

## BAB V

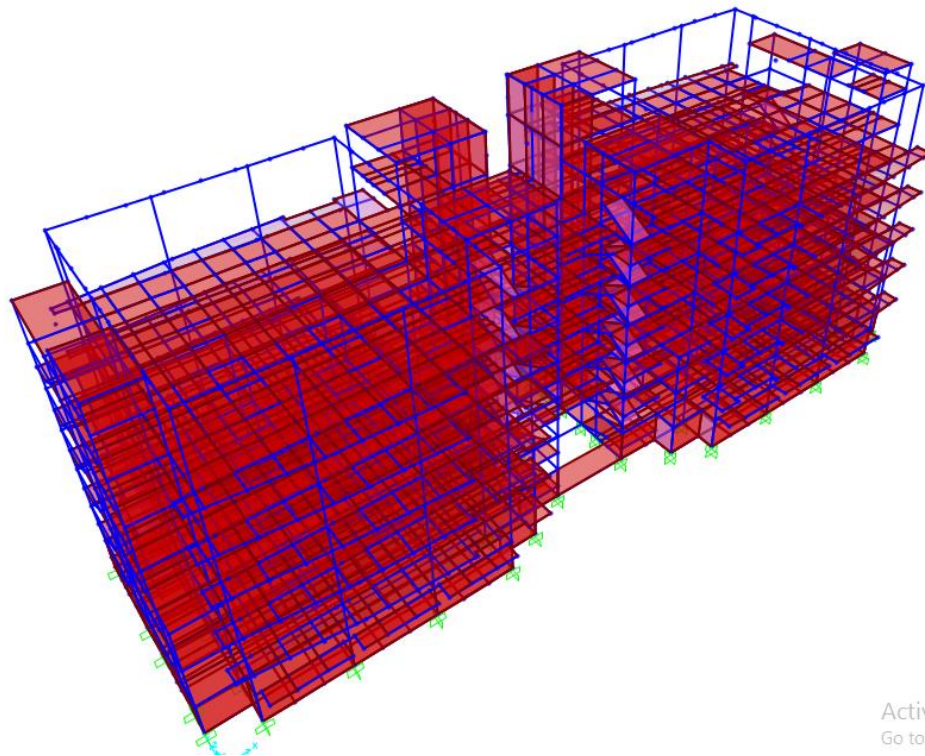
### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Pemodelan Stuktur

Penelitian ini menggunakan analisis *nonlinier pushover* dengan bantuan program SAP 2000 V15. Pemodelan berupa portal *open frame 3D*, sehingga beban dinding didistribusikan sebagai beban merata pada sisi atas balok. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan numerik pada gedung kuliah *Twin Building UMY* adalah sebagai berikut ini.

1. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*.
2. Plat lantai dimodelkan sebagai *shell*.
3. *Shear wall* dimodelkan sebagai *shell*.

Detail pemodelan struktur gedung kuliah *Twin Building UMY* dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5. 1** Pemodelan *open frame 3D* struktur Gedung Kuliah *Twin Building UMY*

## 5.2. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur pada SAP 2000 meliputi perhitungan beban mati, beban hidup, dan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012. Perhitungan pembebanan dijelaskan sebagai berikut ini.

### 5.2.1. Beban Mati

Pada saat input pembebanan pada SAP 2000, beban mati sendiri seperti balok, kolom dan pelat akan dihitung otomatis oleh SAP 2000 V15. Elemen yang perlu ditambahkan dalam pembebanan struktur adalah beban mati tambahan. Perhitungan beban mati tambahan dijelaskan sebagai berikut ini.

#### 1. Berat Rangka Atap

##### a. Data Teknis Pembebanan Rangka Atap

Berat penutup atap genteng	: 0,4905 kN/m <sup>2</sup>
Beban plafond	: 0,10791 kN/m <sup>2</sup>
Profil gording	: C 150.50.20 mm → q = 0,0663156 kN/m
Jarak antar gording	: 1,5 m
Jarak antar kuda-kuda	: 3 m

##### b. Beban Mati

Penutup Atap	: 3 m x 1,5 m x 0,4905 kN/m <sup>2</sup>	= 2,20725 kN
Gording	: 1,5 m x 0,0663156 kN/m	= 0,099473 kN
Plafond	: 0,10791 kN/m <sup>2</sup> x 1,5 m x 3 m	= 0,485595 kN
		————— +
		PD = 2,792318 kN

##### c. Beban Hidup

$$PL : 0,981 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 4,4145 \text{ kN}$$

##### d. Beban Angin

Sudut kuda-kuda ( $\alpha$ )	: 35°
Tekan tiup angin	: 25 kg/m <sup>2</sup> = 0,24525 kN/m <sup>2</sup>
Koefisien angin tekan	: (0,02 x 35°) – 0,4 = 0,3
Koefisien angin hisap	: 0,4



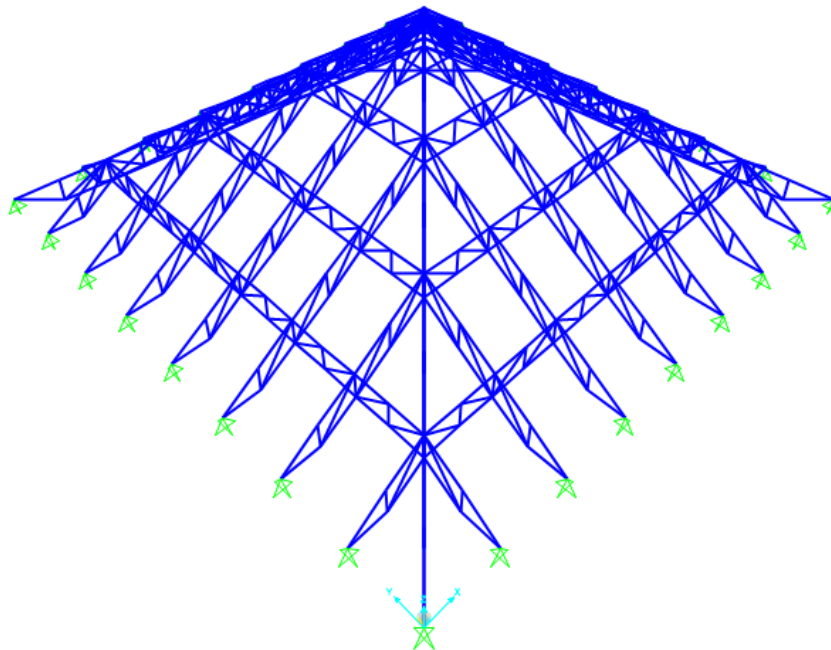
$$\begin{aligned}
 W_2 &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times K_{\text{tekan}} \times q_w \\
 &= 1,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,4 \times 0,24525 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 0,44145 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal (V}_T) = W_2 \times \cos 35 = 0,36161467 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Angin Horizontal (V}_H) = W_2 \times \sin 35 = 0,25320532 \text{ kN}$$

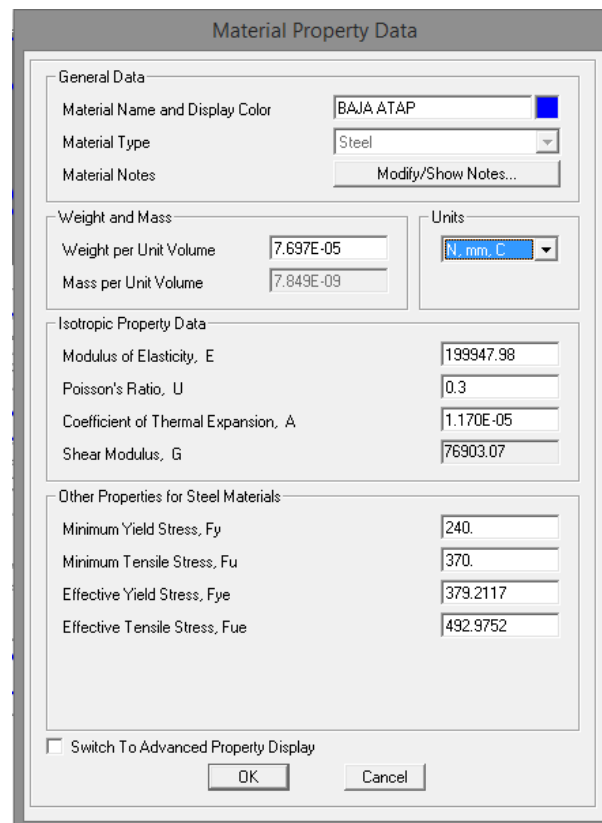
Setelah dilakukan perhitungan beban secara manual, reaksi perletakan joint didapatkan dengan melakukan analisis kuda-kuda pada SAP 2000. Langkah-langkah analisis menggunakan program SAP 2000 untuk mencari reaksi perletakan joint berat rangka atap diuraikan sebagai berikut ini.

- 1). Memilih satuan ke KN,m,C. Kemudian memodelkan struktur kuda-kuda secara 3D dengan SAP 2000 V15 . Pemodelan struktur kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 5.3.



**Gambar 5. 3** Pemodelan struktur kuda-kuda 3D

- 2). Kemudian menentukan material dengan cara *Define>Materials>Add New Material*. Isi material dengan mutu baja BJ 37, tegangan putus minimum ( $f_u$ ) 370 MPa, tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) 240 MPa. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.4.



**Material Property Data**

General Data

Material Name and Display Color: BAJA ATAP

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.697E-05

Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units: N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 199947.98

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76903.07

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 240.

Minimum Tensile Stress, Fu: 370.

Effective Yield Stress, Fye: 379.2117

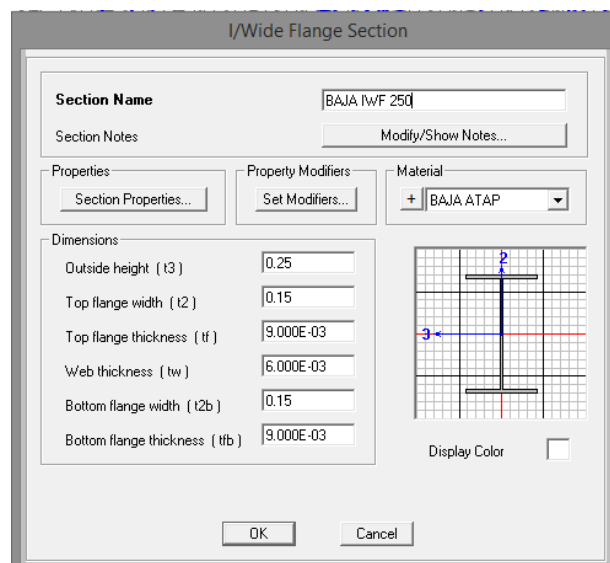
Effective Tensile Stress, Fue: 492.9752

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

**Gambar 5.4** Material property data

- 3). Menentukan profil baja ringan, *Define>Section Properties>Frame Section>Add New Property*. Pada analisis ini menggunakan jenis Steel IWF 250.150.9.6. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.5.



**I/Wide Flange Section**

Section Name: BAJA IWF 250

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + BAJA ATAP

Dimensions

Outside height (t3): 0.25

Top flange width (t2): 0.15

Top flange thickness (tf): 9.000E-03

Web thickness (tw): 6.000E-03

Bottom flange width (t2b): 0.15

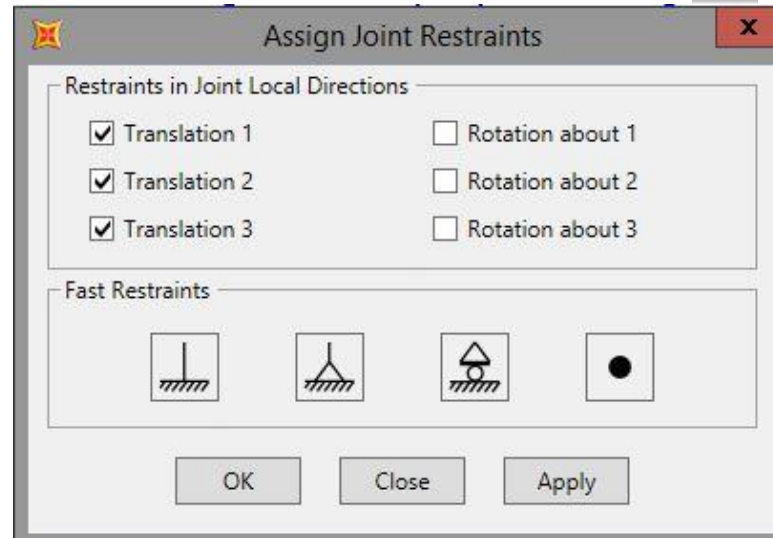
Bottom flange thickness (tfb): 9.000E-03

Display Color:

OK Cancel

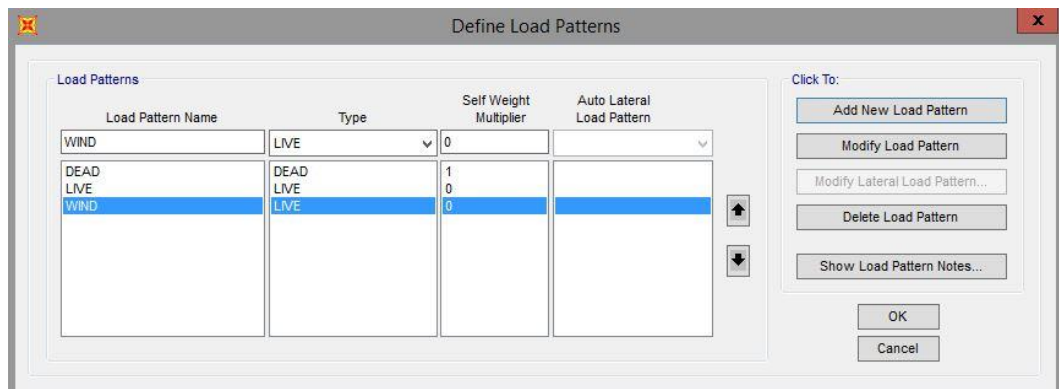
**Gambar 5.5** Frame properties

- 4). Memberi tumpuan pada *frame* dengan cara klik joint-joint yang dimodelkan sebagai tumpuan, kemudian *Assign>Joint>Restraint>Pilih*



**Gambar 5. 6** *Joint restraints*

- 5). Menentukan jenis beban dengan *Define>Load Patterns* kemudian tentukan bebannya yaitu beban mati, beban hidup, dan beban angin. Pilih faktor pengali 1 untuk beban mati pada *Self Weight Multiplier*.



**Gambar 5. 7** *Define load patterns*

- 6). Karena hanya akan mencari reaksi tumpuan pada *joint*, maka tidak diperlukan *Load Combination*. Langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai beban mati, hidup, dan angin yang sebelumnya telah dihitung. Sebagai contoh pada beban mati didapat 2,7923184 kN, klik pada joint-joint yang akan diberi beban kemudian *Assign > Joint Loads > Forces*. Masukkan beban sesuai dengan

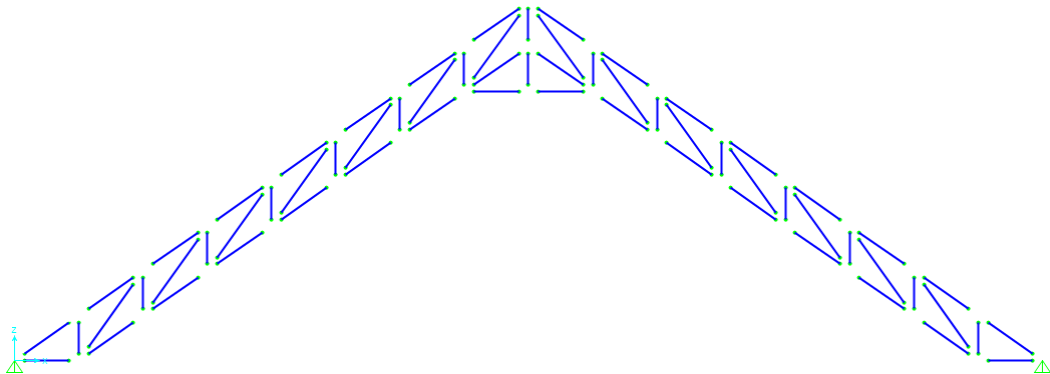
*Load Pattern Name* > *Dead* pada arah Z. untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.8.

**Gambar 5. 8** *Joint forces*

- 7). Setelah input semua beban kemudian dilakukan analisis model struktur. Pertama dilakukan *Frame Releases* dengan cara pilih semua *frame*, kemudian *Assign* > *Frame* > *Releases/Partial Fixity*. Centang *Moment 33* seperti pada Gambar 5.9, kemudian klik OK. Model struktur akan menjadi seperti pada Gambar 5.10.

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 22 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0 kN-m/rad	0 kN-m/rad

**Gambar 5. 9** *Frame releases*



**Gambar 5. 10** *Frame* setelah di *release*

- 8). Menentukan acuan perencanaan yang akan digunakan dengan cara *Design > Steel Frame Design > View/Revise Preferences*. Pada struktur ini mengacu pada AISC-LRFD93. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.11.

Steel Frame Design Preferences for AISC-LRFD93

Item	Value
1 Design Code	AISC-LRFD93
2 Time History Design	Envelopes
3 Framing Type	Moment Frame
4 Phi (Bending)	0.9
5 Phi (Compression)	0.85
6 Phi (Tension)	0.9
7 Phi (Shear)	0.9
8 Phi (Compression, Angle)	0.9
9 Consider Deflection?	No
10 DL Limit, L /	120.
11 Super DL+LL Limit, L /	120.
12 Live Load Limit, L /	360.
13 Total Limit, L /	240.
14 Total-Camber Limit, L /	240.
15 Pattern Live Load Factor	0.75
16 Demand/Capacity Ratio Limit	0.95

Item Description

Explanation of Color Coding for Values  
**Blue:** Default Value  
**Black:** Not a Default Value  
**Red:** Value that has changed during the current session

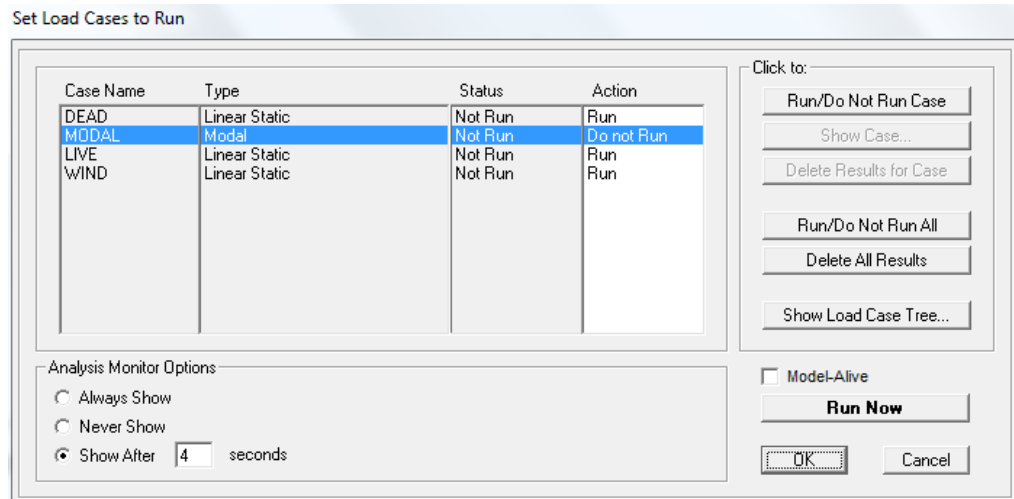
Set To Default Values:

Reset To Previous Values:


**Gambar 5. 11** *Steel frame design* berdasarkan AISC-LRFD93



- 9). Selanjutnya melakukan analisis dengan, *Analyze>Run Analysis>Do Not Run Case MODAL>Run Now*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.12.



**Gambar 5. 12** Set load cases to run

- 10). Pembacaan reaksi struktur dengan klik pada  pilih *Joint*. Kemudian pilih *Case DEAD, LIVE*, atau *WIND* pada *Joint Reaction Forces* untuk mengetahui reaksi tumpuan. Selanjutnya beban-beban tersebut akan digunakan sebagai berat sendiri kuda-kuda yang dimodelkan sebagai beban titik arah horizontal dan arah vertikal pada ring balok atap dalam analisis struktur Gedung Kuliah *Twin Building UMY*. Hasil reaksi perletakan joint untuk berat sendiri kuda-kuda dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5. 1** Reaksi perletakan joint untuk berat sendiri kuda-kuda

BEBAN		K1		K2		K3		K4		K5	
		Ka	Ki	Ka	Ki	Ka	Ki	Ka	Ki	Ka	Ki
DEAD	V (kN)	20.81	20.81	11.24	11.24	20.12	20.12	20.64	20.64	20.7	20.7
	H (kN)	17.51	17.51	8.86	8.86	23.43	23.43	19.31	19.31	17.8	17.8
LIVE	V (kN)	19	19	10.99	10.99	18.45	18.45	18.98	18.98	18.94	18.94
	H (kN)	13.55	13.55	7.15	7.15	18.88	18.88	15.39	15.39	13.89	13.89
WIND	V (kN)	0.18	0.18	0.44	0.44	0.62	0.62	0.29	0.29	0.03	0.03
	H (kN)	2.45	2.45	0.65	0.65	0.48	0.48	1.46	1.46	2.03	2.03

## 2. Pelat

### a. Pelat Lantai

Pelat beton	$= 0,12 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3$	$= 2,82528 \text{ kN/m}^2$
Pasir	$= 0,03 \text{ m} \times 13,7340 \text{ kN/m}^3$	$= 0,41202 \text{ kN/m}^2$
Spesi	$= 0,02 \text{ m} \times 19,1295 \text{ kN/m}^3$	$= 0,3826 \text{ kN/m}^2$
Keramik	$= 0,1716 \text{ kN/m}^2$	$= 0,1716 \text{ kN/m}^2$
Plafon Asbes	$= 0,10791 \text{ kN/m}^2$	$= 0,10791 \text{ kN/m}^2$
Penggantung	$= 0,06867 \text{ kN/m}^2$	$= 0,06867 \text{ kN/m}^2$
Ducting AC	$= 0,1962 \text{ kN/m}^2$	$= 0,1962 \text{ kN/m}^2$
		————— +
	$Q_d \text{ lantai}$	$= 4,1643 \text{ kN/ m}^2$
	$Q_d \text{ lantai (SAP)}$	$= 1,3391 \text{ kN/ m}^2$

### b. Pelat Atap (*Finishing* lantai atap)

Pelat beton	$= 0,12 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3$	$= 2,82528 \text{ kN/m}^2$
<i>Waterproofing</i> (3 cm)	$= 0,02 \text{ m} \times 18,6390 \text{ kN/m}^3$	$= 0,37278 \text{ kN/m}^2$
Plafon Asbes	$= 0,10791 \text{ kN/m}^2$	$= 0,10791 \text{ kN/m}^2$
		————— +
	$Q_d \text{ atap}$	$= 3,30597 \text{ kN/ m}^2$
	$Q_d \text{ atap (SAP)}$	$= 0,48069 \text{ kN/ m}^2$

## 3. Dinding

Digunakan pasangan bata merah setengah batu,  $Q_t = 250 \text{ kg/m}^2$  dengan contoh perhitungan lantai 2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi tembok} &= \text{tinggi lantai} - \text{tinggi balok} \\
 &= 4 \text{ m} - 0,7 \text{ m} \\
 &= 3,3 \text{ m} \\
 Q_t &= 16,677 \text{ kN/m}^3 \times 3,3 \text{ m} \\
 &= 8,255115 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan beban dinding pada lantai 1 sampai 5 terdapat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5. 2** Beban dinding

<b>Lantai</b>	<b>Berat Vol (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tinggi Dinding (m)</b>	<b>Tebal Dinding (m)</b>	<b>Q<sub>dinding</sub> (kN/m)</b>
Lantai 5	16,677	2,9	0,15	7,254495
Lantai 4	16,677	3,3	0,15	8,255115
Lantai 3	16,677	3,3	0,15	8,255115
Lantai 2	16,677	3,3	0,15	8,255115
Lantai 1	16,677	3,3	0,15	8,255115
Lantai dasar	16,677	2,5	0,15	6,253875
<b>∑ Beban Dinding</b>				<b>49,03038</b>

### 5.2.2. Beban Hidup

Fungsi bangunan sebagai ruang kuliah, sehingga didapat beban hidup sebagai berikut ini.

- a. Beban hidup pada lantai  
 $Q_L = 250 \text{ kg/m}^2 = 2,4525 \text{ kN/m}^2$
- b. Beban hidup plat bordes  
 $Q_L = 300 \text{ kg/m}^2 = 2,943 \text{ kN/m}^2$
- c. Beban hidup pelat atap  
 $Q_L = 100 \text{ kg/m}^2 = 0,981 \text{ kN/m}^2$
- d. Beban hidup reaksi perletakan joint untuk berat sendiri kuda-kuda dapat dilihat pada Tabel 5.1

### 5.2.3. Beban Gempa SNI 03-1726-2012

Diketahui lokasi bangunan berada di daerah Yogyakarta dengan jenis tanah sedang. Tinggi bangunan 25,5 m, dan bangunan direncanakan dengan tingkat daktilitas penuh. Analisis beban gempa pada struktur bangunan gedung ini menggunakan statik ekuivalen.

## 1. Perhitungan Berat Total Bangunan ( $W_t$ )

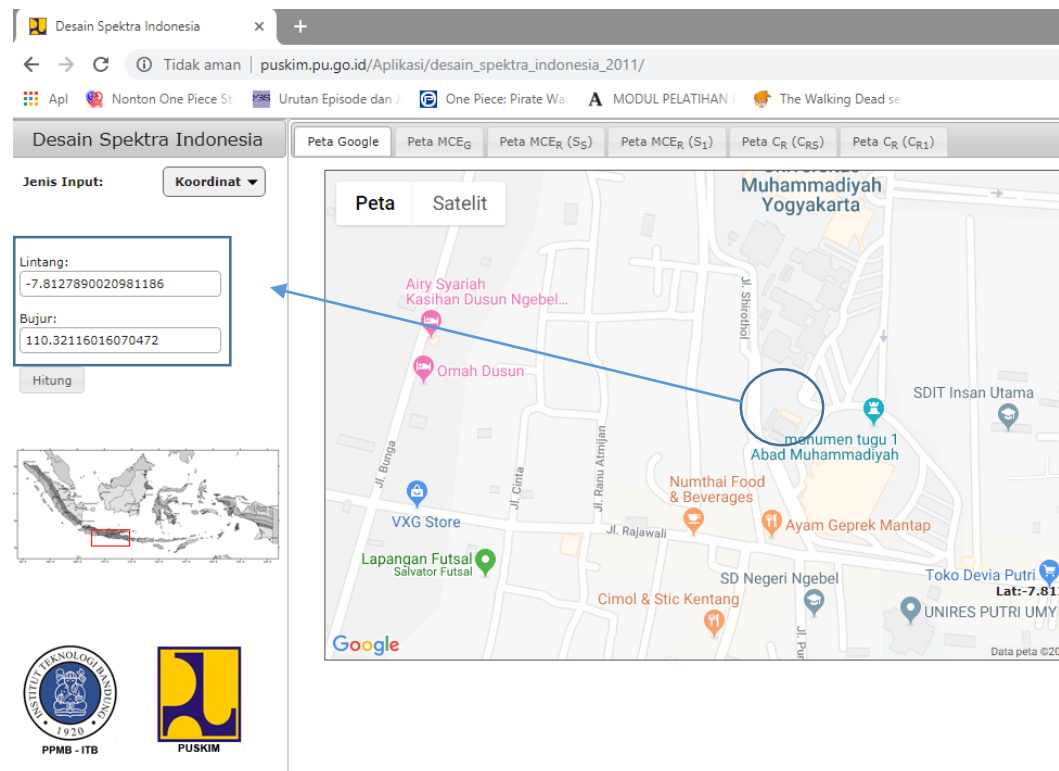
Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, sehingga perlu dihitung berat dari masing-masing lantai bangunan. Pada penelitian ini berat bangunan didapat dari perhitungan manual. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5. 3** Berat bangunan perlantai

<b>Tingkat</b>	<b>Wi (kN)</b>	<b>H (m)</b>
Lantai atap	10165,2368	25,5
Lantai 5	20261,4161	20
Lantai 4	21880,8986	16
Lantai 3	21880,8986	12
Lantai 2	21880,8986	8
Lantai 1	21880,8986	4
<b>Jumlah</b>	<b>119595,8846</b>	

## 2. Parameter Percepatan Gempa

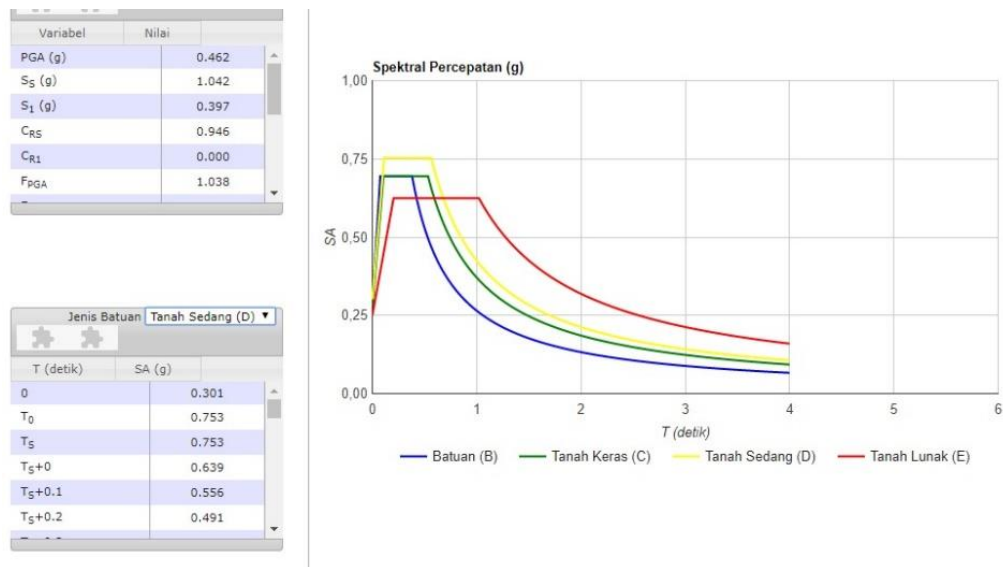
Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, gedung ini berdiri diatas tanah sedang. Pada penelitian ini, untuk menentukan parameter gempa seperti  $S_s$ ,  $F_a$ ,  $S_1$ ,  $F_v$ ,  $C_{rs}$  0,2 dtk, dan  $C_{rs}$  1 detik digunakan aplikasi spektra yang dapat diakses di [puskim.go.id](http://puskim.go.id) berdasarkan SNI 1726-2012. Dalam aplikasi ini, diperlukan data koordinat untuk wilayah yang akan ditinjau seperti pada Gambar 5.13.



**Gambar 5. 13** Desain spektra Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

(Sumber : puskim.pu.go.id)

Setelah memasukan koordinat Gedung Kuliah *Twin Building* UMY, aplikasi desain spektra ini akan memberikan hasil berupa parameter-parameter yang digunakan untuk perencanaan pembebanan gempa, seperti yang dihasilkan pada Gambar 5.14.



**Gambar 5. 14** Hasil perhitungan desain spektra gedung *Twin Building UMY*  
(Sumber : puskim.pu.go.id)

Dari hasil perhitungan pada Gambar 5.14, dapat di export kedalam format Microsoft excel dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5. 4** Parameter desain spektra

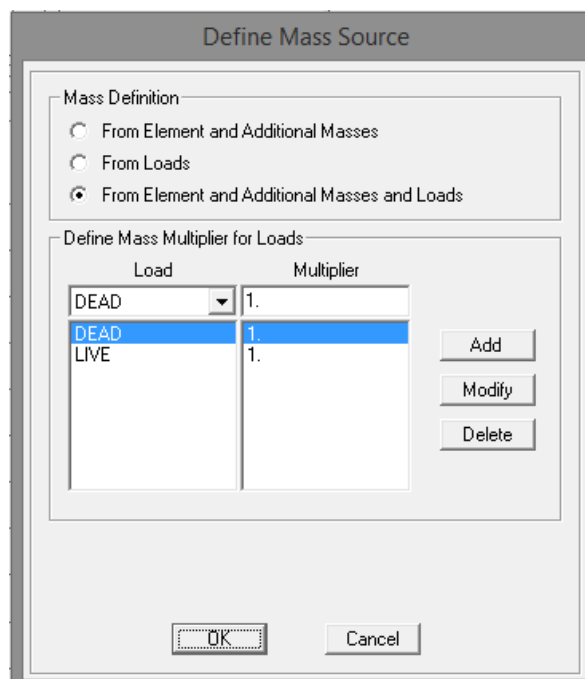
Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
PGA (g)	0,462	PSA (g)	0,48
SS (g)	1,042	SMS (g)	1,129
S1 (g)	0,397	SM1 (g)	0,637
CRS	0,946	SDS (g)	0,753
CR1	0	SD1 (g)	0,425
FPGA	1,038	T0 (detik)	0,113
FA	1,083	TS (detik)	0,565
FV	1,606		

(Sumber : puskim.pu.go.id)

### 3. Periode Fundamental Struktur

Waktu Getar Struktur ( $T$ ) didapatkan dari hasil analisis modal pada program SAP2000. Prosedur yang digunakan akan dijelaskan sebagai berikut.

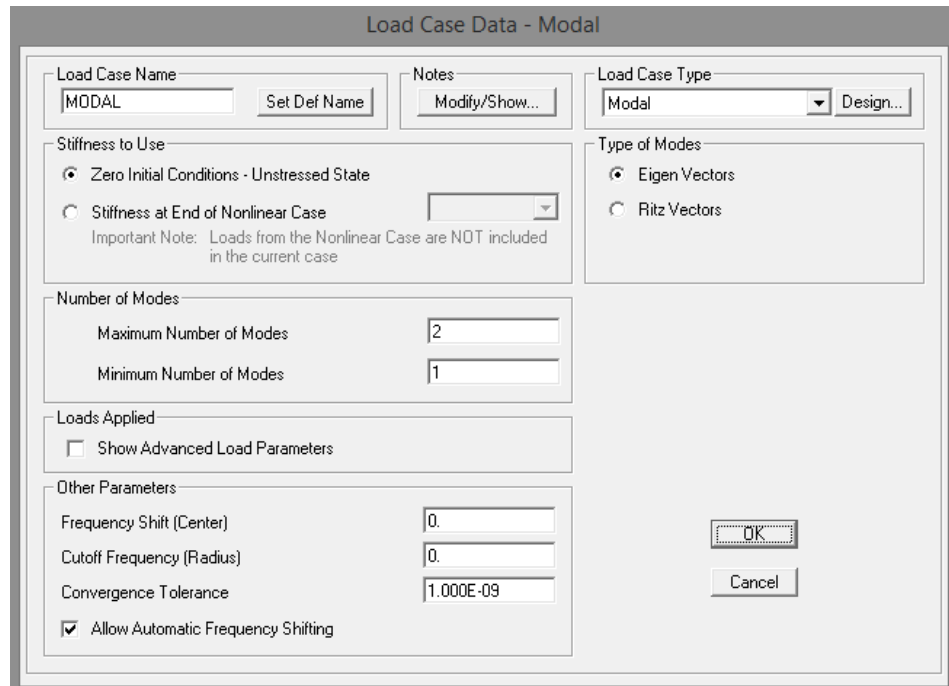
- a. Beban mati tambahan dan beban hidup yang telah dihitung pada subbab sebelumnya kemudian diinput pada program SAP2000 sebagai beban merata pada sisi atas komponen balok.
- b. Langkah selanjutnya adalah pendefinisian sumber massa pada analisis. Sumber massa pada penelitian ini adalah dari beban sendiri struktur, beban mati tambahan dan beban hidup. Pendefinisian sumber massa dapat dilakukan dengan cara klik tab *Define* → *Mass Source*, kemudian pilih *From Element and Additional Masses and Loads* kemudian tambahkan beban mati (*DEAD*) dan beban hidup (*LIVE*) dengan faktor pengali 1. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini.



**Gambar 5. 15** *Define Mass Source*

- c. Langkah selanjutnya adalah pendefinisian *Load Case Data – Modal*. Pendefinisian dilakukan dengan cara klik tab *Define* → *Load Cases* → *Modal* → *Modify/Show Load Case*. Kemudian akan muncul *Form Load Case Data –*

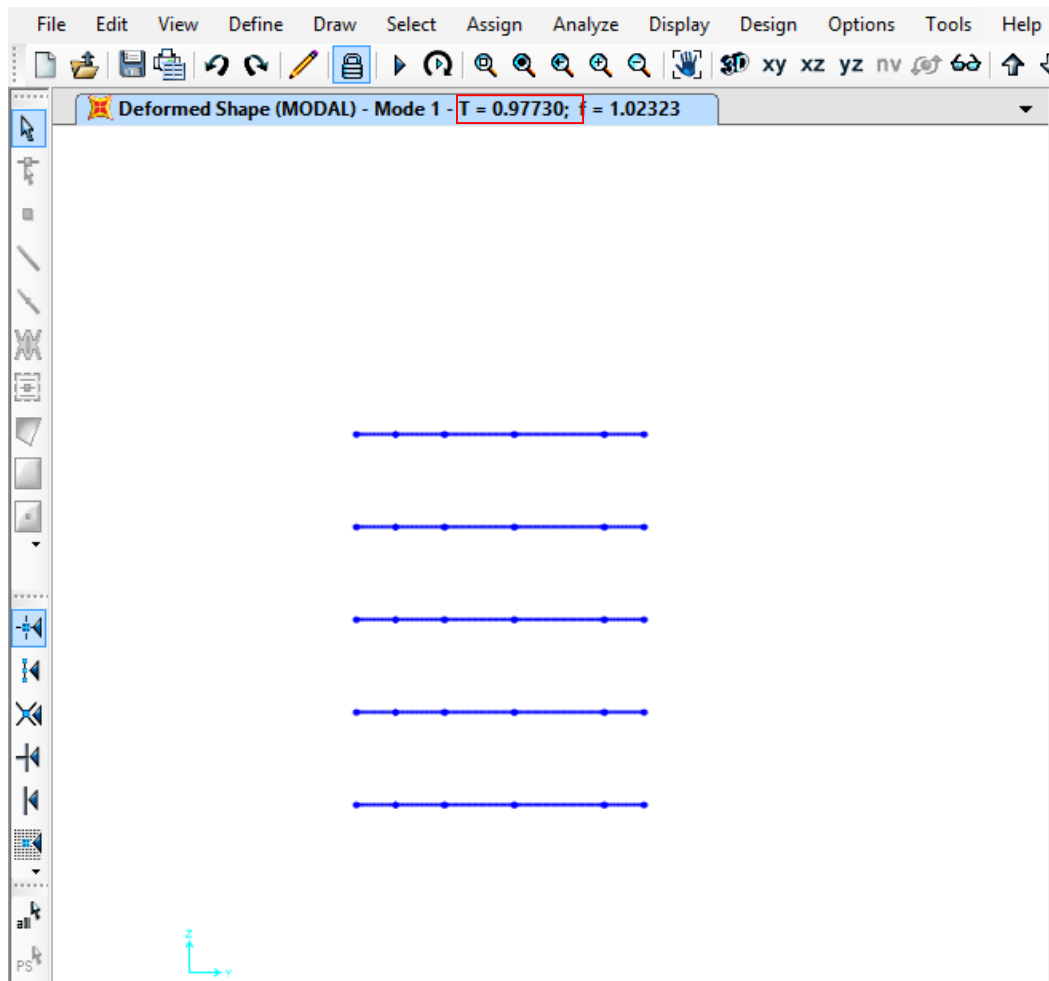
*Modal*. Pada kolom *Stiffnes to Use*, pilih *Zero Initial Condition – Unstressed State*. Pada kolom *Load Case Type* pilih *Modal*, dan *Type of Modes Eigen Vectors*. Dan terakhir pada kolom *Number of Modes* input 2 pada *Maximum Number of Modes* dan 1 untuk *Minimum Number of Modes*. Kemudian klik *OK*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.



**Gambar 5. 16** *Load Case Data – Modal*

- d. Langkah terakhir adalah *Run Analysis* dengan cara klik *Analyze* → *Run Analysis* → hanya *Run Load case Modal* → *Run Now*.
- e. Setelah analisis selesai didapatkan nilai Waktu getar alami (T) sebesar 0,9773 detik. Seperti dapat dilihat pada Gambar 5.17.





**Gambar 5. 17** Hasil analisis modal

#### 4. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

- a. Tingkat Daktilitas Struktur,  $R = 4$
- b. Faktor Keutamaan Struktur.  $I = 1,5$

$$\begin{aligned}
 C_S &= \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} & (3.11) \\
 &= \frac{0,753}{\left(\frac{4}{1,5}\right)} \\
 &= 0,2821
 \end{aligned}$$

Nilai  $C_S$  yang dihitung menurut persamaan diatas tidak perlu melebihi,

$$\begin{aligned}
 C_S \text{ maks} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} & (3.12) \\
 &= \frac{0,425}{0,9773\left(\frac{4}{1,5}\right)} \\
 &= 0,1631
 \end{aligned}$$

$C_S$  harus tidak kurang dari,

$$\begin{aligned}
 C_S \text{ Min} &= 0,044 \cdot S_{D_s} \cdot I_e \geq 0,01 & (3.13) \\
 &= 0,044 \times 0,753 \times 1,5 \\
 &= 0,0497 \geq 0,01
 \end{aligned}$$

Jadi, nilai  $C_S$  yang digunakan adalah 0,1631

## 5. Gaya Geser Dasar

Perhitungan gaya geser dasar seismik dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 V &= C_S \cdot W_t \\
 &= 0,1631 \times 117950,2473 \\
 &= 19237,4283 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 6. Gaya Horizontal Gempa Ekivalen Statik ( $F_i$ )

Gaya gempa lateral yang terdapat pada setiap tingkat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$F_i = C_V \cdot V \quad (3.14)$$

dengan,

$$C_V = \frac{W_i H_i^k}{\sum W_i H_i^k} \quad (3.15)$$

Keterangan :

$F_i$  = Gaya horizontal gempa (ton)

$W_i$  = Berat struktur tiap tingkat  $i$  (ton)

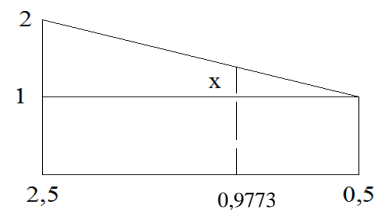
$H_i$  = Tinggi tiap tingkat  $i$  (m)

$k$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur

Nilai  $k$  merupakan eksponen terkait dengan periode struktur. Untuk struktur yang mempunyai periode 0,5 detik atau kurang,  $k = 1$ . Untuk struktur yang mempunyai periode 2,5 detik atau lebih,  $k = 2$ . Sedangkan untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 – 2,5 detik,  $k =$  hasil interpolasi. Maka nilai  $k$  yang digunakan untuk  $T = 0,9773$  detik dicari menggunakan interpolasi adalah sebagai berikut ini.

$$\frac{x}{0,9773 - 0,5} = \frac{1}{2,5 - 0,5}$$

$$\frac{x}{0,4773} = \frac{1}{2}$$



$$x = 0,2387$$

$$k = 1 + 0,2387 = 1,2387$$

Perhitungan distribusi gaya lateral pada tiap lantai berdasarkan beban gempa SNI 1726-2012 dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5. 5** Perhitungan distribusi gaya horizontal gempa SNI 1726-2012

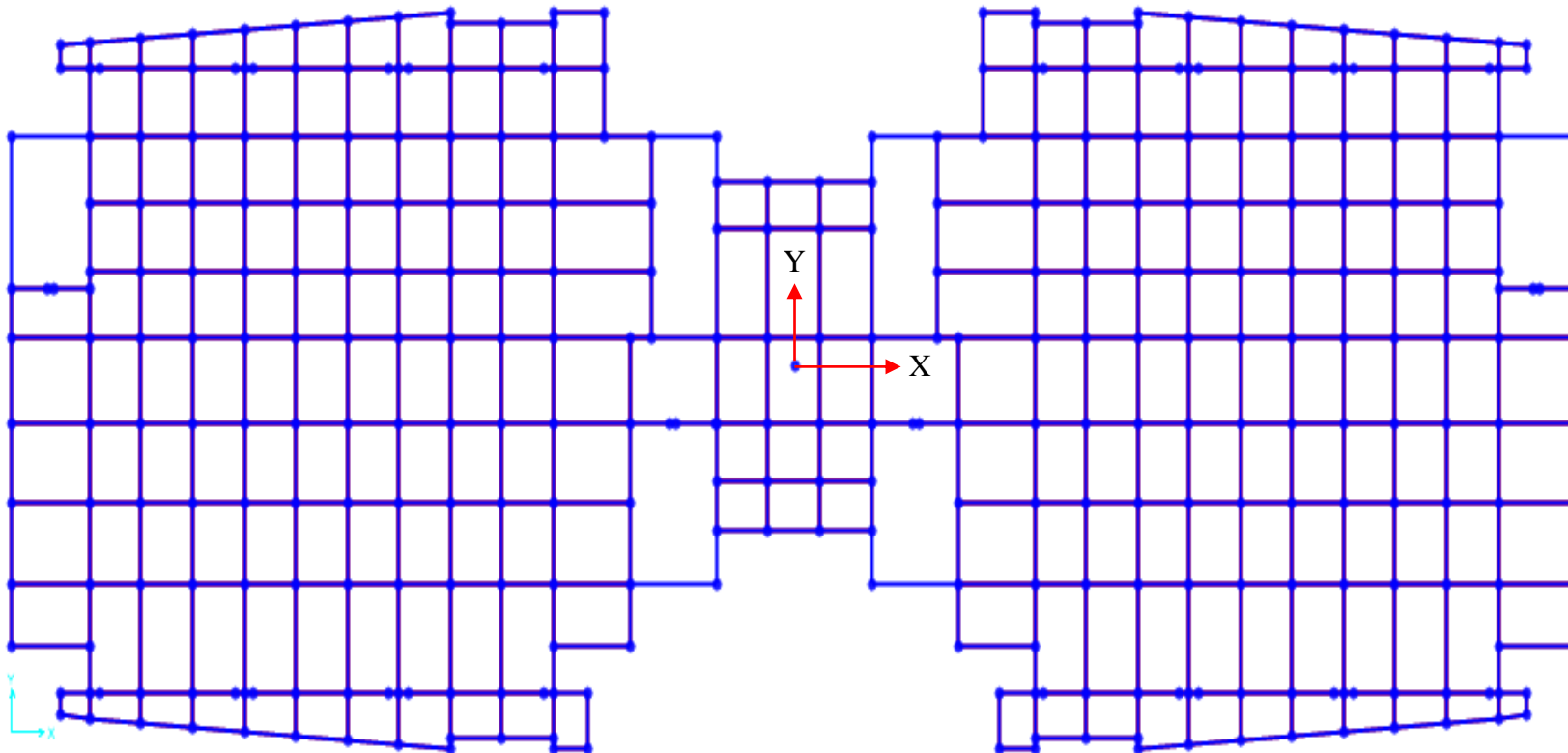
Lantai ke	Wi (KN)	H (m)	H <sup>k</sup>	W.H <sup>k</sup>	Cvx (%)	Fi (KN)
Lantai atap	10165,2368	25,5	55,2346	561472,5061	19,02%	3658,0363
Lantai 5	20261,4161	20	40,8809	828305,6050	28,05%	5396,4744
Lantai 4	21880,8986	16	31,0087	678497,6845	22,98%	4420,4643
Lantai 3	21880,8986	12	21,7134	475108,7226	16,09%	3095,3697
Lantai 2	21880,8986	8	13,1405	287526,2934	9,74%	1873,2558
Lantai 1	21880,8986	4	5,5685	121844,7333	4,13%	793,8278
Jumlah	117950,2473	0		2952755,5449	100,00%	19237,4283

Kontrol

$$V = \sum F_i$$

$$19237,4283 = 19237,4283 \rightarrow \text{OK}$$

Beban gempa pada setiap lantai yang sudah didapat, kemudian diinput kedalam SAP2000 sebagai beban lateral arah x dan arah y pada titik pusat massa masing-masing lantai. Sebagai contoh, letak titik pusat massa dan arah beban lateral pada lantai 2 struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat pada Gambar 5.18.



**Gambar 5. 18** Letak titik pusat massa dan arah beban lateral lantai 2

### 5.3. Analisis statik linier

Analisis statik linier dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur pada kondisi linier. Hasil dari analisis statik linier adalah berupa *storey-drift ratio* dan *demand capacity ratio*. Beban-beban yang bekerja yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa di input kedalam struktur bangunan yang telah dimodelkan pada SAP 2000. Beban mati dan beban hidup di distribusikan sebagai beban merata pada sisi atas balok, sedangkan untuk beban gempa di distribusikan sebagai beban horizontal pada titik pusat massa masing-masing lantai. Koordinat titik pusat massa masing-masing lantai dari analisis SAP 2000 dapat dilihat pada Tabel 5.6.

**Tabel 5. 6** Titik pusat massa tiap lantai

Lantai	Koordinat awal	
	X	Y
Lantai atap	36,39990	13,6687
Lantai 5	36,39995	13,1974
Lantai 4	36,39995	13,1277
Lantai 3	36,39995	13,1277
Lantai 2	36,49230	13,0248
Lantai 1	36,77838	13,0110
Lantai dasar	36,54283	12,8900

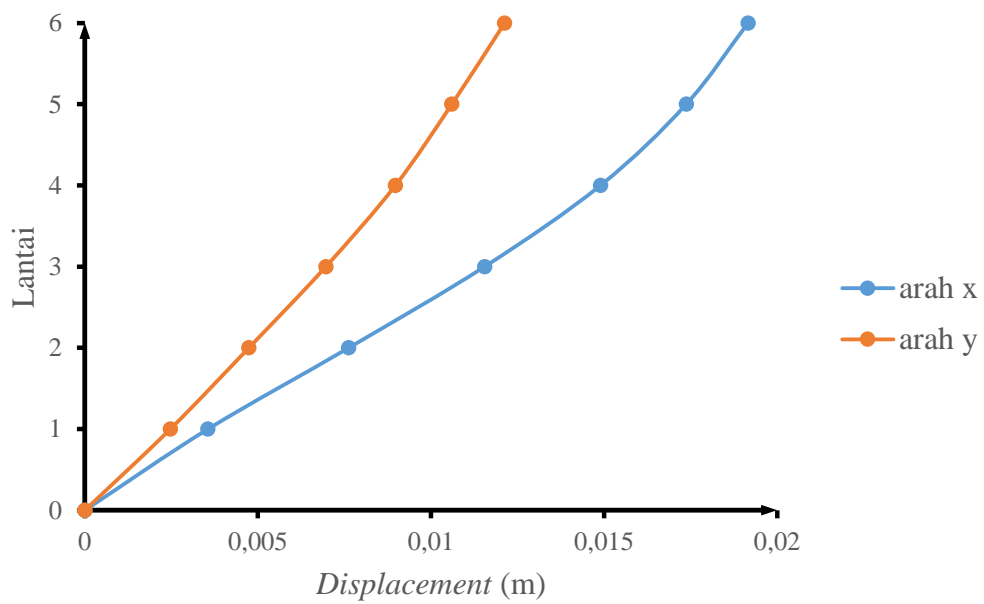
#### 5.3.1. Rasio Simpangan Tingkat (*Storey-drift ratio*)

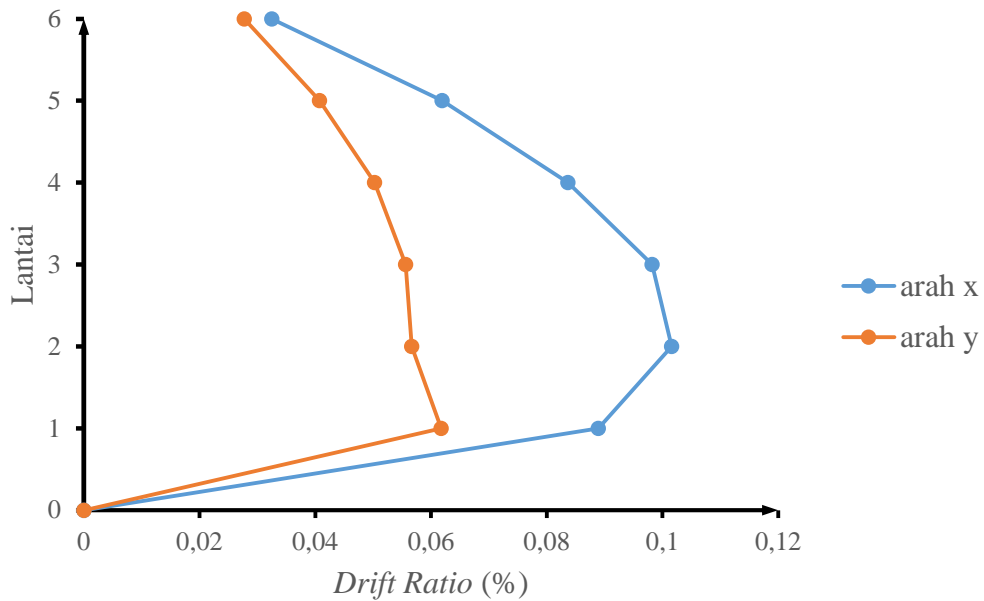
Rasio simpangan tingkat adalah persentase perbandingan selisih *displacement* antar tingkat dan tinggi lantai. Hasil perhitungan rasio simpangan tingkat Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5. 7** Nilai *storey-drift ratio* pada masing masing tingkat

Lantai	H (m)	Displacement		DR (%)	
		X	Y	X	Y
Lantai atap	5,5	0.01916	0.01213	0.03247	0.02776
Lantai 5	4	0.01738	0.0106	0.06195	0.04075
Lantai 4	4	0.0149	0.00897	0.08368	0.05025
Lantai 3	4	0.01155	0.00696	0.09823	0.05563
Lantai 2	4	0.00762	0.00474	0.1016	0.0567
Lantai 1	4	0.00356	0.00247	0.08893	0.06175
Lantai dasar	0	0	0	0	0

Kurva *displacement* dan kurva *storey-drift ratio* pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.

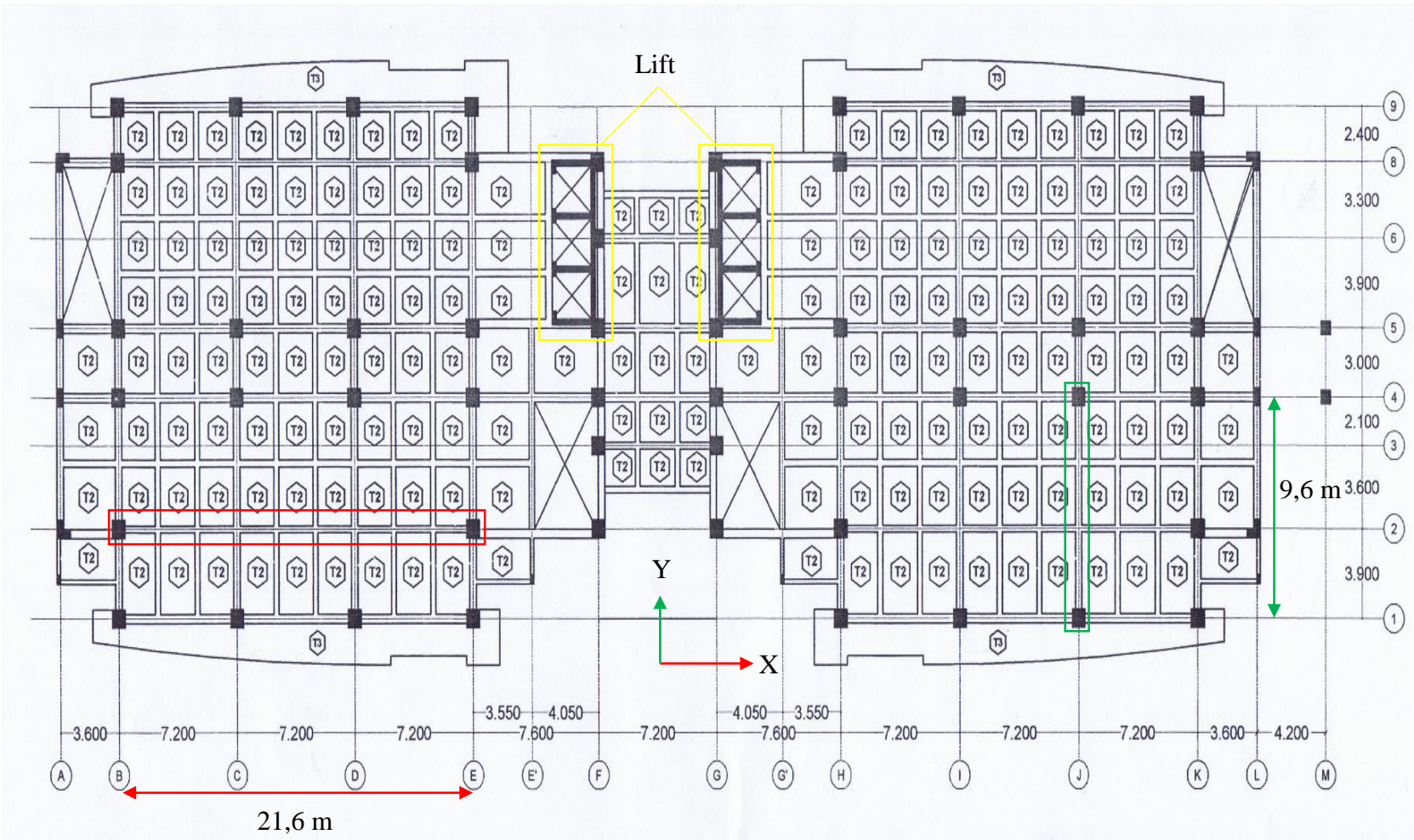
**Gambar 5. 19** *Displacement* pada masing-masing tingkat



**Gambar 5. 20** Storey-drift ratio pada masing-masing tingkat

Berdasarkan panjang bentang secara keseluruhan seperti dapat dilihat pada Gambar 5.21, nilai *storey-drift ratio* arah x seharusnya lebih kecil dari arah y. Tetapi dari hasil analisis statik linier yang dapat dilihat pada Gambar 5.20 didapatkan rasio simpangan tingkat maksimum pada arah X adalah sebesar 0.1016% pada lantai 2, dan pada arah Y sebesar 0.06175% pada lantai 1. Hal ini dapat disebabkan oleh panjang setiap bentang pada struktur yang tidak simetris, yang tentunya akan mempengaruhi kekakuan struktur. Pada Gambar 5.21 dapat dilihat pada arah x terdapat bentangan antar kolom sepanjang 21,6 m, sementara pada arah y panjang bentangan antar kolom yang paling besar hanya sepanjang 9,6 m. Bentangan antar kolom yang makin kecil tentunya membuat struktur semakin kaku. Nilai *storey-drift ratio* arah y yang lebih kecil juga dapat dipengaruhi oleh adanya dinding geser lift yang memanjang searah sumbu y yang juga dapat dilihat pada Gambar 5.21.





**Gambar 5. 21** Detail bentangan arah x dan arah y

### 5.3.2. Demand Capacity Ratio (DCR)

Menurut FEMA 356 (2000), *Demand Capacity Ratio* (DCR) elemen balok dan kolom untuk hasil analisis beban elastik statik ekuivalen dapat dihitung dengan Persamaan 3.17. Nilai DCR tersebut selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai DCR ijin yang disyaratkan oleh FEMA 356 (2000) untuk prosedur linier, yaitu sebesar 2,0. Sebagai contoh perhitungan nilai DCR, akan dijelaskan perhitungan pada balok B1-L1-1 sebagai berikut ini.

#### 1. Data penampang balok

B	= 400 mm
H	= 700 mm
$M_u^+$	= 276,487 kN ( Hasil SAP 2000)
$M_u^-$	= 392,427 kN ( Hasil SAP 2000)
$V_n$	= 120,289 kN ( Hasil SAP 2000)
$f'_c$	= 25 MPa
$f_y$	= 400 MPa
$E_s$	= 23500 MPa
$\beta$	= 0,85
$\epsilon_c$	= 0,003
$d_p$	= 25 mm
$d_s$	= 10 mm
$n_{tarik}$	= 10
$n_{tekan}$	= 5
sb	= 40 mm
Ad	= $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_p^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$
As	= $n_{tarik} \cdot Ad = 10 \times 490,625 = 4906,25 \text{ mm}^2$
As	= $n_{tekan} \cdot Ad = 5 \times 490,625 = 2453,125 \text{ mm}^2$
$\epsilon_y$	= $\frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{23500} = 0,0170213$
d	= $sb + d_s + d_p + (d_p/2) = 40+10+25+(25/2) = 87,5 \text{ mm}$
d'	= $sb + d_s + (d_p/2) = 40+10+(25/2) = 62,5 \text{ mm}$
h	= $H - d = 700-87,5 = 612,5 \text{ mm}$

$$h' = H - d' = 700 - 62,5 = 637,5 \text{ mm}$$

## 2. Momen nominal negatif

- Keseimbangan gaya-gaya horizontal

$$A_s \cdot f_y = (0,85 \times f'_c \times a \times b) + (A_s' \times \frac{a - (\beta \cdot d')}{a} \times \epsilon_c \times E_s)$$

$$4906,25 \times 400 = (0,85 \times 25 \times a \times 400) + (2453,125 \times \frac{a - (0,85 \times 62,5)}{a} \times 0,003 \times 23500)$$

$$1962500 = 8500a + (2453,125 \times 0,003 \times 23500) - (\frac{2453,125 \times 0,85 \times 62,5 \times 0,003 \times 23500}{a})$$

$$\{ 1962500 = 8500a + 172945,3125 - (\frac{937147412,1}{a}) \} \times a$$

$$1962500a = 8500a^2 + 172945,3125a - 937147412,1$$

$$0 = 8500a^2 - 1789554,688a - 9187719,727$$

$$a = 215,5504 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{215,5504}{0,85} = 253,5888 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{c - d}{c} \times \epsilon_c = \frac{253,5888 - 62,5}{253,5888} \times 0,003 = 0,00226$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = 0,00226 \times 23500 = 53,1244 \text{ MPa}$$

- Momen nominal negatif

$$M_1 = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (h - \frac{a}{2})$$

$$= 0,85 \times 25 \times 215,5504 \times 400 \times (612,5 - \frac{215,5504}{2})$$

$$= 924746167,1 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = A_s' \times f_s \times (h - d')$$

$$= 2453,125 \times 53,1244 \times (612,5 - 62,5)$$

$$= 71676477,41 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_1 + M_2$$

$$= 924746167,1 + 71676477,41$$

$$= 996422644,51 \text{ Nmm}$$

$$= 996,42264451 \text{ kNm}$$

## 3. Momen nominal positif

- Keseimbangan gaya-gaya horizontal

$$\begin{aligned}
A_s' \times f_y &= (0,85 \times f'c \times a \times b) + (A_s \times \frac{a - (\beta \times d)}{a} \times \epsilon_c \times E_s) \\
2453,125 \times 400 &= (0,85 \times 25 \times a \times 400) + (4906,25 \times \frac{a - (0,85 \times 87,5)}{a} \times 0,003 \times 23500) \\
981250 &= 8500a + (4906,25 \times 0,003 \times 23500) - (\frac{4906,25 \times 0,85 \times 87,5 \times 0,003 \times 23500}{a}) \\
\{ 981250 &= 8500a + 345890,625 - (\frac{25725615,23}{a}) \} \times a \\
981250a &= 8500a^2 + 345890,625a - 25725615,23 \\
0 &= 8500a^2 - 635359,375a - 25725615,23 \\
a &= 103,8825 \text{ mm} \\
c = \frac{a}{\beta} &= \frac{103,8825}{0,85} = 122,2147 \text{ mm} \\
\epsilon_s &= \frac{c-d}{c} \times \epsilon_c = \frac{122,2147 - 87,5}{122,2147} \times 0,003 = 0,00085214 \\
f_s &= \epsilon_s \cdot E_s = 0,00085214 \times 23500 = 20,02528 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Momen nominal positif

$$\begin{aligned}
M_1 &= 0,85 \times f'c \times a \times b \times (h' - \frac{a}{2}) \\
&= 0,85 \times 25 \times 103,8825 \times 400 \times (637,5 - \frac{103,8825}{2}) \\
&= 517048940,3 \text{ Nmm} \\
M_2 &= A_s \times f_s \times (h' - d) \\
&= 4906,25 \times 20,02528 \times (637,5 - 87,5) \\
&= 54036985,52 \text{ Nmm} \\
M_n^+ &= M_1 + M_2 \\
&= 924746167,1 + 54036985,52 \\
&= 571085925,82 \text{ Nmm} \\
&= 571,0859 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

4. Kapasitas geser nominal

$$\begin{aligned}
- A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,57143 \text{ mm}^2 \\
- V_{cn} &= (\frac{\sqrt{f'c}}{6}) \times b \times h \\
&= (\frac{\sqrt{25}}{6}) \times 400 \times 612,5 \\
&= 204166,67 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$= 204,1667 \text{ kN}$$

$$- \quad V_{sn} = \frac{Av \times fy \times h}{s}$$

$$= \frac{78,5714 \times 400 \times 612,5}{100}$$

$$= 115500 \text{ N}$$

$$= 115,5 \text{ kN}$$

$$- \quad V_n = V_{cn} + V_{sn}$$

$$= 204,1667 + 115,5$$

$$= 319,6667 \text{ kN}$$

##### 5. Nilai DCR balok B1-L1-1

- Momen negatif

$$\text{DCR} = \frac{Mu}{\Phi Mn} = \frac{392,427}{0,8 \times 996,42264451} = 0,4923 \text{ (Elastik)}$$

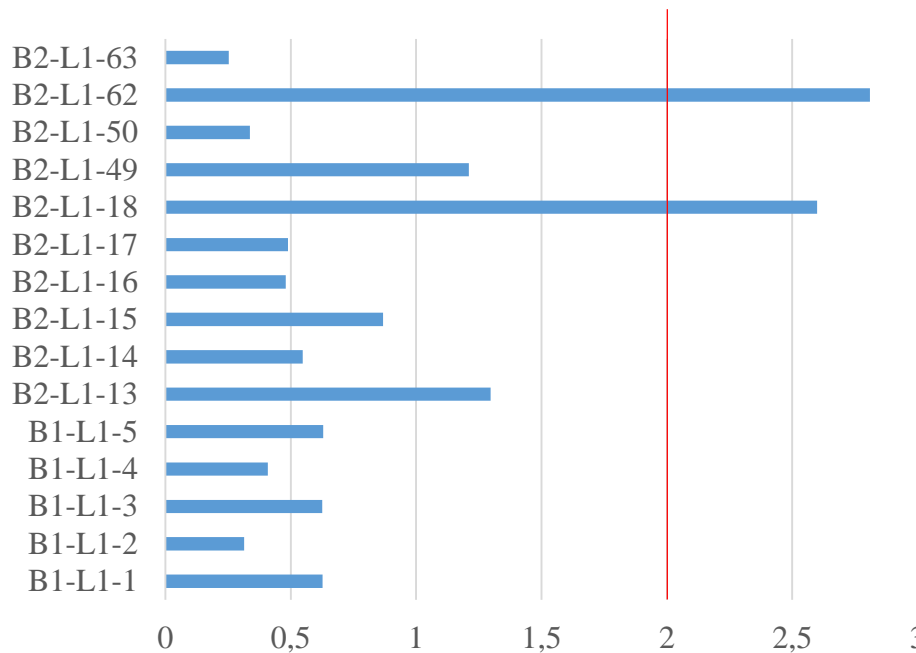
- Momen positif

$$\text{DCR} = \frac{Mu}{\Phi Mn} = \frac{276,487}{0,8 \times 571,0859} = 0,60518 \text{ (Elastik)}$$

- Gaya geser

$$\text{DCR} = \frac{Vu}{\Phi Vn} = \frac{120,289}{0,8 \times 319,6667} = 0,6271585 \text{ (Elastik)}$$

Hasil tabel perhitungan DCR untuk momen dan gaya geser pada elemen balok dan kolom lantai 1 ditampilkan secara rinci dalam Lampiran 3. Dari perhitungan nilai DCR hasil analisis beban gempa statik ekuivalen, diperoleh bahwa terdapat elemen balok dengan nilai DCR yang lebih besar dari 1 dan 2 yang menunjukkan bahwa elemen tersebut sudah berada kedalam kondisi inelastik. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukanya evaluasi ke tahap selanjutnya, yaitu analisis nonlinier. Untuk lebih jelas dapat dilihat diagram DCR beberapa elemen balok lantai 1 pada Gambar 5.22.



**Gambar 5. 22** Nilai DCR gaya geser pada beberapa balok lantai 1

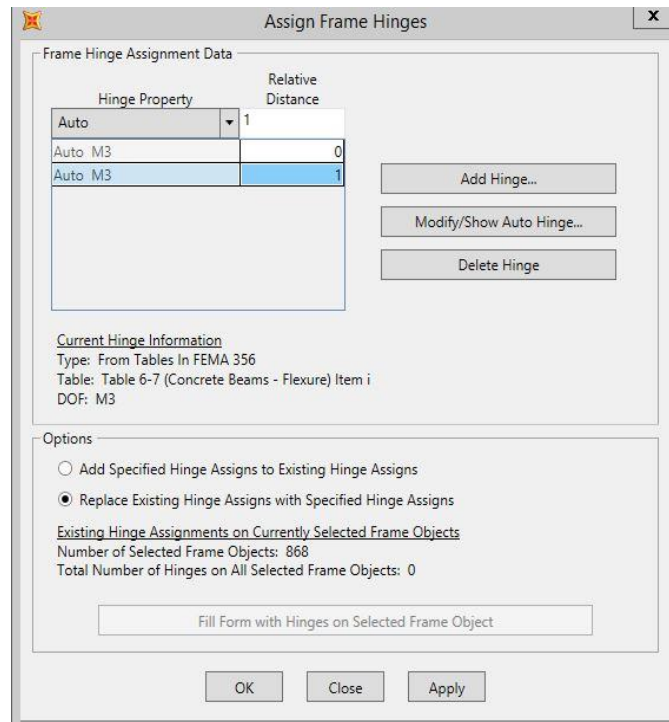
#### 5.4. Analisis *Pushover*

##### 5.4.1. Pendefinisian Sendi Plastis

Pendefinisian sendi plastis elemen struktur diperoleh dari momen rotasi (*momen-curvature*) yang menggambarkan kemampuan deformasi dari elemen struktur. Dalam penelitian ini *momen curvature* yang digunakan secara auto pada program SAP 2000 V15 berdasarkan ketentuan FEMA 356 (2000).

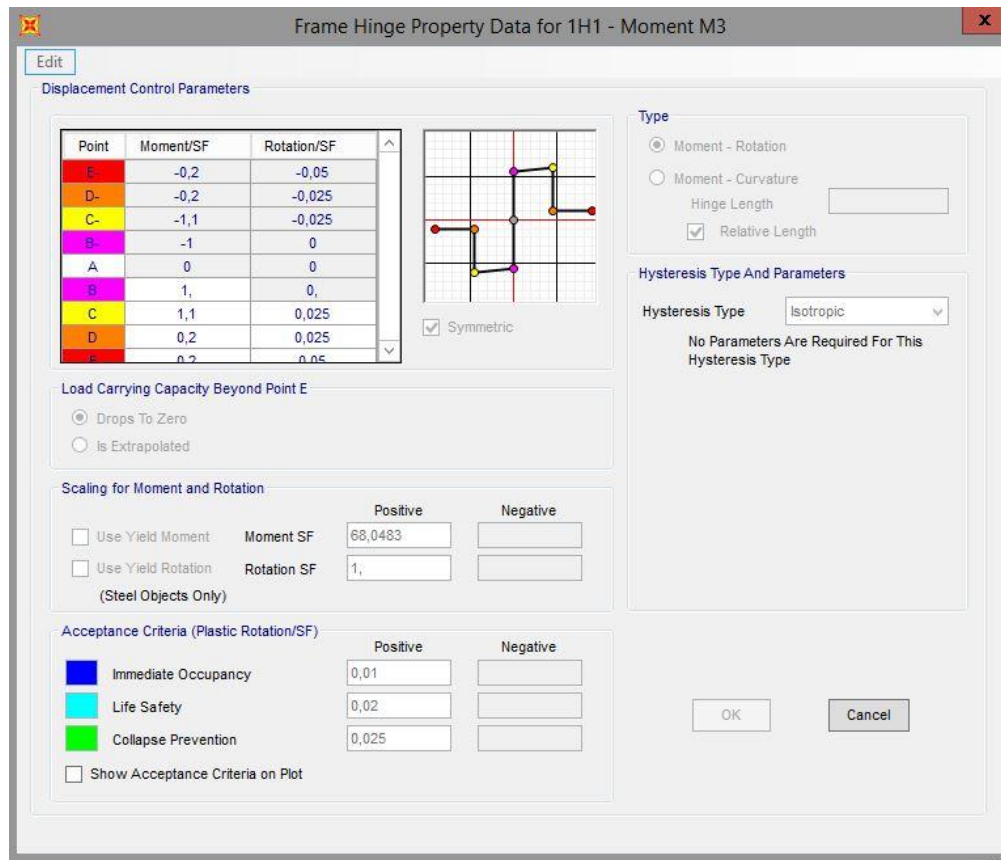
##### 1. Pendefinisian Sendi Plastis pada Balok.

Penempatan sendi plastis pada balok pada SAP 2000 V15 *licency* dilakukan dengan cara mengklik balok-balok pada bangunan yang sudah dimodelkan sebelumnya, lalu klik menu *Assign – Frame – Hinges*. Pada kotak dialog *Frame Hinges Assignments* buat 2 sendi plastis untuk *Relative Distance* 0 dan 1. Klik add untuk *Relative Distance* 0 – *Auto Hinge Type* pilih “FEMA 356” – *Select a FEMA 356 Table* pilih “*Table 6-7 (Concrete Beams-Flexure) Item i*” – *Degree of Freedom* pilih M3 – Ok. Lakukan hal yang sama untuk *Relative Distance* 1. Hal ini dimaksudkan bahwa sendi plastis diletakkan pada setiap ujung elemen struktur. Pendefinisian *Hinge* dapat dilihat pada Gambar 5.23.



**Gambar 5. 23** Pendefinisian *hinge* pada balok

Untuk mengetahui dan meng-*edit* properti sendi plastis pada balok dapat dilakukan dengan cara klik menu *Define – Section Properties – Hinge Properties – Show Hinge Details*. Pilih sendi plastis yang akan dilihat propertinya, klik *Modify/show property – Modify/Show Hinge Property* untuk melihat hasil properti sendi plastis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.24.

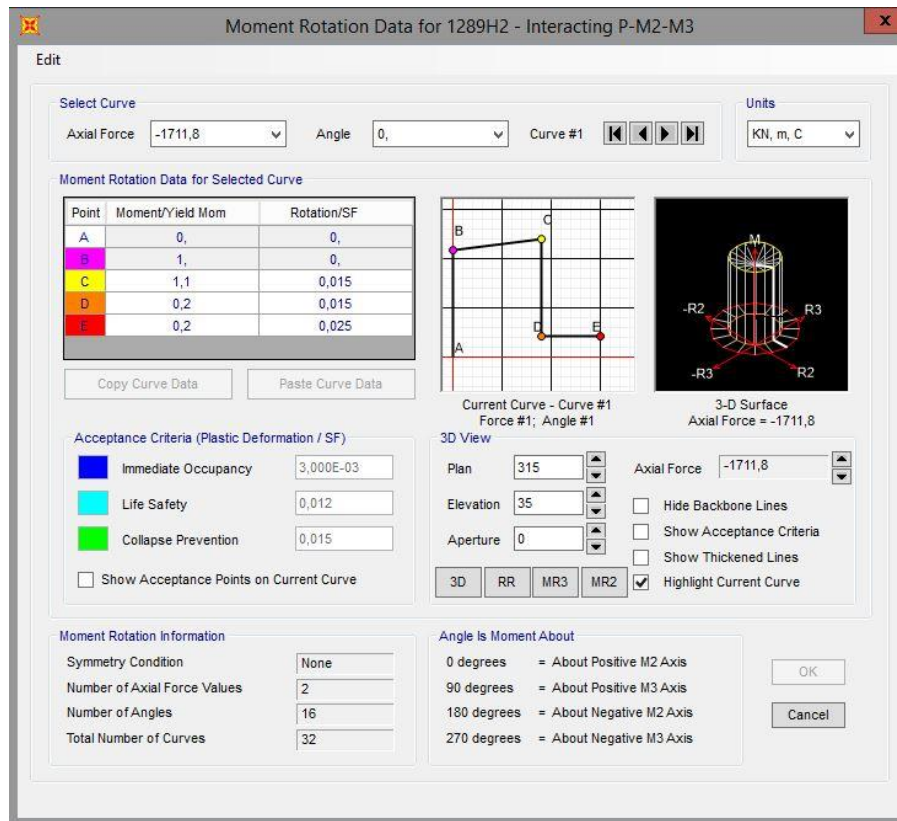


**Gambar 5. 24** Hinge property pada balok

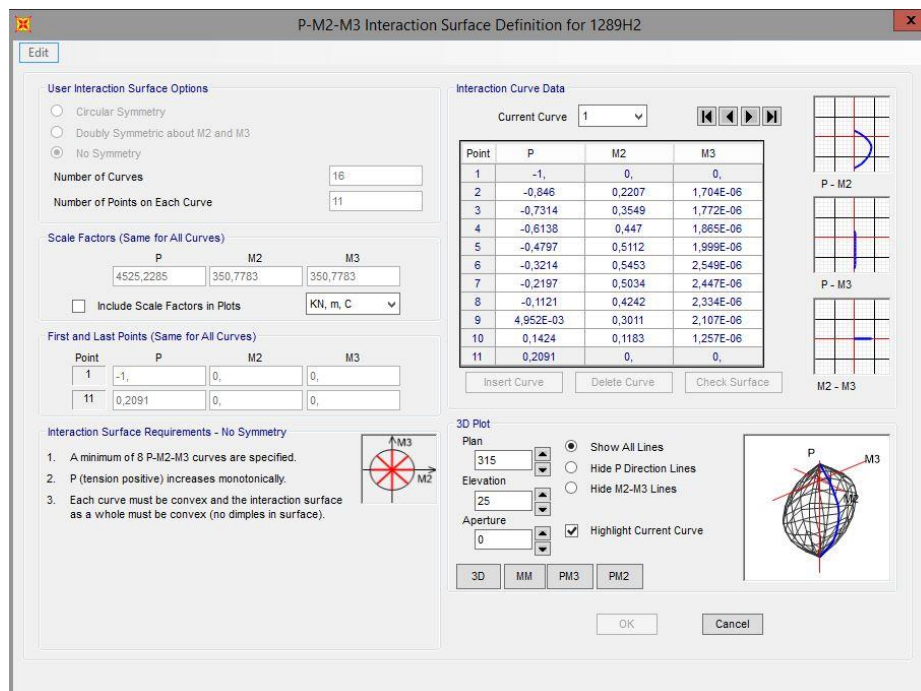
## 2. Pendefinisian Sendi Plastis pada Kolom

Penempatan sendi plastis pada kolom sama seperti cara pada balok. Namun untuk *Degree of Freedom* nya menggunakan P-M2-M3 yang artinya kolom menerima gaya aksial dan momen arah 2 dan 3. Properti sendi plastis kolom dapat dilihat pada menu *Define – Section Properties – Hinge Properties*. Pilih Sendi plastis yang akan dilihat, klik *Modify/show property – Modify/Show Hinge Property*. Klik opsi *Modify/Show Moment Rotation Curve Data* untuk melihat data-data momen rotasi, dan klik opsi *Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data* untuk melihat kurva interaksi P-M2-M3. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26.





Gambar 5. 25 Moment rotation data kolom



Gambar 5. 26 P-M2-M3 Interaction surface pada kolom

## 5.4.2. Pembebanan Analisis *Pushover* di SAP 2000

### 1. Pembebanan Gravitasi

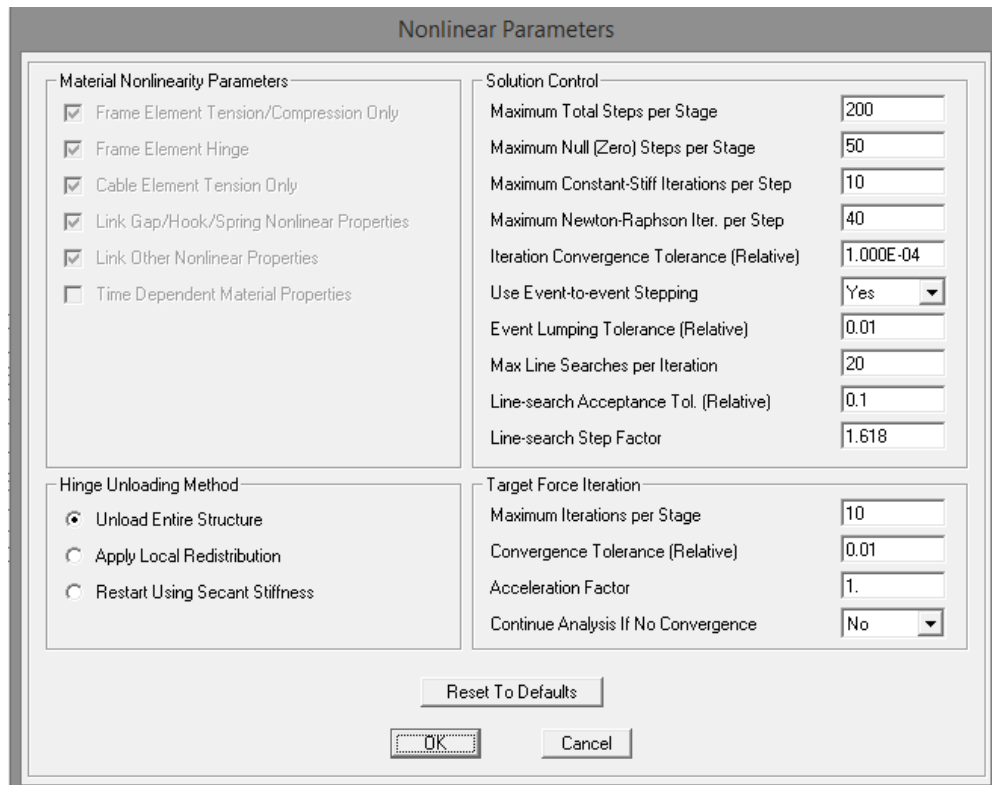
Pembebanan gravitasi dilakukan melalui menu *Define – Load Case*, kemudian pilih opsi *Add New Load Case*. *Load Case Name* beri nama GRAV, untuk *Initial Condition* dipilih *Zero Initial Condition* yaitu pembebanan dilakukan pada saat kondisi awal sebelum menerima beban. Pada opsi *Analysis Type* pilih *Nonlinear* karena akan dilakukan analisis nonlinear. Pada *load applied*, beban yang bekerja yaitu beban gravitasi digunakan 2 macam yaitu beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*). Untuk beban mati pada *scale factor* diberi 1 dan untuk beban hidup diberi 1. Pada kotak dialog *Load Application* dipilih opsi *Full Load*. Parameter *Result Saved* diambil opsi *Final State Only*, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.27. Kemudian pada *Nonlinear Parameters*, klik *Modify/Show*. Nilai parameter pada *Solution Control* diubah seperti yang terlihat pada Gambar 5.28.

The screenshot shows the 'Load Case Data - Nonlinear Static' dialog box. The 'Load Case Name' is 'GRAV'. The 'Load Case Type' is 'Static'. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear'. The 'Geometric Nonlinearity Parameters' are set to 'None'. The 'Loads Applied' table is as follows:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	LIVE	1.

The 'Other Parameters' section shows 'Load Application' set to 'Full Load', 'Results Saved' set to 'Final State Only', and 'Nonlinear Parameters' set to 'User Defined'. The 'Initial Conditions' section has 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State' selected. The 'Modal Load Case' section has 'All Modal Loads Applied Use Modes from Case' set to 'MODAL'.

Gambar 5. 27 Load case data

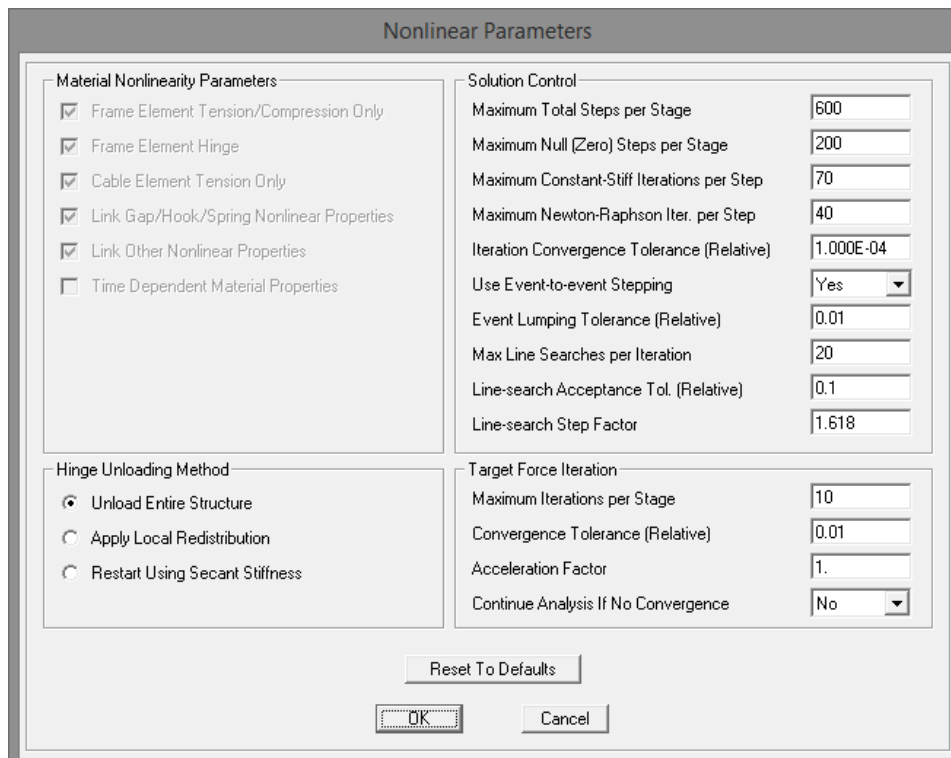


**Gambar 5. 28** *Nonlinear parameters* beban gravitasi

## 2. Pembebanan Lateral

Setelah mendefinisikan beban gravitasi, langkah berikutnya adalah mendefinisikan beban lateral sebagai beban *pushover*. Pada analisis ini dibuat 2 pembebanan arah lateral. Masih pada *Load Case*, buat *Case* baru dengan mengklik *Add New Case*. *Load Case Name* diberi nama PUSH X untuk pembebanan arah X dan PUSH Y untuk pembebanan arah Y. Pada *Analysis Type* dipilih opsi *Nonlinear*. Pada *Initial Condition* dipilih opsi *Continue Form State at End of Nonlinear Case* : GRAV. Kemudian memasukkan beban PUSH X untuk beban pushover dari arah X di dalam *Load Applied* dengan *Scale Factor* = 1. Pada kotak dialog *Load Applied* dipilih opsi *Displacement Control* dan *Use Monitored Displacement* dengan *Monitored Displacement* sebesar 2% dari tinggi bangunan. Lalu *monitored Displacement* dipilih U1 untuk arah x pada join titik pusat atap. Pada parameter *Result Saved* diambil opsi *Multiple States* dengan *Minimum Number of Saved States* = 10 dan *Maximum* = 200. Kemudian pada *Nonlinear Parameters*, klik

*Modify/Show*. Nilai parameter pada *Solution Control* diubah seperti terlihat pada Gambar 5.29.

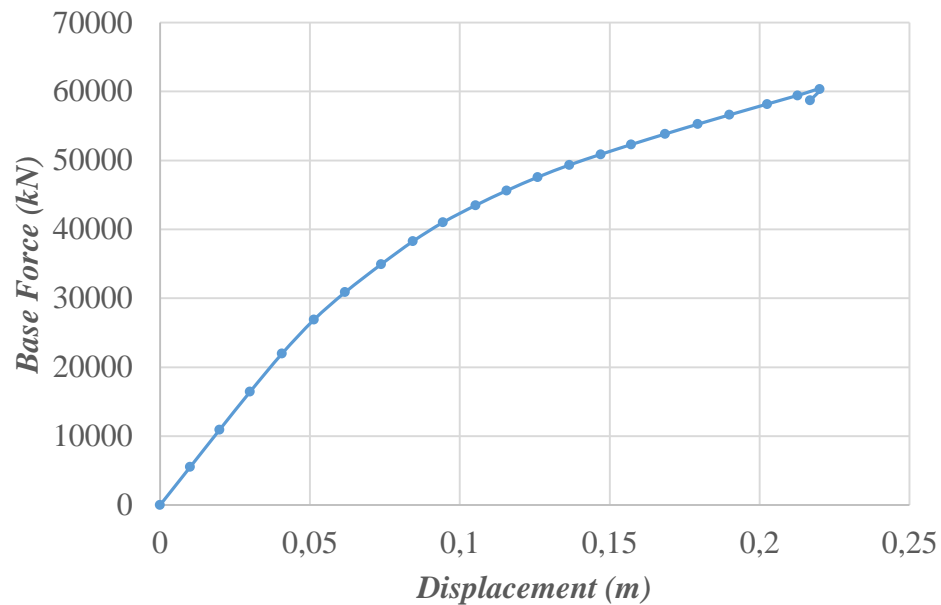


**Gambar 5. 29** *Nonlinear parameters* beban lateral

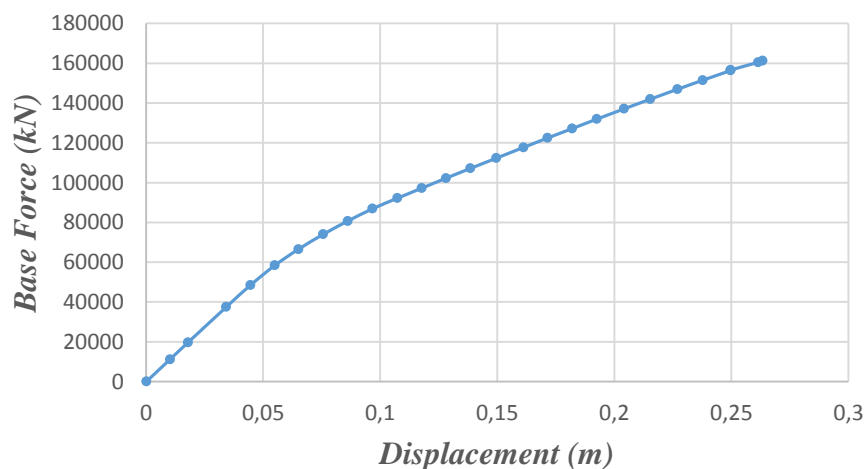
Untuk beban lateral arah y di buat dengan cara yang sama dan di beri nama PUSH Y.

#### 5.4.3. Hasil Analisis Statik Nonlinear (*Pushover*)

Hasil analisis *pushover* adalah kurva kapasitas bangunan. Untuk melihat kurva kapasitas, klik menu *Display – Show Static Pushover Curve*. Kurva kapasitas adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan yang tertangkap (*Monitored Displacement*) dan gaya geser resultan (*Resultan Base Shear*) yang diakibatkan oleh beban statik sampai pada kondisi ultimit bangunan atau *target displacement* yang telah ditentukan. Kurva berbentuk nonlinear akibat peningkatan beban yang mengakibatkan elemen struktur bangunan berubah dari kondisi elastik menjadi kondisi plastis. Bentuk kurva kapasitas hasil analisis *pushover* arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.31.



**Gambar 5.30** Kurva kapasitas arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY



**Gambar 5.31** Kurva kapasitas arah y Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

Hasil analisis *pushover* non-linier arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY menunjukkan nilai *displacement* dan nilai *base reaction* sebesar 0,220037 m dan 60320,78 kN, sedangkan pada arah y nilai *displacement* dan *base reaction* yang dicapai adalah sebesar 0,263347 m dan 161227,1 kN. Nilai perpindahan dan gaya geser dasar dapat diketahui dari data kurva kapasitas yang ditampilkan dalam Tabel 5.8 dan Tabel 5.9.

**Tabel 5. 8** Data kurva kapasitas arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (KN)</b>	<b>AtoB</b>	<b>B to IO</b>	<b>IO to LS</b>	<b>LS to CP</b>	<b>CP to C</b>	<b>C to D</b>	<b>D to E</b>	<b>Beyond E</b>	<b>Total</b>
0	0,00E+00	0	9152	0	0	0	0	0	0	0	9152
1	0,010079	5542,607	9152	0	0	0	0	0	0	0	9152
2	0,019885	10934,61	9150	2	0	0	0	0	0	0	9152
3	0,030024	16435,70	9129	23	0	0	0	0	0	0	9152
4	0,040724	21991,37	9080	72	0	0	0	0	0	0	9152
5	0,051332	26888,97	8886	266	0	0	0	0	0	0	9152
6	0,061779	30888,84	8777	375	0	0	0	0	0	0	9152
7	0,073819	34946,84	8698	454	0	0	0	0	0	0	9152
8	0,084347	38269,40	8595	553	4	0	0	0	0	0	9152
9	0,094449	41029,15	8398	743	11	0	0	0	0	0	9152
10	0,105258	43486,43	8260	876	16	0	0	0	0	0	9152
11	0,11565	45627,23	8171	957	24	0	0	0	0	0	9152
12	0,126049	47588,15	8050	1068	34	0	0	0	0	0	9152
13	0,136571	49346,85	7947	1165	40	0	0	0	0	0	9152
14	0,147041	50886,81	7885	1212	55	0	0	0	0	0	9152
15	0,15723	52315,71	7826	1264	62	0	0	0	0	0	9152
16	0,168466	53834,15	7758	1323	71	0	0	0	0	0	9152
17	0,179345	55257,79	7687	1383	82	0	0	0	0	0	9152
18	0,189943	56607,91	7627	1429	96	0	0	0	0	0	9152
19	0,202543	58183,15	7578	1461	110	3	0	0	0	0	9152
20	0,212684	59431,96	7522	1505	118	7	0	0	0	0	9152
21	0,220037	60320,78	7494	1525	124	8	0	1	0	0	9152
22	0,216898	58722,25	7494	1525	122	9	0	2	0	0	9152

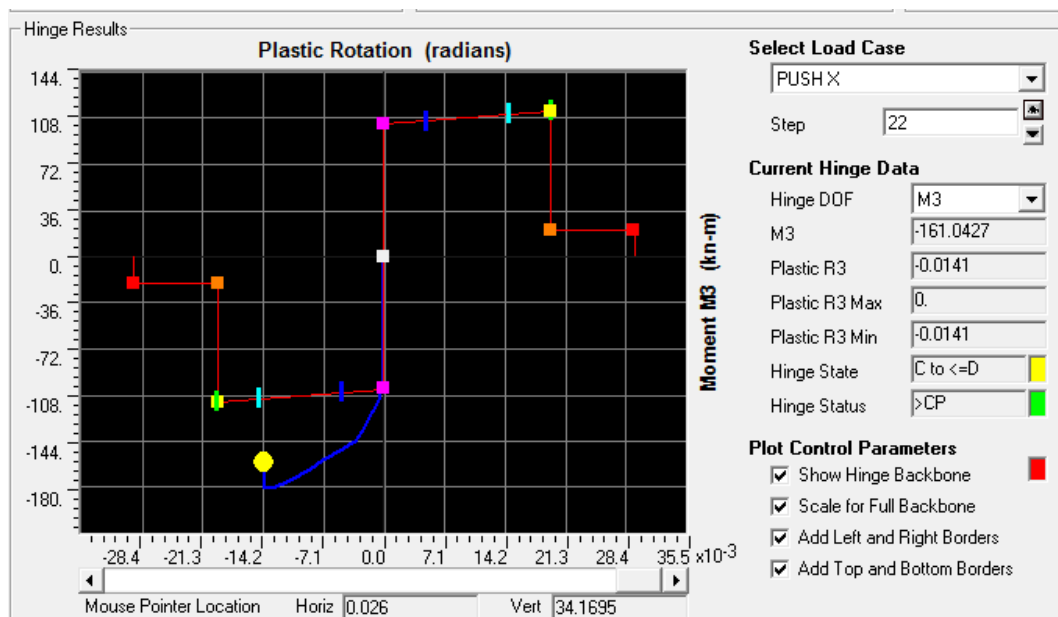
**Tabel 5. 9** Data kurva kapasitas arah y Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

Step	Displacement (m)	Base Force (KN)	A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	C to D	D to E	Beyond E	Total
0	0,000138	0	9152	0	0	0	0	0	0	0	9152
1	0,010218	11149,50	9152	0	0	0	0	0	0	0	9152
2	0,01793	19679,92	9146	6	0	0	0	0	0	0	9152
3	0,034221	37429,79	9138	14	0	0	0	0	0	0	9152
4	0,044552	48413,10	9063	89	0	0	0	0	0	0	9152
5	0,055028	58420,59	8959	193	0	0	0	0	0	0	9152
6	0,065119	66538,95	8853	299	0	0	0	0	0	0	9152
7	0,075635	73970,08	8747	405	0	0	0	0	0	0	9152
8	0,086121	80664,79	8656	496	0	0	0	0	0	0	9152
9	0,096755	86864,54	8508	644	0	0	0	0	0	0	9152
10	0,107403	92185,25	8364	785	3	0	0	0	0	0	9152
11	0,117785	97214,66	8303	841	8	0	0	0	0	0	9152
12	0,128085	102202,5	8254	880	18	0	0	0	0	0	9152
13	0,138578	107156,8	8213	894	45	0	0	0	0	0	9152
14	0,149581	1122850	8143	902	107	0	0	0	0	0	9152
15	0,161239	117687,4	8068	938	146	0	0	0	0	0	9152
16	0,171449	122391,2	7984	986	182	0	0	0	0	0	9152
17	0,182064	127184,9	7904	1029	219	0	0	0	0	0	9152
18	0,192568	131927,7	7845	1044	262	1	0	0	0	0	9152
19	0,204151	137054,2	7769	1074	307	2	0	0	0	0	9152
20	0,215391	141948,2	7717	1082	351	2	0	0	0	0	9152
21	0,227033	146938,9	7647	1136	363	6	0	0	0	0	9152
22	0,237794	151464,3	7586	1181	376	9	0	0	0	0	9152
23	0,24972	156360,8	7522	1213	406	10	0	1	0	0	9152
24	0,249724	156615,5	7514	1216	411	10	0	0	1	0	9152
25	0,261475	160473,2	7451	1252	432	16	0	0	1	0	9152
26	0,263347	161227,1	7444	1256	434	15	0	2	1	0	9152

#### 5.4.4. Pembahasan Hasil Analisis Statik Nonlinear (*Pushover*)

Dari kurva kerapuhan arah x pada Gambar 5.30, terlihat adanya penurunan pada nilai *displacement* maupun nilai gaya geser dasar (*base force*) pada step ke 22. Penurunan ini terjadi karena adanya komponen struktur yang mengalami kehancuran. Kesimpulan ini diambil berdasarkan data kurva kapasitas arah x Gedung *Twin Building* UMY yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 step ke-22.

Setelah dilakukan identifikasi, komponen struktur yang mengalami kehancuran pada step ke-22 adalah kolom tangga lantai 3. Pada hasil *hinge properties* kolom terlihat bahwa kolom tangga lantai 3 Gedung Kuliah *Twin Building* UMY telah mengalami kehancuran pada step ke-22 yang ditandai dengan *Hinge State* yang berstatus C to D. Hasil analisis *hinge properties* kolom tangga lantai 3 ditampilkan pada Gambar 5.32.



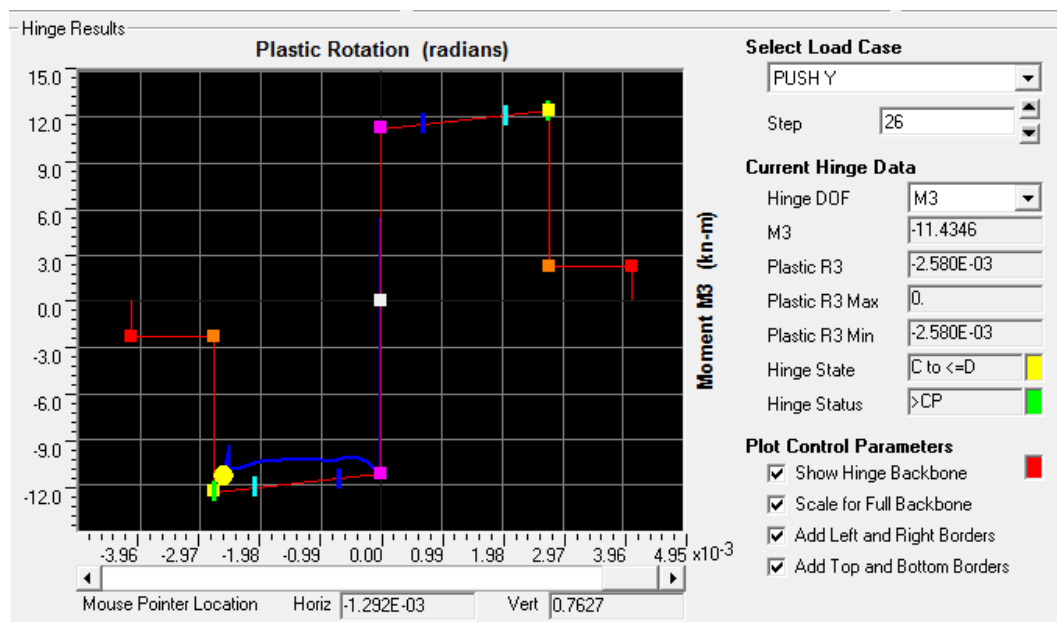
**Gambar 5. 32** Hasil analisis *hinge properties* Kolom tangga lantai 3

Untuk kurva kerapuhan arah y pada Gambar 5.31, terlihat proses analisis terhenti pada step ke 26. Hal ini terjadi karena adanya komponen struktur yang telah mengalami kehancuran. Kesimpulan ini diambil berdasarkan data kurva kapasitas arah y Gedung *Twin Building* UMY yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 step ke-26.

Setelah dilakukan identifikasi, komponen struktur yang mengalami kehancuran pada step ke-26 adalah K7-DASAR-1. Pada hasil *hinge properties*



kolom terlihat bahwa kolom K7-DASAR-1 Gedung Kuliah *Twin Building* UMY telah mengalami kehancuran pada step ke-26 yang ditandai dengan *Hinge State* yang berstatus C to D. Hasil analisis *hinge properties* Kolom K7-DASAR-1 ditampilkan pada Gambar 5.33.



**Gambar 5. 33** Hasil analisis *hinge properties* Kolom K7-DASAR-1

## 5.5. Analisis Kerapuhan Seismik

### 5.5.1. Parameter Kurva Kerapuhan

Kurva kerapuhan seismik merupakan hubungan antara nilai *spectra displacement* sebagai sumbu horizontal dan nilai probabilitas kegagalan struktur sebagai sumbu vertikal. Nilai probabilitas kegagalan struktur dihitung menggunakan Persamaan 3.26. Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menghitung nilai probabilitas kegagalan struktur antara lain adalah *median spectral displacement point* dan standar deviasi masing-masing *damage state*. Penentuan parameter-parameter tersebut akan dijelaskan sebagai berikut ini.

#### 1. *Median spectral displacement point*

Untuk mendapatkan nilai parameter *median spectral displacement*, kurva kapasitas harus dikonversi menjadi spektrum kapasitas terlebih dahulu. Konversi dilakukan dengan cara klik menu *Display – Show Static Pushover Curve*, kemudian

ubah kolom *Plot Type* menjadi *ATC-40 Capacity Spectrum*, kemudian klik menu *File – Display Tables*. Nilai *spectral displacement* pada setiap step dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11.

**Tabel 5. 10** Data spektrum kapasitas arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

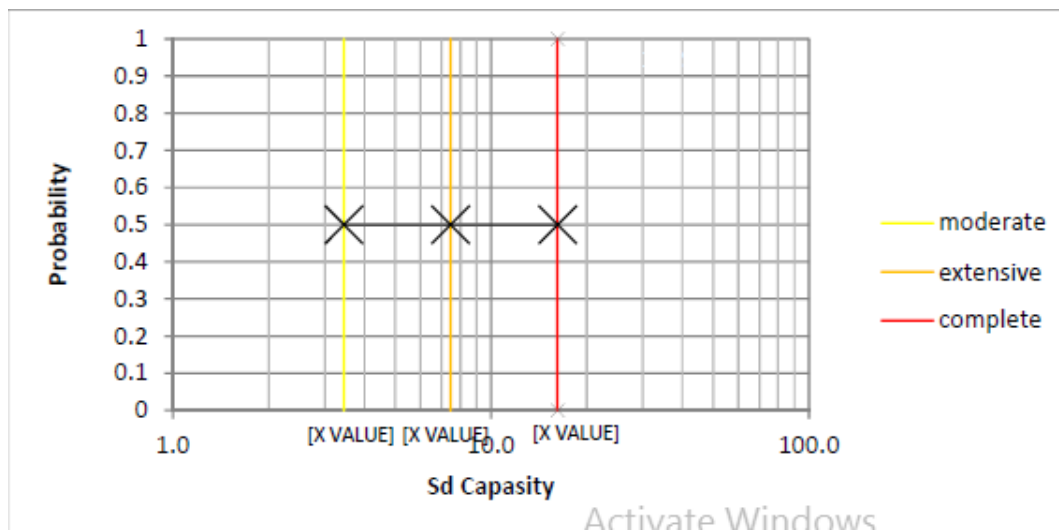
Step	Teff	Beff	Sd Capacity (m)	Sa Capacity	Sd Demand (m)	Sa Demand	Alpha	PFPhi
0	0,6462	0,0500	0,0000	0,0000	0,0642	0,6190	1,0000	1,0000
1	0,6462	0,0500	0,0083	0,0796	0,0642	0,6190	0,5960	1,2204
2	0,6462	0,0500	0,0163	0,1571	0,0642	0,6190	0,5960	1,2204
3	0,6476	0,0512	0,0246	0,2362	0,0640	0,6140	0,5957	1,2201
4	0,6523	0,0552	0,0334	0,3159	0,0632	0,5981	0,5961	1,2200
5	0,6625	0,0641	0,0421	0,3863	0,0618	0,5664	0,5961	1,2188
6	0,6785	0,0774	0,0508	0,4439	0,0601	0,5255	0,5959	1,2173
7	0,6974	0,0905	0,0607	0,5023	0,0591	0,4890	0,5958	1,2165
8	0,7124	0,0986	0,0694	0,5502	0,0589	0,4668	0,5955	1,2158
9	0,7281	0,1074	0,0777	0,5901	0,0586	0,4450	0,5953	1,2153
10	0,7467	0,1183	0,0867	0,6258	0,0583	0,4211	0,5950	1,2146
11	0,7641	0,1275	0,0952	0,6568	0,0583	0,4018	0,5948	1,2142
12	0,7809	0,1356	0,1038	0,6855	0,0584	0,3853	0,5945	1,2139
13	0,7983	0,1439	0,1125	0,7108	0,0585	0,3695	0,5945	1,2138
14	0,8162	0,1527	0,1211	0,7321	0,0586	0,3542	0,5952	1,2137
15	0,8329	0,1599	0,1295	0,7518	0,0589	0,3415	0,5959	1,2138
16	0,8503	0,1667	0,1388	0,7727	0,0592	0,3297	0,5965	1,2139
17	0,8663	0,1721	0,1477	0,7924	0,0596	0,3199	0,5971	1,2141
18	0,8810	0,1765	0,1564	0,8113	0,0601	0,3118	0,5975	1,2142
19	0,8976	0,1807	0,1668	0,8334	0,0607	0,3034	0,5978	1,2144
20	0,9102	0,1834	0,1751	0,8508	0,0612	0,2976	0,5981	1,2146
21	0,9190	0,1851	0,1811	0,8635	0,0616	0,2937	0,5982	1,2147

**Tabel 5. 11** Data spektrum kapasitas arah y Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

Step	Teff	Beff	Sd Capacity (m)	Sa Capacity	Sd Demand (m)	Sa Demand	Alpha	PFPhi
0	0,4593	0,0500	0,0000	0,0000	0,0456	0,8709	1,0000	1,0000
1	0,4593	0,0500	0,0082	0,1563	0,0456	0,8709	0,6109	1,2308
2	0,4593	0,0500	0,0145	0,2758	0,0456	0,8709	0,6109	1,2308
3	0,4608	0,0515	0,0277	0,5249	0,0455	0,8618	0,6106	1,2308
4	0,4623	0,0530	0,0361	0,6795	0,0453	0,8528	0,6101	1,2312
5	0,4673	0,0596	0,0445	0,8200	0,0444	0,8187	0,6100	1,2338
6	0,4764	0,0712	0,0526	0,9331	0,0432	0,7659	0,6106	1,2353
7	0,4874	0,0836	0,0612	1,0365	0,0422	0,7160	0,6111	1,2344
8	0,4981	0,0936	0,0697	1,1313	0,0418	0,6780	0,6106	1,2334
9	0,5082	0,1016	0,0783	1,2205	0,0416	0,6484	0,6094	1,2338
10	0,5184	0,1095	0,0866	1,2976	0,0415	0,6214	0,6083	1,2383
11	0,5286	0,1169	0,0951	1,3697	0,0415	0,5971	0,6077	1,2373
12	0,5379	0,1222	0,1036	1,4418	0,0416	0,5786	0,6070	1,2346
13	0,5465	0,1261	0,1123	1,5133	0,0418	0,5637	0,6063	1,2331
14	0,5547	0,1291	0,1213	1,5873	0,0421	0,5511	0,6057	1,2317
15	0,5627	0,1313	0,1310	1,6659	0,0425	0,5404	0,6049	1,2294
16	0,5693	0,1327	0,1396	1,7342	0,0429	0,5323	0,6043	1,2271
17	0,5755	0,1337	0,1484	1,8037	0,0432	0,5253	0,6038	1,2258
18	0,5814	0,1344	0,1572	1,8720	0,0436	0,5190	0,6034	1,2241
19	0,5874	0,1348	0,1668	1,9463	0,0440	0,5133	0,6029	1,2230
20	0,5927	0,1349	0,1760	2,0171	0,0444	0,5084	0,6026	1,2227
21	0,5980	0,1349	0,1856	2,0897	0,0448	0,5040	0,6021	1,2224
22	0,6026	0,1348	0,1945	2,1561	0,0451	0,5003	0,6015	1,2221
23	0,6074	0,1348	0,2042	2,2276	0,0455	0,4963	0,6010	1,2224
24	0,6088	0,1371	0,2135	2,2889	0,0457	0,4905	0,6008	1,2224
25	0,6128	0,1360	0,2150	2,3000	0,0458	0,4900	0,6003	1,2242
26	0,6111	0,1360	0,2141	2,3085	0,0456	0,4919	0,6014	1,2244

Tahapan identifikasi kurva spektrum kapasitas untuk memperoleh nilai *median spectral displacement point* menurut (Duan&Pappin, 2008) adalah sebagai berikut ini.

- Nilai median *spectral displacement* untuk kondisi kerusakan *slight* terletak pada titik dengan nilai  $S_d$  sebesar 0,0163 m pada arah x dan 0,014455 m pada arah y.
- Nilai median *spectral displacement* untuk kondisi kerusakan *moderate* diperoleh dengan cara mengalikan nilai  $S_d$  kondisi *slight* dengan faktor 1,5 sehingga nilai  $S_d$  kondisi kerusakan *moderate* adalah sebesar 0,02444 m pada arah x dan 0,02168 m pada arah y.
- Nilai median *spectral displacement* untuk kondisi kerusakan *complete* ditunjukkan oleh titik *collapse* dengan nilai  $S_d$  sebesar 0,18115 m pada arah x dan 0,1945 m pada arah y.
- Nilai median *spectral displacement* untuk kondisi kerusakan *extensive* dapat diketahui dengan menarik garis yang menghubungkan nilai median *spectral displacement* antara kondisi kerusakan *moderate* dan *complete* pada skala log seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.34.



**Gambar 5. 34** Letak titik *median spectral displacement* kondisi kerusakan *moderate*, *extensive*, dan *complete* pada skala log

Dengan cara tersebut dapat diperoleh nilai median *spectral displacement* kondisi kerusakan *extensive* adalah sebesar 0,06654 m pada arah x dan 0,064934 m pada arah y.

## **2. Standar deviasi**

Nilai standar deviasi diperoleh dari tabel HAZUS yang diklasifikasikan berdasarkan jumlah lantai, bahan konstruksi dan sistem struktural yang dimiliki. Gedung Kuliah *Twin Building* UMY merupakan struktur portal beton bertulang, sehingga berdasarkan sistem struktur dan bahan bangunannya termasuk pada kategori *Concrete Moment Frame*. Dengan jumlah lantai sebanyak 5 lantai, maka Gedung Kuliah *Twin Building* UMY tergolong dalam bangunan dengan jumlah lantai sedang (*Mid-rise*). Berdasarkan parameter-parameter tersebut HAZUS menggolongkan struktur bangunan Gedung Kuliah *Twin Building* UMY menjadi tipe C1M. Penentuan klasifikasi bangunan struktur dalam HAZUS dapat dilihat pada Tabel 5.12. Setelah diketahui tipe struktur, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai standar deviasi ( $\beta_{ds}$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 5.13.

**Tabel 5. 12** Tipe struktur bangunan dalam HAZUS

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
<b>1</b>	W1	Wood, Light Frame ( $\leq 5,000$ sq.ft.)		1-2	1	14
<b>2</b>	W2	Wood, Commercial and Industrial ( $> 5,000$ sq. ft.)		All	2	24
<b>3</b>	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1-3	2	24
<b>4</b>	S1M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>5</b>	S1H		High-Rise	8+	13	156
<b>6</b>	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1-3	2	24
<b>7</b>	S2M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>8</b>	S2H		High-Rise	8+	13	156
<b>9</b>	S3	Steel Light Frame		All	1	15
<b>10</b>	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1-3	2	24
<b>11</b>	S4M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>12</b>	S4H		High-Rise	8+	13	156
<b>13</b>	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1-3	2	24
<b>14</b>	S5M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>15</b>	S5H		High-Rise	8+	13	156
<b>16</b>	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1-3	2	24
<b>17</b>	C1M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>18</b>	C1H		High-Rise	8+	13	156
<b>19</b>	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1-3	2	24
<b>20</b>	C2M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>21</b>	C2H		High-Rise	8+	13	156
<b>22</b>	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1-3	2	24
<b>23</b>	C3M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>24</b>	C3H		High-Rise	8+	13	156
<b>25</b>	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls		All	1	15
<b>26</b>	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise	1-3	2	24
<b>27</b>	PC2M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>28</b>	PC2H		High-Rise	8+	13	156
<b>29</b>	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	20
<b>30</b>	RM1M		Mid-Rise	4+	5	50
<b>31</b>	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	24
<b>32</b>	RM1M		Mid-Rise	4-7	5	60
<b>33</b>	RM1H		High-Rise	8+	13	156
<b>34</b>	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise	1-2	1	15
<b>35</b>	URMM		Mid-Rise	3+	3	35
<b>36</b>	MH	Mobile Homes		All	1	10

(Sumber : HAZUS-MH 2.1)

**Tabel 5. 13 Building structural fragility (High-code seismic design level)**

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State				Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State				Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0050	0.0150	0.0500	0.1250	0.63	0.66	1.89	0.72	6.30	0.72	15.75	0.91
W2	288	216	0.0050	0.0150	0.0500	0.1250	1.08	0.69	3.24	0.77	10.80	0.89	27.00	0.85
S1L	288	216	0.0075	0.0150	0.0375	0.1000	1.62	0.67	3.24	0.70	8.10	0.71	21.60	0.68
S1M	720	540	0.0050	0.0100	0.0250	0.0667	2.70	0.62	5.40	0.62	13.50	0.63	36.00	0.71
S1H	1872	1123	0.0037	0.0075	0.0188	0.0500	4.21	0.63	8.42	0.62	21.06	0.62	56.16	0.63
S2L	288	216	0.0063	0.0125	0.0375	0.1000	1.35	0.69	2.70	0.80	8.10	0.89	21.60	0.84
S2M	720	540	0.0042	0.0083	0.0250	0.0667	2.25	0.62	4.50	0.66	13.50	0.66	36.00	0.71
S2H	1872	1123	0.0031	0.0063	0.0188	0.0500	3.51	0.62	7.02	0.63	21.06	0.63	56.16	0.66
S3	180	135	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.68	0.66	1.35	0.71	4.05	0.80	11.81	0.90
S4L	288	216	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	1.08	0.77	2.16	0.82	6.48	0.92	18.90	0.91
S4M	720	540	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.80	0.69	3.60	0.67	10.80	0.68	31.50	0.82
S4H	1872	1123	0.0025	0.0050	0.0150	0.0438	2.81	0.62	5.62	0.63	16.85	0.65	49.14	0.73
S5L														
S5M														
S5H														
C1L	240	180	0.0063	0.0125	0.0375	0.1000	1.13	0.69	2.25	0.74	6.75	0.82	18.00	0.81
C1M	600	450	0.0042	0.0083	0.0250	0.0667	1.87	0.63	3.75	0.65	11.25	0.66	30.00	0.71
C1H	1440	864	0.0031	0.0063	0.0188	0.0500	2.70	0.63	5.40	0.63	16.20	0.63	43.20	0.69
C2L	240	180	0.0050	0.0125	0.0375	0.1000	0.90	0.69	2.25	0.72	6.75	0.82	18.00	0.95
C2M	600	450	0.0033	0.0083	0.0250	0.0667	1.50	0.65	3.75	0.69	11.25	0.66	30.00	0.70
C2H	1440	864	0.0025	0.0063	0.0188	0.0500	2.16	0.62	5.40	0.63	16.20	0.64	43.20	0.69
C3L														
C3M														
C3H														
PC1	180	135	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.68	0.63	1.35	0.74	4.05	0.79	11.81	0.96
PC2L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.90	0.76	1.80	0.80	5.40	0.87	15.75	0.97
PC2M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.50	0.66	3.00	0.73	9.00	0.72	26.25	0.73
PC2H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0438	2.16	0.62	4.32	0.64	12.96	0.65	37.80	0.74
RM1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.90	0.70	1.80	0.74	5.40	0.76	15.75	0.98
RM1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.50	0.63	3.00	0.68	9.00	0.70	26.25	0.70
RM2L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.90	0.66	1.80	0.70	5.40	0.76	15.75	0.97
RM2M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0583	1.50	0.63	3.00	0.70	9.00	0.69	26.25	0.68
RM2H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0438	2.16	0.63	4.32	0.63	12.96	0.63	37.80	0.65
URML														
URMM														
MH	120	120	0.0050	0.0100	0.0300	0.0875	0.60	0.81	1.20	0.89	3.60	0.97	10.50	0.86

(Sumber : HAZUS-MH 2.1)

Berdasarkan Tabel 5.13 dapat diketahui nilai standar deviasi untuk setiap kondisi kerusakan pada tipe struktur C1M. Rangkuman nilai standar deviasi dan median *spectral displacement* pada setiap jenis kerusakan dapat dilihat pada tabel 5.14.

**Tabel 5. 14** Nilai  $S_d$  dan  $\beta_{ds}$  untuk berbagai jenis kerusakan pada struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

<i>Damage state</i>	$S_d$ (m)		$\beta_{ds}$	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
<i>Slight</i>	0,016300	0,014455	0,63	0,63
<i>Moderate</i>	0,024440	0,021682	0,65	0,65
<i>Extensive</i>	0,066540	0,064934	0,66	0,66
<i>Complete</i>	0,181150	0,194463	0,71	0,71

### 5.5.2. Hasil Analisis Kerapuhan Seismik

Dengan menggunakan persamaan 3.26, nilai parameter *spectral displacement* ( $S_d$ ) divariasikan secara acak hingga diperoleh nilai-nilai P yang mewakili probabilitas 0 sampai 1 dan mampu menghasilkan bentuk kurva yang baik. Hasil perhitungan nilai P pada berbagai kategori *damage state* dapat dilihat pada Tabel 5.15.



**Tabel 5. 15** Hasil perhitungan propabilitas kerusakan struktur untuk berbagai kategori *damage state* pada struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

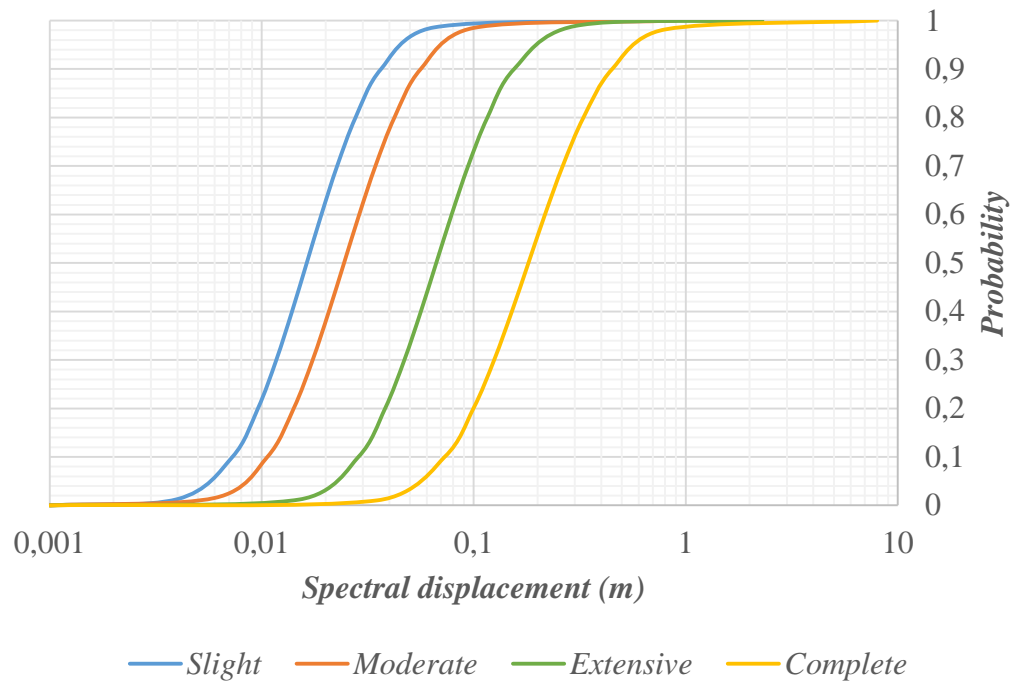
<i>Damage state</i>	<b>Sd (m)</b>		<b>P</b>	
	<b>arah x</b>	<b>arah y</b>	<b>arah x</b>	<b>arah y</b>
<i>Slight</i>	0,0010	0,0010	0,0000	0,0000
	0,0040	0,0040	0,0129	0,0207
	0,0073	0,0064	0,1001	0,1000
	0,0096	0,0085	0,2000	0,2001
	0,0117	0,0104	0,3001	0,3001
	0,0139	0,0123	0,4000	0,4000
	0,0163	0,0145	0,5000	0,5000
	0,0191	0,0170	0,6000	0,6000
	0,0227	0,0201	0,7000	0,7000
	0,0277	0,0246	0,8001	0,8000
	0,0365	0,0324	0,9000	0,9001
	0,0650	0,0600	0,9860	0,9881
	0,8000	0,7000	1,0000	1,0000
	<i>Moderate</i>	0,0010	0,0010	0,0000
0,0060		0,0050	0,0154	0,0120
0,0106		0,0094	0,1001	0,1000
0,0141		0,0125	0,2001	0,2000
0,0174		0,0154	0,3000	0,3000
0,0207		0,0184	0,4000	0,4001
0,0244		0,0217	0,5000	0,5000
0,0288		0,0256	0,6000	0,6000
0,0344		0,0305	0,7000	0,7000
0,0423		0,0375	0,8001	0,8000
0,0562		0,0499	0,9001	0,9001
0,1000		0,0900	0,9849	0,9857
0,9000		0,6000	1,0000	1,0000

Lanjutan **Tabel 5.15** Hasil perhitungan propabilitas kerusakan struktur untuk berbagai kategori *damage state* pada struktur Gedung Kuliah *Twin Building*

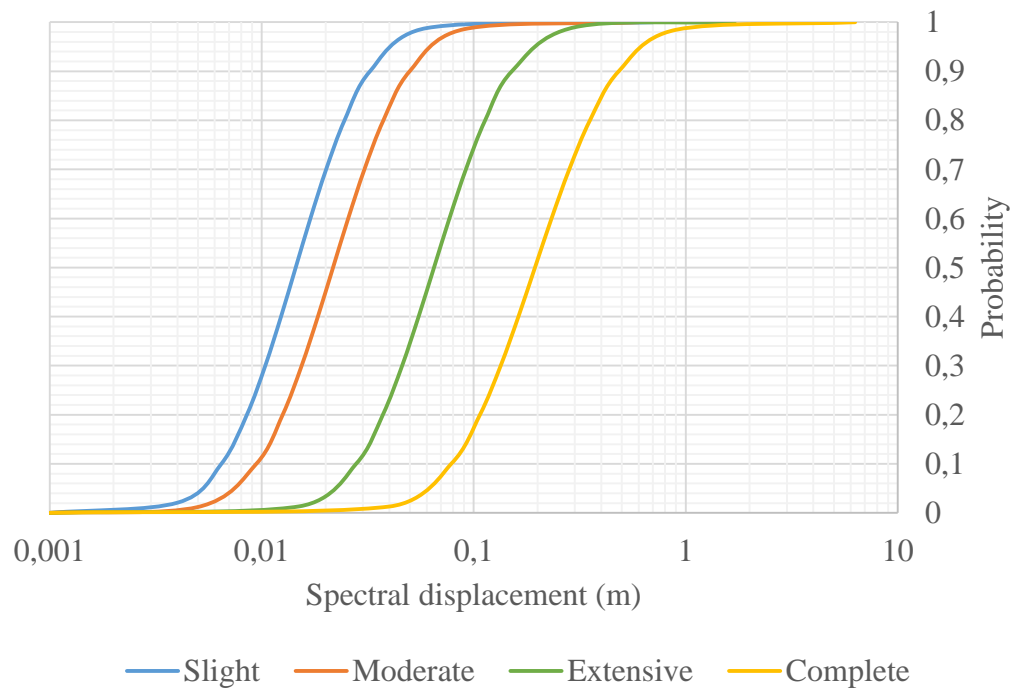
UMY.

<i>Damage state</i>	<b>Sd (m)</b>		<b>P</b>	
	<b>arah x</b>	<b>arah y</b>	<b>arah x</b>	<b>arah y</b>
<i>Extensive</i>	0,0010	0,0010	0,0000	0,0000
	0,0150	0,0150	0,0120	0,0132
	0,0286	0,0279	0,1001	0,1001
	0,0382	0,0373	0,2001	0,2000
	0,0471	0,0459	0,3001	0,3000
	0,0563	0,0549	0,4001	0,4000
	0,0665	0,0649	0,5000	0,5000
	0,0787	0,0768	0,6001	0,6001
	0,0941	0,0918	0,7000	0,7001
	0,1160	0,1132	0,8001	0,8001
	0,1551	0,1513	0,9000	0,9000
	0,3000	0,3000	0,9887	0,9898
	2,3000	1,7000	1,0000	1,0000
	<i>Complete</i>	0,0010	0,0010	0,0000
0,0350		0,0400	0,0103	0,0130
0,0730		0,0783	0,1003	0,1000
0,0997		0,1070	0,2001	0,2001
0,1249		0,1340	0,3001	0,3001
0,1513		0,1625	0,4001	0,4000
0,1811		0,1945	0,5000	0,5000
0,2169		0,2328	0,6001	0,6000
0,2629		0,2822	0,7001	0,7000
0,3293		0,3535	0,8000	0,8000
0,4500		0,4832	0,9000	0,9001
0,8000		0,9000	0,9818	0,9845
8,0000		6,3000	1,0000	1,0000

Hasil perhitungan probabilitas pada berbagai *damage state* diplotkan ke dalam skala log sampai didapat kurva kerapuhan pada arah x dan arah y. Kurva kerapuhan Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36.



**Gambar 5. 35** Kurva kerapuhan arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY



**Gambar 5. 36** Kurva kerapuhan arah y Gedung Kuliah *Twin Building* UMY

### 5.5.3. Pembahasan Hasil Analisis Kerapuhan Seismik

Pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 dapat dilihat bahwa bentuk kurva kerapuhan hasil analisis kerapuhan seismik Gedung Kuliah *Twin Building* UMY telah sesuai dengan bentuk kurva yang telah dicontohkan dalam HAZUS. Rentang nilai *spectral displacement* ( $S_d$ ) pada kurva kerapuhan seismik arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dimulai dari  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,8$  m untuk kondisi *slight*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,9$  m untuk kondisi *moderate*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 2,3$  m untuk kondisi *extensive*, dan  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 8$  m untuk kondisi *complete*. Sedangkan untuk arah y dimulai dari  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,7$  m untuk kondisi *slight*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,6$  m untuk kondisi *moderate*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 1,7$  m untuk kondisi *extensive*, dan  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 6,3$  m untuk kondisi *complete*.

Dengan mengacu pada kurva kerapuhan yang sudah dibentuk, dapat dilakukan perhitungan nilai probabilitas kegagalan struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY. Berdasarkan peta zonasi gempa SNI 1726-2012, kemungkinan terjadi percepatan tanah maksimum untuk daerah Yogyakarta adalah sebesar 0,7523 g. Berdasarkan data spektrum kapasitas yang diinterpolasi, didapatkan nilai  $S_d$  untuk arah x dan arah y masing-masing sebesar 0,12976 m dan 0,040435. Nilai  $S_d$  yang sudah didapatkan kemudian diplot pada kurva kerapuhan hingga didapatkan nilai probabilitas pada berbagai kondisi kerusakan. Hasil perhitungan probabilitas pada berbagai kondisi kerusakan Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5. 16** Nilai probabilitas pada berbagai kondisi kerusakan Gedung Kuliah *Twin Building* UMY berdasarkan percepatan tanah maksimum daerah Yogyakarta

<i>Damage state</i>	<b>Arah</b>		<b>Arah (%)</b>	
	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>y</b>
<i>Slight</i>	0,99950	0,94874	99,9505	94,8743
<i>Moderate</i>	0,99489	0,83116	99,4889	83,1158
<i>Extensive</i>	0,84421	0,23647	84,4207	23,6472
<i>Complete</i>	0,31921	0,01348	31,9208	1,34819

Hasil perhitungan nilai probabilitas kerusakan struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY akibat gempa maksimum daerah Yogyakarta ( $S_a = 0,7523$  g) arah x kondisi *slight* adalah sebesar 99,9 %, pada kondisi *moderate* sebesar 99,4 %, pada kondisi *extensive* sebesar 84,42 %, dan pada kondisi *complete* sebesar 31,92 %. Sedangkan untuk arah y kondisi *slight* adalah sebesar 94,87 %, pada kondisi *moderate* sebesar 83,12 %, pada kondisi *extensive* sebesar 23,64 %, dan pada kondisi *complete* sebesar 1,35 %. Apabila terjadi gempa maksimum daerah Yogyakarta ( $S_a = 0,7523$  g), maka kondisi kerusakan yang dapat menjadi acuan dalam menanggulangi risiko akibat bencana adalah kondisi *extensive* untuk arah x, dan kondisi *moderate* untuk arah y. Acuan tersebut diambil berdasarkan tingkat kerusakan yang lebih parah dan melebihi persentase 50%.