

# ANALISA KEKUATAN BANGUNAN TERHADAP GAYA GEMPA DENGAN METODE LINEAR RESPON SPEKTRUM

Studi Kasus Gedung Asrama Pusdiklat PPATK, Depok

*(Analysis Strenght of Building Against Earthquakes Force Using Response Spectrum Linear Method)*

Azmi Rafsanjani<sup>1</sup>, Fadli Kurnia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

E-mail: [rafsan.azmi@gmail.com](mailto:rafsan.azmi@gmail.com)

Diterima 5 April 2021, Disetujui 15 Mei 2021

## ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia. Pertemuan ketiga lempeng ini menyebabkan Indonesia sangat berpotensi mengalami gempa. Gempa – gempa tersebut telah menyebabkan ribuan korban jiwa, kerusakan serta keruntuhan infrastruktur dan bangunan. Dengan adanya kejadian gempa di Indonesia, maka banyak dikembangkan analisis – analisis gempa terhadap struktur. Pada penelitin sebelumnya, Gedung PPATK sudah dianalisis dengan menggunakan metode pushover yang berkesimpulan bahwa beban gempa maksimum yang mampu diterima sebesar 730,383 kN dan batas kinerja bangunan berada di level IO, namun dikarenakan metode pushover tidak dapat menghasilkan nilai simpangan, maka penulis mencari parameter tersebut dengan metode Respon Spektrum supaya semakin melengkapi analisis gempa terhadap bangunan tersebut. Metode yang akan penulis gunakan ialah metode Respon Spektrum. Hasil studi menunjukkan bahwa berat total bangunan setelah dilakukan pemodelan ulang sebesar 3.041.822 kg, *Base Shear* 2.267,08 kN, Gempa Dinamik arah-x sebesar 1775,93 kN dan 1865,28 kN untuk arah-y. Nilai simpangan per lantai yang diijinkan sebesar 84 mm dan hasil perhitungan menunjukkan bahwa semua simpangan antar lantai lebih kecil dari yang diijinkan.

**Kata kunci:** Analisis Gempa, Respon Spektrum, Simpangan

## ABSTRACT

*Indonesia is an archipelago country located at the confluence of three tectonic plates, such as the Indian-Australian tectonic plate, the Pacific plate and the Eurasian plate. The encounter of the three plates caused Indonesia to have the potential to experience an earthquake. The earthquakes caused thousands of casualties, damage and the collapse of infrastructure and buildings. With the occurrence of earthquake events in Indonesia, many earthquake analyzes have been developed on the structure. In the previous research, PPATK Building has been analyzed using the pushover method which concluded that the maximum earthquake load that can be received is 730,383 kN and the building performance limit is at the IO level, but because the pushover method cannot produce the Story Drift value, the writer used The spectrum response is to further complement the earthquake analysis of the building. The method that used is the method of static linear response spectrum and the results of the study will be compared with the results of previous studies using the pushover method. The results of the study show that structure total weight is 3.041.822 kg, Base Shear 2.267,08 kN, Dynamic Earthquake force x-dir is 1775,93 kN and 1865,28 kN for y-dir. The allowed story drift is 84mm and the result from calculation shows that all story drift has fulfill the requirement.*

**Keywords:** Earthquake Analysis, Response Spectrum, Story Drif

**PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia. Pertemuan ketiga lempeng ini menyebabkan Indonesia sangat berpotensi mengalami gempa. Seperti beberapa tahun terakhir, Indonesia telah dilanda gempa besar seperti di Lombok, Palu dan Banten [1].

Gempa-gempa tersebut telah menyebabkan ribuan korban jiwa, kerusakan serta keruntuhan infrastruktur dan bangunan. Dengan adanya kejadian gempa di Indonesia, maka banyak dikembangkan analisis - analisis gempa terhadap struktur.

Setiap bangunan gedung harus memiliki struktur bangunan yang kuat/kokoh dan stabil dalam memikul beban dan memenuhi persyaratan kelayakan (serviceability) selama umur layanan yang direncanakan dengan mempertimbangkan fungsi bangunan gedung, lokasi, keawetan, dan kemungkinan pelaksanaan konstruksinya [2].

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisa perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, baik itu linier (elastik) dan non-linier (inelastik) yang dapat dipergunakan untuk memprediksi perilaku struktur terhadap beban lateral. Metode analisis linier meliputi analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respons spektrum, sedangkan metode analisis non-linier meliputi analisis statik beban dorong (*static non-linear/pushover analysis*) dan analisis riwayat waktu (*inelastic dynamic time history analysis*).

Perbedaan antara konsep statik dan dinamik ialah pada karakteristik bangunan yang diperhitungkan dalam analisis. Konsep statik hanya memperhitungkan massa saja sedangkan konsep dinamik memperhitungkan massa, kekakuan dan redaman [3].

**METODE**

Dalam penelitian ini metode penelitian menggunakan analisis dinamik respons spektrum. Kegiatan analisis dibantu dengan menggunakan program ETABS. Langkah analisis dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Bentuk data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah *shop drawing* bangunan dan data tanah untuk perancangan. *Shop drawing* dipergunakan untuk pemodelan struktur 3D di dalam program ETABS. Tabel 1 menunjukkan detail deskripsi gedung.

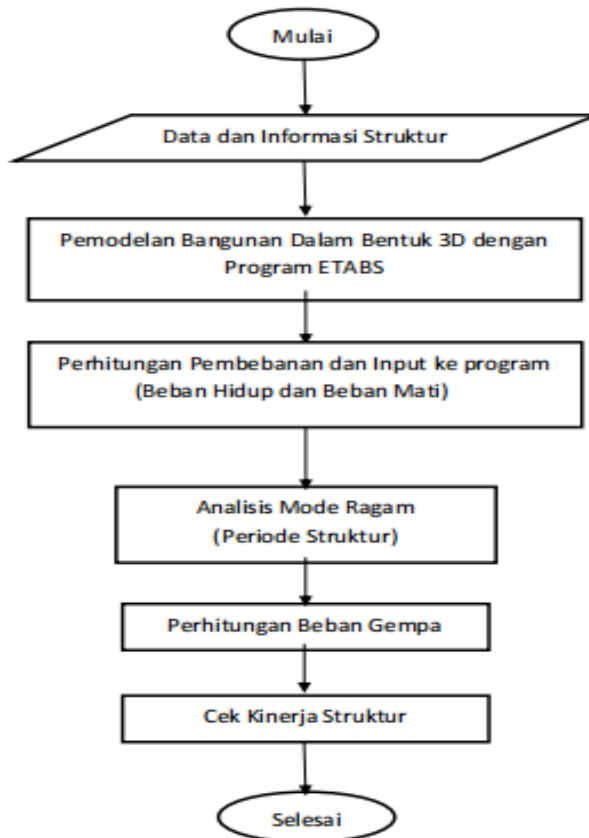
**Tabel 1.** Deskripsi Gedung

Deskripsi Gedung	Keterangan
Sistem struktur	SRPMK
Fungsi gedung	Asrama
Jumlah lantai	4
Elevasi tertinggi gedung	+16,8 m
Tinggi lantai tipikal	4,2 m

Untuk mendapat kurva respons spektrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program ETABS. Selanjutnya adalah melakukan analisis pada

model/run program ETABS. Hasil ouput dari analisis program ini adalah berupa *displacement, drift* , dan *base shear* (gaya geser dasar).

Berikut diagram alir penelitian ini:



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Mutu beton yang digunakan dalam bangunan ini untuk struktur atas adalah mutu beton K-300. Mutu baja tulangan yang digunakan terdiri dari baja tulangan ulir (deform) dan baja tulangan polos. Untuk tulangan ulir fy 420 Mpa dan modulus elastisitas baja Es 200.000 Mpa. Pembuatan grafik respons spektrum gempa rencana menggunakan peta gempa berdasarkan SNI 1726-2012 [4]. Pada peta tersebut didapatkan bahwa bangunan mempunyai nilai  $S_s=0,80$  g dan  $S_1=0,40$  g. Selanjutnya berdasarkan Tabel 4 dan 5 SNI 1726-2012 didapatkan nilai  $F_a$  1,14 dan  $F_v$  2,4.

$$S_{Ds} = 2/3 \times F_a \times S_s \dots\dots\dots(1)$$

$$S_{D1} = 2/3 \times F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2)$$

Berdasarkan persamaan 1 dan 2 maka nilai  $S_{Ds}$  adalah 0,600 dan  $S_{D1}$  adalah 0,360.

$$T_0 = 0,2(S_{D1}/ S_{Ds}) \dots\dots\dots(3)$$

$$T_s = (S_{D1}/ S_{Ds}) \dots\dots\dots(4)$$

$$S_a \text{ untuk nilai } T = 0, S_a = 0,4 S_{Ds} \dots\dots\dots(5)$$

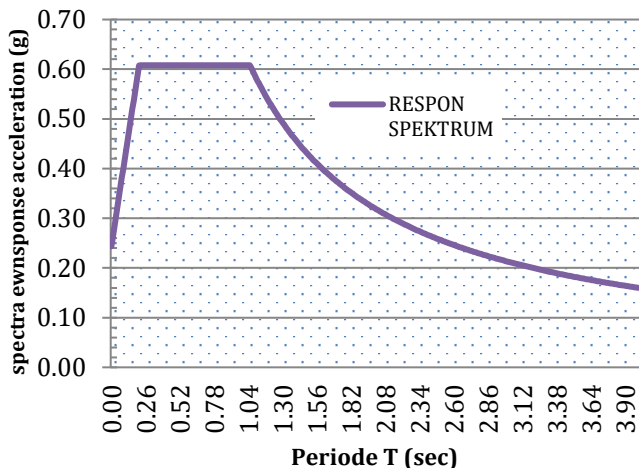
$$S_a \text{ untuk saat di } T_0 \leq T \leq T_s, S_a = S_{Ds} \dots\dots\dots(6)$$

$$S_a \text{ untuk nilai } T < T_0, \dots\dots\dots(7)$$

$$S_a = S_{Ds} [0,4 + 0,6 (T/T_0)] \dots\dots\dots(7)$$

$$S_a \text{ untuk nilai } T > T_s, S_a = (S_{D1}/T) \dots\dots\dots(8)$$

Sesuai persamaan 3 sampai 8 dapat dibuat grafik respons spektrum gempa rencana sesuai dengan lokasi bangunan.



**Gambar 2.** Respon Spektrum Asrama Pusdiklat

Pada dasarnya perhitungan gempa statik adalah perhitungan gempa berdasarkan berat bangunan itu sendiri beserta beban yang bekerja selama masa layanannya (DL, SIDL dan LL). Berat bangunan per-lantai dapat langsung kita peroleh melalui program yang outputnya dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Centers of Mass and Rigidity

Story	Mass X Ton	Mass Y Ton	XCM m	YCM m	Cum. X Ton	Cum. Y Ton
ATAP	462,36	462,36	21,979	5,544	462,36	462,36
LT. 4	860,24	860,24	21,643	5,517	1.322,60	1.322,60
LT.3	858,19	858,19	21,694	5,554	2.180,82	2.180,80
LT. 2	861,02	861,02	21,697	5,553	3.041,82	3.041,82

Pada tabel hasil *output* di atas, didapat data berat total per-lantai. Berat keseluruhan struktur dapat dilihat pada kolom *Cumulative*. Jadi total berat seismik efektif untuk desain adalah **3.041.822 Kg**

**Perhitungan Periode Getar**

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2. periode getar suatu bangunan dibatasi nilai maksimum dan nilai minimum dimana nilai nilai tersebut berbeda antara arah x dan arah y bangunan sesuai dengan parameternya. Periode getar (Ta) diformulasikan sebagai berikut:

➤ Periode Getar arah-x  
 $Ta \text{ minimum} = Ct \cdot hn^x \dots\dots\dots(9)$

$Ct = 0,0466$  (Table 15 SNI 1726-2012)

$x = 0,9$  (Table 15 SNI 1726-2012)

$hn = 16,8 \text{ m}$  (Tinggi Gedung)

Berdasarkan pers. 9 nilai Ta min adalah 0,59s

$T_{max} = Cu \times Ta \text{ min} \dots\dots\dots(10)$

$C = 1,4$  (Table 14 SNI 1726-2012)

Berdasarkan pers. 10 nilai Ta maks adalah 0,83s

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah x adalah 1,161 detik. Karena Ta pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka Ta yang digunakan adalah Ta maksimal yaitu 0,83 detik.

➤ Periode Getar arah-y  
 Untuk nilai Ta minimum dan Ta maksimum pada arah y sama dengan nilai pada arah x.

Ta minimum = 0,59 detik

Ta maksimum = 0,83 detik

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah y adalah 0,97 detik. Karena Ta pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka Ta yang digunakan adalah Ta maksimal yaitu 0,83 detik.

**Koefisien Respon Seismik (Cs)**

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1, penentuan koefisien respon seismik suatu bangunan sama seperti penentuan periode getar bangunan yaitu terdapat batasan nilai minimum dan nilai maksimum berdasarkan arah bangunannya

-Cs arah x  
 $Cs \text{ min} = 0,044 \text{ SDS } Ie \geq 0,01 \dots\dots\dots(11)$

$SDS = 0,608$

$Ie = 1,00$  (Tabel 2 SNI 1726-2012)

Berdasarkan persamaan 11, nilai Cs minimum adalah 0,027

$Cs \text{ maksimum} = SD1 / [T \times (R/Ie)] \dots\dots\dots(12)$

$SD1 = 0,64$

$R = 8$  (Tabel 9 SNI 1726-2012)

$T = 0,827 \text{ detik}$

Berdasarkan persamaan 12, nilai Cs maksimum adalah 0,097

$Cs \text{ hitungan} = Sds / (R/Ie) \dots\dots\dots(13)$

Berdasarkan persamaan 13, nilai Cs hitungan adalah 0,076 Karena Cs bernilai kurang dari Cs pada batas maksimal, maka Cs yang dipakai adalah Cs hitung yaitu 0,076.

-Cs arah y  
 Gedung pada arah y sama-sama memiliki dinding geser sehingga nilai R adalah 8, sama pada arah x. Cs minimum, Cs maksimum, dan Cs hitungan mempunyai nilai yang sama pada arah x.

**Gaya Geser Dasar Seismik**

Di dalam SNI 1726-2012 dijelaskan bahwa gaya geser seismik ditentukan dengan perkalian Koefisien respon Seismik dengan berat total gedung.

$V = Cs \cdot \dots\dots\dots(14)$

Karena nilai Cs arah x dan arah y sama, maka besarnya gaya geser pada gedung mempunyai nilai yang sama.

Berdasarkan persamaan 14 maka nilai V adalah 231.178 kg.

**Distribusi Vertikal Gaya Gempa**

erdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3 gaya gempa lateral (F) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots (15)$$

$$C_{vx} = \frac{Wx \cdot hx^k}{\sum_{i=1}^n wi \cdot hi^k} \dots\dots\dots (16)$$

- Cvx = faktor distribusi vertikal gaya gempa
- Wi & Wx = berat tingkat struktur
- V = gaya lateral atau gaya geser struktur
- hi dan hx = tinggi dasar sampai tingkat i
- k = eksponen terkait dengan periode, T ≤ 0,5 maka k = 1 dan T ≥ 2,5 maka k = 2

Nilai T dan V baik arah x maupun y adalah sama, sehingga distribusi vertikal gaya gempa arah x dan arah y bernilai sama. Perhitungan distribusi vertikal gempa dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 3. Distribusi Gaya Gempa Statik Tiap Lantai**

Lantai Ke -	hi (m)	Wi (Kg)	K	Wi x hik (Kg.m)	Cvx	Fy (Kg)	Vy (Kg)
ATAP	16,8	462363,6	1,163	12313523	0,283	65464,83	65464,83
LT. 4	12,6	860244,2	1,163	16393798	0,377	87157,6	152622,4
LT.3	8,4	858194,3	1,163	10204624	0,235	54252,87	206875,3
LT. 2	4,2	861020	1,163	4571274	0,105	24303,18	231178,5
Total		3041822		43483219	1,00	231178,5	

**Gaya Geser Dasar Bangunan**

Berdasarkan SNI 1726-2012 gaya geser dasar (base shear) yang didapatkan dari hasil analisa dinamik respons spektrum minimum adalah sebesar 85 % gaya geser dasar yang dihitung berdasarkan cara statik ekuivalen [3]. Apabila gaya geser dasar hasil analisa dinamik respon spektrum lebih kecil dari 85 % gaya geser dasar statik ekuivalen, maka ordinat respon spektrum harus dikalikan dengan faktor skalanya.

$$Scale\ factor = \frac{85\% \cdot V_{base\ statik}}{V_{base\ dinamik}} \dots\dots\dots (17)$$

**Tabel 6. Gaya Geser Desain Tiap Lantai**

Story	STATIK		85% STATIK		DINAMIK KOREKSI				GAYA GESER DESAIN	
	Vx	Vy	VSPEC-X	VSPEC-Y	VSPEC-X	VSPEC-Y	VSPEC-X	VSPEC-Y	Vx	Vy
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
ATAP	642,21	642,21	545,88	545,88	443,52	505,29	481,41	522,20	545,88	545,88
LT. 4	1.497,23	1.497,23	1.272,64	1.272,64	1.093,41	1.201,65	1.186,84	1.241,85	1.272,64	1.272,64
LT.3	2.029,45	2.029,45	1.725,03	1.725,03	1.546,11	1.660,30	1.678,22	1.715,84	1.725,03	1.725,03
LT. 2	2.267,86	2.267,86	1.927,68	1.927,68	1.775,93	1.865,28	1.927,68	1.927,68	1.927,68	1.927,68

Gaya gempa lateral desain tiap lantai didapat dari gaya geser tiap lantai desain hasil analisis. Gaya gempa pada suatu lantai merupakan selisih dari gaya geser antar lantai tersebut, sehingga nilainya masing-masing dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

**Tabel 4. Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai**

Story	STATIK		DINAMIK	
	Vx (kN)	Vy (kN)	RSPX (kN)	RSPY (kN)
ATAP	642,21	642,21	443,51	505,29
LT. 4	1497,22	1497,22	1093,41	1201,64
LT.3	2029,44	2029,44	1546,11	1660,29
LT. 2	2267,86	2267,86	1775,93	1865,27

**Tabel 5. Relasi Gaya Gempa Statik - Dinamik**

Gaya Gempa	Vx (kN)	Vy (kN)
Statik	2.268	2.268
85% Statik	1.928	1.928
Dinamik	1.776	1.865

Berdasarkan Tabel 5 di atas, V dinamik < 85% V statik, maka faktor skala gaya yang harus diberikan adalah:

- Scale factor koreksi arah - X = (85% Vstatik / Vdinamik) x scale factor awal = 1928/1776 x 1,226 = 1,331
- Arah-x = Vdinamik x scale factor koreksi ≥ 85% Vstatik = 1.776 x 1,331 ≥ 1.928 = 2.363 ≥ 1.928...OK!!
- Scale factor koreksi arah - Y = (85% Vstatik / Vdinamik) x scale factor awal = 1928/1865 x 1,226 = 1,267
- Arah-y = Vdinamik x scale factor koreksi ≥ 85% Vstatik = 1.865 x 1,267 ≥ 1.92 = 2.363 ≥ 1.928...OK!!

Dari hasil relasi antara gempa statik dan dinamik dapat menentukan gaya gempa desain dengan distribusi yang baik dan sesuai sepanjang tinggi gedung. Gaya gempa desain mempertimbangkan nilai antara gaya geser statik minimal yang disyaratkan (85%) dan gaya gempa dari hasil dinamik respons spektra yang hasilnya pada Tabel 6 berikut:

**Tabel 7. Gaya Gempa Desain**

GAYA GESER DESAIN		F. GEMPA DESAIN	
Vx (kN)	Vy (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)
545,87	545,87	545,88	545,88

GAYA GESER DESAIN		F. GEMPA DESAIN	
Vx (kN)	Vy (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)
1272,64	1272,64	726,76	726,76
1725,03	1725,03	452,39	452,39
1927,68	1927,68	202,65	202,65

**Simpangan Antar Lantai**

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin  $\Delta(a)$  seperti didapatkan dari Tabel 16 SNI 1726-2012 pasal 7.12 untuk semua tingkat. Contoh perhitungan simpangan sebagai berikut:

$$\delta_{\text{lantai 4}} = \frac{Cd \delta e}{Ie}$$

$$\delta_{\text{lantai 4}} = \frac{5,5 \times 29,4}{1}$$

$$\delta_{\text{lantai 4}} = 161,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lantai 3}} = \frac{Cd \delta e}{Ie}$$

$$\delta_{\text{lantai 3}} = \frac{5,5 \times 20,8}{1}$$

$$\delta_{\text{lantai 3}} = 114,4 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{lt.4}} = \delta_4 - \delta_3$$

$$\Delta_{\text{lt.4}} = 161,7 - 114,4$$

$$\Delta_{\text{lt.4}} = 47,3 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 16 SNI 1726-2012 simpangan antar lantai izin untuk jenis struktur dual sistem masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada kategori risiko IV, batas simpangan antar lantai izin adalah 0,010 hsx, dimana hsx merupakan tinggi antar tingkat. Maka dari perhitungan diatas didapat :

$$\Delta_{\text{ijin}} = 0,020 \times h_{sx}$$

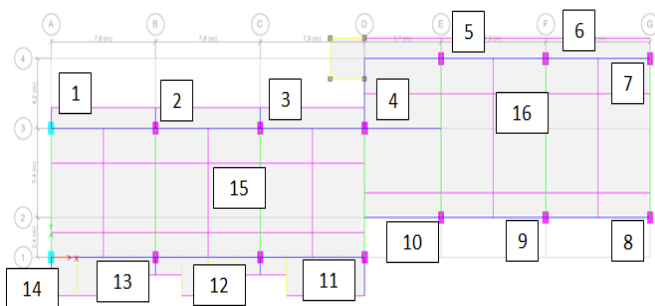
$$\Delta_{\text{ijin}} = 0,020 \times 4200$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = 84 \text{ mm}$$

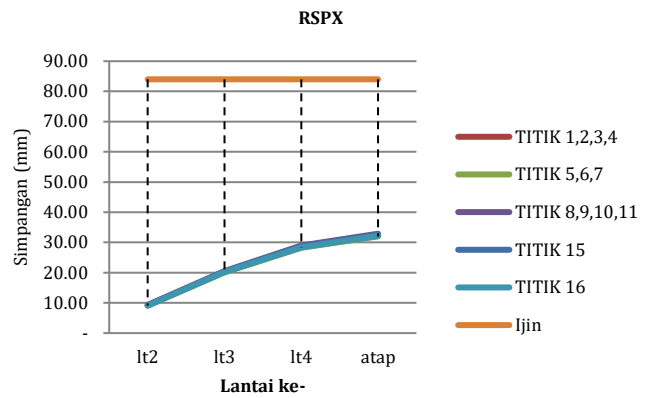
maka,

$$\Delta_{\text{lt.4}} < \Delta_{\text{ijin}} = 47,3 \text{ mm} < 84 \text{ mm} \dots \text{OKE!!}$$

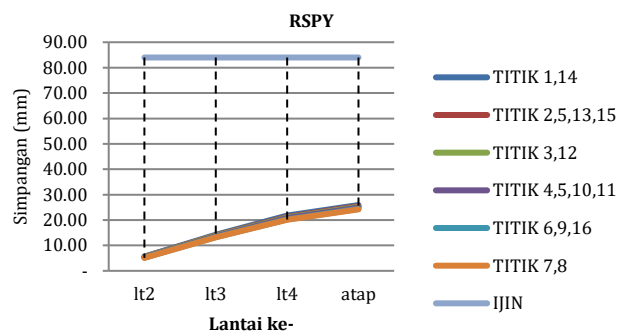
Hasil perhitungan simpangan akan ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



**Gambar 2.** Titik simpangan yang ditinjau



**Gambar 3.** Grafik simpangan yang terjadi akibat Gaya Gempa arah-x



**Gambar 4.** Grafik simpangan yang terjadi akibat Gaya Gempa arah-y

**KESIMPULAN**

Dari hasil pemodelan ulang menggunakan program ETABS, didapat berat keseluruhan struktur yaitu 3.041.822 Kg. Waktu getar yang dipakai adalah waktu getar maksimum (Tmax) karena waktu getar yang didapat dari program (Tprogram) lebih besar dari waktu getar maksimum (Tmax). Gaya Geser Dasar yang dihasilkan adalah sebesar 2.267,08 kN untuk arah-x dan arah-y. Skala faktor awal sebesar 1226,25. Dari hasil perhitungan didapatkan gaya geser gempa dinamik < 85% gempa statik, maka perlu adanya koreksi skala faktor pada gempa dinamik sebesar x=1331,03 dan y=1267,67. Gaya Geser Dinamik yang dihasilkan dari Respon Spektrum sebesar 1775,93 kN untuk arah-x dan 1865,28 kN untuk arah-y. Nilai simpangan yang diijinkan pada gedung pusdiklat PPAATK adalah sebesar 84 mm dan dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa semua simpangan antar lantai lebih kecil dari simpangan ijin, sehingga gedung masih aman.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih penyusun ucapkan kepada Bapak Fadli Kurnia, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini. Terima kasih kepada istri tercinta, ayah, ibu, kakak, keluarga dan teman-teman yang telah memberikan dukungan materil dan non materil, doa serta semangatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini tepat pada waktunya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Purnomo, E. Purwanto, A. Supriyadi, "Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs," Jurnal Matriks Teknik Sipil, vol. 2, no. 4, 2004, pp. 569-576.
- [2] Sabena, N. "Konstruksi dan Struktur Bangunan," [sabenatamsis.blogspot.co.id](https://sabenatamsis.blogspot.co.id), <https://sabenatamsis.blogspot.co.id> (accessed Maret 15, 2021).
- [3] Widodo, Respon Dinamik Struktur Elastik, edisi ke-1. Yogyakarta, Indonesia: UII Press, 2001.
- [4] Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI1726-2012, 28 Desember 2012.