

BAB VI

PERENCANAAN BEBAN GEMPA

Beban gempa direncanakan berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Beban gempa akan dibebankan ke struktur utama gedung, kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap simpangan antar lantai yang terjadi dan pemeriksaan akan kelayakan gedung berdasarkan kategori gedung tahan gempa. Beban gempa yang direncanakan ditinjau berdasarkan dari hasil data tanah pada lokasi gedung *existing* yang kemudian akan diklasifikasikan berdasarkan kelas – kelas tanah dan apakah daerah tersebut termasuk kedalam daerah rawan gempa atau tidak.

Apabila hasil yang didapatkan setelah dilakukan peninjauan merupakan daerah rawan gempa, maka struktur gedung yang berada pada lokasi tersebut harus direncanakan agar mampu menahan beban gempa yang terjadi. Pada perencanaan struktur gedung Hotel Hashira direncanakan terletak di Kota Yogyakarta, dimana kota tersebut termasuk kedalam wilayah zona gempa tinggi. Penentuan klasifikasi situs tanah didasari oleh peraturan SNI 1726:2019 dan peta sumber dan bahaya gempa tahun 2017 yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

1.1. Data Perencanaan

Data Perencanaan struktur gedung Hotel Hashira 10 Lantai menggunakan struktur baja yang akan direncanakan sebagai berikut :

Mutu Beton ($f'c$)	= 30 MPa
Mutu Baja (f_y) BJ41	= 250 MPa
Jumlah Lantai	= 10 Lantai
Panjang Bangunan	= 63 m
Lebar Bangunan	= 35 m
Tinggi Bangunan	= 40 m
Tinggi Antar Lantai	= 4 m
Luas Bangunan	= 2205 m ²
Dimensi Balok Anak Atap	
- BA Atap T1	= WF 200.100.5,5.8
- BA Atap T2	= WF 350.175.7.1

- BA Atap T3	= WF 450.200.9.14
Dimensi Balok Anak Lantai	
- BA Lantai T1	= WF 200.100.5,5.8
- BA Lantai T2	= WF 350.175.7.11
- BA Lantai T3	= WF 450.200.9.14
Dimensi Balok Induk Atap	
- BI Atap T1	= WF 600.300.12.17
- BI Atap T2	= WF 700.300.13.20
Dimensi Balok Induk Lantai	
- BI Lantai T1	= WF 600.300.12.17
- BI Lantai T2	= WF 700.300.13.20
Dimensi Kolom	= <i>Heavy Column</i> 70 (568.457.70.105)
Faktor Keutamaan Gempa (<i>I_e</i>)	= 1,0 (SNI 1726:2019, Tabel 4, Kategori Risiko II)
Klasifikasi Situs Tanah	= SD – Tanah Sedang (SNI 1729:2019, Tabel 5)
Nilai <i>S_{ds}</i> Kota Yogyakarta	= 0,78 (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)
Nilai <i>S_{D1}</i> Kota Yogyakarta	= 0,61 (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)
R (koefisien modifikasi respons)	= 8 (SNI 1726:2019, Tabel 12, B)

1.2. Perhitungan Berat Struktur

Besar beban gempa yang terjadi pada struktur mendapat pengaruh dari berat total beban gedung. Maka dari itu, dalam merencanakan besar beban gempa yang akan diterima struktur terlebih dahulu memperhitungkan berat keseluruhan dari struktur gedung tersebut. Berat keseluruhan yang telah didapat akan didistribusikan ke setiap lantai sebagai beban gempa pada struktur gedung. Semakin berat beban struktur gedung maka beban gempa yang bekerja semakin besar pula. Besar gaya gempa yang bekerja pada struktur dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana :

V = Beban geser dasar seismik atau besar gaya gempa yang terjadi

C_s = Koefisien dasar seismik

W = Berat total bangunan

Perhitungan berat pada masing – masing lantai (Lantai 1 – Lantai 9)

Kolom Profil Baja	= 48 x 4 x 953 kg/m	=	182976 kg
BI Lantai T1	= 40 x 7 x 137 kg/m	=	38360 kg
BI Lantai T2	= 42 x 9 x 166 kg/m	=	62748 kg
BA Lantai T1	= 140 x 3,5 x 21,3 kg/m	=	10437 kg
BA Lantai T2	= 70 x 4,5 x 49,6 kg/m	=	15624 kg
BA Lantai T3	= 35 x 7 x 76 kg/m	=	18620 kg
Balok Utama Tangga	= 4 x 3,36 x 29,6 kg/m	=	397,82 kg
Balok Bordes	= 4 x 1,65 x 29,6 kg/m	=	195,36 kg
Balok Penumpu Tangga	= 2 x 7 x 44,1 kg/m	=	617,40 kg
Balok Penggantung Lift	= 2 x 7 x 44,1 kg/m	=	617,40 kg
Pelat Beton	= (63 x 35 x 0,12) x 2400 kg/m ³	=	635040 kg
Dinding	= (((63 x 6) x 4) + ((35 x 8) x 4)) x 250 kg/m ²	=	658000 kg
Partisi	= (((63 x 6) x 4) + ((35 x 8) x 4)) x 30 kg/m ²	=	78960 kg
Instalasi + Ducting	= 63 x 35 x 40 kg/m ²	=	88200 kg
Plafond + Penggantung	= 63 x 35 x 18 kg/m ²	=	39690 kg
Keramik	= 63 x 35 x 24 kg/m ²	=	52920 kg
Spesi tebal 2 cm	= (63 x 35 x 0,02) x 21 kg/m ²	=	926,10 kg
Finishing tebal 2 cm	= (63 x 35 x 0,02) x 42 kg/m ²	=	1852,20 kg
Total W _D		=	1886181,28 kg ⁺

➤ **Beban Hidup (W_L)**

Lantai 1 – 9

$$W_L = 63 \cdot 35 \cdot 192 \text{ kg/m}^2 = 423360 \text{ kg}$$

Berdasarkan peraturan PPIUG Pasal 3.5 Tabel 3.3 diketahui nilai beban hidup dapat dikalikan dengan faktor reduksi untuk peninjauan gempa sebesar 0,30 untuk gedung yang berfungsi sebagai hotel, maka nilai beban hidup sebagai berikut :

$$W_L = 0,30 \cdot 423360 \text{ kg} = 127008 \text{ kg}$$

➤ **Total Berat Tiap Lantai**

$$W_{lt} = W_D + W_L = 1886181,28 + 127008 = 2013189,28 \text{ kg}$$

Perhitungan berat pada atap

BI Atap T1	= 40 x 7 x 137 kg/m	=	38360 kg
BI Atap T2	= 42 x 9 x 166 kg/m	=	62748 kg
BA Atap T1	= 140 x 3,5 x 21,3 kg/m	=	10437 kg
BA Atap T2	= 70 x 4,5 x 49,6 kg/m	=	15624 kg
BA Atap T3	= 35 x 7 x 76 kg/m	=	18620 kg
Pelat Beton	= (63 x 35 x 0,12) x 2400 kg/m ³	=	635040 kg
Dinding	= (((63 x 2) x 1) + ((35 x 2) x 1)) x 250 kg/m ²	=	49000 kg
Instalasi + Ducting	= 63 x 35 x 40 kg/m ²	=	88200 kg
Plafond + Penggantung	= 63 x 35 x 18 kg/m ²	=	39690 kg
Keramik	= 63 x 35 x 24 kg/m ²	=	52920 kg
Spesi tebal 2 cm	= (63 x 35 x 0,02) x 21 kg/m ²	=	926,10 kg
Finishing tebal 1 cm	= (63 x 35 x 0,01) x 42 kg/m ²	=	926,10 kg
Aspal tebal 1 cm	= (63 x 35 x 0,01) x 14 kg/m ²	=	308,70 kg
Total W _D		=	1012799,90 kg +

➤ **Beban Hidup (W_L)**

Lantai 10

$$W_L = 63 \cdot 35 \cdot 480 \text{ kg/m}^2 = 1058400 \text{ kg}$$

Berdasarkan peraturan PPIUG Pasal 3.5 Tabel 3.3 diketahui nilai beban hidup dapat dikalikan dengan faktor reduksi untuk peninjauan gempa sebesar 0,30 untuk gedung yang berfungsi sebagai hotel, maka nilai beban hidup sebagai berikut :

$$W_L = 0,30 \cdot 1058400 \text{ kg} = 317520 \text{ kg}$$

➤ **Total Berat Lantai Atap**

$$W_{it} = W_D + W_L = 1012799,90 + 317520 = 1330319,90 \text{ kg}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tiap – tiap lantai pada lantai 1 – lantai 9, hingga lantai 10 (lantai atap) didapatkan hasil perhitungan yang kemudian ditampilkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6. 1 Berat Struktur Tiap – Tiap Lantai

Lantai	Tinggi (h) (m)	Berat Tiap Lantai (kg)
10	40	1330319,90

9	36	2013189,28
8	32	2013189,28
7	28	2013189,28
6	24	2013189,28
5	20	2013189,28
4	16	2013189,28
3	12	2013189,28
2	8	2013189,28
1	4	2013189,28
Total (Σ)		19449023,46

1.3. Perhitungan Pembebanan Gempa

Perencanaan pembebanan untuk gempa akan direncanakan berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dengan menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) tipe *Split-K and Inverted Split-K Brace*. Pembebanan gempa berupa beban statik ekuivalen (F_i) yang terdistribusi sepanjang tinggi gedung.

6.3.1 Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T), dalam arah yang ditinjau diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur (T), tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) yang diketahui dari peraturan SNI 1726:2019 Tabel 17. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (T), diizinkan menggunakan periode fundamental pendekatan (T_a) yang akan dihitung berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 Tabel 18, didapatkan nilai $C_t = 0,0731$ dan nilai $x = 0,75$.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \cdot h_n^x \\
 &= 0,0731 \cdot 40^{0,75} \\
 &= 1,16
 \end{aligned}$$

Dimana :

h_n^x = ketinggian total struktur (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Kota Yogyakarta memiliki nilai $S_{D1} = 0,61$. Dalam peraturan SNI 1726:2019 Tabel 17 diketahui untuk nilai batas koefisien $C_u = 1,4$. Periksa periode fundamental pendekatan (T_a) :

$$T_a = 1,16 < C_u = 1,4 \text{ (OK)}$$

6.3.2 Koefisien Respons Seismik (Cs)

Berdasarkan pada peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 distribusi gaya gempa berdasarkan gaya geser dasar seismik (V) yang dibagi sepanjang tinggi struktur gedung. Untuk menentukan nilai gaya geser dasar seismik (V), harus mengetahui nilai dari koefisien respons seismik yang dihitung melalui perumusan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,78}{\left(\frac{8}{1,0}\right)} = 0,0975$$

Namun tidak boleh lebih besar dari :

$$C_{s_{max}} = \frac{S_{ds}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,78}{1,16\left(\frac{8}{1,0}\right)} = 0,08405$$

Dan tidak boleh kurang dari :

$$C_{s_{max}} = 0,044 \cdot S_{ds} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,78 \cdot 1,0 = 0,03432$$

Maka, dipakai nilai Cs terkecil yaitu Cs = 0,03432

Dimana :

Cs = Koefisien dasar seismik, sesuai peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1.

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain dalam rentang periode pendek, didapat dari situs gempa Indonesia seperti pada Gambar 6.1 yang digunakan pada SNI 1726:2019.

R = Faktor modifikasi respon dalam peraturan (SNI 1726:2019 Tabel 12 = 8)

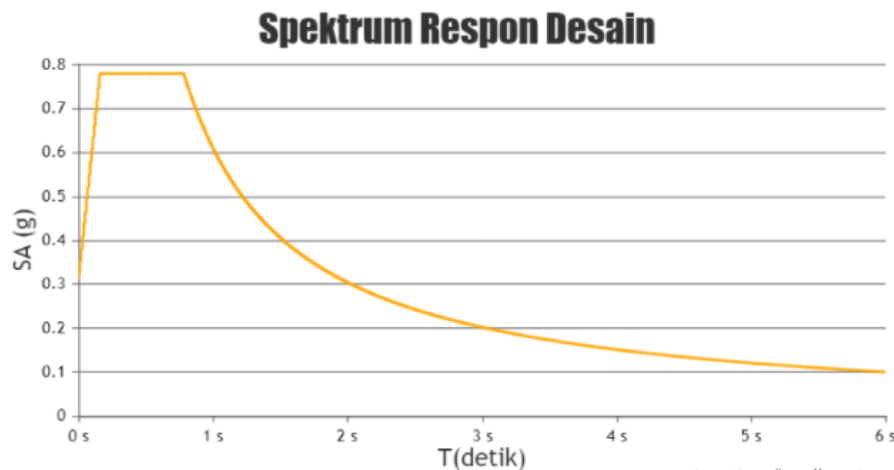
I_e = Faktor keutamaan gaya gempa sesuai peraturan (SNI 1726:2019 Tabel 4 = 1,0)

Untuk memperoleh parameter respons spektrum dapat dilakukan secara manual berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 atau dilakukan dengan cara otomatis melalui situs rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021. Kemudian akan didapatkan besarnya nilai dari parameter respons spektrum pada daerah yang ditinjau. Lokasi perencanaan gedung Hotel Hashira ini terletak di Kota Yogyakarta, dan klasifikasi situs pada daerah Yogyakarta diketahui dari nilai SPT dan perhitungan diuraikan pada Tabel 6.2.

Tabel 6. 2 Klasifikasi Situs Kota Yogyakarta

No.	Kedalaman (m)	Tebal (m)	Nilai SPT	N' = T/N
1	0.00 - 2.00	2	15	0,13333
2	2.00 - 4.00	2	12	0,16667
3	4.00 - 6.00	2	27	0,07407
4	6.00 - 8.00	2	11	0,18182
5	8.00 - 10.00	2	5	0,4

6	10.00 - 12.00	2	12	0,16667
7	12.00 - 14.00	2	24	0,08333
8	14.00 - 16.00	2	27	0,07407
9	16.00 - 18.00	2	14	0,14286
10	18.00 - 20.00	2	25	0,08
11	20.00 - 22.00	2	45	0,04444
12	22.00 - 24.00	2	47	0,04255
13	24.00 - 26.00	2	47	0,04255
14	26.00 - 28.00	2	17	0,11765
15	28.00 - 30.00	2	48	0,04167
Total (Σ)		30		1,79169
Mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 Tabel 5 Klasifikasi Situs				
$\Sigma N = \Sigma T / \Sigma N' = 16,74399$. (Tanah Sedang, $15 < 16,74399 < 50$)				



Gambar 6. 1 Respon Spektrum Kota Yogyakarta (SD – Tanah Sedang)
(Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)

6.3.3 Perhitungan Beban Geser Dasar Seismik (V)

Beban geser dasar seismik (V) didapatkan dari nilai koefisien respon seismik (C_s) yang kemudian dikalikan dengan berat total gedung (W). Sehingga, semakin besar berat bangunan maka semakin besar beban gempa yang akan terjadi. Nilai beban (W) yang terjadi pada struktur di tiap – tiap lantai telah diuraikan pada Tabel 6.1, dan didapatkan nilai $W_{total} = 19449023,46$ kg, serta nilai $C_s = 0,03432$. Sehingga gaya geser dasar gempa dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,03432 \times 19449023,46 = 667490,49 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6.3.4 Beban Gempa Statik Ekuivalen (Fi)

Distribusi beban gempa F_i diperhitungkan berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3 dimana k merupakan eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai $k = 1$. Apabila $T \leq 0,5$ detik, nilai $k = 1$. Untuk $T \geq 2,5$ detik, nilai $k = 2$. Dan untuk $0,5 < T < 2,5$ detik, nilai $k = 2$ atau dengan interpolasi linier antara 1 dan 2. Untuk nilai k yang menggunakan interpolasi linier dengan nilai $T_a = 1,16$ dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k &= 1 - \left(\frac{T_a - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) (1 - 2) \\ &= 1 - \left(\frac{1,16 - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) (1 - 2) \\ &= 1,33 \end{aligned}$$

Nilai beban gempa statik ekuivalen (F_i) didapat dengan menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i^k}{\sum W_i \cdot h_i^k} \cdot V$$

Untuk Lantai 10 (atap) diperoleh :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i^k}{\sum W_i \cdot h_i^k} \cdot V = \frac{1330320 \cdot 40^{1,33}}{1213776131,54} \cdot 533445,82 = 79003,73 \text{ kg}$$

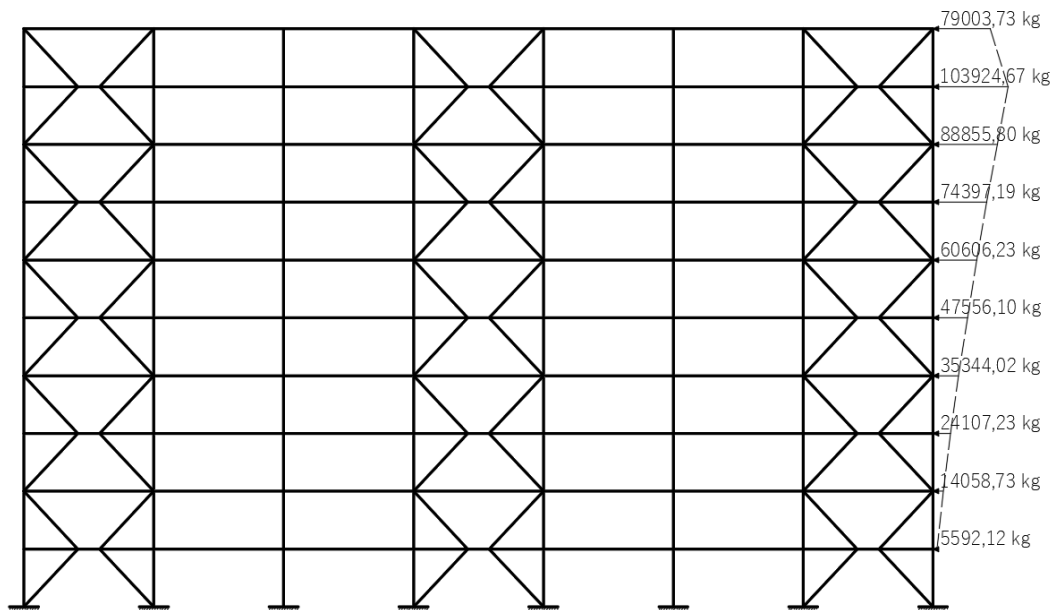
Nilai beban gempa static ekuivalen (F_i) secara lengkap ditampilkan pada Tabel 6.3.

Tabel 6. 3 Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen (F_i)

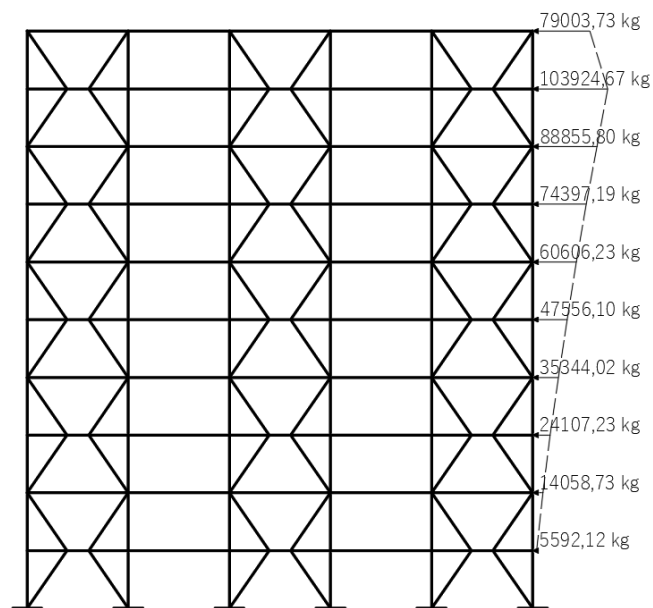
Lantai	Tinggi (h_i) (m)	Berat Tiap Lantai (W_i) (kg)	Faktor (k)	Momen ($W_i \cdot h_i^k$)	Geser Dasar Seismik (V) (kg)	Gaya Lateral ($F_{ix} = F_{iy}$) (kg)
10	40	1330320	1,33	179761165,88	533445,82	79003,73
9	36	2013189	1,33	236465036,83	533445,82	103924,67
8	32	2013189	1,33	202178086,18	533445,82	88855,80
7	28	2013189	1,33	169279665,32	533445,82	74397,19
6	24	2013189	1,33	137900411,30	533445,82	60606,23
5	20	2013189	1,33	108206787,65	533445,82	47556,10
4	16	2013189	1,33	80420021,89	533445,82	35344,02
3	12	2013189	1,33	54852404,16	533445,82	24107,23
2	8	2013189	1,33	31988530,72	533445,82	14058,73

1	4	2013189	1,33	12724021,62	533445,82	5592,12
Total (Σ)		19449023		1213776131,54		533445,82

Dari hasil perhitungan gaya lateral sumbu x dan sumbu y Tabel 6.3, kemudian digambarkan pada Gambar 6.2 untuk gaya gempa arah x dan Gambar 6.3 untuk gaya gempa arah y.



Gambar 6. 2 Gaya Gempa Tiap Lantai Arah X



Gambar 6. 3 Gaya Gempa Tiap Lantai Arah Y

1.4. Kombinasi Pembebanan

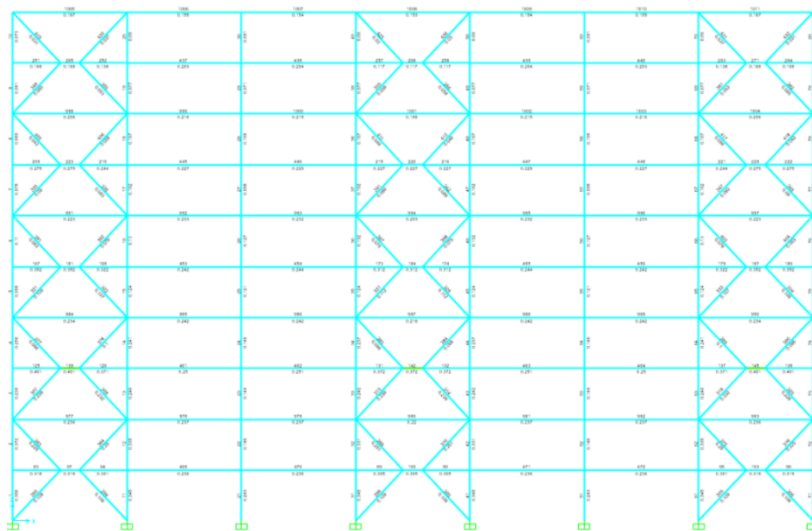
Perhitungan analisa struktur Sistem Rangka Bresing Eksentrik Tipe *Split-K and Inverted Split-K Braced* akan dihitung menggunakan program bantu analisa struktur SAP2000. Kombinasi pembebanan yang akan digunakan pada analisa SAP2000 terdapat 18 macam kombinasi. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.5.3, bahwa pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya seismik pada struktur dianggap terpenuhi jika elemen struktur dan pondasinya di desain untuk memikul kombinasi beban, dimana 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk tegak lurus. Kombinasi pembebanan yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan mengacu pada peraturan SNI 1727:2020 Pasal 2.3.1 tentang struktur, komponen, dan pondasi harus didesain sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek – efek beban terfaktor dalam kombinasi. Apabila struktur mendapat beban seismik, kombinasi beban yang diperhitungkan sebagai tambahan pada kombinasi pembebanan dasar mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 2.3.6. Kombinasi – kombinasi pembebanan tersebut kemudian akan diuraikan dalam Tabel 6.4 berikut.

Tabel 6. 4 Kombinasi Pembebanan

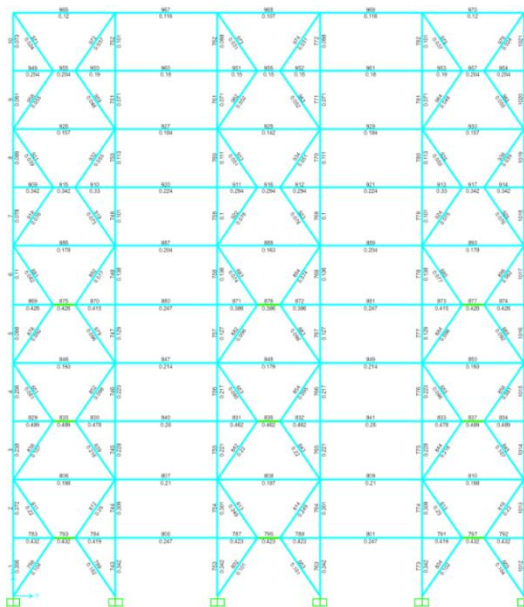
Type	Kombinasi Beban
COMBO 1	1,4D
COMBO 2	1,2D + 1,6L
COMBO 3	1,2D + L + GX + 0,3GY
COMBO 4	1,2D + L + GX - 0,3GY
COMBO 5	1,2D + L - GX + 0,3GY
COMBO 6	1,2D + L - GX - 0,3GY
COMBO 7	0,9D + GX + 0,3GY
COMBO 8	0,9D + GX - 0,3GY
COMBO 9	0,9D - GX + 0,3GY
COMBO 10	0,9D - GX - 0,3GY
COMBO 11	1,2D + L + 0,3GX + GY
COMBO 12	1,2D + L + 0,3GX - GY
COMBO 13	1,2D + L - 0,3GX + GY
COMBO 14	1,2D + L - 0,3GX - GY
COMBO 15	0,9D + 0,3GX + GY
COMBO 16	0,9D + 0,3GX - GY
COMBO 17	0,9D - 0,3GX + GY
COMBO 18	0,9D - 0,3GX - GY

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi menggunakan program SAP2000, kemudian di *input* kombinasi pembebanan yang telah diuraikan pada Tabel 6.4 tersebut. Kemudian dilakukan *run analyze* untuk mengetahui nilai gaya – gaya dalam yang terjadi.

Tahapan berikutnya adalah melakukan *Check of Structure*, apabila notasi warna yang terlihat pada struktur tersebut merah, maka menunjukkan bahwa komponen struktur tersebut mengalami *failure* (kegagalan). Maka harus dilakukan *redesign* pada tahap *Preliminary Design*, kemudian diulang lagi seperti tahapan sebelumnya, dan apabila warna dari struktur tersebut menunjukkan warna oranye, hijau, kuning, dan biru muda, maka struktur tersebut mampu menahan beban – beban yang bekerja. Cek struktur gedung Hotel Hashira diperoleh hasil seperti pada Gambar 6.4 (portal arah X) dan Gambar 6.5 (Portal arah Y). Struktur balok dan kolom berwarna biru, menunjukkan bahwa komponen struktur sudah mencukupi untuk menahan beban.



Gambar 6. 4 Analisa Kekuatan Struktur Arah X



Gambar 6. 5 Analisa Kekuatan Struktur Arah Y

1.5. Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai pada struktur gedung terjadi akibat pengaruh dari beban gempa rencana dengan kondisi struktur di ambang keruntuhan. Guna membatasi kemungkinan terjadi runtuhnya struktur secara total (*collapse*) yang dapat mengakibatkan korban jiwa dan mencegah benturan antar gedung.

Penentuan simpangan antar lantai (Δ) diperhitungkan berdasarkan perbedaan defleksi sebagai pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang akan ditinjau. Simpangan antar lantai (δx) tidak diijinkan melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a) yang telah ditetapkan pada peraturan SNI 1726:2019.

Gedung Hotel Hashira termasuk dalam kategori risiko II dengan menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentris. Karena lokasi hotel tersebut terletak di wilayah dengan tingkat gempa tinggi, maka Δ_a ditentukan sebesar $0,02h_{sx}$ (SNI 1726:2019 Tabel 20) dengan sistem rangka bresing eksentris termasuk kedalam kategori struktur lain dengan perumusan sebagai berikut :

$$\delta x = \frac{C_d \cdot \delta \cdot e}{I_e}$$

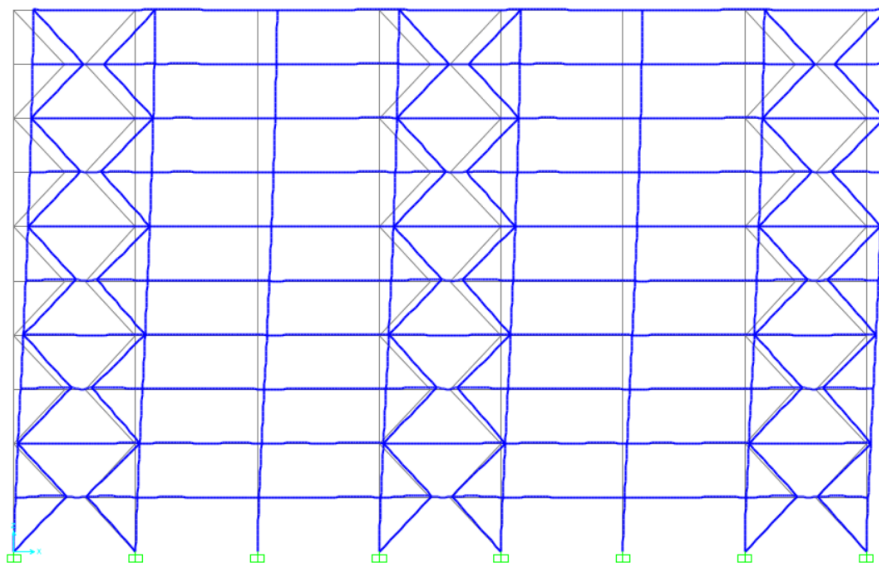
Dimana :

δx = Defleksi pusat massa di tingkat x (mm)

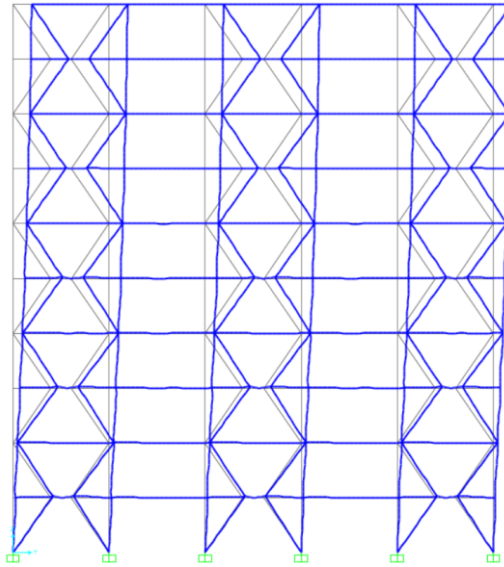
C_d = Faktor amplifikasi defleksi (SNI 1726:2019 Tabel 12), SRBE dengan nilai = 4

δx_e = Defleksi pada lokasi yang di isyaratkan

I_e = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4, dengan nilai = 1,0)



Gambar 6. 6 Simpangan Antar Lantai yang terjadi pada Arah X



Gambar 6. 7 Simpangan Antar Lantai yang terjadi pada Arah Y

Dari hasil analisa pemodelan struktur 3 dimensi pada SAP2000, diketahui simpangan antar lantai (*drift*) seperti terlihat pada Gambar 6.6 (portal arah X), dan Gambar 6.7 (portal arah Y). Nilai simpangan antar lantai yang telah diketahui akan diuraikan pada Tabel 6.5. Nilai simpangan ijin :

$$\begin{aligned} \Delta a &= 0,02 \cdot h_{sx} \\ &= 0,02 \cdot 4000 \text{ mm} \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 6. 5 Simpangan Tiap Lantai pada Sistem Rangka *Bresing* Eksentrik Tipe *Split-K and Inverted Split-K Braced*

Lantai	Elevasi	h_{sx}	δx	δy	Δx	Δy	Δa (ijin)	Ket.
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	40	4000	48,71	66,68	9,264	11,464	80	Aman
10	36	4000	46,39	63,82	11,304	13,447	80	Aman
9	32	4000	43,57	60,45	16,334	21,696	80	Aman
8	28	4000	39,48	55,03	18,225	22,979	80	Aman
7	24	4000	34,93	49,28	22,513	29,993	80	Aman
6	20	4000	29,30	41,79	23,600	30,481	80	Aman
5	16	4000	23,40	34,17	26,664	36,558	80	Aman
4	12	4000	16,73	25,03	26,206	35,932	80	Aman
3	8	4000	10,18	16,04	24,269	35,797	80	Aman
2	4	4000	4,11	7,09	16,456	28,378	80	Aman
1	0	0	0	0	0	0	80	Aman

1.6. Periode Getar Waktu Alami Struktur

Periode getar (T) merupakan waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awal. Periode getar umumnya disebut secara lengkap dengan periode getar alami (*natural fundamental periode*) dimana istilah tersebut digunakan untuk menggambarkan setiap getaran guna menekankan fakta bahwa hal tersebut merupakan properti alami dari struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar. Perhitungan periode getar waktu alami struktur menggunakan metode *Rayleigh (T-Rayleigh)* yang diuraikan pada Tabel 6.6 untuk arah X dan Tabel 6.7 untuk arah Y.

Tabel 6. 6 Perhitungan *T-Rayleigh* Bresing Arah X

Lantai	Berat (Wi)	Gaya Gempa (Fi)	δx	δx ²	Wi . δx ²	Fi . δx
10	1330319,90	79003,73	48,71	2372,54	3156233531,61	3848168,86
9	2013189,28	103924,67	46,39	2152,29	4332967050,00	4821354,31
8	2013189,28	88855,80	43,57	1898,07	3821181518,07	3871170,81
7	2013189,28	74397,19	39,48	1558,94	3138434269,44	2937451,66
6	2013189,28	60606,23	34,93	1219,90	2455883297,79	2116795,20
5	2013189,28	47556,10	29,30	858,41	1728145142,26	1393330,13
4	2013189,28	35344,02	23,40	547,50	1102223590,65	827005,61
3	2013189,28	24107,23	16,73	279,99	563670056,77	403382,98
2	2013189,28	14058,73	10,18	103,66	208687836,22	143137,12
1	2013189,28	5592,12	4,11	16,93	34074280,72	23006,32
Total Σ =					20541500573,52	20384803,00

Periode waktu getar alami dihitung dengan perumusan *T – Rayleigh* :

$$\begin{aligned}
 T_{r\ x} &= 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta x^2}{g \cdot \sum F_i \cdot \delta x}} \\
 &= 6,3 \sqrt{\frac{20541500573,52}{9810 \cdot 20384803}} \\
 &= 2,02 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Periode waktu getar di lokasi Kota Yogyakarta :

Syarat : $T_a < 3,5 T_{r\ x}$

$$0,0731 \times 40^{0,75} < 3,5 \times 2,02$$

$$1,16 < 7,07 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa periode waktu getar alami yang terjadi (T_a) lebih kecil dari waktu getar alami dengan perumusan $T - Rayleigh$ yang berarti T_a telah memenuhi persyaratan.

Tabel 6. 7 Perhitungan T -Rayleigh Bresing Arah Y

Lantai	Berat (W_i) (kg)	Gaya Gempa (F_i) (kg)	δy	δy^2	$W_i \cdot \delta y^2$ (kg)	$F_i \cdot \delta y$ (kg)
10	1330319,90	79003,73	66,68	4446,38	5915104647,29	5268060,72
9	2013189,28	103924,67	63,82	4072,36	8198430678,05	6631957,26
8	2013189,28	88855,80	60,45	3654,60	7357404538,62	5371626,62
7	2013189,28	74397,19	55,03	3028,23	6096409535,23	4094032,42
6	2013189,28	60606,23	49,28	2428,97	4889986343,21	2986955,85
5	2013189,28	47556,10	41,79	1746,10	3515230244,33	1987196,49
4	2013189,28	35344,02	34,17	1167,33	2350055644,48	1207571,01
3	2013189,28	24107,23	25,03	626,34	1260938290,63	603325,95
2	2013189,28	14058,73	16,04	257,41	518205880,90	225556,26
1	2013189,28	5592,12	7,09	50,33	101327788,32	39673,28
Total $\Sigma =$					40203093591,05	28415955,84

Periode waktu getar alami dihitung dengan perumusan $T - Rayleigh$:

$$\begin{aligned}
 T_r x &= 6,3 \sqrt{\frac{\Sigma W_i \cdot \delta y^2}{g \cdot \Sigma F_i \cdot \delta y}} \\
 &= 6,3 \sqrt{\frac{40203093591,05}{9810 \cdot 28415955,84}} \\
 &= 2,39 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Periode waktu getar di lokasi Kota Yogyakarta :

Syarat : $T_a < 3,5 T_r x$

$$0,0731 \times 40^{0,75} < 3,5 \times 2,39$$

$$1,16 < 8,37 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa periode waktu getar alami yang terjadi (T_a) lebih kecil dari waktu getar alami dengan perumusan $T - Rayleigh$ yang berarti T_a telah memenuhi persyaratan.