satu atau lebih ketidakberaturan tersebut, maka struktur tersebut dikategorikan sebagai memiliki ketidakberaturan vertikal. Persamaan ketidakberaturan 1a dan 1b dapat dilihat pada Persamaan 4 sampai 8 di bawah ini.

$$1a = 70\% (K_{n+1}) < K_n \quad (4)$$

$$80\% \left(\frac{K_{n+1} + K_{n+2} + K_{n+3}}{3} \right) < K_n \quad (5)$$

$$1b = 60\% (K_{n+1}) < K_n \quad (6)$$

$$80\% \left(\frac{K_{n+1} + K_{n+2} + K_{n+3}}{3} \right) < K_n \quad (7)$$

$$K_n = \frac{V_x}{\Delta_x} \quad (8)$$

dengan :

K_n = kekakuan pada lantai ke-n,

V_x = gaya geser pada lantai ke-n, dan

Δ_x = simpangan antar tingkat pada lantai ke-n.

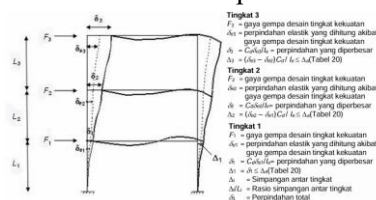
Persamaan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b dapat dilihat pada Persamaan 9 dan 10 di bawah ini.

$$\text{Kuat geser A} < 80\% \text{ B} \quad (9)$$

$$\text{Kuat geser A} < 65\% \text{ B} \quad (10)$$

Simpangan antar tingkat

Simpangan antara tingkat-tingkat dalam bangunan dilihat dari perbedaan posisi pusat massa pada tingkat atas dibandingkan dengan tingkat bawah. Ilustrasi simpangan pada struktur bisa dilihat pada Gambar X.



Gambar 1. Penentuan Simpangan antar Tingkat
(sumber: SNI 1726-2019)

Simpangan antar tingkat ditentukan oleh pergeseran yang terjadi di setiap tingkat bangunan, dengan Persamaan 11 sebagai berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_e}{I_e} \quad (11)$$

Keterangan :

δ_x = defleksi yang terjadi pada tingkat x (mm),

C_d = faktor amplifikasi defleksi,

δ_e = defleksi yang disyaratkan pada lokasi tertentu berdasarkan hasil analisis elastis, dan

I_e = faktor keutamaan gempa

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Gedung yang menjadi objek penelitian ini berlokasi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat 434689.01 m E dan 9130392.54 m S, yang dipilih sebagai lokasi studi berdasarkan tingkat kerentanannya terhadap aktivitas seismik yang signifikan. Zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia membentuk wilayah ini dan berkontribusi terhadap tingginya potensi gempa bumi. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



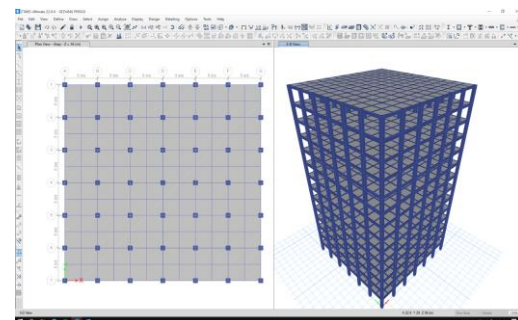
Gambar 2. Peta Lokasi Sesar Opak Daerah Istimewa Yogyakarta
(sumber: Google earth, diakses 29 Juli 2025)

Data penelitian

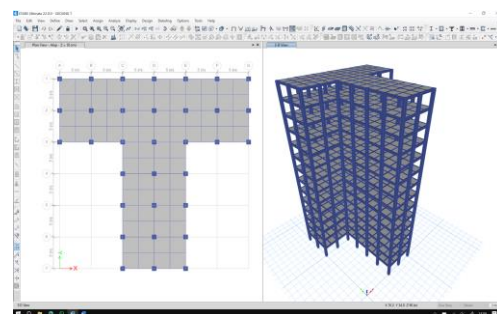
Bangunan yang digunakan bersifat imajiner, artinya bangunan tersebut tidak benar-benar ada secara fisik, melainkan hanya dibuat dalam bentuk model 3D menggunakan

software ETABS untuk keperluan analisis struktur. Variasi bentuk bangunan yang digunakan terdiri dari bentuk persegi, T, dan L. Bentuk persegi dipilih karena menggambarkan bangunan yang simetris, sementara bentuk T dan L merepresentasikan bangunan yang tidak simetris atau tidak beraturan. Ketidaksimetrian ini muncul akibat adanya sudut dalam yang kedalamannya melebihi 15%, dengan dimensi denah $L_x = 30$ m dan $P_x = 10$ m, sehingga menghasilkan perbandingan P_x/L_x sebesar 33%.

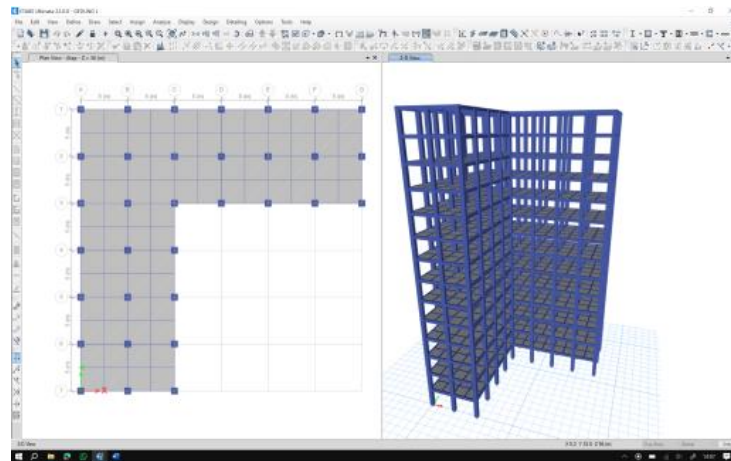
Agar proses analisis lebih fokus dan hasilnya bisa dibandingkan dengan adil, semua model bangunan dibuat dengan dimensi balok, kolom, dan tebal pelat yang sama. Tujuannya agar perbedaan respons struktur yang muncul hanya dipengaruhi oleh bentuk bangunan, bukan oleh ukuran elemen strukturnya. Untuk melihat bagaimana struktur digambarkan dalam 3D dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Informasi mengenai data bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Pemodelan 3D Gedung Persegi



Gambar 4. Pemodelan 3D Gedung T



Gambar 5. Pemodelan 3D Gedung L

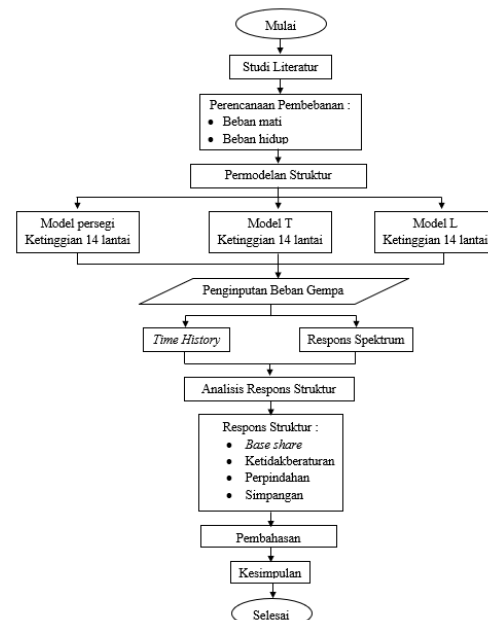
Tabel 1. Data Bangunan

No.	Konfigurasi Struktur		Mutu Material		Dimensi Struktur			
	Bentuk	Jumlah Lantai	Beton (MPa)	Baja (MPa)	Balok Induk (mm)	Balok Anak (mm)	Kolom (mm)	H Pelat (mm)
1	Persegi	14 Lantai	30	420	300 x 500	250 x 400	650 x 650	125
2	T	14 Lantai	30	420	300 x 500	250 x 400	650 x 650	125
3	L	14 Lantai	30	420	300 x 500	250 x 400	650 x 650	125

Data gempa

Data gempa untuk analisis struktur diperoleh dari tiga sumber utama sebagai berikut.

1. Parameter spektral percepatan (S_s dan S_1) di wilayah Yogyakarta yang diakses melalui portal resmi (Kementrian PUPR, 2022)
2. Parameter magnitudo (M) dan jarak sumber gempa (R) yang diperoleh dari analisis Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, PusGen 2022 melalui proses *deagregasi hazard*
3. Rekaman gempa (*Time History*) yang diperoleh dari website database *Pacific Earthquake Engineering Research Center Next Generation Attenuation-West2 PEER NGA-West2*. Software yang digunakan meliputi AutoCAD 2019, Seismomatch, ETABS v22, dan Excel. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.

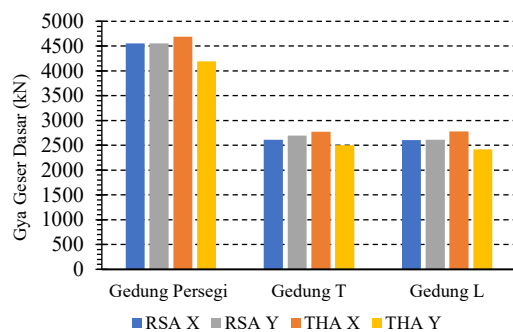


Gambar 6. Tahapan Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Gaya Geser Dasar

Gambar 7 menyajikan nilai perbandingan gaya geser dasar pada gedung berbentuk Persegi, T, dan L yang dianalisis menggunakan metode *RSA* dan *THA*.



Gambar 7. Diagram Batang Perbandingan Nilai Gaya Geser Dasar Beban Gempa Respons Spektrum dan *Time History*

Berdasarkan grafik perbandingan gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis *Response Spectrum Analysis (RSA)* dan *Time History Analysis (THA)*, dapat diamati bahwa pada metode *RSA* tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara respons pada arah X dan arah Y. Rata-rata selisih gaya geser dasar yang dihasilkan relatif kecil, yakni sekitar 0,872%, yang menunjukkan bahwa respons struktur terhadap spektrum rencana bersifat lebih seimbang pada kedua arah utama.

Sebaliknya, hasil analisis *THA* menunjukkan perbedaan gaya geser dasar yang cukup mencolok antara arah X dan arah Y, dengan nilai pada arah X secara konsisten lebih besar dan selisih rata-rata mencapai sekitar 11,040%. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik input gempa yang digunakan dalam analisis *time history*, di mana komponen percepatan pada arah X memiliki intensitas yang lebih dominan dibandingkan arah Y, sebagaimana tercermin pada rekaman gempa Imperial Valley-06 komponen X.

Selain itu, respons yang lebih besar pada analisis *time history* juga dapat dipicu oleh fenomena resonansi, khususnya ketika periode alami struktur mendekati periode dominan dari rekaman gempa. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan respons

dinamik struktur secara signifikan, yang pada kasus tertentu dapat memperbesar tingkat kerusakan, sebagaimana dikemukakan oleh (Lang dkk., 2011) bahwa terjadinya resonansi struktur dapat menyebabkan kerusakan yang lebih serius, baik secara parsial maupun menyeluruh.

Ketidakteraturan

Pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 dapat dilihat rekapitulasi ketidakberaturan horizontal dan vertikal.

Tabel 2. Perbandingan Ketidakteraturan Horizontal 1a dan 1b Respons Beban Gempa Respons Spektrum dan *Time History*

Bentuk	RSA		THA	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Persegi	Regular	Regular	Regular	Regular
T	H.1a	Regular	Regular	Regular
L	Regular	Regular	Regular	Regular

Ketidakteraturan horizontal hanya teridentifikasi pada pembebanan gempa menggunakan metode *Response Spectrum Analysis (RSA)*, khususnya pada model gedung dengan konfigurasi denah berbentuk T pada arah X. Sebaliknya, pada model gedung dengan denah persegi dan berbentuk L, hasil analisis menunjukkan bahwa baik pembebanan gempa *RSA* maupun *Time History Analysis (THA)* pada arah X dan Y tidak menimbulkan indikasi ketidakberaturan horizontal.

Tabel 3. Perbandingan Ketidakteraturan Vertikal 1a dan 1b Respons Beban Gempa Respons Spektrum dan *Time History*

Bentuk	RSA		THA	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Persegi	Regular	Regular	Regular	Regular
T	Regular	Regular	Regular	Regular
L	Regular	Regular	Regular	Regular

Ketidakteraturan vertikal tipe 1a dan 1b pada gedung dengan denah persegi, T, dan L menunjukkan respons yang konsisten pada arah X dan Y akibat pembebanan gempa menggunakan metode *Response Spectrum Analysis (RSA)* dan *Time History Analysis (THA)*. Berdasarkan kriteria yang berlaku, seluruh model struktur memenuhi klasifikasi

sebagai struktur “regular”. Selain itu, kedua metode analisis menghasilkan klasifikasi ketidakberaturan vertikal yang sama, tanpa menunjukkan adanya perbedaan pada seluruh model yang ditinjau.

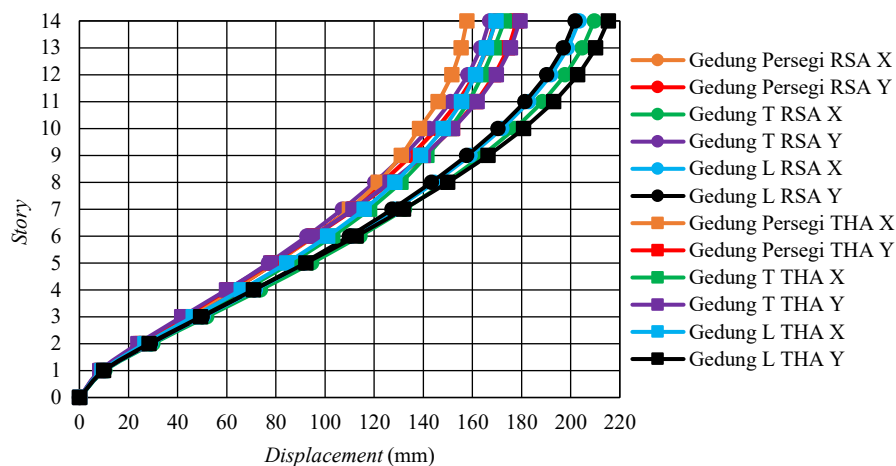
Tabel 4. Perbandingan Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b Respons Beban Gempa Respons Spektrum dan *Time History*

Bentuk	RSA		THA	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Persegi	Regular	Regular	Regular	Regular
T	Regular	Regular	Regular	Regular
L	Regular	Regular	Regular	Regular

Pada gedung dengan denah persegi, T, dan L yang dianalisis menggunakan beban gempa RSA maupun THA tidak teridentifikasi adanya ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b, baik pada arah X maupun arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa perilaku struktur pada seluruh model tetap memenuhi kriteria keteraturan vertikal sesuai ketentuan yang berlaku, terlepas dari metode analisis gempa yang digunakan.

Perpindahan

Nilai perpindahan pada gedung Persegi, T, dan L dengan metode RSA dan THA dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



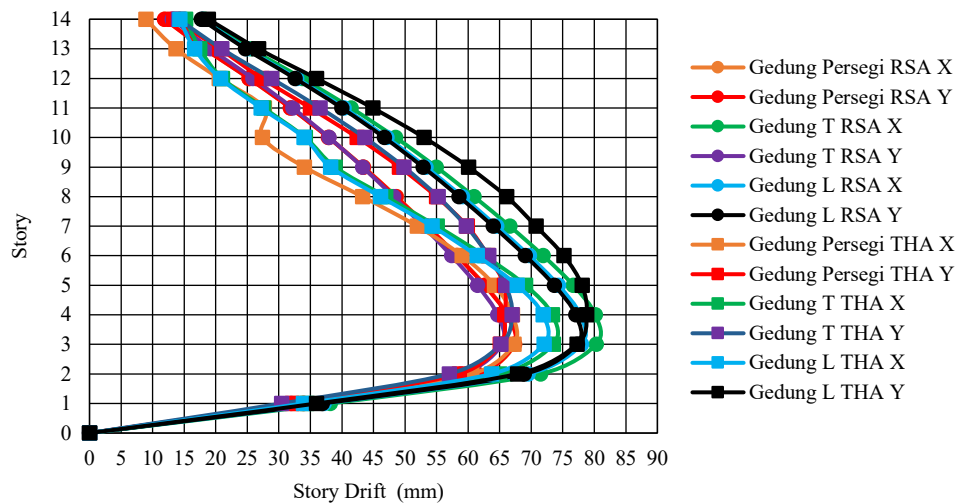
Gambar 8. Grafik Perbandingan Perpindahan Beban Gempa Respons Spektrum dan *Time History*

Metode *Response Spectrum Analysis* (RSA) dan *Time History Analysis* (THA) menunjukkan perbedaan respons perpindahan yang dipengaruhi oleh arah pembebanan. Pada arah X, analisis menggunakan RSA menghasilkan nilai perpindahan yang lebih besar dibandingkan dengan THA. Sebaliknya, pada arah Y, THA menghasilkan perpindahan yang lebih dominan dibandingkan RSA. Pola respons ini konsisten pada seluruh model gedung

dengan konfigurasi denah persegi, T, dan L. Secara rata-rata, perbedaan perpindahan tercatat sebesar 14,085% pada arah X dengan dominasi nilai dari RSA, serta 6,503% pada arah Y dengan dominasi nilai dari THA.

Simpangan antar Tingkat

Gambar 9 menampilkan perbandingan nilai simpangan antar tingkat pada gedung berbentuk Persegi, T, dan L yang dianalisis menggunakan metode RSA dan THA.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Simpangan antar Tingkat Beban Gempa Respons Spektrum dan *Time History*

Sejalan dengan hasil analisis perpindahan, perbandingan simpangan antar tingkat yang diperoleh dari metode *RSA* dan *THA* juga menunjukkan kecenderungan yang tidak selalu konsisten dalam hal dominasi respons. Pada arah X, metode *RSA* menghasilkan simpangan antar tingkat yang relatif lebih besar dengan nilai rata-rata sebesar 75,220 mm, sedangkan pada arah Y diperoleh nilai rata-rata sebesar 69,973 mm untuk ketiga model gedung yang dianalisis. Sementara itu, hasil analisis *time history* menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat rata-rata pada arah X sebesar 70,925 mm dan pada arah Y sebesar 70,528 mm. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa selisih respons antara arah X dan Y pada *RSA* mencapai 6,975%, sedangkan pada *THA* perbedaan tersebut lebih kecil, yakni sebesar 0,560%. Temuan ini menguatkan pernyataan Arias dan Jaramillo (2019) serta Bayyinah (2017) yang menyebutkan bahwa metode *RSA* cenderung memberikan hasil yang lebih konservatif karena didasarkan pada spektrum respons desain yang telah mengalami proses penyederhanaan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan menerapkan metode *Response Spectrum Analysis (RSA)* dan *Time History Analysis (THA)* pada gedung dengan bentuk

Persegi T dan L, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama terkait perilaku respons struktur terhadap beban gempa yang dapat dilihat di bawah ini.

1. Analisis Respons Spektrum menunjukkan bahwa respons gedung relatif seimbang pada kedua arah utama, ditandai dengan perbedaan gaya geser dasar yang sangat kecil 0,872%. Ketidakberaturan horizontal hanya teridentifikasi pada gedung berdenah T (tipe 1a dan 1b) pada arah X, sementara seluruh model tetap tergolong struktur regular secara vertikal. Respons perpindahan dan drift lebih dominan pada arah X, dengan selisih masing-masing sebesar 7,680% dan 6,975% dibandingkan arah Y.
2. Analisis *Time History* mengindikasikan bahwa respons struktur lebih dipengaruhi oleh arah pembebanan dan karakteristik gempa, tercermin dari perbedaan gaya geser dasar yang cukup signifikan antara arah X dan Y 11,040%. Seluruh model bangunan tetap berperilaku regular baik ketidakberaturan horizontal maupun vertikal. Respons perpindahan lebih dominan pada arah Y (selisih 14,442%), sementara perbedaan respons drift antar lantai relatif kecil 0,560%.

Daftar Pustaka

- Haque, M., Ray, S., Chakraborty, A., Elias, M., & Alam, I. (2016). Seismic Performance Analysis of RCC Multi-Storied Buildings with Plan Irregularity. *American Journal of Civil Engineering*, 4(3), 68–73. <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20160403.11>
- Hutchings, S. J., & Mooney, W. D. (2021). The Seismicity of Indonesia and Tectonic Implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22(9). <https://doi.org/10.1029/2021GC009812>
- J, R. T. M., & G, C. (2024). A Comparative Study on Seismic Behaviour of Plan Irregular Buildings. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(10), 1061–1071. <https://doi.org/10.22214/ijrasnet.2024.64804>
- Kementrian PUPR. (2022). *Desaian Spektra Indonesia*. Pu.Go.Id.
- Lang, D. H., Schwarz, J., & Gülkan, P. (2011). Site-structure resonance as a proxy for structural damage. *Earthquake Spectra*, 27(4), 1105–1125. <https://doi.org/10.1193/1.3651403>
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar.
- PEER NGA-West2. (n.d.). *Pacific Earthquake Engineering Research Center Next Generation Attenuation-West2*. Retrieved December 21, 2025, from <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2022). *Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*.
- Rahayu, P., & Pawirodikromo, W. (2023). Time History Sintetik di Wilayah Bogor Ditinjau dari Deagregasi Hazard. *Konstruksia*, 14(2), 93. <https://doi.org/10.24853/jk.14.2.93-108>
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung* (SNI 1726:2019). Badan Standarisasi Nasional.
- Standart Nasional Indoesia. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung* (SNI 1726:2002). Badan Standarisasi Nasional.