

# **LAPORAN PENELITIAN**

## ***“PEMBESARAN GAYA DALAM PADA ELEMEN STRUKTUR UNTUK BERBAGAI ZONA GEMPA DI INDONESIA”***

Kamaludin, MT.



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
BANDUNG - 2019**

# Pembesaran Gaya Dalam pada Elemen Struktur untuk Berbagai Zona Gempa di Indonesia

KAMALUDIN

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung  
Email: kamal.itenas@gmail.com

## ABSTRAK

*Kombinasi beban pada struktur bangunan harus diperhitungkan dalam mendesain penampang elemen struktur. Hasil kombinasi beban gempa mempengaruhi peningkatan pembesaran gaya-dalamnya terhadap hasil kombinasi beban tanpa gempa. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pembesaran gaya-dalam akibat beban tanpa gempa pada menara pandang 6 lantai bermaterial beton dengan 8 model variasi beban yaitu: beban tanpa gempa, dan beban dengan percepatan 0,2g; 0,4g; 0,6g; 1,0g; 1,2g; 1,5g dan 2g. Analisis struktur dengan software ETABS v.9.7.2 menghasilkan pembesaran lentur sebesar 11,4 untuk tumpuan dan 2,49 kali untuk lapangan; geser sebesar 3,99 kali pada tumpuan dan 40,72 kali pada lapangan; dan normal tidak signifikan perubahannya pada balok. Pembesaran gaya-dalam pada kolom tumpuan yaitu sebesar 1,27 kali normal; 663,2 kali geser; 55,84 kali lentur M2 dan 497,2 kali lentur M3. Hasil nilai pembesaran ini dapat digunakan sebagai referensi nilai pembesaran momen maksimum terhadap kombinasi beban tanpa gempa dalam desain awal.*

**Kata kunci:** struktur gedung, beban gempa, pembesaran, momen, geser, normal

## ABSTRACT

*The combination of loads on building structures must be calculated in designing the cross-section of structural elements. The results of a combination of earthquake loads influenced an increasing magnitude of the force against the results of a combination of without earthquake loads. This study intends to predict the magnification of the internal force due to the without earthquake loads on a 6-story tower with concrete material, with 8 variation models of load such as: load without earthquake, and load with acceleration of 0.2g; 0.4g; 0.6g; 1.0g; 1.2g; 1.5g and 2g. Structural analysis using ETABS v.9.7.2 software results that the magnification of the flexural is 11.4 and 2.49 times for the center of the beam, shear is 3.99 times in the end of the beam and 40.72 times in the center of the beam, and insignificant changes for normal in the beam. The magnification of internal force in the pedestal column is 1.27 times for normal, 663.2 times for shear, 55.84 times for M2 and 497.2 times for M3. The results of this magnification value can be used as a reference to the value of the maximum moment magnification of a combination without earthquake in the initial design.*

**Keywords:** building structure, earthquake load, magnification, moment, shear, normal

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Hasil gaya-dalam akibat beban gempa pada tahapan perencanaan struktur tahan gempa sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dan lokasi rawan gempa. Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 tercantum beberapa kondisi daerah gempa berdasar percepatan respon dan pembagian tanah. Jenis tanah tersebut yang digunakan terdiri dari batuan keras, sedang dan lunak. Sedangkan pembagian berdasarkan percepatan mulai  $0,2g$  sampai maksimum sebesar  $2g$ .

Hasil kombinasi beban gempa yang cenderung naik perlu dilihat fenomena peningkatan pembesaran gaya-dalamnya terhadap hasil kombinasi beban tanpa gempa. Kombinasi beban gempa yang cenderung naik perlu dilihat fenomena peningkatan pembesaran gaya-dalam terhadap kombinasi beban tanpa gempa.

### 1.2 Batasan Masalah

Beberapa pembatasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model struktur sebagai objek penelitian berupa struktur Menara Pandang 6 lantai seperti tergambar pada **Gambar 1**.
2. Kondisi tanah yaitu bebatuan sedang.
3. Material yang digunakan beton.
4. Pembagian daerah gempa terdiri dari  $0,2g$ ;  $0,4g$ ;  $0,6g$ ;  $1,0g$ ;  $1,2g$ ;  $1,5g$  dan  $2g$ .
5. Fungsi bangunan adalah fasilitas umum.
6. *Software* yang dipergunakan adalah ETABS versi 9.7.2.
7. Peta gempa yang digunakan dari tim Pusat Studi Gempa Nasional yang berjudul Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017.
8. Peta rencana gempa yang digunakan adalah *design live* 50 tahun dengan *probability of exceed* 2%.
9. Kombinasi beban untuk desain berdasarkan konsep LRFD.
10. Standar Nasional Indonesia 1727:2013 tentang "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain".



**Gambar 1. Bentuk struktur Menara Pandang**

### 1.3 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai pembesaran gaya-dalam untuk gaya normal, geser dan momen lentur.
2. Mengetahui apakah nilai pembesaran dapat dipakai dalam pra rencana awal untuk prediksi akibat beban gempa.
3. Melihat tren grafik kenaikan rasio gaya-dalam akibat beban gempa terhadap gaya-dalam akibat tanpa gempa.

## 2. KRITERIA DESAIN

Kriteria desain yang ditetapkan dalam perencanaan struktur harus memenuhi syarat antara lain terhadap kekuatan, kekakuan, perilaku struktur saat terjadi gempa, serta aspek ekonomis. Pertimbangan tersebut ditetapkan untuk alternatif dalam perencanaan elemen struktur bangunan seperti tata letak kolom, panjang balok, serta bentang yang digunakan.

### 2.1 Peraturan yang digunakan

Peraturan dan standar yang digunakan dalam perencanaan desain struktur adalah sebagai berikut:

1. SNI 2847:2013 tentang "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung".
2. SNI 2052:2014 tentang "Baja Tulangan Beton".
3. SNI 1726:2012 tentang "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung".
4. SNI 1727:2013 tentang "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain".
5. PPPURG 1987 tentang "Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung".

### 2.2 Data Umum

Secara garis besar, uraian umum gedung ini adalah sebagai berikut:

Deskripsi Bangunan

1. Nama gedung : Menara Pandang.
2. Lokasi : Ciawi.
3. Fungsi bangunan : komersial (menara).
4. Jenis konstruksi : struktur beton bertulang.
5. Sistem struktur : sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus.
6. Jenis fondasi : tiang pancang.
7. Kedalaman fondasi :  $\pm 8$  m.
8. Jenis tanah : sedang.
9. Jumlah lantai : 6 lantai.
10. Tinggi lantai tipikal : 4 meter.
11. Tinggi gedung :  $\pm 30$  meter.
12. Jenis struktur atap : baja ringan.
13. Dimensi struktur : diperlihatkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Dimensi Elemen Struktur**

Jenis Struktur	Kode	Dimensi [mm]
Balok	B1	350 x 700
	B2	250 x 500
	BA	200 x 300
	RB2	200 x 300
Kolom	K1	500 x 500
	K2	400 x 400
	K3	250 x 500
	K4	200 x 200
Sloof	TB1	250 x 500
Pelat lantai		130
Pelat lantai tangga		150

Kriteria Material

1. Material yang digunakan : beton bertulang.
2. Berat jenis material :  $2.400 \text{ kg/m}^3$ .

3. Modulus elastisitas :  $4.700 * \sqrt{f'_c}$  MPa.
4. Poisson ratio : 0,2.
5. Baja tulangan :
  - a. Diameter < 10 mm menggunakan baja tulangan polos BJTP 24 dengan tegangan leleh,  $f_y = 240$  MPa.
  - b. Diameter  $\geq 10$  mm menggunakan baja tulangan ulir BJTD 40 dengan tegangan leleh,  $f_y = 400$  MPa.
6. Mutu bahan : diperlihatkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Data Mutu Bahan**

Jenis Struktur	Kuat Tekan Beton [MPa]
Balok, kolom, pelat lantai	24,90 (K-300)
Fondasi	41,50 (K-500)

### 2.3 Kriteria Beban

Kriteria beban diperlihatkan pada **Tabel 3** sebagai acuan beban tambahan.

**Tabel 3. Beban Tambahan**

No.	Jenis Struktur	Berat Jenis [kg/cm <sup>3</sup> ]
1	Adukan dari semen	21
2	Adukan dari kapur, semen merah atau tras	17
3	Setengah batu	250
4	Tebal dinding 10 cm (HB10)	120
5	Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
6	Kaca, dengan tebal 3-5 mm	10

### 2.4 Beban Hidup

Beban yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia 1727:2013 tentang "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain", yaitu Beban Hidup sebesar 384 kg/m<sup>2</sup>.

### 2.5 Kombinasi Beban

Struktur bangunan dirancang mampu menahan beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 pada 4.1.1 dimana gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun selama umur bangunan 50 tahun dengan kemungkinan terjadinya sebesar 2%. Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2013 pasal 9.2.1 sebagai berikut:

1. 1,4 DL.
2. 1,2 DL + 1,6 LL.
3. 1,2 DL + 1 LL + 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) + 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
4. 1,2 DL + 1 LL + 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) - 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
5. 1,2 DL + 1 LL - 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) + 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
6. 1,2 DL + 1 LL - 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) - 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
7. 1,2 DL + 1 LL + 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) + 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
8. 1,2 DL + 1 LL + 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) - 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
9. 1,2 DL + 1 LL - 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) + 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
10. 1,2 DL + 1 LL - 1 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL) - 0,3 ( $\rho E + 0,2 S_{DS}$  DL).
11. 0,9 DL + 0,3 ( $\rho E - 0,2 S_{DS}$  DL) + 1 ( $\rho E - 0,2 S_{DS}$  DL).
12. 0,9 DL + 0,3 ( $\rho E - 0,2 S_{DS}$  DL) - 1 ( $\rho E - 0,2 S_{DS}$  DL).
13. 0,9 DL - 0,3 ( $\rho E - 0,2 S_{DS}$  DL) + 1 ( $\rho E - 0,2 S_{DS}$  DL).

14.  $0,9 \text{ DL} - 0,3 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL}) - 1 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL})$ .
15.  $0,9 \text{ DL} + 1 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL}) + 0,3 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL})$ .
16.  $0,9 \text{ DL} + 1 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL}) - 0,3 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL})$ .
17.  $0,9 \text{ DL} - 1 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL}) + 0,3 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL})$ .
18.  $0,9 \text{ DL} - 1 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL}) - 0,3 (\rho E - 0,2 S_{DS} \text{ DL})$ .

dengan:

DL = beban mati sendiri gedung yang secara *default* dihitung oleh *software*,

LL = beban hidup yang ditetapkan berdasarkan fungsi bangunan,

SDL = beban mati tambahan yang diterima oleh gedung seperti dinding, instalasi dan utilitas,

E = beban gempa (*earthquake load*), ditinjau terhadap gempa static (EQx, EQy), gempa dinamik, respon spektrum (RSPx, RSPy), dan gempa dinamik *time history* (THx, THy),

$\rho$  = faktor redundansi yang ditetapkan sesuai dengan kriteria gempa yang bekerja pada struktur; nilai 1,0 untuk sistem struktur beraturan dan nilai 1,3 untuk sistem struktur tidak beraturan

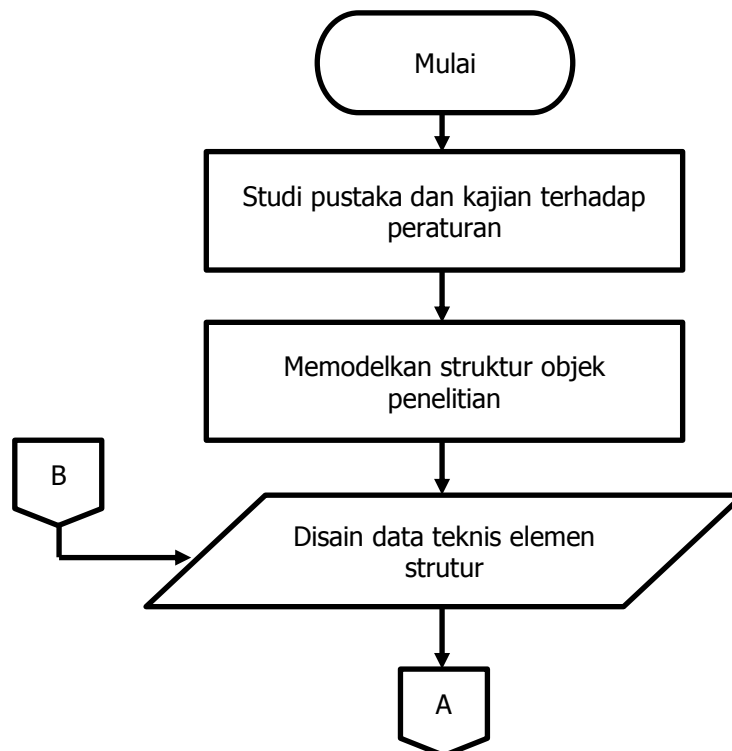
$S_{DS}$  = percepatan spektral desain untuk periode pendek.

Peta yang digunakan untuk mengambil nilai  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_B$  (percepatan puncak di batuan dasar) diambil berdasarkan dari zona gempa dari tim Pusat Studi Gempa Nasional tahun 2017 tentang Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia.

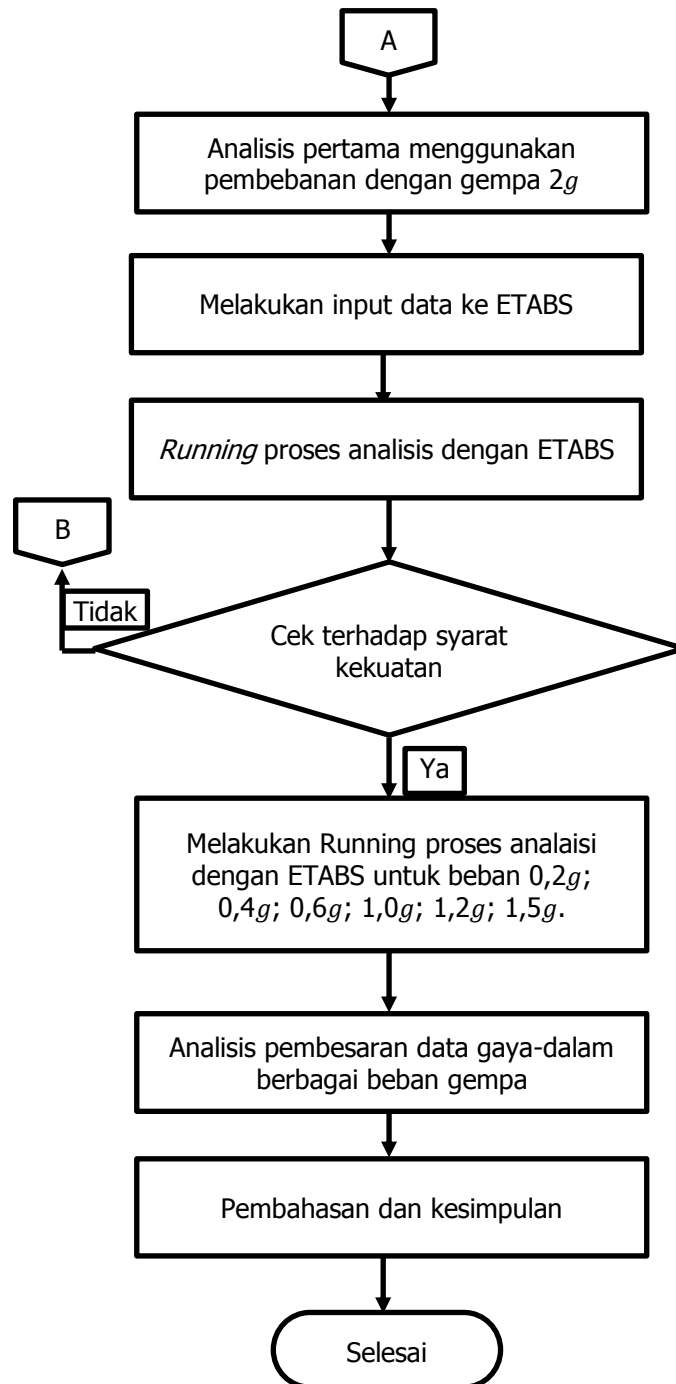
### 3. METODOLOGI

#### 3.1 Perancangan Model Geometri Lapisan Tanah

Metodologi penelitian dilakukan terlihat seperti pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Bagan alir penelitian**



**Gambar 2. Bagan alir penelitian lanjutan**

#### **4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

##### **4.1 Pemodelan Struktur**

Model struktur dari Menara Pandang yang dikaji diperlihatkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3. Model struktur Menara Pandang**

#### 4.2 Pembebanan

Beban mati tambahan adalah beban tambahan lain yang membebani struktur secara tetap atau beban komponen gedung antara lain *finishing* dan dinding. Dalam perencanaan ini, beban mati tambahan yang diperhitungkan meliputi:

- a. Beban lantai = 24 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,24 kN/m<sup>2</sup>
  - b. Beban plafond = 18 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,18 kN/m<sup>2</sup>
  - c. Mekanikal elektrikl = 25 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,25 kN/m<sup>2</sup>
- 
- = 1,2 kN/m<sup>2</sup>

Beban mati tambahan pada pelat atap/dak adalah sebagai berikut:

- a. Beban *water proofing* = 22 kg/m<sup>3</sup> \* 2  
= 0,44 kN/m<sup>2</sup>
  - b. Beban plafond = 18 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,18 kN/m<sup>2</sup>
  - c. Mekanikal elektrikl = 25 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,25 kN/m<sup>2</sup>
- 
- = 0,87 kN/m<sup>2</sup>

Beban mati tambahan pada balok diperlihatkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4. Beban Mati Tambahan (Dinding) pada Balok**

Lantai	Beban Dinding/m <sup>2</sup>	Tinggi Dinding [m]	Berat Dinding/m <sup>2</sup>
1 - Dak (Tipikal)	150 kg	4	600 kg

Beban pada pelat tangga lantai dasar

- a. Berat mati tambahan finishing (spasi dan keramik) = (21 kg/m<sup>3</sup> \* 0,02) + (24 kg/m<sup>2</sup>)  
= 24,42 kg/m<sup>2</sup>
- b. Beban mati tambahan pada bordes = 0,025 \* 2.400 kg/m<sup>2</sup>  
= 60 kg/m<sup>2</sup>



c. Beban mati total trap beton

$$= \frac{(\frac{1}{2} * 0,3 * 0,18 * 1,2 * 2.400 * 7)}{(1,2 * 2,1)}$$

$$= 216 \text{ kg/m}^2$$

Beban pada atap kuda-kuda

- a. Beban plafond = 18 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,18 kN/m<sup>2</sup>
- b. Beban atap+reng = 40 kg/m<sup>2</sup>  
= 0,40 kN/m<sup>2</sup>

Beban lingkungan

- Beban angin (SNI 1727:2013) = 0,38 kN/m<sup>2</sup> (atap)
- Beban air hujan (PPPURG) = 40 - 0,8 \*  $\alpha$  kg/m<sup>2</sup>  
= minimum beban hujan 20 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup

- a. Beban hidup koridor = 3,83 kN/m<sup>2</sup>
- b. Beban hidup tangga = 4,79 kN/m<sup>2</sup>
- c. Beban hidup dak atap = 0,96 kN/m<sup>2</sup>

#### 4.3 Beban Gempa

Pada perhitungan beban gempa, analisis pembebanan yang digunakan adalah analisis dinamik yaitu analisis dengan menggunakan respons spektrum. Tahapan analisis untuk menentukan gaya gempa adalah Kategori Resiko Struktur Bangunan. Menurut SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, bangunan gedung ini termasuk kedalam kategori resiko IV, sehingga didapat faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) adalah 1,25. Pembagian daerah pada analisis pembebanan diperlihatkan pada **Tabel 5**.

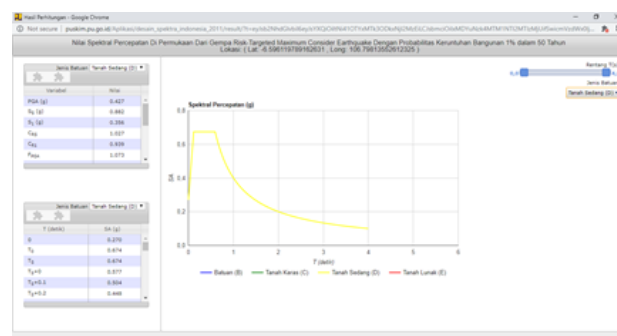
**Tabel 5. Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  untuk Setiap Daerah Gempa**

Nilai	0,2g	0,4g	0,6g	1,0g	1,2g	1,5g	2,0g
$S_s$	0,2	0,4	0,6	1,0	1,2	1,5	2,0
$S_1$	0,05	0,25	0,3	0,4	0,5	0,7	1,2

dengan:

$S_1$  = percepatan batuan dasar pada periode 1 detik.

Sehingga jika dibuat dalam bentuk kurva respon spektrum untuk daerah Gedung Menara dengan jenis tanah sedang adalah seperti pada **Gambar 4** berikut:

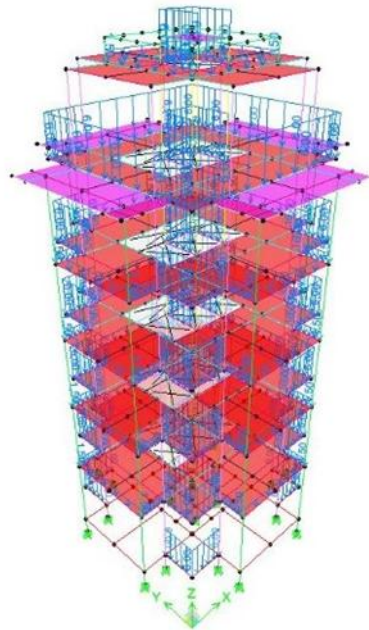


**Gambar 4. Respon spektrum**

(Sumber: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/))

#### **4.4 Aplikasi Beban di ETABS**

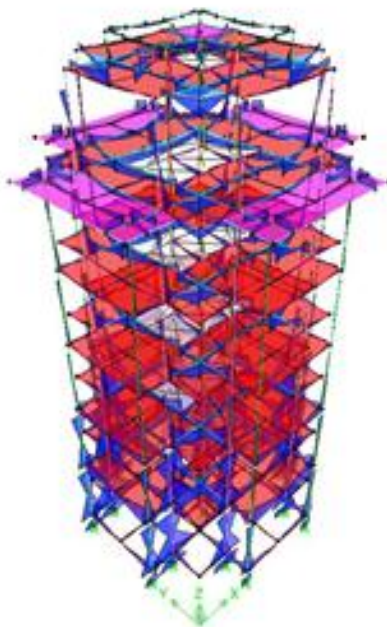
Penerapan pembebanan di aplikasi ETABS secara visual diperlihatkan pada **Gambar 5**.



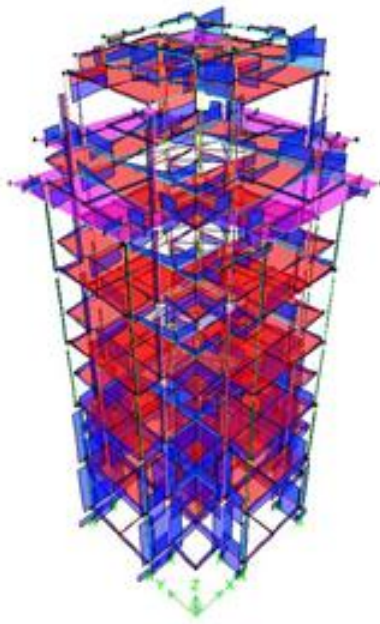
**Gambar 5. Model pembebanan**

#### **4.5 Gaya Dalam**

Secara visual gaya dalam diperlihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** bidang gaya *envelope*.



**Gambar 6. Gaya dalam momen *envelope***



**Gambar 7. Gaya dalam geser *envelope***

#### 4.6 Evaluasi Kekekuan dan Syarat

Berdasarkan hasil dari desain di ETABS, rasio desain di bawah nilai 1, hal ini menunjukkan hasil evaluasi setiap komponen memenuhi syarat dan simpangan juga memenuhi syarat yaitu di bawah 40mm.

#### 4.7 Data dan Pembahasan

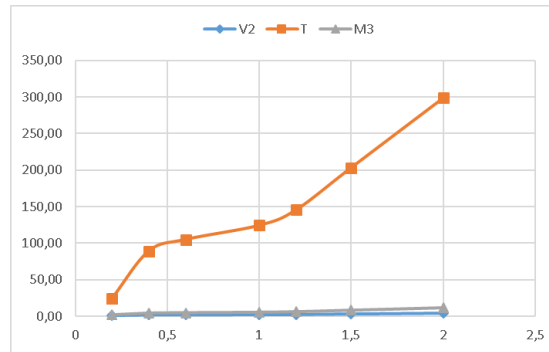
Data pembesaran momen hasil rekap pada balok yang dominan diperlihatkan pada **Tabel 6**.

**Tabel 6. Data Gaya-Dalam dan Pembesaran Momen pada Tumpuan**

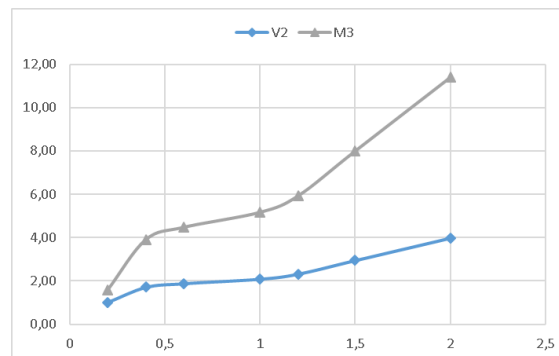
Zona	Pembesaran di Lapangan			Pembesaran di Tumpuan		
	V2	T	M3	V2	T	M3
0,2g	1,107	23,95	1,590	3,875	4,492	1,000
0,4g	1,714	89,00	3,912	12,592	15,081	1,325
0,6g	1,887	104,90	4,486	14,737	17,677	1,422
1,0g	2,096	124,20	5,176	17,322	20,815	1,531
1,2g	2,326	145,40	5,934	20,164	24,266	1,650
1,5g	2,953	203,25	8,003	27,921	33,677	1,977
2,0g	3,986	298,65	11,403	40,717	49,210	2,495

Pembesaran gaya dalam geser di tumpuan mulai 1,02 kali sampai 3,99 kali, sedangkan pada lapangan mulai dari 4,49 kali sampai 40,72 kali. Nilai pembesaran di lapangan meskipun besar akan tetapi nilainya kecil di tengah bentang seperti yang diperlihatkan pada **Tabel 6** dan **Gambar 8**. Gaya torsi di tumpuan terjadi pembesaran mulai 23,95 kali sampai 298,65 kali. Angka besar ini tidak dominan di torsi menjadi besar karena nilai awalnya kecil.

**Tabel 6**, **Gambar 8**, dan **Gambar 9** memperlihatkan nilai pembesaran tidak linier. Grafik cenderung naik dibawah 0,5g dan untuk mulai 0,5g sampai 1,2g cenderung agak landai kemudian naik setelah 1,2g.

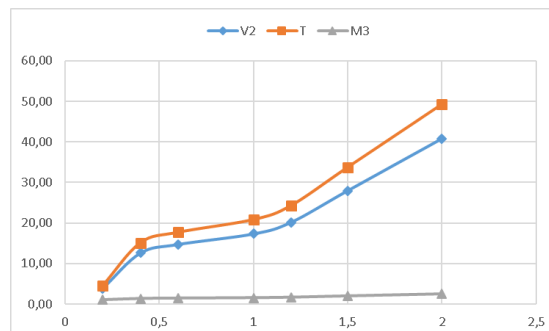


**Gambar 8. Hubungan pembesaran di lapangan terhadap berbagai zona**



**Gambar 9. Hubungan pembesaran di lapangan terhadap berbagai zona untuk V2 dan M3**

Pembesaran momen terhadap sumbu 3, baik tumpuan maupun lapangan terjadi naik mulai 1,59 kali sampai 11,4 kali untuk di tumpuan dan mulai dari 1 sampai 2,49 kali untuk lapangan. Pembesaran yang terjadi pada distribusi gaya-dalam di tumpuan umumnya lebih besar daripada di lapangan.



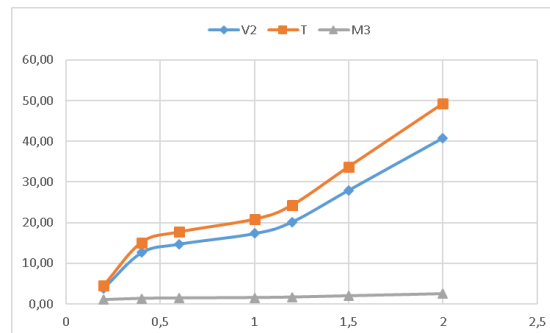
**Gambar 10. Hubungan pembesaran di tumpuan terhadap berbagai zona**

**Tabel 7** memperlihatkan pembesaran gaya dalam aksial pembesarannya mulai dari 1 sampai 1,28, hal ini menunjukkan adanya gempa pada beban aksial tidak terlalu berpengaruh pada peningkatan gaya aksial.

Peningkatan pembesaran gaya-dalam yang diperlihatkan pada **Gambar 10** dan **Gambar 11** menunjukkan cenderung naik untuk dibawah  $0,4g$  dan untuk antara  $0,4g$  sampai  $1,2g$  cenderung agak landai. Bentuk grafik semua gaya-dalam mirip yaitu  $0-0,4g$  dan  $1,2g$  keatas naik cukup tajam serta dari  $0,4g$  sampai  $1,2g$  cukup landai.

**Tabel 7. Pembesaran Gaya Dalam di Ujung pada Kolom**

Zona	P	V2	V3	M2	M3
0,2g	1,000	39,40	1,000	4,187	39,488
0,4g	1,051	187,07	2,814	16,374	142,672
0,6g	1,068	223,33	3,361	19,613	169,734
1,0g	1,089	267,13	3,982	23,286	202,398
1,2g	1,112	315,30	4,664	27,326	238,329
1,5g	1,173	446,70	6,526	38,344	336,320
2,0g	1,275	663,20	9,481	55,840	497,824

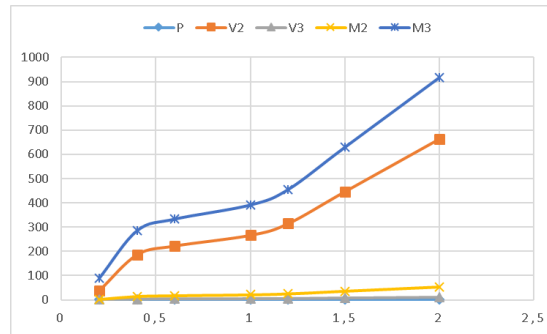
**Gambar 11. Hubungan pembesaran di ujung pada kolom terhadap berbagai zona**

**Tabel 8** memperlihatkan pembesaran pada M3 sampai 917 kalinya bukan berarti menjadi besar sekali karena momen di tengah kolom cenderung kecil bahkan mendekati nilai nol. Demikian gaya geser meskipun peningkatannya besar sekali akan tetapi nilai awal tanpa beban gempa nilainya kecil sehingga tidak terlalu banyak pengaruh dalam peningkatan gaya dalam geser final.

**Tabel 8. Pembesaran Gaya Dalam di lapangan pada Kolom**

Zona	P	V2	V3	M2	M3
0,2g	1,000	39,40	1,000	3,031	88,567
0,4g	1,040	187,07	2,814	14,843	284,789
0,6g	1,057	223,33	3,361	17,994	332,933
1,0g	1,078	267,13	3,982	21,567	391,122
1,2g	1,108	315,30	4,664	25,499	455,122
1,5g	1,162	446,70	6,526	36,218	629,667
2,0g	1,264	663,20	9,481	53,240	917,511

Pembesaran gaya aksial baik di ujung kolom maupun di tengah kolom (**Gambar 12**) hampir sama yaitu 1 sampai 1,3 kalinya. Baik di lapangan maupun di ujung kolom pembesaran geser V2 cukup besar. Nilai besar ini tidak dominan karena nilai gesernya cukup kecil pada kolom akibat beban tanpa gempa sehingga tidak signifikan dalam mempengaruhi gaya awal akibat beban tanpa gempa.



**Gambar 12. Hubungan pembesaran di lapangan pada Kolom terhadap berbagai zona**

## 5. KESIMPULAN

Dari data gaya dalam masing-masing model beban diperoleh sebagai berikut:

1. Balok yaitu, pembesaran gaya lentur (M3) tumpuan sebesar maksimum 11,4 kali dan 2,49 kali untuk lapangan. Pembesaran gaya geser (V2) sebesar maksimum 3,99 kali di tumpuan dan 40, 72 kali di daerah lapangan. Sedangkan untuk gaya normal tidak signifikan perubahannya pada balok karena pada balok gaya normalnya nol.
2. Pembesaran gaya-dalam pada kolom di ujung kolom yaitu maksimum sebesar 1,27 kali untuk gaya normal, sebesar 663,2 kali untuk gaya geser, nilai pembesaran 55,84 kali untuk gaya lentur arah M2, dan maksimum sebesar 497,2 untuk M3. Sedangkan untuk lapangan pada kolom pembesaran momen lentur sebesar maksimum 53,24 kali pada M2 dan maksimum 917,51 pada arah M3.
3. Pembesaran momen pada arah M3 besar tidak menunjukkan momen paling besar karena momen lentur tanpa gempa kecil sehingga hasil akhirnya tidak terlalu signifikan pengaruhnya ke hasil akhir gaya-dalam.
4. Hasil nilai pembesaran ini bukan berarti tidak perlu menganalisis akibat kombinasi beban gempa tetapi dapat digunakan sebagai referensi nilai pembesaran momen terhadap kombinasi beban tanpa gempa dalam desain awal.

## DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 2052:2014 tentang Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *PPURG 1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, 2018, September 15. Google. Dikutip September 15, 2018, dari Desain Spektra Indonesia: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)