

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisis Statik Ekivalen

Analisis statik ekivalen adalah salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekivalen. Analisis statik ekivalen ini menggunakan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2012).

##### 1. Pembebanan

Beban-beban yang diperhitungkan untuk analisis statik ekivalen meliputi berat sendiri struktur, beban mati, dan beban hidup.

##### a. Berat Sendiri Struktur Tiap Lantai

Berat sendiri struktur tiap lantai yaitu sebagai berikut:

Tabel 5.1 Beban struktur terhadap beban sendiri tiap lantai

Lantai	Tipe Elemen	Material	Berat Elemen	Panjang Elemen	Total Berat	TOTAL
			kN/m	m	kN	kN
1	Balok	Profil WF 400.400.8.13 mm	0,660	7,180	4,738800	8,974850
	Kolom	Profil WF 250.250.8.13 mm	0,665	3,185	2,118025	

##### b. *Dead Load* (DL)

*Dead Load*/beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung/bangunan yang bersifat tetapselama masa layan struktur termasuk unsure-unsur tambahan, *finishing*, mesin-mesin serta bagian tak terpisahkan dari gedung/bangunan serta berat struktur, pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai, dan plafon (Setiawan, 2008).

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung Tahun 1983, beban mati yang merupakan berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Beban mati tambahan yang terjadi pada elemen plat lantai yaitu sebagai berikut:

1) Lantai 1

Berat beton bertulang	= 24 kN/m <sup>3</sup>
Panjang kolom per as	= 7,59 m
Jarak antar balok terdekat	= 2,9 m
Tebal plat lantai	= 0,12 m

TOTAL

Berat beton bertulang x (panjang kolom x jarak antar balok x tebal plat lantai) = 24 kN/m<sup>3</sup> x (7,59 m x 2,9 m x 0,12 m) = 63,39168 kN

Beban mati struktur tiap lantai antara lain:

Tabel 5.2 Beban mati tiap lantai

Lantai	Beban Mati (kN)		TOTAL (kN)
	Beban Mati Tambahan	Berat Stuktur	
1	63,39168	8,97485	72,36653

a. *Live Load* (LL)

*Live Load*/beban hidup adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu gedung termasuk beban pengguna dan penghuni bangunan/gedung (Setiawan, 2008). Beberapa contoh beban hidup menurut kegunaan suatu bangunan seperti Tabel 3.3.

Beban hidup yang terjadi pada plat lantai antara lain:

1) Lantai 1

Beban hidup gedung parkir = 8 kN/m<sup>2</sup>

$$\text{Panjang kolom per as} = 7,59 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar balok terdekat} = 2,9 \text{ m}$$

### TOTAL

Berat plat lantai x panjang kolom x jarak antar balok

$$8 \text{ kN/m}^2 \times 7,59 \times 2,9 \text{ m} = 176,088 \text{ kN}$$

#### b. Beban Total Struktur

Beban akumulasi yang terjadi pada struktur pengaruh beban sendiri struktur, *Dead Load*, *Live Load* yaitu sebagai berikut:

Tabel 5.3 Beban total struktur

Lantai	Pembebanan (kN)		TOTAL (Ton)
	Beban Mati (DL)	Beban Hidup (LL)	[1,2 DL + 1,6 LL]
1	72,3665300	176,0880000	36,8580636

## 2. Klasifikasi Material

### a. Modulus Elastik Baja

$$E = 200000 \text{ kg/cm}^2$$

### b. Modulus Inersia

#### 1) Kolom Lantai 1

$$I_x = 9930 \text{ cm}^4$$

#### 2) Balok Lantai 1

$$I_x = 23700 \text{ cm}^4$$

## 3. Kekakuan Elemen

### a. Kolom Lantai 1

$$k = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3} = \frac{12 \cdot 200000 \cdot 9930}{(318,5)^3} = 737,6191447 \text{ kg/cm}$$

## b. Balok Lantai 1

$$k = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3} = \frac{12 \cdot 200000 \cdot 23700}{(718)^3} = 153,6689964 \text{ kg/cm}$$

## c. Kekakuan Lantai 1

$$k = (\text{kekakuan kolom lt.1} \times 2) + (\text{kekakuan balok lt.1})$$

$$= (737,6191447 \times 2) + (153,6689964) = 1628,907286 \text{ kg/cm}$$

## 4. Klasifikasi Bangunan

## a. Bangunan ini digunakan sebagai bangunan parkir

Berdasarkan Tabel 3.4, bangunan yang berfungsi sebagai parkir termasuk kategori resiko 1 karena termasuk ke dalam kategori gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran dengan nilai keutamaan bangunan,  $I_e = 1$  dari Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2012)

## b. Bangunan parkir ini termasuk sistem rangka baja dengan bresing konsentris khusus

Berdasarkan Tabel 9 dalam SNI 1726:2012, kategori bangunan yang termasuk sistem rangka baja dengan bresing konsentris khusus mempunyai nilai faktor reduksi beban,  $R = 6$ .

## 5. Periode Fundamental Struktur Pendekatan

Berdasarkan Tabel 5.5, tipe struktur sistem rangka baja dengan bresing konsentris khusus tidak terdapat pada tabel sehingga digunakan tipe struktur semua sistem stuktur lainnya.

$$C_t = 0,0488$$

$$x = 0,75$$

$$T_a = C_t * h^x = 0,0488 * (5,685)^{0,75} = 0,1796667342 \text{ detik}$$

Tabel 5.5 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,90
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2012)

## 6. Klasifikasi Situs

### a. Data Gempa

Beban gempa harus menyesuaikan dengan jenis tanah dimana bangunan tersebut didirikan. Pada lokasi penelitian diasumsikan klasifikasi tanah sedang (SD). Dengan data yang disediakan pada laman <http://puskim.pu.go.id/> seperti pada Gambar 5.1 sebagai berikut:

Lokasi : Jl. Jlagran Lor No. 17, Bumijo, Gedong Tengen,

Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55272

Koordinat : -7,7894176; 110,3593851

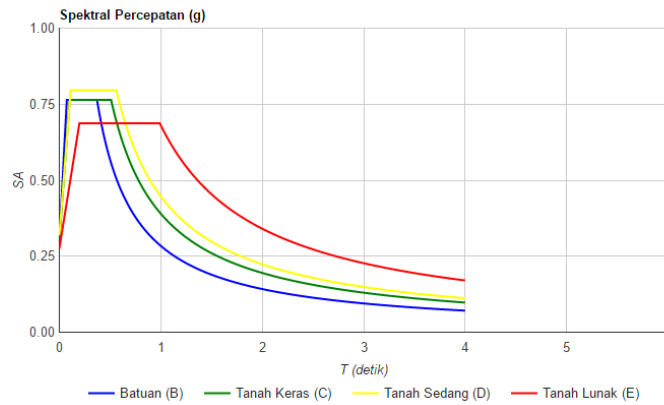
Nilai  $S_1$  = 0,425

Nilai  $S_s$  = 1,145

Nilai  $F_a$  diperoleh dari interpolasi nilai  $S_s$  dari Tabel 5.6 dan nilai  $F_v$  diperoleh dari interpolasi nilai  $S_1$  dari Tabel 5.7.

$$\text{Nilai } F_a = 1,1 - \left( \frac{1}{1,25} \cdot (1,1 - 1) \right) = 1,02$$

$$\text{Nilai } F_v = 1,6 - \left( \frac{0,4}{0,5} \cdot (1,6 - 1,5) \right) = 1,52$$



Gambar 5.1 Desain spektrum gempa  
(Sumber: Badan Penelitian Dan Pengembangan, 2011)

Tabel 5.6 Koefisien situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \leq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

(Sumber: SNI 1726:2012)

Tabel 5.7 Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5

Tabel 5.7 Koefisien Situs,  $F_v$  (Lanjutan)

SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

(Sumber: SNI 1726:2012)

## b. Parameter Spektrum Respon

$$S_{MS} = S_s \times F_a = 1,145 \times 1,02 = 1,1679$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v = 0,425 \times 1,52 = 0,646$$

$$S_{DS} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{MS} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 1,1679 = 0,7786$$

$$S_{D1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{M1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 0,646 = 0,4306666667$$

## 7. Gaya Lateral Ekuivalen

## a. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

$$C_S = S_{DS} / \left(\frac{R}{I_e}\right) = 0,7786 / \left(\frac{6}{1}\right) = 0,12976666667$$

$$C_{S \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,7786 \times 1 = 0,0342584$$

$$C_{S \max} = \frac{S_{D1}}{T_a \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,4306666667}{0,1796667342 \cdot \left(\frac{6}{1}\right)} = 0,3995051065$$

Karena  $C_{S \min} < C_S < C_{S \max}$  maka digunakan nilai  $C_S = 0,12976666667$

## b. Gaya Dasar Seismik

$$V = C_S \times W_{\text{total}}$$

$$= 0,12976666667 \times 36,8580636$$

$$= 4,782948053 \text{ ton} = 47829,48053 \text{ N}$$

c. Distribusi Vertikal Gaya Gempa ( $F_i$ )

Nilai k untuk  $T = 0,1796667342$  adalah 1 karena nilai  $T \leq 0,5$ , maka dapat dihitung gaya gempa lateral ( $F_i$ ) dengan rumus sesuai persamaan 3.13 dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Distribusi gaya gempa lateral ( $F_i$ )

Lantai	V (ton)	$w_i$ (ton)	$h_i$ (m)	$w_i \cdot h_i^k$	$F_i$ (ton)
1	4,782948053	36,858063600	3,185000000	117,392932600	4,782948053

### 8. Kontrol Periode Fundamental Struktur (T) Menurut *Rayleigh*

Nilai  $Y_i$  didapatkan dari rumus  $V_i/k_i$  dan untuk menghitung periode fundamental struktur dengan rumus sesuai persamaan 3.14 dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Periode fundamental struktur (T)

Lantai	1
$F_i$ (ton)	4,782948053
$W_i$ (ton)	36,858063600
$V_i$ (ton)	4,782948053
$k_i$ (ton/cm)	1,628907286
$Y_i$ (cm)	2,936292381
$d_i$ (cm)	2,936292381
$W_i \cdot d_i^2$ (ton.cm <sup>2</sup> )	317,783329900
$F_i \cdot d_i$ (ton.cm)	14,044133930

$$T = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{\sum w_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum F_i \cdot d_i}} = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{317,7833299}{981 \cdot 14,04413393}} = 0,9568065074 \text{ detik}$$

### 9. Kontrol Batasan Periode Fundamental Struktur

$$S_{D1} = 0,4306666667$$

Karena nilai  $S_{D1} \geq 0,4$ , maka nilai  $C_u = 1,4$  didapat dari Tabel 14 SNI 1726:2012.

$$T_a = 0,1796667342 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} T_a \cdot C_u &= 0,1796667342 \times 1,4 \\ &= 0,2515334279 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$T_a \text{ Rayleigh} = 0,9568065074 \text{ detik}$$

Menurut FEMA 451 terdapat 4 ketentuan batasan nilai periode yaitu:

- $T_a > T_a \cdot C_u$  maka digunakan  $T_a \cdot C_u$
- $T_a < T_{\text{Rayleigh}} < T_a \cdot C_u$  maka gunakan  $T_{\text{Rayleigh}}$
- $T_{\text{Rayleigh}} < T_a$  maka digunakan  $T_a$



-  $T_{Rayleigh} > T_a \cdot C_u$  maka digunakan  $T_{Rayleigh}$

Berdasarkan ketentuan diatas,  $T_a \cdot C_u > T_{Rayleigh}$ , maka nilai T diambil dari  $T_{Rayleigh}$  yaitu sebesar 0,9568065074 detik.

Tabel 5.10 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,40$	1,4
0,30	1,4
0,20	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,10$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2012)

## B. Konvergensi Elemen

Sebelum dilakukan analisis konvergensi, terlebih dahulu menentukan jumlah *meshing* yang akan digunakan untuk setiap benda uji. Semakin kecil ukuran *meshing* yang digunakan maka semakin kecil tingkat akurasi dan semakin banyak pula jumlah elemen yang didapatkan.

Analisis konvergensi dilakukan pada ketiga benda uji yaitu pada *bracing* v terbalik, x, dan k. Dalam analisis konvergensi ini digunakan beban yang tetap (diasumsikan dengan beban 1000 N) untuk dibandingkan dengan hasil *displacementnya*.

### 1. *Bracing* Tipe V Terbalik

Pada *bracing* tipe v terbalik ini dilakukan konvergensi dengan 5 kali proses *running* dengan *software* Abaqus 6.11 dengan jumlah elemen yang berbeda-beda.

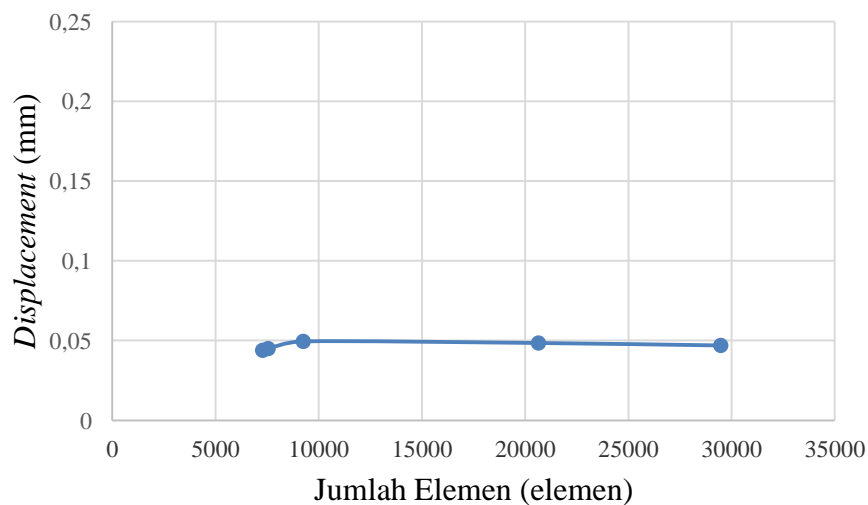
Tabel 5.11 Hasil analisis konvergensi *bracing* tipe v terbalik

No.	Jumlah Elemen	<i>Displacement</i>	Persentase Perbandingan
1.	29468	0,046974	0

Tabel 5.11 Hasil analisis konvergensi *bracing* tipe v terbalik (Lanjutan)

2.	20638	0,048490	3,226678588
3.	9244	0,049503	2,089309688
4.	7542	0,044988	9,120494194
5.	7278	0,043919	2,375749924

Pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.2 dapat dijelaskan bahwa semua jumlah elemen yang digunakan untuk konvergensi pada *bracing* tipe v terbalik telah memenuhi syarat batas *displacement* yang telah ditetapkan yaitu tidak lebih dari 5%. Oleh karena itu, salah satu dari jumlah elemen tersebut dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Jumlah elemen yang digunakan yaitu 7278 elemen dengan *displacement* sebesar 0,043919 mm.

Gambar 5.2 Hubungan jumlah elemen dan *displacement* pada *bracing* tipe v terbalik

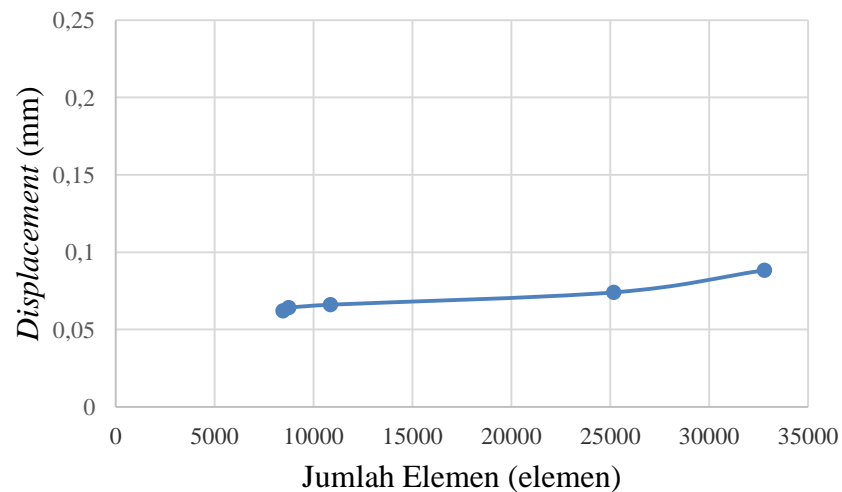
## 2. *Bracing* Tipe X

Pada *bracing* tipe x ini dilakukan konvergensi dengan 5 kali proses *running* dengan *software* Abaqus 6.11 dengan jumlah elemen yang berbeda-beda.

Tabel 5.12 Hasil analisis konvergensi *bracing* tipe x

No.	Jumlah Elemen	<i>Displacement</i>	Persentase Perbandingan
1.	32800	0,088308	0
2.	25180	0,074021	16,179055130
3.	10858	0,066072	10,738767320
4.	8750	0,064167	2,883231399
5.	8460	0,062069	3,268985315

Pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.3 dapat dijelaskan bahwa semua jumlah elemen yang digunakan untuk konvergensi pada *bracing* tipe x telah memenuhi syarat batas *displacement* yang telah ditetapkan yaitu tidak lebih dari 5%. Oleh karena itu, salah satu dari jumlah elemen tersebut dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Jumlah elemen yang digunakan yaitu 8460 elemen dengan *displacement* sebesar 0,062069 mm.

Gambar 5.3 Hubungan jumlah elemen dan *displacement* pada *bracing* tipe x

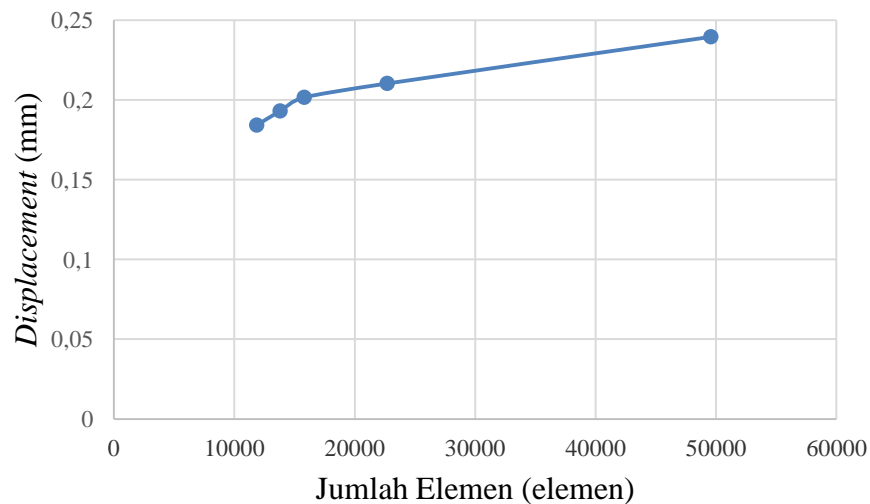
### 3. *Bracing* Tipe K

Pada *bracing* tipe k ini dilakukan konvergensi dengan 5 kali proses *running* dengan *software* Abaqus 6.11 dengan jumlah elemen yang berbeda-beda.

Tabel 5.13 Hasil analisis konvergensi *bracing* tipe k

No.	Jumlah Elemen	<i>Displacement</i>	Persentase Perbandingan
1.	49564	0,239544	0
2.	22682	0,210309	12,204438430
3.	15794	0,201608	4,137245672
4.	13792	0,193046	4,246855284
5.	11850	0,184187	4,589061674

Pada Tabel 5.13 dan Gambar 5.4 dapat dijelaskan bahwa semua jumlah elemen yang digunakan untuk konvergensi pada *bracing* tipe k telah memenuhi syarat batas *displacement* yang telah ditetapkan yaitu tidak lebih dari 5%. Oleh karena itu, salah satu dari jumlah elemen tersebut dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Jumlah elemen yang digunakan yaitu 15794 elemen dengan *displacement* sebesar 0,201608 mm.

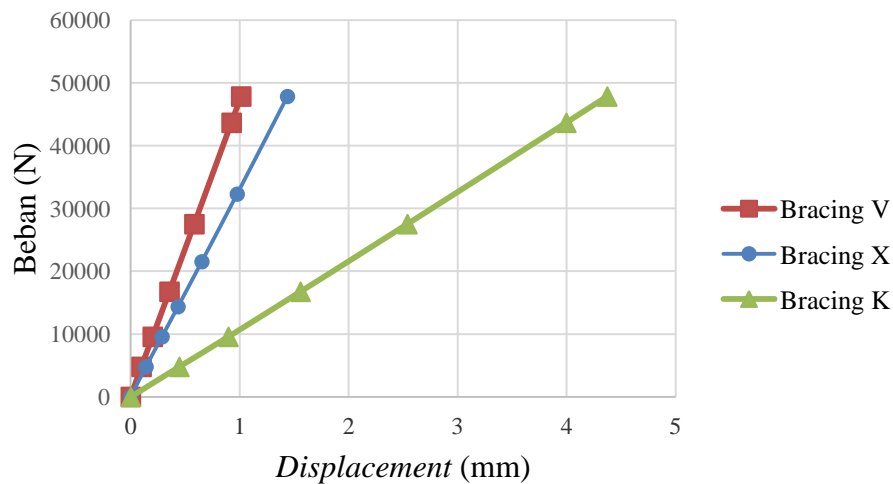
Gambar 5.4 Hubungan jumlah elemen dan *displacement* pada *bracing* tipe k

Dari ketiga konvergensi diatas, dapat diketahui bahwa grafik mengalami fluktuatif naik dan turun karena dalam melakukan konvergensi kurang banyaknya jumlah elemen yang digunakan untuk proses *running*. Untuk membuat

konvergensi dengan grafik yang bagus diperlukan beberapa puluh kali jumlah elemen yang digunakan untuk proses *running*. Pada penelitian ini belum bisa melakukan konvergensi secara halus dikarenakan keterbatasan waktu dan juga spesifikasi laptop yang digunakan kurang mendukung untuk melakukan proses *running*.

### C. Hubungan Beban dan *Displacement*

Hasil hubungan beban dan *displacement* yang telah dilakukan dari struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik, x, dan k dengan beban yang sama yaitu sebesar 47829,48053 N didapatkan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik mengalami *displacement* maksimum sebesar 1,01298 mm, *bracing* tipe x mengalami *displacement* maksimum sebesar 1,43769 mm, dan *bracing* tipe k mengalami *displacement* maksimum sebesar 4,3731 mm. Hasil beban dan *displacement* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hubungan beban dan *displacement*

Pada gambar tersebut dijelaskan bahwa *displacement* terbesar terjadi pada struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe k dengan *displacement* maksimum sebesar 4,3731 mm. Berdasarkan hasil dari Gambar 5.5, struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik adalah model yang paling baik

untuk menahan beban karena memiliki *displacement* yang terkecil dibandingkan menggunakan *bracing* x dan k.

#### D. Kekakuan

Hasil kekakuan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik mempunyai nilai kekuatan yang paling baik dibandingkan menggunakan *bracing* tipe x dan k karena memiliki nilai kekakuan paling besar dibandingkan dengan menggunakan *bracing* tipe x dan k. Semakin besar kekakuannya maka semakin kuat struktur portal tersebut untuk menahan beban lateral karena *displacement*nya semakin kecil. Hasil kekakuan dari ketiga *bracing* tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.14, Tabel 5.15, dan Tabel 5.16.

Tabel 5.14 Hasil kekakuan *bracing* tipe v terbalik (7278 elemen)

No.	Beban (P) (N)	<i>Displacement</i> ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan (P/ $\Delta$ ) (N/mm)
1.	0	0	-
2.	4782,94	0,0983263	48643,54705
3.	9565,88	0,2013175	47516,38581
4.	16740,28	0,3547905	47183,56326
5.	27502	0,5834200	47139,28216
6.	43644,40	0,9247430	47196,24804
7.	47829,40	1,0129800	47216,52945

Tabel 5.15 Hasil kekakuan *bracing* tipe x (8460 elemen)

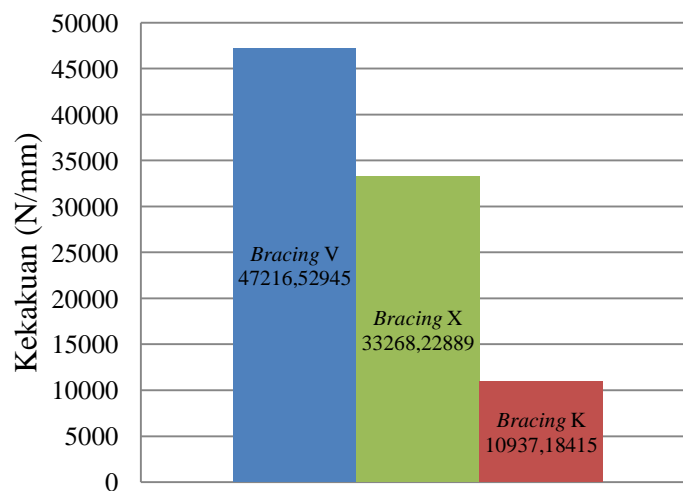
No.	Beban (P) (N)	<i>Displacement</i> ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan (P/ $\Delta$ ) (N/mm)
1.	0	0	-
2.	4782,94	0,1402855	34094,32906
3.	9565,88	0,2870690	33322,58098
4.	14348,82	0,4336405	33089,20638
5.	21523,20	0,6524055	32990,52506

Tabel 5.15 Hasil kekakuan *bracing* tipe x (8460 elemen) (Lanjutan)

6.	32284,80	0,9766065	33058,14573
7.	47829,40	1,4376900	33268,22889

Tabel 5.16 Hasil kekakuan *bracing* tipe k (15794 elemen)

No.	Beban (P) (N)	Displacement ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan (P/ $\Delta$ ) (N/mm)
1.	0	0	-
2.	4782,94	0,445851	10727,66462
3.	9565,88	0,896199	10673,83472
4.	16740,28	1,557860	10745,68960
5.	27502	2,538675	10833,21024
6.	43644,40	3,996885	10919,60364
7.	47829,40	4,373100	10937,18415

Gambar 5.6 Nilai kekakuan untuk *bracing* tipe v terbalik, x, dan k

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat dijelaskan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik memiliki nilai kekakuan yaitu 47216,52945 N/mm, *bracing* tipe x memiliki nilai kekakuan sebesar 33268,22889 N/mm, dan *bracing* tipe k memiliki nilai kekakuan sebesar 10937,18415 N/mm. Dari ketiga *bracing* tersebut mempunyai perbedaan nilai kekakuan yang signifikan

dikarenakan setiap struktur portal baja tersebut mempunyai bentuk *bracing* yang berbeda-beda sehingga kekuatannya pun berbeda-beda juga.

### E. *Hysteretic Energy (HE)*

*Hysteretic energy* merupakan luasan total dari besarnya energi yang terjadi pada setiap siklusnya dimana besarnya *energy* serapan pada setiap siklus menunjukkan kemampuan struktur untuk menyerap dan meredam beban luar yang diberikan dari beban awal sampai beban puncak yang telah ditentukan. Dalam analisis *hysteretic energy* ini menggunakan hitungan integral numerik yaitu dengan metode trapeziodal banyak pias. Berikut ini adalah hasil dari perhitungan *hysteretic energy* pada struktur portal baja yang menggunakan *bracing* v terbalik, x, dan k:

#### 1. *Bracing* Tipe V Terbalik

Tabel 5.17 Nilai *hysteretic energy* *bracing* tipe v terbalik (7278 elemen)

No.	Beban (P) (N)	Displacement ( $\Delta$ ) (mm)	<i>Hysteretic Energy (HE)</i>	
			<i>Per Step</i> (N.mm)	Total (N.mm)
1.	0	0	0	24227,87
2.	4782,94	0,0983263	235,1443967	
3.	9565,88	0,2013175	738,9010952	
4.	16740,28	0,3547905	2018,6426470	
5.	27502	0,5834200	5057,5451780	
6.	43644,40	0,9247430	12141,9513400	
7.	47829,40	1,0129800	4035,6868450	

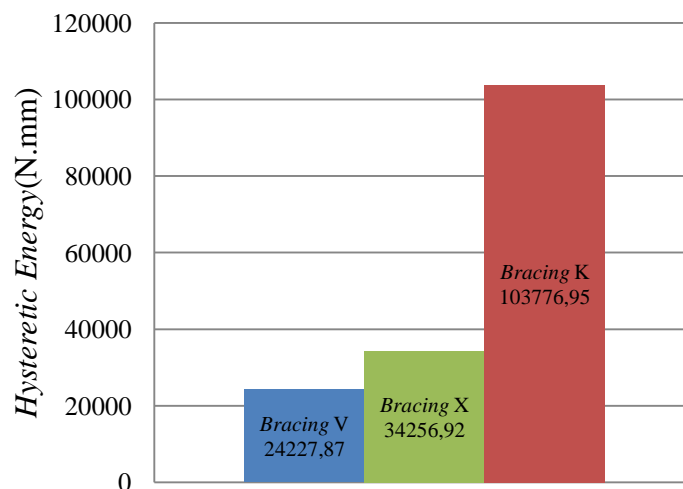


2. *Bracing Tipe X*Tabel 5.18 Nilai *hysteretic energy bracing tipe x* (8460 elemen)

No.	Beban (P) (N)	Displacement ( $\Delta$ ) (mm)	Hysteretic Energy (HE)	
			Per Step (N.mm)	Total (N.mm)
1.	0	0	0	34256,92
2.	4782,94	0,1402855	335,4885647	
3.	9565,88	0,2870690	1053,0850100	
4.	14348,82	0,4336405	1752,6067260	
5.	21523,20	0,6524055	3923,7712280	
6.	32284,80	0,9766065	8722,3037040	
7.	47829,40	1,4376900	18469,6678700	

3. *Bracing Tipe K*Tabel 5.19 Nilai *hysteretic energy bracing tipe k* (15794 elemen)

No.	Beban (P) (N)	Displacement ( $\Delta$ ) (mm)	Hysteretic Energy (HE)	
			Per Step (N.mm)	Total (N.mm)
1.	0	0	0	103776,95
2.	4782,94	0,445851	1066,239291	
3.	9565,88	0,896199	3230,981195	
4.	16740,28	1,557860	8702,880066	
5.	27502	2,538675	21696,745930	
6.	43644,40	3,996885	51873,195970	
7.	47829,40	4,373100	17206,907830	



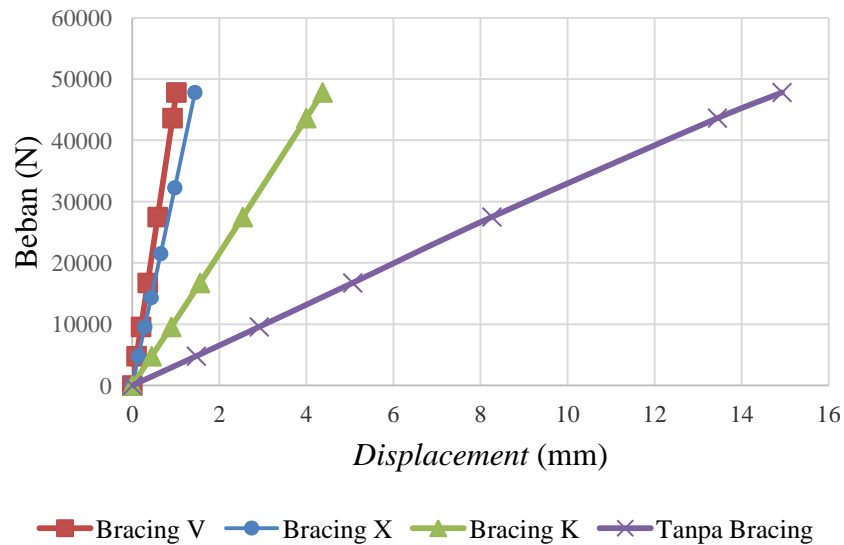
Gambar 5.7 Nilai *hysteretic energy* untuk *bracing* v terbalik, x, dan k

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat dijelaskan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik memiliki nilai *hysteretic energy* yaitu 24227,87 N.mm, *bracing* tipe x memiliki nilai *hysteretic energy* sebesar 34256,92 N.mm, dan *bracing* tipe k memiliki nilai *hysteretic energy* sebesar 103776,95 N.mm. Dari ketiga *bracing* tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik adalah model yang paling baik dibandingkan dengan *bracing* x dan k karena memiliki nilai *hysteretic energy* terkecil yaitu 24227,87 N.mm.

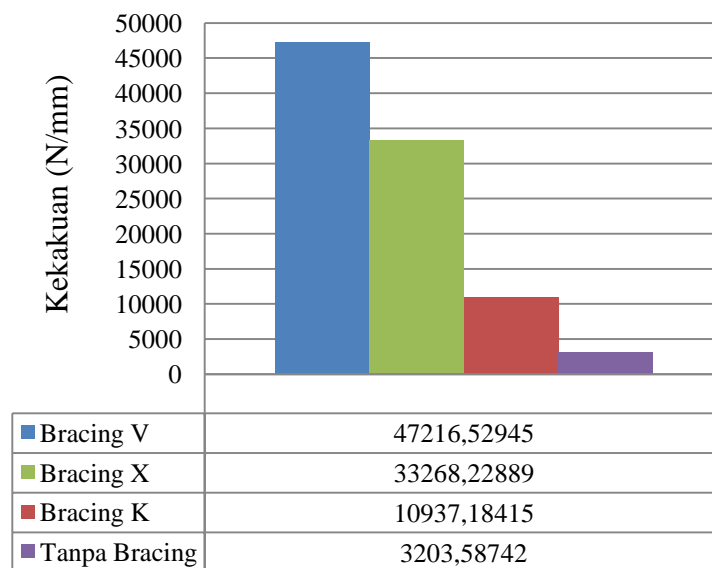
#### F. Perbandingan Struktur Portal Dengan *Bracing* Dan Tanpa *Bracing*

Hasil hubungan beban dan *displacement* yang telah dilakukan dari struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik, x, dan k dengan beban yang sama yaitu sebesar 47829,48053 N didapatkan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik mengalami *displacement* maksimum sebesar 1,01298 mm, *bracing* tipe x mengalami *displacement* maksimum sebesar 1,43769 mm, dan *bracing* tipe k mengalami *displacement* maksimum sebesar 4,3731 mm sedangkan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing* mengalami *displacement* maksimum sebesar 14,92995 mm seperti Gambar 5.8. Berdasarkan hasil beban dan *displacement* struktur portal baja yang menggunakan

*bracing* dan tidak menggunakan *bracing*, diketahui bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* dapat mereduksi gaya yang terjadi akibat beban lateral dibandingkan dengan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing*.

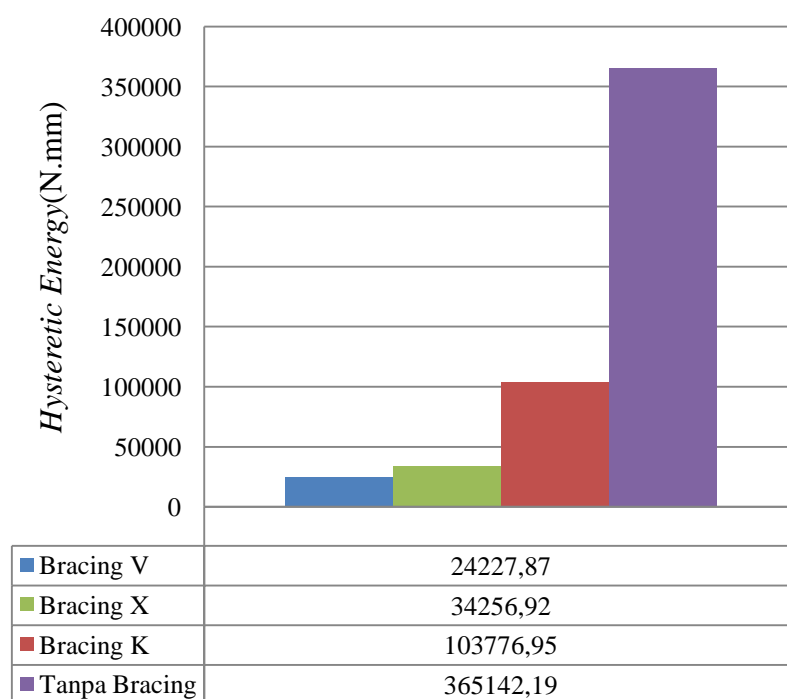


Gambar 5.8 Hubungan beban dan *displacement* untuk portal dengan *bracing* dan tanpa *bracing*



Gambar 5.9 Nilai kekakuan untuk portal dengan *bracing* dan tanpa *bracing*

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat dijelaskan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik memiliki nilai kekakuan yaitu 47216,52945 N/mm, *bracing* tipe x memiliki nilai kekakuan sebesar 33268,22889 N/mm, dan *bracing* tipe k memiliki nilai kekakuan sebesar 10937,18415 N/mm sedangkan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing* memiliki nilai kekakuan sebesar 3203,58742 N/mm. Dari nilai kekakuan tersebut dapat diketahui bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* memiliki kekuatan yang lebih bagus dibandingkan dengan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing*.



Gambar 5.10 Nilai *hysteretic energy* untuk portal dengan *bracing* dan tanpa *bracing*

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat dijelaskan bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* tipe v terbalik memiliki nilai *hysteretic energy* yaitu 24227,87 N.mm, *bracing* tipe x memiliki nilai *hysteretic energy* sebesar 34256,92 N.mm, dan *bracing* tipe k memiliki nilai *hysteretic energy* sebesar 103776,95 N.mm sedangkan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing* memiliki nilai *hysteretic energy* yaitu 365142,19 N.mm. Dari nilai *hysteretic energy*

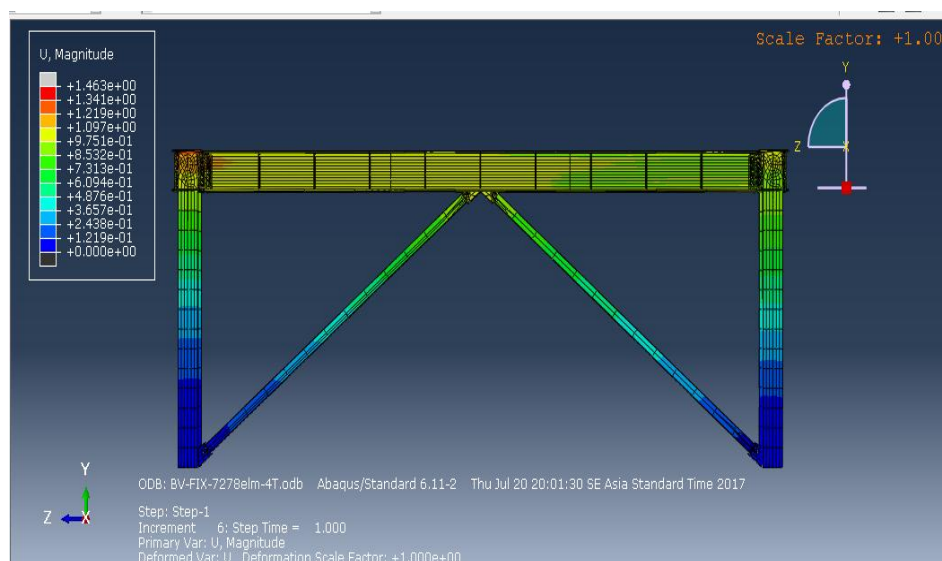
tersebut dapat diketahui bahwa struktur portal baja yang menggunakan *bracing* mampu meminimalisir penyerapan *energy* yang terjadi dibandingkan dengan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing*.

Dari ketiga gambar diatas, dapat diketahui bahwa struktur portal yang menggunakan *bracing* paling aman digunakan karena memiliki nilai *displacement* yang kecil, nilai kekakuan yang besar, dan nilai *hysteretic energy* total yang kecil dibandingkan dengan struktur portal baja yang tidak menggunakan *bracing*.

### G. Gambar Hasil Analisis

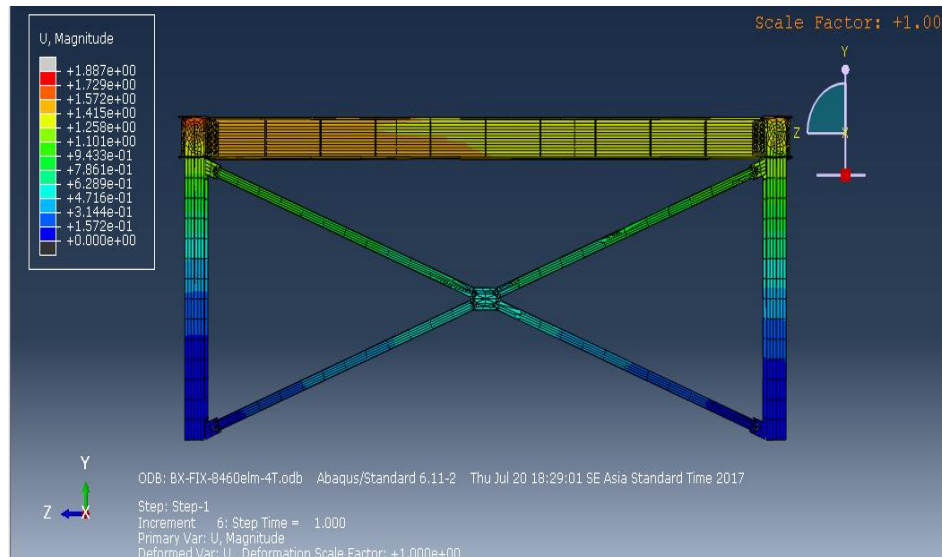
Hasil analisis ketiga model menggunakan *software* Abaqus 6.11 yang telah diberi beban statik gempa dapat ditunjukkan dengan gambar sebagai berikut:

#### 1. *Bracing* Tipe V Terbalik



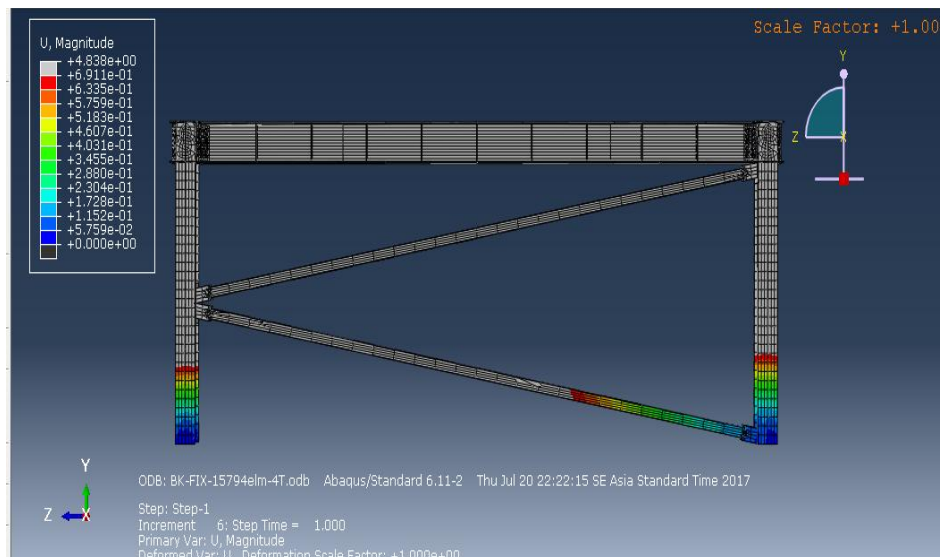
Gambar 5.11 Hasil analisis portal baja menggunakan *bracing* tipe v terbalik

## 2. Bracing Tipe X



Gambar 5.12 Hasil analisis portal baja menggunakan *bracing* tipe x

## 3. Bracing Tipe K



Gambar 5.13 Hasil analisis portal baja menggunakan *bracing* tipe k

Dari Gambar 5.11, Gambar 5.12, dan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa energi yang ditimbulkan dengan adanya beban lateral yang diberikan sudah

hampir tersebar merata pada semua model akan tetapi setiap model memiliki penyebaran energi yang tidak sama karena setiap model memiliki bentuk *bracing* yang berbeda-beda. Dalam gambar hasil analisis tersebut terdapat beberapa warna yang mempunyai arti berbeda.

1. Warna merah sampai abu-abu menandakan bahwa struktur portal baja tersebut sudah mengalami plastis (tidak dapat kembali ke bentuk semula) setelah mendapatkan beban puncak atau maksimum.
2. Warna hijau sampai kuning menandakan bahwa struktur portal baja tersebut berada di daerah elastatis dimana struktur tersebut masih bersifat elastis (dapat kembali ke bentuk semula).
3. Warna biru tua sampai muda menandakan bahwa struktur portal baja tersebut berada di daerah linier.