

Contents list available at [journal.uib.ac.id](http://journal.uib.ac.id)**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

## Analisis Gaya Lateral Dan Geser Dasar Akibat Beban Gempa Berdasarkan Spektra Titik Luluh

### Analysis of Lateral Force and Base Shear Due to Earthquake Loads Based on Yield Point Spectra

Goldelfridus Alfredo Abani<sup>1\*</sup>, Krisantos Ria Bela<sup>1</sup>, Krisantus Satrio Wibowo Pedo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira Kupang

Email korespondensi: [godel06abani@gmail.com](mailto:godel06abani@gmail.com)

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p><b>Kata kunci :</b></p> <p>spektra titik luluh SNI 1726-2019 gaya lateral geser dasar</p>	<p>Gempa bumi merupakan tantangan yang signifikan dalam rekayasa struktur, karena gempa bumi menyebabkan bangunan terkena gaya lateral yang kuat yang dapat menyebabkan kerusakan parah atau bahkan keruntuhan. Salah satu aspek penting dari analisis ini adalah menentukan gaya lateral dan geser dasar yang bekerja pada struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai gaya lateral dan geser dasar pada struktur dengan metode spektra titik luluh (yield point spectra). Spektra titik luluh merupakan grafik yang menghubungkan antara koefisien kuat geser luluh (<math>C_y</math>) dan perpindahan saat luluh (<math>\Delta y</math>) dengan daktilitis tertentu, Aschheim dan Black (2000). Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa geser tingkat dasar yang ditentukan dengan menggunakan spektrum titik luluh lebih kecil <math>V_{i\beta} = 1599.93</math> kN dibandingkan dengan geser tingkat dasar yang diperoleh dengan menggunakan SNI 1726-2019 lebih besar <math>V_i = 1656.57</math> kN. Nilai geser tingkat pada tingkat atas dengan persamaan yang disarankan oleh Chao dkk. (2007) dan Bulding Seismic Safety Council (2009) lebih tinggi sebesar <math>F_{i,\beta} = 640.56</math> kN, dibandingkan dengan nilai geser tingkat yang ditentukan menggunakan SNI 1726-2019, lebih kecil <math>F_i = 444.75</math> kN sesuai dengan nilai geser tingkat berdasarkan rasio geser. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil geser dasar dan geser tingkat atas pada bangunan struktur, semakin kecil resiko kerusakan maupun keruntuhan pada struktur akibat gempa.</p>

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Keywords:</b></p> <p>yield point spectra SNI 1726-2019 lateral force base slide</p>	<p><i>Earthquakes pose a significant challenge in structural engineering, as they expose buildings to strong lateral forces that can cause severe damage or even collapse. One important aspect of this analysis is to determine the lateral forces and base shear acting on the structure. The purpose of this study is to obtain the values of lateral forces and base shear in structures using the yield point spectra method. The yield point spectra is a graph that relates the yield shear strength coefficient (<math>C_y</math>) and the displacement at yield (<math>\Delta y</math>) with a certain ductility, Aschheim and Black (2000). The calculation results show that the base level shear determined using the yield point spectrum is smaller <math>V_{i\beta} = 1599.93</math> kN compared to the base level shear obtained using SNI 1726-2019 which is greater <math>V_i = 1656.57</math> kN. The level shear value at the top level with the equation suggested by Chao et al. (2007) and the Building Seismic Safety Council (2009) is higher by <math>F_{i,\beta} = 640.56</math> kN, compared to the level shear value determined using SNI 1726-2019, smaller <math>F_i = 444.75</math> kN according to the level shear value based on the shear ratio. It can be concluded that the smaller the base shear and upper level shear in the building structure, the smaller the risk of damage or collapse of the structure due to earthquakes.</i></p>

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan zona risiko gempa yang cukup tinggi. (Cahyani & Sitanggang, 2021). salah satu potensi gempa yang sering terjadi yaitu di wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT). (Wekke, 2021) menjelaskan bahwa situasi tektonik di wilayah Nusa Tenggara Timur diapit oleh lempeng Indo Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia sehingga dapat dikatakan sepanjang wilayah Nusa Tenggara Timur berada pada zona subduksi yang masih aktif. Gempa bumi merupakan tantangan yang signifikan dalam rekayasa struktur, karena gempa bumi menyebabkan bangunan terkena gaya lateral yang kuat yang dapat menyebabkan kerusakan parah atau bahkan keruntuhan.

Memahami dan memperhitungkan gaya-gaya ini dengan tepat sangat penting dalam merancang struktur tahan gempa. Salah satu aspek penting dari analisis ini adalah menentukan gaya lateral dan geser dasar yang bekerja pada struktur. Penggunaan prosedur gaya lateral statis yang setara berdasarkan spektrum respons desain. Umumnya, salah satu metode yang sering digunakan adalah analisis statik ekuivalen. Namun dengan metode tersebut sangat membutuhkan perhitungan yang cukup, untuk mendapatkan variabel yang diinginkan (gaya geser lateral, perpindahan luluh, dan lain sebagainya) dalam mendisain suatu struktur. Selain metode tersebut, metode spektra titik luluh (*yield point spectra*) adalah salah satu metode yang empiris dikembangkan oleh Aschheim dan Black (2000). Spektra titik luluh merupakan grafik yang menghubungkan antara koefisien kuat geser luluh ( $C_y$ ) dan perpindahan saat luluh ( $\Delta_y$ ) dengan daktilitas tertentu. Grafik spektra titik luluh tergantung pada grafik respons spektra pada kondisi elastik. Metode spektra titik luluh merupakan alternatif untuk mendapatkan geser dasar dari suatu bangunan gedung (Arfiadi, 2015). Metode *Yield Point Spectra* juga salah satu metode dalam PBSD yang digunakan untuk mendeskripsikan respon perpindahan puncak dari bangunan tingkat tinggi dan perpindahan daktilitas yang diinginkan pada struktur akibat gempa (Ndouk, 2016). Selain itu metode spektra titik luluh dapat menjadi suatu metode yang dapat diacu untuk memprediksi beberapa karakteristik struktur secara praktis (R, Frans, 2010). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai gaya lateral dan geser dasar pada struktur dengan metode spektra titik luluh (*yield point spectra*).

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Spektra Titik Luluh (*Yield Point Spectra*)

Spektra titik luluh merupakan grafik yang menghubungkan hubungan antara koefisien kuat geser luluh ( $C_y$ ) dan perpindahan saat luluh ( $\Delta_y$ ) dengan daktilitas tertentu. Grafik spektra titik luluh dibuat berdasarkan grafik respons spektra dalam kondisi elastik. Persamaan yang digunakan untuk menghasilkan grafik ini adalah sebagai berikut:

$$\Delta_y = \frac{1}{R_\mu} \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (1)$$

$$C_y = \frac{S_a}{R_\mu} \quad (2)$$

Dengan  $\Delta_y$  sebagai perpindahan saat luluh,  $T$  sebagai periode struktur,  $S_a$  sebagai spektrum respons percepatan,  $C_y$  sebagai koefisien kuat geser luluh, dan  $R_\mu$  sebagai faktor reduksi kuat luluh. Nilai  $R_\mu$  merupakan fungsi dari daktilitas sistem ( $\mu$ ) dan waktu getar struktur ( $T$ ). Hubungan antara  $R_\mu$ - $\mu$ - $T$  menggunakan metode yang diusulkan oleh Nassar dan Krawinkler (1991) antara lain:

$$R_\mu = \{c(\mu-1)+1\}^{1/c} \quad (3)$$

$$c(\alpha,T) = \frac{T^\alpha}{1+T^\alpha} + \frac{b}{T} \tag{4}$$

dengan a dan b bergantung pada koefisien a (rasio dari kekakuan setelah terjadi luluh dan kekakuan elastik)

### 2.2 Mengestimasi Perpindahan Saat Luluh

Metode spektrum kekuatan luluh memiliki keuntungan karena rasio simpangan luluh dapat diperkirakan dengan relatif akurat dan tidak tergantung pada jumlah lantai atau tinggi bangunan (Arfiadi, 2015). FEMA P-750 memberikan estimasi nilai *yield drift ratio* yang bergantung pada sistem struktur seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perkiraan *Yield Drift Ratio* berdasarkan FEMA P-750

Sistem Penahan Beban Lateral	Perkiraan <i>yield drift ratio</i> , %
Bangunan Beton Bertulang:	
Rangka Momen	0,5 - 0,6
Dinding geser kantilever	0,10 h/l <sub>w</sub>
Bangunan Baja:	
Rangka Momen	1-1,2
Special Truss Moment Frames	0,75
Special Truss Moment Frames	0,3
Rangka Bresing Eksentrik	0,5
Rangka Bresing Tertahan Tekuk	0,3-0,5

Dari Tabel 1, diatas perpindahan luluh (*yield displacement*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta_y = \left(\frac{\Delta_y}{h}\right)h \tag{5}$$

dengan  $\Delta_y$  adalah perpindahan luluh,  $\Delta_y/h$  adalah *yield drift ratio*,  $h$  adalah tinggi total bangunan.

### 2.3 Perpindahan Puncak Maksimum

Perpindahan puncak maksimum melindungi komponen non-struktural dan sistem pemikul momen dari kerusakan yang berlebihan (FEMA P-750). Tujuan perpindahan ini adalah untuk mencegah perpindahan yang berlebihan di antara ruang dan pengurangan kebutuhan ductility sistem. Berdasarkan batasan daktilitis sistem dan *story drift* yang diijinkan, perpindahan puncak maksimum dapat ditentukan.

Penetapan *story drift* ijin berdasarkan (*Building Seismic Safety Council, 2009*):

$$\Delta_{u,\Delta} = \left(\frac{\Delta_\alpha}{h_{sx}}\right) \frac{h}{\alpha_{3,stat}} \tag{6}$$

dengan  $\Delta_{u,\Delta}$  = perpindahan puncak berdasarkan *story drift*,  $\Delta_\alpha$  = *story drift* yang diijinkan,  $h_{sx}$  = tinggi tingkat yang ditinjau, dan  $\alpha_{3,stat}$  = koefisien koreksi berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi  $\alpha_{3,stat}$  berdasarkan FEMA P-750

Jumlah tingkat	Rangka Momen	Sistem Ganda Dinding Geser dan Rangka Momen	Dinding Geser Kantilever Langsing dan Rangka Bresing
1	1	1	1
2	1,19	1	1,38
3	1,23	1	1,49
5	1,26	1	1,58
10	1,28	1	1,64
≥ 20	1,29	1	1,67

Untuk menentukan batasan daktilitas sistem perpindahan puncak dapat dihitung dengan:

$$\Delta_{u,\mu} = \mu_d \Delta_y \tag{7}$$

Dengan

$$\mu_d = \frac{\mu_c}{I} \tag{8}$$

$\mu_d$  = batas daktilitas rencana,  $\mu_c$  = daktilitas sistem sesuai dengan Tabel 3, dan  $I$  = faktor kepentingan struktur. Nilai perpindahan puncak maksimum diambil nilai minimum di antara Persamaan (6) dan (7) sebagai berikut

$$\Delta_u = \min(\Delta_{u,\Delta}, \Delta_{u,\mu}) \tag{9}$$

setelah diperolehnya nilai target perpindahan puncak gedung, target kebutuhan daktilitas, dihitung dengan:

$$\mu_t = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \tag{10}$$

Tabel 3. Daktilitis sistem ijin berdasarkan FEMA-P750

Sistem Penahan Beban Lateral	Khusus	Menengah	Biasa
	Bangunan Beton Bertulang		
Rangka Momen	2,4	1,5	0,9
Dinding Geser	1,6	-	1,3
Kantilever			

### 2.4 Hubungan Sistem Derajat Kebebasan Majemuk (MDOF) Dan Sistem Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Karena spektrum titik luluh didasarkan pada sistem derajat kebebasan tunggal, hal ini diperlukan untuk memastikan hubungan analog antara nilai-nilai yang ditetapkan berdasarkan sistem derajat kebebasan berganda dan sistem derajat kebebasan tunggal. Perpindahan titik luluh untuk sistem derajat kebebasan tunggal yang analog dapat dihitung menggunakan persamaan berikut, dengan asumsi bahwa perpindahan titik luluh puncak bangunan telah ditentukan:

$$\Delta_y^* = \frac{\Delta_y}{\Gamma_1} \tag{11}$$

dengan  $\Gamma_1$  sebagai faktor partisipasi ragam pertama, dan  $\Delta_y$  adalah perpindahan pada saat luluh pada sistem berderajat kebebasan tunggal ekuivalen. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan menghitung faktor partisipasi ragam pertama dengan persamaan berikut.

$$\Gamma_1 = \frac{\{\phi\}_1^T [W] \{1\}}{\{\phi\}_1^T [W] \{\phi\}_1} \tag{12}$$

dengan  $\{\phi\}_1$  = vektor bentuk ragam pertama,  $[W]$  = matriks diagonal berisi berat masing-masing lantai, dan  $\{1\}$  = vektor berisi angka 1.

Dengan diketahuinya dari pers. (11), kuat perlu dari sistem berderajat kebebasan tunggal ekuivalen untuk membatasi kebutuhan daktilitas sebesar dapat dihitung berdasarkan spektra titik luluh sebagai

$$V_y^* = C_y^* W^* \tag{13}$$

dengan  $W^* = \{\phi\}_1^T [W]\{1\}$

Geser dasar dapat diperoleh dengan menggunakan teori analisis dinamik berikut:

$$V_y = V^* \Gamma_1 \tag{14}$$

Dengan mensubstitusikan pers. (13) pada pers. (14) diperoleh:

$$V_y = C_y^* W^* \Gamma_1 = C_y^* \{\phi\}_1^T [W]\{1\} \Gamma_1$$

$$V_y = C_y^* \{\phi\}_1^T [W]\{1\} \left( \frac{W}{\{1\}^T [W]\{1\}} \right) \Gamma_1 = C_y^* \Gamma_1 \left( \frac{\{\phi\}_1^T [W]\{1\}}{\{1\}^T [W]\{1\}} \right) W$$

Sehingga

$$V_y = C_y^* \alpha_1 W \tag{15}$$

dengan  $\alpha_1 =$  koefisien massa ragam pertama, yaitu:

$$\alpha_1 = \Gamma_1 \left( \frac{\{\phi\}_1^T [W]\{1\}}{\{1\}^T [W]\{1\}} \right) \tag{16}$$

Spektrum titik leleh dapat digunakan untuk menghitung secara langsung koefisien kekuatan luluh atau  $C_y^*$ . Pers. (15) mudah disederhanakan menjadi

$$V_y = C_y W \tag{17}$$

Dengan

$$C_y = \alpha_1 C_y^* \tag{18}$$

Tabel 4 (FEMA P-750) dapat digunakan untuk menentukan koefisien massa ragam pertama  $\alpha_1$  dan komponen partisipasi ragam pertama  $\Gamma_1$ . Jika  $\Delta_y^*$  diketahui, periode yang tepat dapat dihitung dengan

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_y^*}{C_y^* g}} \tag{19}$$

Tabel 4. Koefisien massa ragam pertama  $\alpha_1$  berdasarkan FEMA P-750

Jumlah tingkat	Rangka Momen		Sistem Ganda Dinding Geser dan Rangka Momen		Dinding Geser Kantilever Langsing dan Rangka Bresing	
	$\Gamma_1$	$\alpha_1$	$\Gamma_1$	$\alpha_1$	$\Gamma_1$	$\alpha_1$
1	1	1	1	1	1	1
2	1,21	0,94	1,24	0,89	1,24	0,76
3	1,27	0,90	1,33	0,85	1,35	0,70
5	1,32	0,86	1,4	0,82	1,46	0,66
10	1,35	0,82	1,45	0,79	1,54	0,63
$\geq 20$	1,37	0,80	1,48	0,77	1,59	0,62

### 2.5 Distribusi Beban Lateral

Distribusi beban geser disarankan oleh Chao et al. (2007) berdasarkan temuan dari analisis struktur dinamis nonlinier. Beban lateral pada lantai dihitung berdasarkan Chao et al. (2007) diperbarui di FEMA P-750 dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_{i,\beta} = (\beta_i - \beta_{i+1})V_y \quad (20)$$

dengan  $F_{i,\beta}$  = beban lateral pada lantai,  $\beta_i$  = rasio geser tingkat  $V_i$  terhadap geser dasar  $V_y$  yang dihitung berdasarkan:

$$\beta_i = \frac{V_i}{V_y} = \left( \frac{\sum_{j=i}^n W_j h_j}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right) \alpha T^{-0,2} \quad (21a)$$

$$\beta_{i+1} = 0 \text{ untuk } i = \text{puncak gedung (atap)} \quad (21b)$$

selanjutnya untuk mengoreksi gaya geser dasar berdasarkan FEMA P-750 sebagai berikut

$$V_{yc} = \left( \frac{h_{\text{eff},1}}{h_{\text{eff},\beta}} \right) V_y \quad (22)$$

sebagaimana  $h_{\text{eff},1}$  = titik berat dari momen guling berdasarkan ragam ke 1, dan  $h_{\text{eff},\beta}$  = titik berat momen guling yang dihitung berdasarkan distribusi beban lateral yang bekerja.

Nilai rasio  $h_{\text{eff},1}/h$  berdasarkan FEMA P-750 dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan nilai  $h_{\text{eff},\beta}$  dapat diperoleh dari persamaan:

$$h_{\text{eff},\beta} = \frac{\sum F_i h_i}{\sum F_i} \quad (23)$$

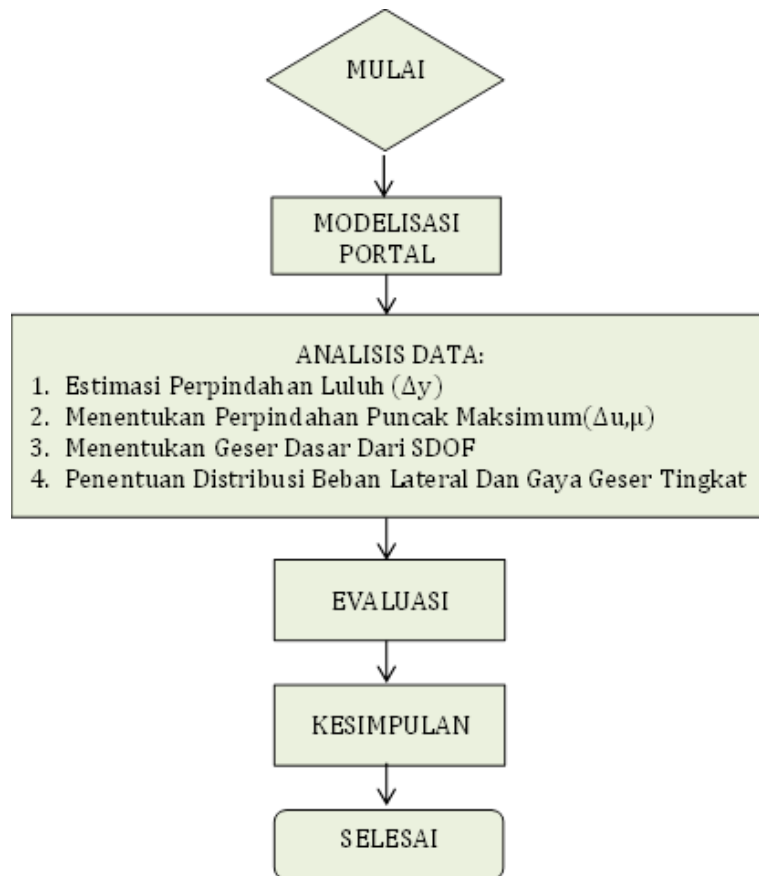
Tabel 5. Rasio  $h_{\text{eff},1}/h$  berdasarkan FEMA P-750

Jumlah tingkat	Rangka Momen	Sistem Ganda Dinding Geser dan Rangka Momen	Dinding Geser Kantilever Langsing dan Rangka Bresing
1	1	1	1
2	0,79	0,81	0,86
3	0,73	0,75	0,81
5	0,70	0,71	0,78
10	0,67	0,69	0,75
≥20	0,66	0,68	0,74

### 3. Metode Penelitian

Pemodelan sistem dalam penelitian ini adalah model sistem struktur rangka momen 5 lantai. Struktur akan di analisis dengan menggunakan metode spektra titik luluh, untuk memperoleh variabel yang diinginkan seperti gaya lateral dan geser dasar. Menghitung analisis spektrum titik luluh secara manual dapat dilakukan dengan Microsoft Excel 2010.

Diagram alur dari analisis yang dilakukan ini dapat dilihat pada Gambar 1.

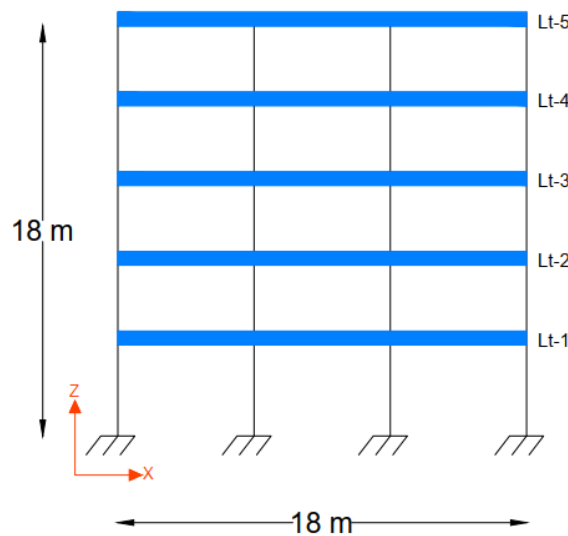


Gambar 1 Diagram Alur Pengerjaan Penelitian

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 1.1 Contoh Kasus

Persyaratan struktural berikut dievaluasi untuk bangunan rangka momen lima lantai seperti yang terlihat pada Gambar 2. Tinggi lantai 1 = 4 meter, lantai 2 sampai lantai 5 = 3.5 meter, sehingga total ketinggian struktur adalah 18 meter. Setiap bentang diasumsikan mempunyai panjang enam meter dan merupakan bentang untuk sumbu X dan Y. percepatan gravitasi,  $g = 9810 \text{ mm/det}^2$ . Tabel 6 menunjukkan massa tiap lantai. Kondisi tanah di Kupang tergolong tanah sedang pada saat konstruksi dirancang. Struktur kantor dirancang dengan faktor signifikansi  $I = 1$ .



Gambar 2. Struktur 5 lantai

Tabel 6. Massa tiap lantai untuk gedung 5 lantai

Lantai	1	2	3	4	5
Massa (ton)	429.3034	415.5689	415.5689	415.5689	303.3506

Tahapan berikut dapat digunakan untuk mendemonstrasikan bagaimana pendekatan spektrum titik luluh dalam menghitung gaya geser lateral dan perpindahan pada saat luluh.

1. Estimasi perpindahan luluh dengan menggunakan parameter berdasarkan Tabel (1) untuk struktur rangka momen, *yield drift ratio* diperkirakan = 0,55%. *Yield drift* pada atap ditentukan berdasarkan pers.(5)

$$\Delta_y = 0,55/100 \times 18 = 0,099 \text{ m} = 99 \text{ mm}$$

2. Penentuan perpindahan puncak maksimum. Dari Tabel 3, daktilitas ijin untuk sistem rangka momen  $\mu_t = 2,4$ . Batas perpindahan puncak berdasarkan daktilitas ijin dihitung dengan pers. (7) dengan mengingat faktor kepentingan  $I = 1$ :

$$\Delta_{u,\mu} = \mu_d \Delta_y = 2,4 \times 99 = 237,6 \text{ mm}$$

3. Berdasarkan Tabel 20 SNI 1726-2019, simpangan antar lantai ijin

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx}$$

$$\Delta_a = 0,020 \times 18 = 0.36 \text{ m} = 360 \text{ mm.}$$

$$\text{Dari Tabel 2 } \alpha_{3,stat} = 1,26$$

Berdasarkan persamaan (6):

$$\Delta_{u,\Delta} = \left( \frac{\Delta_a}{h_{sx}} \right) \frac{h}{\alpha_{3,stat}}$$

$$\Delta_{u,\Delta} = (0,020) \frac{18}{1,26} = 0,286 \text{ m} = 286 \text{ mm}$$

$$\Delta_u \text{ ditentukan dari } \Delta_u = \min (237,6. 286) = 237,6 \text{ mm.}$$

Berdasarkan persamaan (10) dengan demikian  $\mu_t = 237,6/99 = 2,4$ .

4. Berdasarkan Tabel 4, faktor partisipasi ragam ke 1  $\Gamma_1 = 1,32$ , sehingga *yield drift* dari sistem berderajat kebebasan tunggal ekuivalen menjadi:

$$\Delta_y^* = \frac{\Delta_y}{\Gamma_1} = \frac{99}{1,32} = 75 \text{ mm}$$

5. Menentukan nilai koefisien kuat geser luluh ( $C_y$ ). Dengan daktilitas konstan  $\mu_t = 2,4$ . Untuk menghitung koefisien geser dasar pada saat luluh  $C_y^*$ , grafik spektra titik luluh disesuaikan dengan grafik respons untuk kota Kupang pada kondisi tanah sedang. Gambar 3 dan Tabel 7 juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai. Nilai yang diberikan dalam tulisan ini diambil dari Nassar dan Krawinkler (1991).

Dari Gambar 3 dan Tabel 7 untuk  $\Delta_y^* = 75 \text{ mm}$  diperoleh nilai  $C_y^* \approx 0,117$

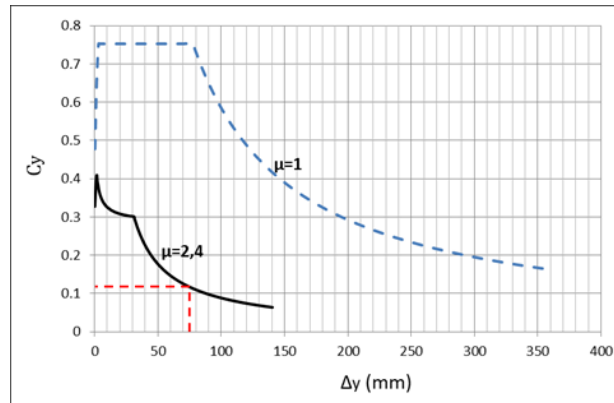
Dari Tabel 4  $\alpha_1 = 0,86$ , sehingga nilai koefisien kuat geser minimum menjadi:

$$C_y = \alpha_1 C_y^* = 0,86 \times 0,117 = 0,10.$$

Geser dasar menjadi:

$$V_y = C_y W = 0,10 \times 17609.97 = 1771,92 \text{ kN.}$$





Gambar 3. Spektra titik luluh kupang tanah sedang  $\mu = 1$  dan  $\mu = 2,4$

Tabel 7. Koefisien-koefisien untuk  $\mu = 2,4$

T (detik)	$R_{\mu=2,4}$	$C_y$	$\Delta y$ (mm)
1.5	2.58195	0.124054	70.70202
1.55	2.581823	0.12007	73.06997
1.6	2.581548	0.116326	75.43195
1.65	2.581147	0.112818	77.8013
1.7	2.580636	0.109547	80.19313
1.75	2.580032	0.106433	82.56421
1.8	2.579347	0.103515	84.95457

6. Penentuan distribusi beban lateral berdasarkan peraturan *Building Seismic Safety* (2009) dan Chao et al. (2007) dihitung berdasarkan pers. (20) dan (21):

$$F_{i,\beta} = (\beta_i - \beta_{i+1})V_y$$

$$\beta_i = \frac{V_i}{V_y} = \left( \frac{\sum_{j=i}^n W_j h_j}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right) \alpha T^{-0,2}$$

dengan  $\alpha = 0,75$  dan  $T_e$  dihitung dengan pers. (19):

$$T = T_e = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_y^*}{C_y^* g}} = 2\pi \sqrt{\frac{75}{0,117 \times 9810}} = 1,61 \text{ detik}$$

Hasil dari analisis lainnya dirangkum pada Tabel 8.

Tabel 8. Distribusi beban lateral

Lt	$h_i$	$w_i$ (kN)	$w_i h_i$ (kNm)	$\sum w_i h_i$ (kNm)	$\beta_i$	$\beta_i - \beta_{i+1}$	$F_i \beta_i$ kN	$F_i \beta_i \times h_i$ (kNm)
5	18	2698.85	48579.277	48579.277	0.400	0.400	709.412	12769.42
4	14.5	3697.23	53609.865	102189.142	0.665	0.265	468.774	6797.229
3	11	3697.23	40669.552	142858.694	0.836	0.171	302.537	3327.903
2	7.5	3697.23	27729.240	170587.934	0.943	0.108	190.486	1428.645
1	4	3819.43	15277.702	185865.636	1	0.057	100.706	402.8234
	$\Sigma$	17609.97	185865.636			1	1771.915	24726.02

7. Tinggi efektif dari resultan gaya lateral dihitung dengan:

$$h_{eff,\beta} = \frac{\sum F_i h_i}{\sum F_i} = \frac{24726,02}{1771,915} = 13,954 \text{ m}$$

$$\frac{h_{eff,\beta}}{h} = \frac{13,954}{18} = 0,775$$

Berdasarkan Tabel 5.

$$\frac{h_{eff,\beta}}{h} = 0,70$$

Geser dasar dapat disesuaikan menjadi

$$V_{yc} = \left( \frac{h_{eff,1}}{h_{eff,\beta}} \right) V_y = \frac{0,70}{0,775} V_y = 0,9032 V_y$$

$$V_{yc} = 1599,9 \text{ kN}$$

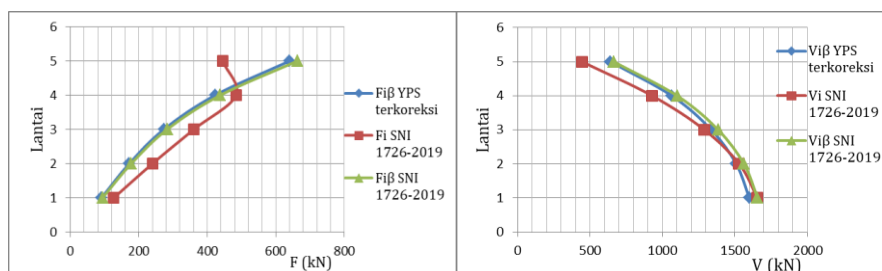
Tabel 7 menunjukkan bagaimana distribusi beban lateral dapat dilakukan selanjutnya dengan

$$V_y = 1599,9 \text{ kN(1)}$$

Selanjutnya pada Tabel 9 (kolom 3) disajikan perbandingan gaya-gaya lateral yang dihitung berdasarkan peraturan SNI 1726-2019. Gaya terkoreksi terdapat pada Tabel 9 (kolom 2), dan gaya lateral ditentukan oleh rasio geser tingkat berdasarkan SNI 1726-2019 (kolom 4) digunakan untuk geser tingkat V. Tingkat geser juga ditampilkan pada Tabel 9 berdasarkan sebaran sebagai berikut: (a) spektrum titik luluh dengan sebaran rasio geser, (b) SNI 1726-2019, dan (c) SNI 1726-2019 namun pembagiannya berdasarkan rasio geser yaitu pada kolom 5, 6, dan 7. Gambar 3 juga menunjukkan perbandingan gaya tiap lantai.

Tabel 9. Perbandingan gaya-gaya

Lantai	F <sub>i,β</sub> YPS terkoreksi (kN)	F <sub>i</sub> SNI 1726-2019 (kN)	F <sub>i,β</sub> SNI 1726-2019 (kN)	V <sub>i,β</sub> YPS terkoreksi (kN)	V <sub>i</sub> SNI 1726-2019 (kN)	V <sub>i,β</sub> SNI 1726-2019 (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
5	640.56	444.75	663.23	640.56	444.75	663.23
4	423.28	484.05	438.26	1063.83	928.80	1101.49
3	273.17	360.76	282.84	1337.01	1289.56	1384.33
2	172.00	240.01	178.09	1509.00	1529.56	1562.42
1	90.93	127.01	94.15	1599.93	1656.57	1656.57



Gambar 4. Perbandingan gaya lateral dan geser tingkat

Tabel 9 dan Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa perhitungan berdasarkan peraturan SNI 1726-2019, mendapatkan perpindahan geser tingkat dasar lebih besar  $V_i = 1656.57$  kN, dibandingkan dengan geser tingkat fundamental berdasarkan spektrum titik luluh sebesar  $V_{i\beta} = 1599.93$  kN. Secara umum, gaya geser lantai yang dihitung menggunakan SNI 1726-2019 pada tingkat atas, seperti ditunjukkan pada Gambar 4, lebih kecil  $F_i = 444.75$  kN, dari perpindahan lantai yang ditentukan menggunakan rasio geser dihitung dengan persamaan yang disarankan oleh Chao dkk. (2007) dan *Bulding Seismicc Safety Council* (2009) sebesar  $F_{i,\beta} = 640.56$  kN.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 kesimpulan

Dalam penelitian ini telah membahas penggunaan spektrum titik leleh untuk menentukan geser dasar pada bangunan. Geser tingkat dasar yang ditentukan dengan menggunakan spektrum titik luluh ternyata lebih kecil  $V_{i\beta} = 1599.93$  kN dibandingkan dengan geser tingkat dasar yang diperoleh dengan menggunakan SNI 1726-2019 lebih besar  $V_i = 1656.57$  kN berdasarkan pemeriksaan terhadap contoh struktur yang diperiksa. Nilai geser tingkat pada tingkat atas yang disarankan oleh Chao dkk. (2007) dan *Bulding Seismicc Safety Council* (2009) lebih tinggi sebesar  $F_{i,\beta} = 640.56$  kN , dibandingkan dengan nilai geser tingkat yang ditentukan menggunakan SNI 1726-2019, lebih kecil  $F_i = 444.75$  kN sesuai dengan nilai geser tingkat berdasarkan rasio geser. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil geser dasar dan geser tingkat atas pada bangunan struktur, semakin kecil resiko kerusakan maupun keruntuhan pada struktur akibat gempa.

### 5.2 Saran

Pada analisis ini apabila metode spektra titik luluh dijadikan sebagai alternatif dalam pembebanan gempa dalam penentuan gaya lateral dan geser dasar struktur, perlu adanya kajian lebih lanjut untuk memastikan bahwa struktur yang dihitung dengan metode ini akan lebih baik dengan metode sebelumnya.

## 6. Daftar Pustaka

- Arfiadi, Y. 2015. Perancangan Beban Gempa Berdasarkan Spektra Titik Luluh. *Seminar dan Pameran HAKI 2015: Challenges in the Future*.
- Aschheim, M dan Black, E. (2000). "Yield Point Spectra for Seismic Design and Rehabilitation", *Earthquake Spectra*, 16(2):317-336
- Badan Standardisasi Nasional, (2019). "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung", BSN, Jakarta.
- Building Seismic Safety Council (2009). "NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures FEMA P-750", National Institute of Building Science, Washington DC.
- Chao, S.H., Goel, S.C. dan Lee, S.S. (2007). "A seismic design lateral force distribution based on inelastic state of structures", *Earthquake Spectra*, 23(3), 547-569.
- Nassar, A.A. dan Krawinkler, H. 1991. *Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems, Report no 95. The John Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, CA*.
- Wekke, I. S. (2021). *Mitigasi Bencana*. Penerbit Adab.<https://books.google.co.id/books?id=I3Y-EAAAQBAI>
- Cahyani, R. O., & Sitanggang, A. N. (2021). Efek Penggunaan Base Isolator Terhadap Periode Natural Bangunan Gedung Bertingkat yang Tereksitasi oleh Gempa. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(2), 162. <https://doi.org/10.37253/jcep.v2i2.6205>
- Ndouk, F. D. (2016). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem Ganda Dengan Analisis Nonlinear Statik Dan Yield Point Spectra*. <http://e-journal.uajy.ac.id/9709/>
- R, Frans., & Y, Arfiadi.(2017). Perbandingan Perencanaan Beban Gempa Berdasarkan Metode Spektrum Kapasitas Dan Spektra Titik Luluh. *Jurnal teknik sipil. A Scientific Journal Of Civil Engineering* · Vol. 21 No. 1 ·