

Performance Evaluation of High-rise Buildings with Respon Spectrum Analysis and Time History Analysis

Gilbert Tua Novensius Silaban^{1(*)}, Sudarno P Tampubolon², Agnes Sri Mulyani³, Felestin⁴

Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Jl. Mayor Jendral Sutoyo, Cawang, Kec. Kramat Jati, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 13630, Indonesia^{1,2,3}

Institut Malgache des Techniques de Planification. Lâlana R.P. Rahajarizafy Antoine de Padoue, S.J, Antananarivo, Madagaskar⁴

E-mail: novensius1474@gmail.com^{1(*)}, sudarno.tampubolon@uki.ac.id², agnes.mulyani@uki.ac.id³, felestin2@gmail.com⁴

Profil Korenspondensi

Gilbert Tua Novensius Silaban, Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia.

<i>Submission</i>	<i>Revision</i>	<i>Accepted</i>
02/02/2023	18/03/2023	28/04/2023

Abstract

Java Island is one of the areas that have the densest infrastructure and population. Besides that, the area also has big cities along the potential earthquake hazard lane. Geologically, Java Island is located in a convergent zone, namely the collision zone between the Indo-Australian plate and the Eurasian plate, causing this area to have many active volcanoes and a high potential for earthquakes. These emphasize the importance of seismic load review in the design of earthquake-resistant building structures. This study aims to determine the structure's performance against displacement, drift, and structural stability limits against earthquake loads based on SNI 1726:2019 regulations. The evaluation process uses 3d modeling of the building using the ETABS v.17 software program and is analyzed based on linear dynamic analysis of time history and spectrum response. Time history analysis used earthquake records from Kobe, California, and San Francisco which matched with the earthquake response spectrum. The results are based on the program performed to compare the two methods used. Based on the analysis results, the average displacement value on the 4th to 12th floors in the horizontal X direction exceeds the drift value. The results of the structural stability coefficient limits on displacement based on the P-Delta effect need to be redesigned for the rigidity of the column structure or the addition of shear walls in the X horizontal direction of the building.

Keywords: Displacement; Drift; Time history; Respon spectrume.

Abstrak


Pulau Jawa merupakan salah satu wilayah yang mempunyai infrastruktur dan penduduk paling padat. Disamping itu pada wilayah tersebut juga terdapat kota-kota besar sepanjang lajur potensi bahaya gempa bumi. Secara geologis wilayah Pulau Jawa terletak di zona konvergen yaitu zona tumbukan antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia sehingga menyebabkan wilayah ini banyak terdapat gunung api aktif dan memiliki potensi tinggi terhadap gempa bumi. Oleh karena itu penting dilakukan tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur bangunan terhadap wilayah dan fungsi bangunan sebagai antisipasi meminimalisir bahkan mencegah kerugian apabila terjadi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur terhadap *displacement*, *drift* dan batas stabilitas struktur terhadap beban gempa berdasarkan peraturan (Badan Standarisasi Nasional, 1726:2019). Proses evaluasi dilakukan dengan pemodelan 3d bangunan menggunakan program *software* ETABS v.17, analisis berdasarkan analisis dinamik linear riwayat waktu dan respon spektrum. Analisis riwayat waktu

menggunakan catatan rekaman gempa Kobe, California, dan San Francisco yang di *match* terhadap gempa respon spektrum, hasil analisis berdasarkan program dilakukan untuk membandingkan dua metode yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis, nilai rata-rata *displacement* dilantai 4 sampai lantai 12 arah horizontal X melebihi nilai *drift*. Hasil batas koefisien stabilitas struktur terhadap *displacement* berdasarkan pengaruh P-Delta perlu dilakukan desain ulang terhadap kekakuan struktur kolom atau penambahan dinding geser pada arah horizontal X bangunan.

Kata Kunci: Pemindahan; Drift; Riwayat waktu; Respon spektrum.



Copyright © 2023, Gilbert Tua Novensius
Silaban, Sudarno P Tampubolon, Agnes
Sri Mulyani, Felestin.

 10.30738/st.vol9.no1.a14295

Pendahuluan

Gempa bumi adalah gerakan tiba-tiba tanah yang dimulai dari gelombang di suatu titik wilayah kemudian merambat ke segala arah. Salah satu wilayah Indonesia yang rawan gempa yaitu Pulau Jawa. Lempeng Indo-Australia dan Eurasia bertabrakan di zona konvergen berdasarkan letak Pulau Jawa secara geologis. Akibatnya, wilayah ini menjadi rumah bagi banyak gunung berapi aktif sehingga menyebabkan risiko gempa bumi yang tinggi. Kerusakan bangunan sangat dipengaruhi oleh beberapa kejadian pasca bencana yang diakibatkan oleh gempa bumi dengan magnitudo di bawah 5,6. Pada wilayah yang telah teridentifikasi rawan gempa dan rawan bencana, risiko bahaya gempa sangat ditentukan oleh kepadatan penduduk dan infrastruktur (Soehami, 2008).

Pulau Jawa tergolong salah satu daerah yang mempunyai infrastruktur dan padat penduduk di beberapa kota besar seperti Jakarta, Bogor, Bandung, Semarang dan Yogyakarta dimana kota-kota tersebut berada di sepanjang lajur potensi bahaya gempa bumi. Oleh karena itu, untuk meminimalkan atau bahkan mencegah kerugian pada saat terjadi gempa bumi, penting untuk mengkaji beban gempa yang diantisipasi baik dalam merancang, mendesain ataupun mengevaluasi struktur bangunan berdasarkan tata cara perencanaan bangunan tahan gempa (SNI 1726, 2019) dan fungsi bangunan tersebut (SNI 1727, 2020), (Nehe et al., 2021a).

Peninjauan beban gempa terhadap suatu struktur salah satunya dapat dilakukan melalui sebuah proses evaluasi berbasis respon kinerja struktur terhadap beban gempa dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian dilakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Evaluasi kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur bangunan gedung. Hal ini penting untuk evaluasi perilaku seismik struktur gedung pasca leleh. (Pranata, 2006), (Tampubolon et al., 2022).

Berdasarkan SNI 1726:2019, terdapat metode analisis dinamik dalam melakukan evaluasi kinerja struktur. Dinamik secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu, dan beban dinamik adalah setiap beban yang besar, arah atau posisinya berubah menurut waktu. Demikian juga respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan, perubahan waktu, dan sifat dinamik (Clough and Penzien, 1997) dalam (Pratama et al., 2014).

Dalam analisis dinamik terdapat dua metode analisis yang dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis analisis dinamik respon spektrum, dibutuhkan respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi yang didapat dari Spektrum Respon Rencana (Design Spectra) dan analisis dinamik riwayat waktu (*time*

history), diperlukan rekaman percepatan gempa. Pada analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena lebih sederhana (Rifa et al., 2014).

Analisis dinamik *time history* lebih disarankan digunakan dalam perencanaan, pendesainan, maupun evaluasi struktur pada struktur 7 tingkat atau lebih karena memberikan persyaratan yang lebih besar dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen (Fadilah & Walujodjati, 2020). Disisi lain, analisis dinamik *time history* memberikan pendistribusian gaya gempa lebih merata dibandingkan analisis statik ekuivalen (Hafidz, 2018).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui proses evaluasi kinerja struktur bangunan Rusun Pulo Jahe terhadap beban gempa dengan meninjau perilaku gaya geser (*base shear*), simpangan (*displacemnt*), dan juga pengaruh struktur terhadap P-delta berdasarkan proses simulasi *software* analisis struktur (ETABS V.17) dengan menggunakan analisis dinamik respon spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu.

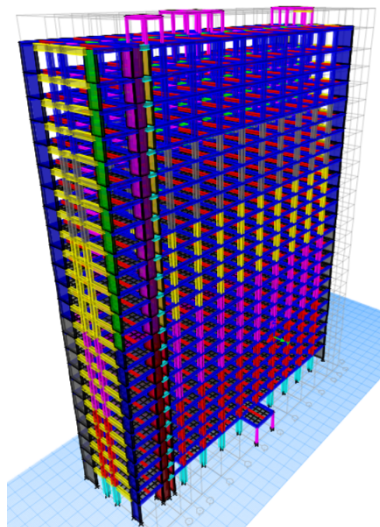
Bedasarkan penelitian sebelumnya, hasil *displacement* dan *base shear* dengan analisa gaya lateral ekuivalen selalu lebih besar dibandingkan dengan analisa spektrum respons ragam (Orchidentus et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perbandingan *displacement* dan *base shear* dengan analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu, yang kemudian akan di lihat masing-masing perilaku struktur terhadap pengaruh P-Delta.

Metode

Adapun metode yang digunakan di dalam penelitian ini adalah metode analisa dan simulasi berdasarkan analisis linier dinamik respons spektrum dan analisis riwayat waktu dinamik linier gempa terhadap bangunan Rusun Pulo Jahe, Jakarta Timur dengan menggunakan *software* ETABS V.17. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam mengevaluasi struktur yaitu dengan pengumpulan data rencana bangunan, pemodelan bentuk struktur bangunan, pemodelan mutu bahan, dan pemodelan elemen struktur mulai dari kolom, balok, pelat lantai dan atap ke dalam *software* ETABS v.17. Beban yang diterapkan yaitu: beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup) ditambah beban percepatan gempa (gempa rencana dan gempa aktual). Hasil analisis akibat gempa rencana dan gempa aktual dievaluasi untuk mengetahui kinerja dan tingkat kinerja struktur.

Tabel 1. Deskripsi Bangunan

Deskripsi Bangunan	Keterangan
Nama bangunan	Rumah susun (Rusun) Pulo Jahe
Lokasi bangunan	Jl. Pulo Jahe, Kel. Jatinegara, Kec. Cakung, Kota ADM Jakarta Timur
Sistem struktur bangunan	Dinding geser + SPRMK
Fungsi bangunan	Hunian
Jumlah lantai	24 lantai hunian + 1 Atap
Tinggi bangunan	81,92 m
Tinggi antar lantai	
Lantai 1	4,52 m
Lantai 2 – 23	3,20 m
Lantai 24	3,80 m
Luas total bangunan	1191,96 m ²
Mutu bahan	
Beton	$f'c$ 30 MPa & $f'c$ 40 MPa
Tulangan baja BJ 420B	f_y 420 MPa, f_u 525 MPa



Gambar 1. Pemodelan 3D Struktur Bangunan Gedung Rusun Pulo Jahe

Hasil dan Pembahasan

Sebelum dilakukan analisis pemodelan struktur, maka terlebih dahulu harus dilakukan pemodelan beban-beban yang bekerja pada bangunan yang akan dianalisa. Hal ini bertujuan untuk mengetahui respon suatu struktur terhadap desain model bangunan dalam memikul beban yang diterima terutama beban gempa. Berikut ini adalah pembahasan terhadap hasil analisa/ simulasi yang sudah dilakukan terhadap bangunan Rusun Pulo Jahe.

Hasil

Beban gravitasi merupakan beban yang dipengaruhi oleh gaya tarik bumi. Dalam struktur bangunan gedung maupun non-gedung beban ini terbagi atas beban mati tambahan dan beban hidup berdasarkan komponen pengisi gedung dan fungsi lantai gedung (SNI 1727, 2020).

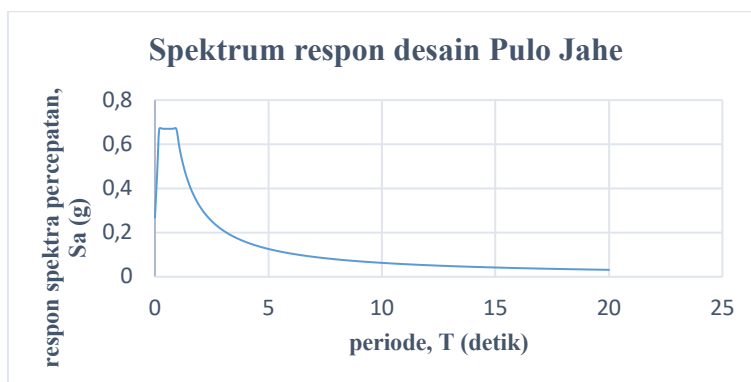
Tabel 2. Rekapitulasi Beban Struktur Antar Lantai

Lantai	Beban Total Arah-X (kg)	Beban Total Arah-Y(kg)
Atap DAK	61740,24	61740,24
Lantai Atap	737397,33	737397,33
Lantai 24	927089,91	927089,91
Lantai 23	928250,24	928250,24
Lantai 22	921495,64	921495,64
Lantai 21	930495,64	930495,64
Lantai 20	940402,84	940402,84
Lantai 19	940402,84	940402,84
Lantai 18	940402,84	940402,84
Lantai 17	949402,84	949402,84
Lantai 16	959310,04	959310,04
Lantai 15	959310,04	959310,04
Lantai 14	959310,04	959310,04
Lantai 13	959310,04	959310,04
Lantai 12	968310,04	968310,04
Lantai 11	978217,24	978217,24
Lantai 10	978217,24	978217,24
Lantai 9	978217,24	978217,24
Lantai 8	978217,24	978217,24
Lantai 7	987217,24	987217,24
Lantai 6	997124,44	997124,44

Lantai 5	997124,44	997124,44
Lantai 4	997124,44	997124,44
Lantai 3	997124,44	997124,44
Lantai 2	1103854,66	1103854,66
Lantai 1	255057,57	255057,57
Berat Total (W _i)	$\Sigma = 23330126,75$	$\Sigma = 23330126,75$

Beban gempa merupakan nilai percepatan gerakan tanah per detik ketika terjadi gempa. Dalam analisis linear dinamik respon spektrum, penentuan parameter respon spektral harus dihitung terlebih dahulu dengan mengetahui nilai koefisien situs yang bisa didapat melalui perhitungan *software* RSA Cipta Karya. Sedangkan dalam analisis linear dinamik riwayat waktu (*time history*), berdasarkan SNI 1726 setidaknya memilih 3 rekaman percepatan gerakan tanah akibat gempa kemudian dilakukan pencocokan grafik riwayat waktu dengan grafik respon spektra (Wahyudi, 2017).

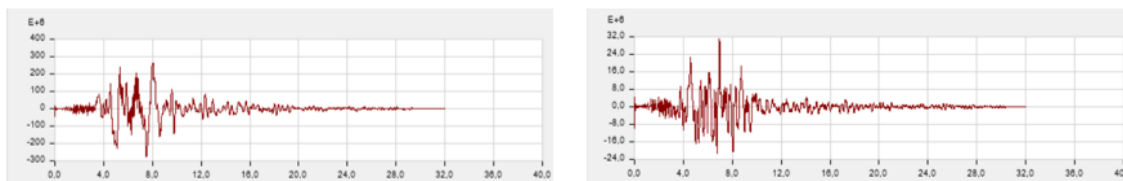
- Kategori risiko & Faktor keutamaan = II (Tabel 3 SNI 1726:2019)
- Faktor keutamaan = 1,0 (Tabel 4 SNI 1726:2019)
- Kelas situs = tanah lunak (SE)
- Parameter respons spektral = $S_{MS} = 1,005$; $S_{M1} = 0,945$
- Parameter percepatan gempa = $S_S = 0,7822$; $S_1 = 0,3773$
- Parameter percepatan spektral desain = $S_{DS} = 0,67$; $S_{D1} = 0,63$
- Koefisien situs = $F_a = 1,285$; $F_v = 2,505$
- Kategori desain sesimik = D
- Parameter sistem struktur (Tabel 12 SNI 1726:2019)
- Koefisien modifikasi respons, $R^a = 7$
- Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b = 2,5$
- Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c = 5,5$



Gambar 2. Respon Spektar Pada Tanah Lunak (SE)

Tabel 3. Data Rekaman Gempa Dunia

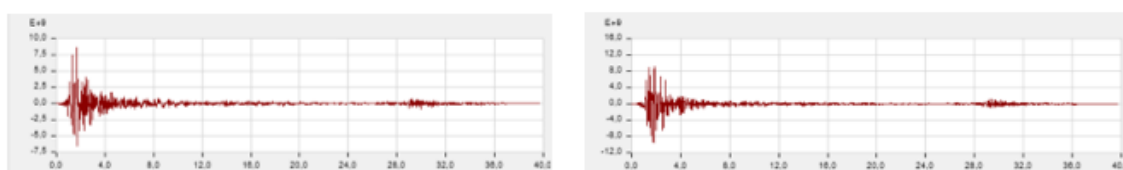
Lokasi Gempa	Mangitude	Max Acceleration		Time (sec)	
		X	Y	X	Y
Kobe, Japan	6,3	0,0259347200	0,3117961	8,02	6,95
Plester City, California	5,7	0,006394272	0,005851764	6,285	6,4
Golden Gate Park, San Francisco	5,28	0,08576634	0,3117961	1,655	6,95



Gambar 3. Grafik Acceleration Gempa Kobe, Kanan (X), Kiri (Y)



Gambar 4. Grafik Acceleration Gempa California, Kanan (X), Kiri (Y)



Gambar 5. Grafik Acceleration Gempa San Francisco, Kanan (X), Kiri (Y)

Berdasarkan SNI 1726:2019 analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur, namun sebagai alternatif, analisis diizinkan memasukkan jumlah ragam terkombinasi minimum 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Tabel 4. Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period (sec)	Sum UX	Sum UY
Modal	1	5,582	0,7747	0,0008
Modal	2	3,821	0,7757	0,7343
Modal	3	2,809	0,7757	0,7353
Modal	4	1,760	0,8759	0,7356
Modal	5	1,159	0,876	0,8622
Modal	6	0,971	0,9165	0,8622
Modal	7	0,848	0,9165	0,8622
Modal	8	0,643	0,9391	0,8623
Modal	9	0,600	0,9392	0,9073
Modal	10	0,460	0,9538	0,9073
Modal	11	0,436	0,9538	0,9073
Modal	12	0,384	0,9539	0,9315

Berdasarkan hasil perhitungan program ETABS didapatkan bahwa nilai partisipasi massa ragam terkombinasi pada jumlah *mode shape* adalah 12. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 penentuan periode fundamental struktur T , dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan, T_a .

Kontrol periode struktur:

Percepatan desain periode 1 detik $S_{D1} = 0,63$

Koefisien modifikasi respon $C_u = 1,4$ (Tabel 17 SNI 1726:2019)

$C_t = 0,0488$ (Tabel 18 SNI 1726:2019)

	x	$= 0,75$ (Tabel 18 SNI 1726:2019)
Tinggi bangunan (Seismik) h		$= 81,92$ m
Periode fundamental pendekatan T_a	$= C_t * h^x$	$= 1,329$ detik
Periode maksimum T_{max}	$= C_u * T_a$	$= 1,860$ detik
Periode hasil analisis arah X $T_{c,X}$		$= 5,582$ detik
Periode hasil analisis arah Y $T_{c,Y}$		$= 3,821$ detik
Periode pakai arah X T_X		$= 1,860$ detik
Periode pakai arah Y T_Y		$= 1,860$ detik

Menurut pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019, nilai koefisien respon seismik harus dihitung baik batas maksimum maupun batas minimum pada kedua arah horizontal.

Koefisien respon seismik C_s	$= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$	$= 0,0957$
Batas atas ($T \leq T_0$) $C_{s,max}$	$= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$	$C_{s,max,X} = 0,0484$ $C_{s,max,Y} = 0,0484$
Batas bawah ($S_1 \geq 0,6$ g) $C_{s,min}$	$= \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$	$= 0,0270$

Koefisien respon seismik pakai (C_s pakai)

$C_{s,X}$	$= 0,0484$
$C_{s,Y}$	$= 0,0484$

Pembahasan

Berdasarkan Tabel 5. *Modal Participating Mass Ratios* diperoleh *mode shape* sebanyak 12, dimana nilai pada arah x mencapai 0,9539 (95,39%) dan pada arah y mencapai 0,9315 (93,15%). Hasil tersebut dapat diizinkan karena telah memenuhi batas minimum $\geq 90\%$ baik arah x maupun arah y, (Nehe et al., 2021a). Dalam pasal 7.8 SNI 1726:2019 Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan mengalikan nilai koefisien respon seismik C_s dengan nilai berat total bangunan.

$V = C_s \cdot W$, karena nilai koefisien respon seismik dan berat total bangunan dalam arah x dan y sama, maka nilai V adalah 18357,7807 kN. Penskalaan Gaya berdasarkan pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019 apabila kombinasi respon untuk gaya geser dasar analisis ragam ($V_{dinamik}$) kurang dari 100% nilai gaya geser dasar (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka nilai faktor skala gaya tersebut perlu dikalikan dengan ($V_{statik}/V_{dinamik}$).

Tabel 6. Perbandingan Nilai Gaya Geser Statik (V_s) dan Gaya Geser Dinamik (V_D)

Base Shear	Geser Dasar Statik (V_s) kN	Geser Dasar Dinamik (V_D) kN			
		RS. Pulo Jahe	TH. Kobe	TH. California	TH. San Francisco
Arah X	18357,78	3262,62	2854,17	2507,24	3827,22
Arah Y	18357,78	4662,66	4312,86	4056,38	4056,38

Catatan: RS = Respon Spektrum, TH = Time History.

Berdasarkan tabel 5, diperoleh nilai perbandingan dari gaya geser dinamik (V_D) tidak melebihi atau sama dengan 100% nilai gaya geser statik, maka dari itu perlu dilakukan penskalaan gaya dengan mengalikan faktor skala awal terhadap faktor skala (V_s/V_D). Tabel 6. menunjukkan tabel analisa penskalaan gaya.

$$\text{Faktor skala awal (mm/s}^2\text{)} = g / (R/I_e) \times 1000$$

$$\text{Faktor skala baru (mm/s}^2\text{)} = F_s \text{ awal} \times F_s (V_s/V_D)$$

Tabel 7. Penskalaan Gaya

Load Case	Faktor Skala (V_s/V_D)		Faktor Skala Awal (mm/s ²)	Faktor Skala Baru (mm/s ²)	
	X	Y		X	Y
RS. Pulo Jahe	5,63	3,94	1400,95	7887,35	5519,74
TH. Kobe	6,43	4,26		9008,11	5968,05
TH. California	7,32	4,53		10254,95	6346,30
TH. San Francisco	4,80	4,48		6724,56	6276,26

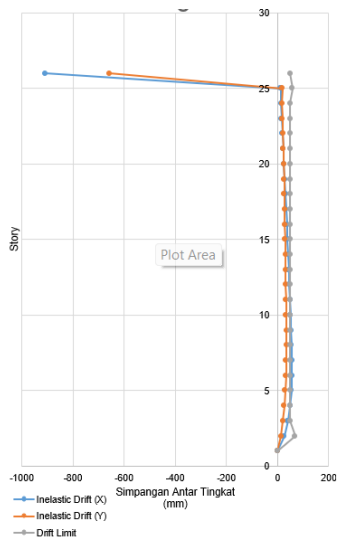
Berdasarkan penskalaan yang dilakukan terhadap nilai gaya geser statik (V_s) dan gaya geser dinamik (V_D), maka diperoleh nilai dari gaya geser statik dan gaya geser dinamik seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 6. Berikut ini.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Penskalaan Nilai Gaya Geser Statik (V_s) dan Gaya Geser Dinamik (V_D)

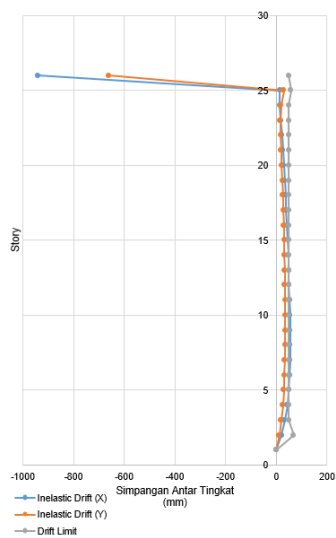
Base Shear	Geser Dasar Statik (V_s) kN	Geser Dasar Dinamik (V_D) kN			
		RS. Pulo Jahe	TH. Kobe	TH. California	TH. San Francisco
Arah X	18357,78	183668,55	18352,28	18352,99	18370,66
Arah Y	18357,78	18370,70	18372,79	18636,26	18343,99

Catatan: RS = Respon Spektrum, TH = Time History.

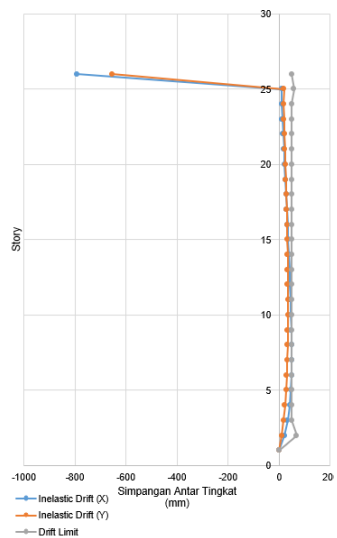
Simpangan antar lantai (*Drift*) (Δ) perlu ditinjau untuk mengetahui tingkat fleksibilitas kinerja struktur berdasarkan pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, akan tetapi tidak boleh melebihi simpangan izin antar tingkat berdasarkan pasal 7.12.1 Tabel 20 SNI 1726:2019. Gambar 6, 7, 8, dan 9 menunjukkan simpangan antar tingkat yang terjadi pada Bangunan yang dianalisa masih berada di titik aman (di bawah nilai dari *drift limit*).



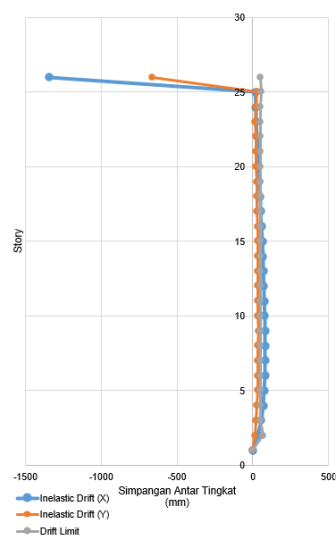
Gambar 6. Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Respon Spektrum



Gambar 8. Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa California



Gambar 7. Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Kobe



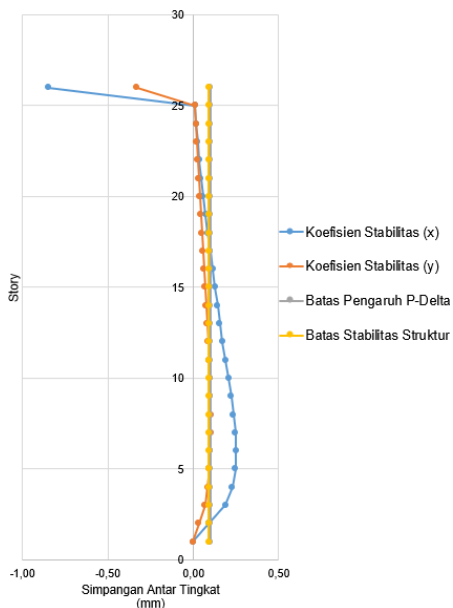
Gambar 9. Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa San Francisco

Pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat perlu diperhitungkan untuk menentukan nilai koefisien stabilitas (θ) berdasarkan persamaan berikut, (SNI 1726-2019, 2019):

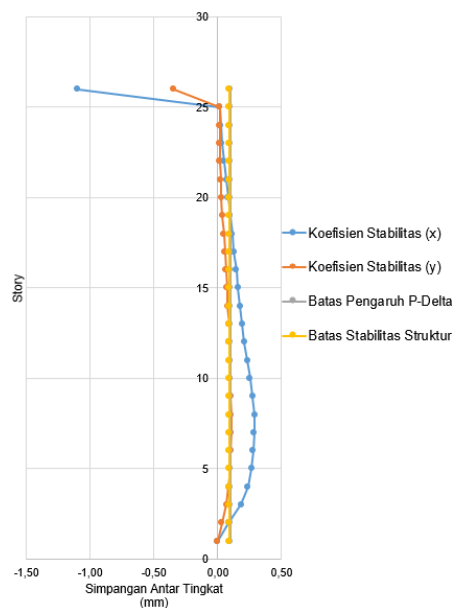
$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Akan tetapi tidak boleh melebihi nilai maksimum dari koefisien stabilitas maksimum (θ_{maks})

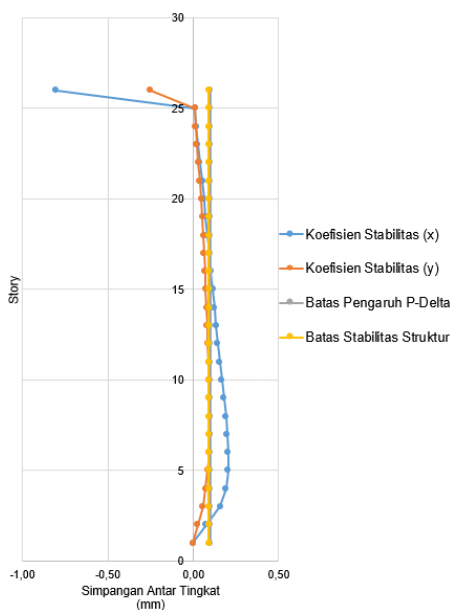
$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$



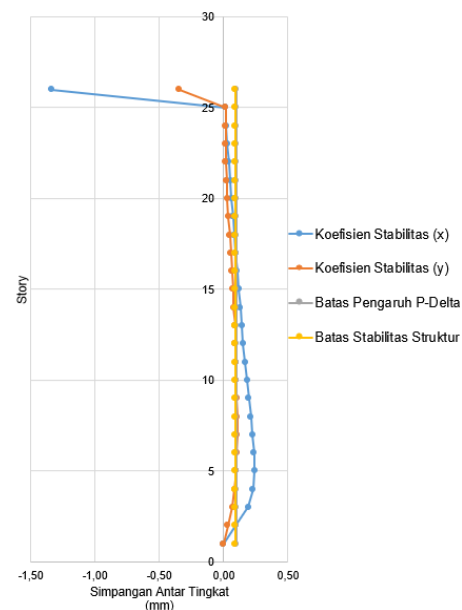
Gambar 10. Pengaruh P-Delta Akibat Beban Gempa Respon Spektrum



Gambar 12. Pengaruh P-Delta Akibat Beban Gempa California



Gambar 11. Pengaruh P-Delta Akibat Beban Gempa Kobe



Gambar 13. Pengaruh P-Delta Akibat Beban Gempa San Francisco

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa analisis riwayat waktu memberikan informasi mengenai perilaku struktur terhadap getaran yang dihasilkan melalui data rekaman gempa pada setiap detik dengan nilai rekaman accelelogram yang dimasukkan, dari hasil analisa yang dilakukan juga diperoleh nilai dari rasio partisipasi massa pada arah x mencapai 0,9539 (95,39%) dan pada arah y mencapai 0,9315 (93,15%). Hasil tersebut masih diizinkan karena memenuhi batas minimum $\geq 90\%$ baik arah x maupun arah y, sedangkan dalam simpangan (*story drift*) analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu (*time history*) menunjukkan bahwa

bidang struktur horizontal arah x memiliki kekakuan yang lemah terhadap pengaruh beban gempa jika di bandingkan dengan arah y, hal ini diakibatkan penempatan dinding geser yang hanya berada di bagian pojok bangunan, untuk itu pada penelitian berikutnya pada batas stabilitas struktur dengan analisis akibat pengaruh P-Delta perlu dilakukan pemodelan ulang pada bagian dimensi kolom struktur atau penambahan dinding geser berdasarkan sumbu lemah struktur untuk meningkatkan stabilitas dari perilaku struktur.

Daftar Pustaka

- Fadilah, H. M., & Walujodjati, E. (2020). Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis Static Equivalent dan Analisis Dynamic Time History di Kab. Garut. *Jurnal Konstruksi*, 18(01), 20–20.
- Hafidz, A. (2018). *Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekvivalen Dan Dinamik Riwayat Waktu (Time History) Dengan Variasi Jumlah Tingkat Pada Gedung Di Lombok*.
- Nehe, E., Simanjuntak, P., & Tampubolon, S. P. (2021). Evaluation of the performance of high-rise building structures with plan “H” shaped for earthquake with height increase (Case study: Apartment Urban Sky-Bekasi). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 878(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/878/1/012053>.
- Orchidentus, R., Wantalangie, F., Pangouw, J. D., & Windah, R. S. (2016). Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan Sni 1726-2012 Dengan Variasi Jumlah Tingkat. *Jurnal Sipil Statik*, 4(8), 471–480.
- Pranata, Y. A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 Dan FEMA 440). *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1).
- Pratama, F., Budi, A. S., & Wibowo. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis Time History pada Tinjauan Drift dan Displacement Menggunakan Software Etabs. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- Rifa, M. L., Budi, A. S., & Wibowo. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Karanganyar). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2(1), 32–39.
- SNI 1726, B. S. N. (2019). *SNI 1726-2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung)*, Jakarta, Indonesia.
- SNI 1726-2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia.
- SNI 1727, B. S. N. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1727:2020*.
- Soehami, A. (2008). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3 No.4(Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jl. Diponegoro No. 57, Bandung).
- Tampubolon, S. P., Wang, C. Y., & Wang, R. Z. (2020). Numerical Simulations Of The Bond Stress-Slip Effect of Reinforced Concrete on The Push Over Behavior of Interior Beam-Column Joint. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012028>.

- Tampubolon, S. P., Sarasantika, I. P. E., & Suarjana, I. W. G. (2022). Analisis Kerusakan Struktur Bangunan dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Tsunami, dan Likuifaksi di Palu. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(2), 169-186.
- Wahyudi, D. I. (2017). Pemilihan dan Pen-skala-an Rekaman Akselerogram Gempa Nyata agar Sesuai dengan Spektrum Respons SNI 1726-2012. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 15(2), 67. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v15i2.3103>.