

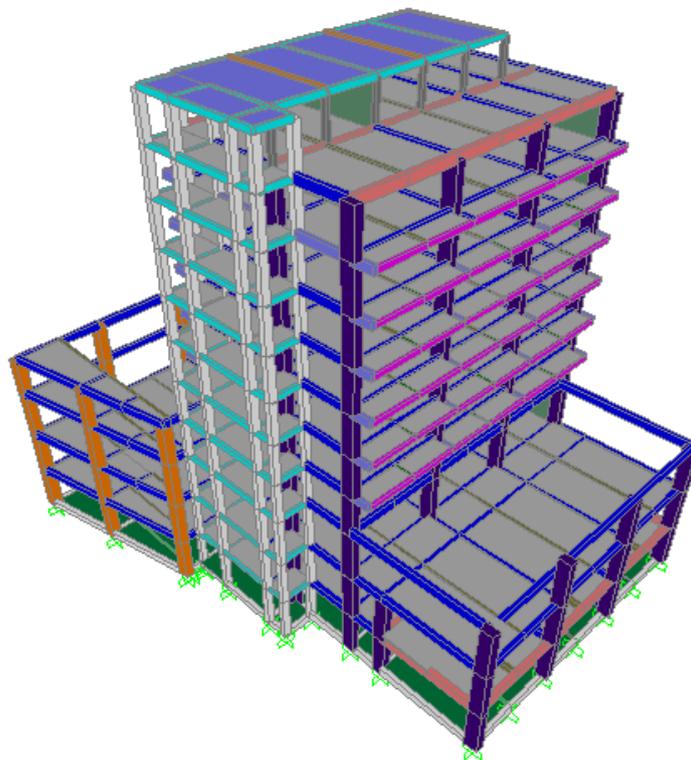
BAB III METODE PENELITIAN DAN ANALISIS

1.1 Data Struktur Gedung

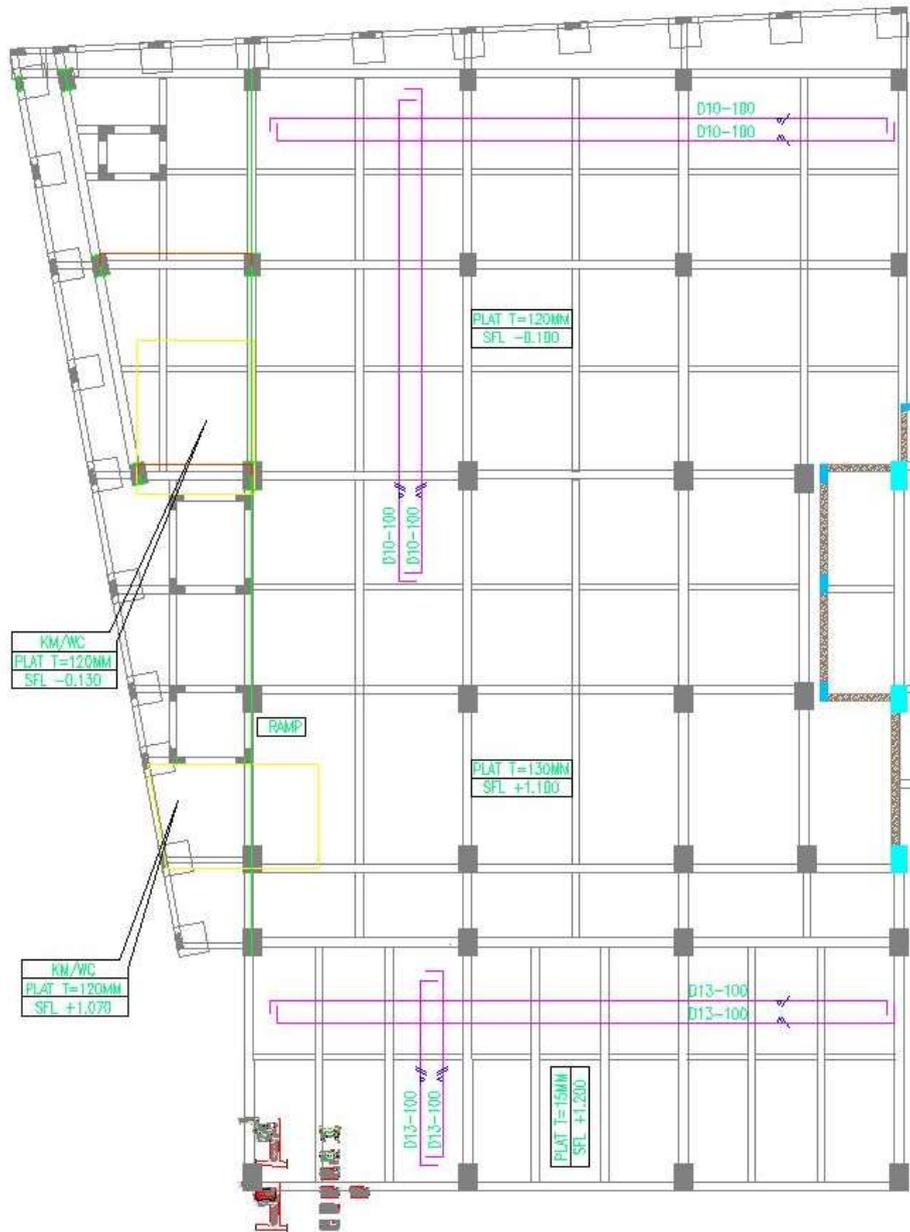
Penelitian ini dilakukan pada gedung Hotel El Royale Malioboro. Struktur bangunan beton bertulang mempunyai tinggi 36,7m yang memiliki 10 lantai dan 1 *basement*. Deskripsi Gedung El Royale Malioboro dapat dilihat pada Tabel 3.1, denah 3D gedung El Royale Malioboro dapat dilihat pada gambar 3.1 dan denah lantai dasar gedung El Royale Malioboro dapat dilihat Gambar 3.2

Tabel 3.1 Deskripsi Gedung (PT. Indosaka Prima)

Deskripsi Gedung	Keterangan
Sistem Struktur	Beton Bertulang
Fungsi Bangunan	Hotel
Jumlah Lantai	10
Tinggi Maksimum Gedung	36,7 m
Tinggi Lantai Tipikal	3,2 m
Jumlah lantai <i>basement</i>	1 lantai
Luas Total Gedung	1219,2 m ²



Gambar 3.1 Denah 3D struktur gedung



Gambar 3.2 Denah lantai dasar struktur gedung (PT. Indosaka Prima)

1.2 Tahapan Analisis

Metode penelitian menggunakan metode analisis gempa dinamik yaitu *time history* dan respon spektrum. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan *software SAP 2000*, untuk mendapatkan hasil yang diharapkan seperti diatas maka langkah analisis yang hendak dilakukan memiliki prosedur yang telah ditetapkan.

1.2.1 Studi Literatur

Studi literatur diambil sebagai dasar pedoman analisis yang akan dilakukan dengan mempelajari semua hal yang berhubungan dengan analisis gempa dinamik yaitu analisis *time history* dan respon spektrum. Buku acuan yang digunakan antara lain SNI 1727:2013 tentang Standar Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dan jurnal-jurnal yang bersangkutan dengan analisis gempa dinamik.

1.2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi bangunan Hotel El Royale Malioboro. Data yang didapat berupa gambar rencana gedung Hotel El Royale Malioboro dalam bentuk *softfile*. Data ini akan digunakan sebagai dasar pemodelan struktur dalam bentuk 3 dimensi yang selanjutnya dianalisis dengan menggunakan *software SAP 2000*.

Gambar rencana yang digunakan untuk tahapan pemodelan telah sesuai dengan gambar rencana sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada. Semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan gambar rencana yang ada agar keadaan sesungguhnya pada lapangan terevaluasi dengan cukup baik. Dan untuk bangunan yang tidak termasuk dalam kategori struktur tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh besar pada pemodelan 3D.

Data tanah yang digunakan untuk menentukan jenis tanah yang ada dilokasi Hotel El Royale Malioboro diasumsikan dengan jenis tanah yang ada di daerah Yogyakarta.

1.2.3 Pemodelan 3D Struktur

Pemodelan struktur bangunan secara tiga dimensi dilakukan pada *software SAP 2000*. Langkah awal saat pemodelan adalah menentukan material struktur yang digunakan dan dimensi penampang elemen struktur dari sistem rangka seperti kolom, balok, dan plat lantai. Dimensi setiap struktur di definisikan sesuai gambar rencana, setelah semua elemen struktur yang ada telah didefinisikan kemudian diterapkan pada model struktur. Bangunan non struktur seperti penutup lantai, elektrik dan mekanikal termasuk menjadi perhitungan beban pada struktur.

1.2.3.1 Penampang pada Program Pemodelan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.10.4, efektifitas penampang terhadap kekakuan struktur dengan memperhitungkan momen inersia (I_g) penampang retak dilakukan dengan modifikasi properti pada *software SAP2000*. Pengaplikasian pada *software SAP2000* dapat dilihat pada Gambar 3.3 sampai Gambar 3.7.

a. Nilai momen inersia (I_g) komponen struktur tekan sebagai berikut.

Kolom = 0,70 I_g

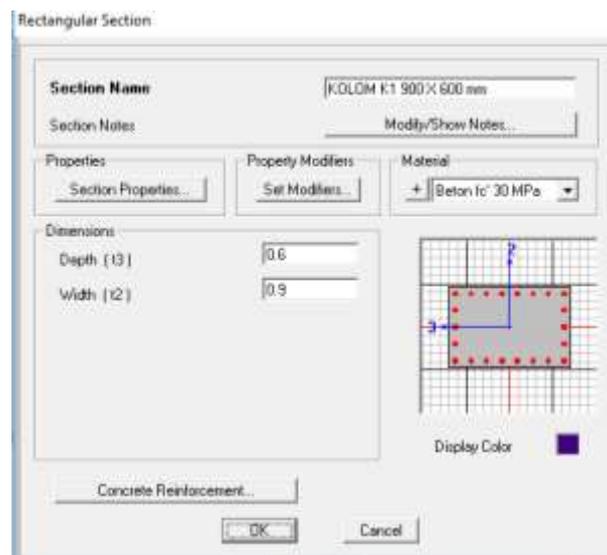
Dinding tak retak = 0,70 I_g

Dinding retak = 0,35 I_g

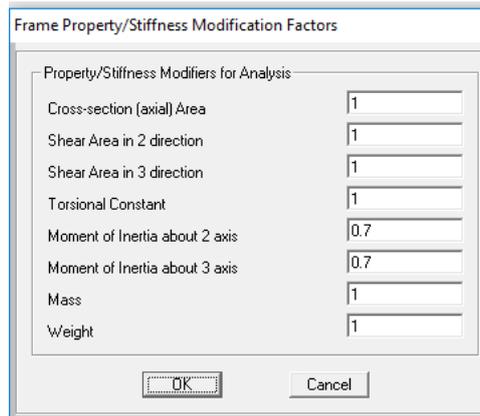
b. Nilai momen inersia (I_g) komponen struktur lentur sebagai berikut.

Balok = 0,35 I_g

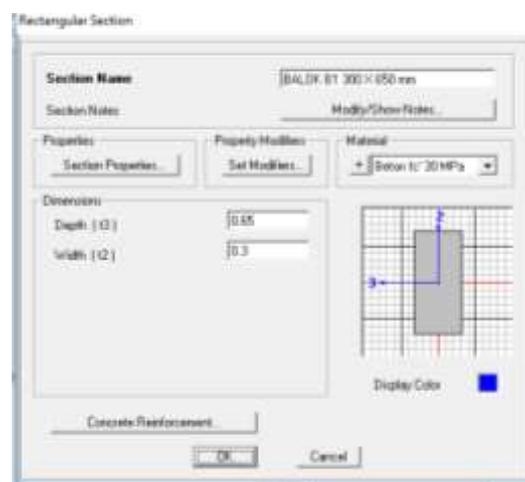
Pelat datar dan slab datar = 0,25 I_g



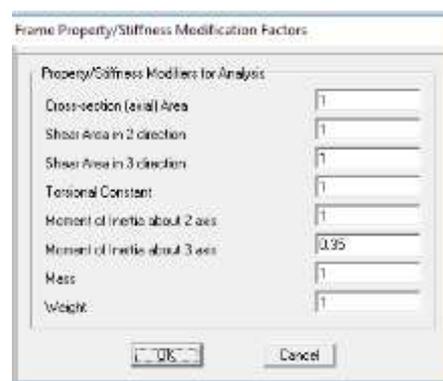
Gambar 3.3 Penampang kolom K1



Gambar 3.4 Modifikasi properti pada penampang kolom K1



Gambar 3.5 Penampang balok B1



Gambar 3.6 Modifikasi properti pada penampang balok B1

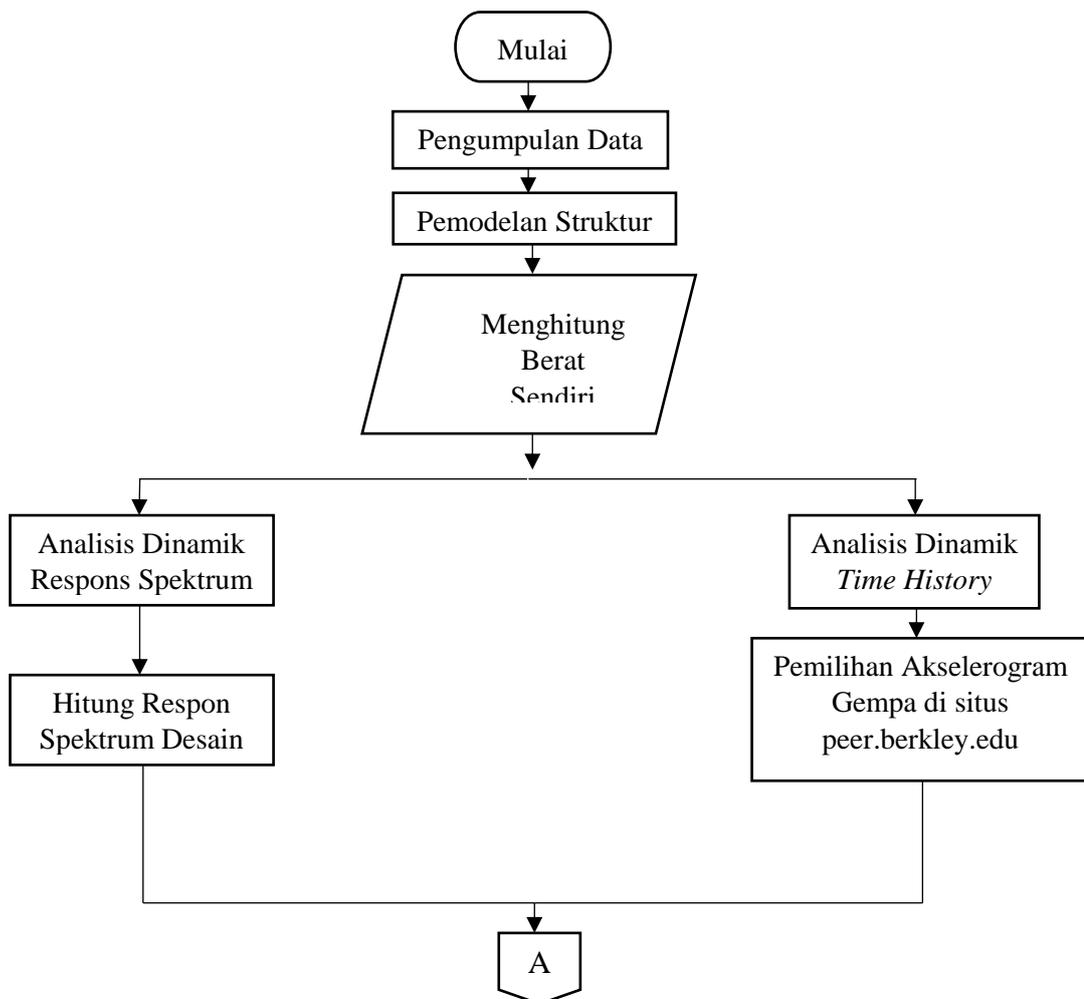
1.2.3.2 Berat Seismik Efektif

Menurut SNI 1726-2012, total massa bangunan yang diambil 100 % beban mati dan 25% beban hidup, sehingga pada *mass resource* di *SAP2000* seperti Gambar 3.7.

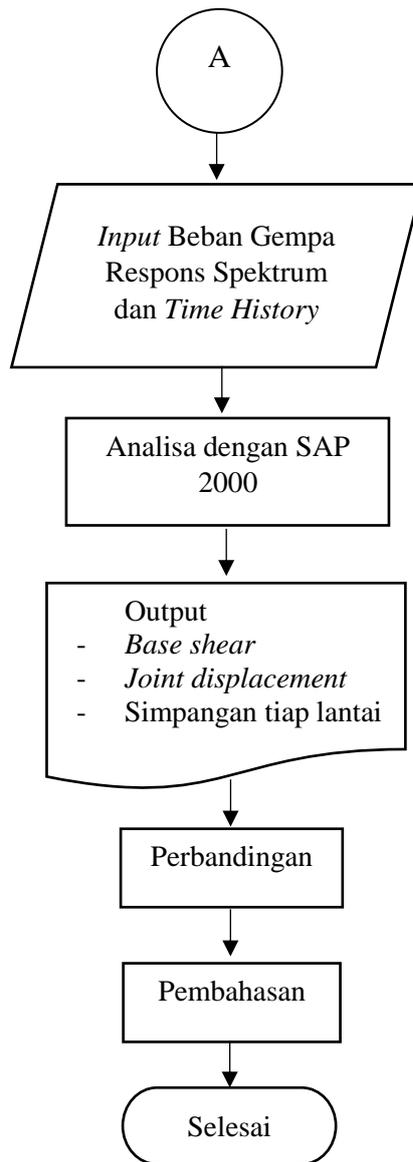


Gambar 3.7 Pengaturan total massa bangunan

1.2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian



Lanjutan Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

1.3 Pemodelan 3 Dimensi Bangunan

Pemodelan struktur bangunan gedung Hotel El Royale Malioboro menggunakan *software SAP 2000*. Pemodelan 3D bangunan gedung dapat dilihat seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Pemodelan 3D bangunan pada *SAP 2000*.

1.4 Data Elevasi Gedung

Struktur bangunan memiliki tinggi total 36,7 m dengan elevasi rata-rata pada setiap lantainya 3,2 m. Data elevasi gedung Hotel El Royale Malioboro dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Elevasi Gedung (PT. Indosaka Prima)

Lantai	Tinggi Bangunan (m)	Elevasi Setiap Lantai (m)
<i>Basement</i>	0	-3,7
1	3,6	-0,1
2	7,4	+3,9
3	11,3	+7,1
4	14,5	+10,3
5	17,7	+13,5
6	20,9	+16,7
7	24,1	+19,9
8	27,3	+23,1
9	30,5	+26,3
10	33,65	+29,45
Atap	36,7	+32,5

1.5 Spesifikasi Material

1.5.1 Struktur Portal

Spesifikasi material pada struktur bangunan terdiri dari kuat tekan beton dan tegangan leleh pada baja dimana kedua komponen tersebut mempengaruhi kuat struktur itu sendiri. Mutu beton rencana yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

a. Mutu Beton

Tabel 3.3 Mutu Beton Rencana (PT. Indosaka Prima)

Fungsi	Mutu Beton	
	f'c (MPa)	Ec (MPa)
Balok		
Tie Beam	30	25742,96
Balok	30	25742,96
Kolom		
Kolom Induk	30	25742,96
Plat		
Plat <i>basement</i>	30	25742,96
Plat lantai	30	25742,96
Plat dak	30	25742,96

1) Perhitungan Konversi Ec:

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c} \quad (3.1)$$

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} Ec &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{MPa} \end{aligned}$$

b. Mutu Baja Tulangan

$$\text{Ulir} : f_y = 400 \text{ MPa}$$

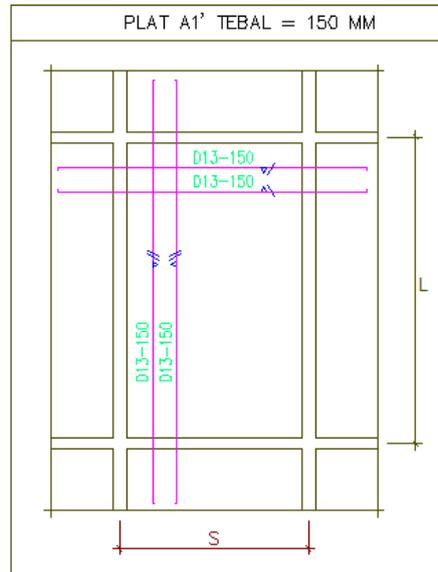
1.5.2 Data Elemen Struktur

a. Plat Lantai

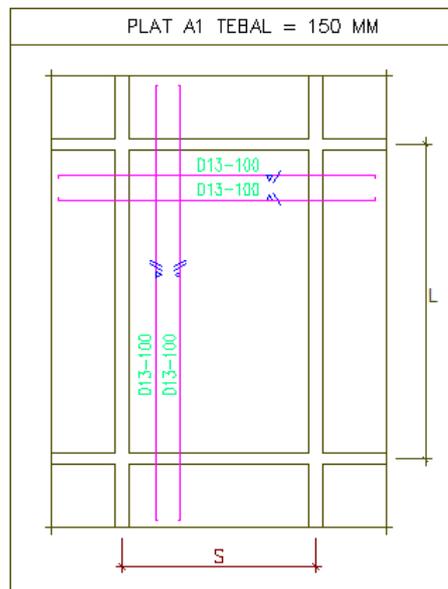
Pada proyek ini plat lantai menggunakan detail penulangan dua arah karena hasil $\frac{L_y}{L_x} < 2$, tebal plat yang digunakan berdasarkan gambar rencana dapat dilihat pada Tabel 3.4, dan pada Gambar 3.10 terdapat detail penulangan plat.

Tabel 3.4 Notasi Elemen Plat dan Tebal (PT. Indosaka Prima)

No	Kode	Tebal
1	A'1	150 mm
2	A1	150 mm
3	A2	120 mm
4	A3	100 mm

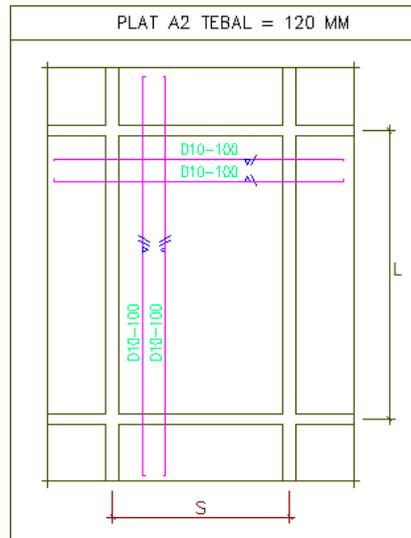


(a)

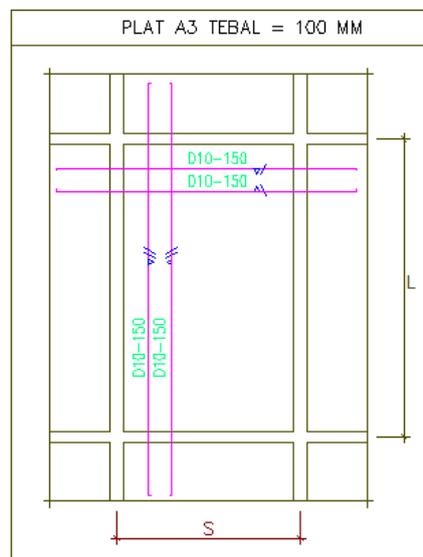


(b)

Gambar 3.10 (a) Plat A'1, (b) Plat A1, (c) Plat A2, (d) Plat A3 (PT. Indosaka Prima)



(c)



(d)

Lanjutan Gambar 3.10(a) Plat A1', (b) Plat A1, (c) Plat A2, (d) Plat A3(PT. Indosaka Prima)

b. Balok

Pada proyek ini balok yang digunakan berbentuk persegi panjang dengan tulangan rangkap, diameter yang digunakan antara 16-22 mm. Dimensi balok yang digunakan berdasarkan gambar rencana dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Notasi Elemen Balok dan Dimensi(PT. Indosaka Prima)

No	Kode	Tebal
1	B1	300 × 600
2	B2	300 × 650
3	B3	200 × 400
4	B4	200 × 400
5	BA1	250 × 500
6	BA2	250 × 500
7	BK1	300 × 600
8	BK2	200 × 400

c. Kolom

Kolom pada proyek ini menggunakan kolom berbentuk persegi panjang dengan dimensi tuangan menggunakan diameter 25 mm. Dimensi kolom berdasarkan gambar rencana dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Notasi Elemen Kolom dan Dimensi(PT. Indosaka Prima)

No	Kode	Tebal
1	K1	600 × 900
2	K2	500 × 750
3	K4	250 × 500 × 500
4	K5	300 × 300

1.6 Tahap Analisis

1.6.1 Pembebanan

Struktur bangunan adalah suatu susunan elemen yang memiliki pola ruangan dimana bertujuan atau berfungsi sebagai penyalur beban mati, beban hidup, beban akibat air hujan, dan beban angin pada bangunan ke dasar tanah. Beban itu sendiri adalah beban yang direncanakan terjadi, yang harus ditahan oleh struktur bangunan tersebut.

1.6.1.1 Pembebanan Struktur Portal

Beban mati adalah beban yang bersifat permanen dari semua elemen gedung, termasuk alat-alat yang tak terpisahkan dari bangunan dan berada pada posisi yang sama setiap saat. Beban mati terdiri dari berat portal, dinding, atap, *plumbing*, lantai, dll. Jenis beban mati terdapat pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung (PPURG 1983)

No	Komponen	Berat	Satuan
1	Beton Bertulang	2400	kg/m ³
2	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	kg/m ²
3	Aduan Semen atau Spesi	21	kg/m ²
4	Eternit/ Plafon	11	kg/m ²
5	Penggantung Langit-Langit	7	kg/m ²
6	Keramik	1700	kg/m ²
7	Ducting AC dan Penereangan	30,6	kg/m ²
8	Waterproof per cm	14	kg/m ²
9	Dinding Hebel	650	kg/m ³
10	Finishing Lantai (Tegel)	2200	kg/m ³
11	Instalasi Plumbing (ME)	25	kg/m

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain. Beban mati yang terjadi pada elemen struktur bangunan setiap lantai:

1) Lantai 1 s/d 10

Instalasi Plumbing (ME)	= 25 kg/m ²
Pasir Urug (2 cm)	= 32 kg/ m ²
Keramik	= 17 kg/m ²
Adukan Semen atau Spesi (2 cm)	= 42 kg/m ²
Eternit atau Plafon	= 11 kg/m ²
Penggantung Langit-langit	= 7 kg/m ² +
TOTAL	= 134kg/m²
	= 1,314 kN/m²

2) Lantai *basement* dan atap

Pasir Urug (2 cm)	= 32 kg/ m ²
Adukan Semen atau Spesi (2 cm)	= 42 kg/ m ² +
TOTAL	= 74 kg/m²
	= 0,725 kN/m²

3) Beban dinding

Berat dinding setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 3.8.

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri dinding hebel} &= 650 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Tebal dinding} &= 0,15 \text{ m} \\ \text{Lantai 3-8} &= (3,2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 650 \text{ kg/m}^3) \\ &= \mathbf{312 \text{ kg/ m}} \\ &= \mathbf{3,061 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

Tabel 3.8 Berat Dinding

Lantai	Tinggi (m)	Berat dinding (kN/m)
Lantai 1	3,8 m	3,635
Lantai 2	3,9 m	3,73
Lantai 9	3,15 m	3,013
Lantai 10	3,05 m	2,917
<i>Basement</i>	3,6 m	3,443

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup pada bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

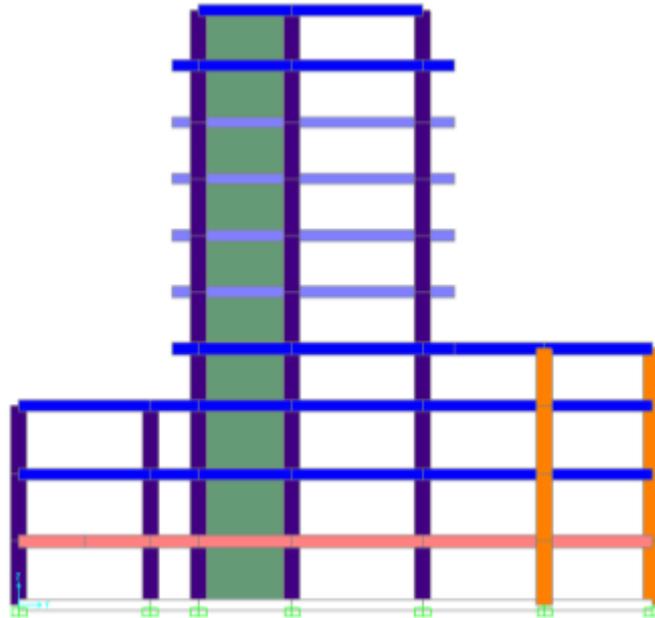
Tabel 3.9 Jenis Beban Hidup (SNI 1727-2013, Tabel 4-1)

No	Komponen	Berat	Satuan
1	Atap	0,96	kg/m ²
2	Lantai	1,92	kg/m ²
3	<i>Basement</i>	1,92	kg/m ²

c. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin yang bekerja terhadap gedung adalah menekan dan menghisap gedung tidak menentu dan sukar diprediksi. Faktor-faktor yang mempengaruhi daya tekan dan hisap angin terhadap gedung adalah kecepatan

angin, kepadatan udara, permukaan bidang, dan bentuk dari gedung. Bagian bangunan yang diberi beban angin terdapat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Bagian gedung yang diberi beban angin

Luas bagian gedung	= 767.38 m ²
Beban angin yang digunakan (SNI 1727-2013)	= 0,77 kN/m ²
Jumlah <i>joint</i> yang akan diberikan beban	= 44 titik
Beban angin	= $\frac{0,77 \times 767.38}{44}$
	= 13.43 kN

1.6.2 Klasifikasi Situs

a. Data Gempa

Menurut SNI 1726:2012 pasal 6.1 parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun. Data peta zonasi gempa yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14. Jenis tanah dimana bangunan tersebut didirikan mempengaruhi besaran dari beban gempa itu sendiri. Lokasi bangunan memiliki

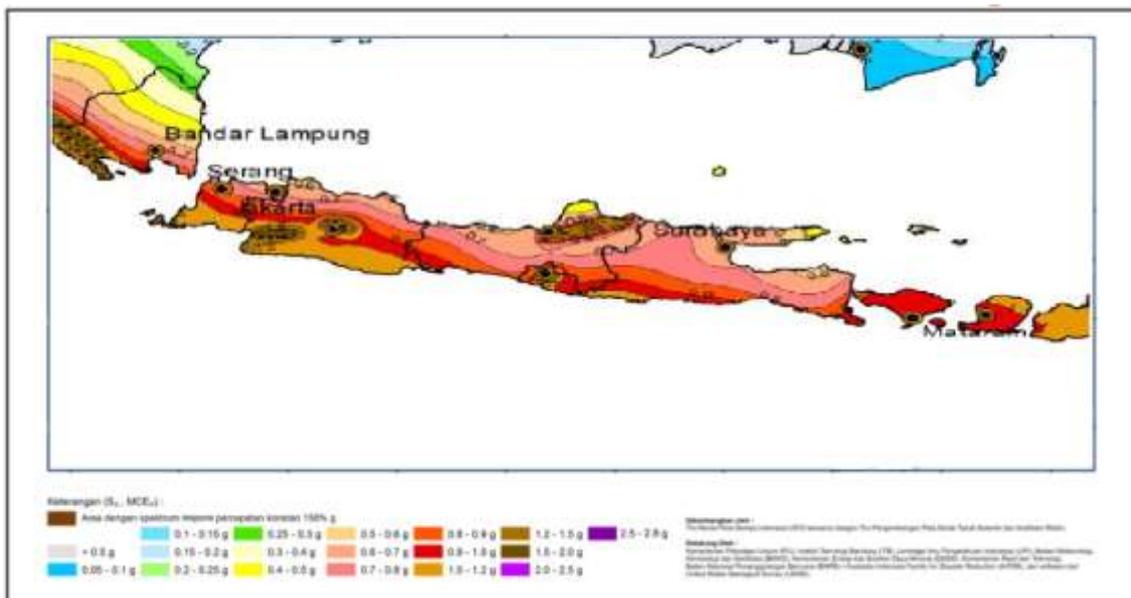
klasifikasi tanah sedang (SD). Data desain respon spektrum yang disediakan pada <http://puskim.pu.go.id> sebagai berikut.

Lokasi : Jl. Dagen, Yogyakarta

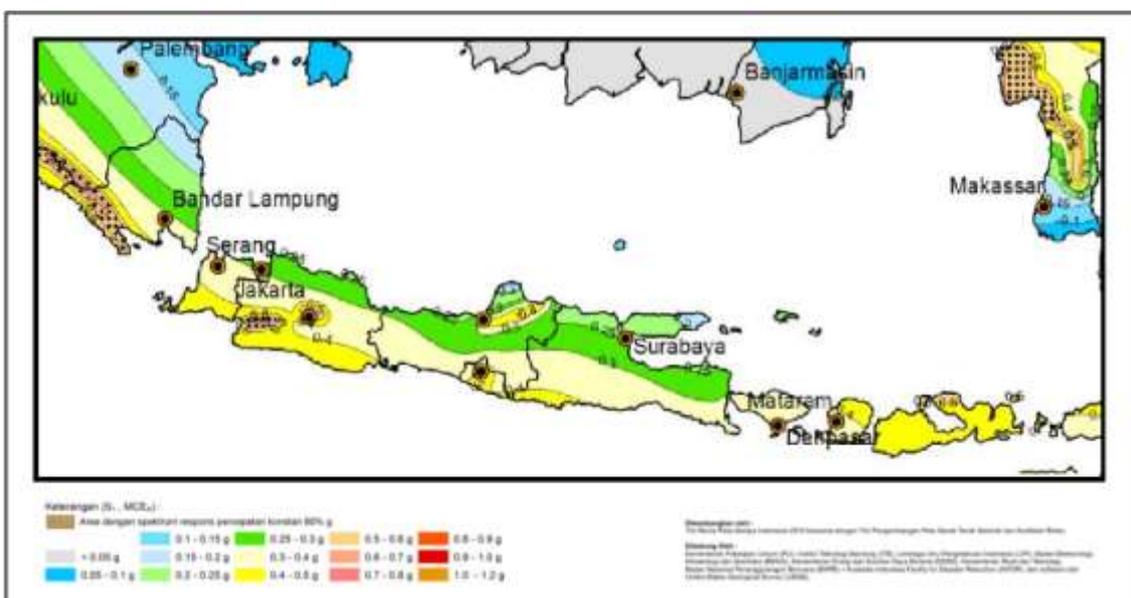
Koordinat : -7.793522430142167, 110.3807373046875

Nilai S_1 = 0,459 Nilai S_s = 1,264

Nilai F_v = 1,541 Nilai F_a = 1



Gambar 3.13 Peta percepatan batuan dasar pada periode pendek di lokasi pembangunan



Gambar 3.14 Peta percepatan batuan dasar pada periode 1 detik di lokasi pembangunan

b. Respon Spktrum Desain

1) Perhitungan Nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \\ &= \frac{2}{3} \times 1 \times 1,264 \\ &= 0,843 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,541 \times 0,459 \\ &= 0,472 \end{aligned}$$

2) Penentuan Respon Spektra

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,472}{0,843} \\ &= 0,112 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,472}{0,843} \\ &= 0,560 \end{aligned}$$

a) Nilai S_a yang digunakan pada periode yang lebih kecil dari T_0 ($0 \leq T < T_0$) dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Periode 1 ($0 \leq T < T_0$)

T	S_a
0	0,3371
0,01	0,3822
0,02	0,4274
0,03	0,4726
0,04	0,5178
0,05	0,5629
0,06	0,6081
0,07	0,6533
0,08	0,6985
0,09	0,7437
0,1	0,7888
0,11	0,8340

- b) Nilai S_a yang digunakan pada periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$) dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Periode 2 ($T_0 \leq T \leq T_s$)

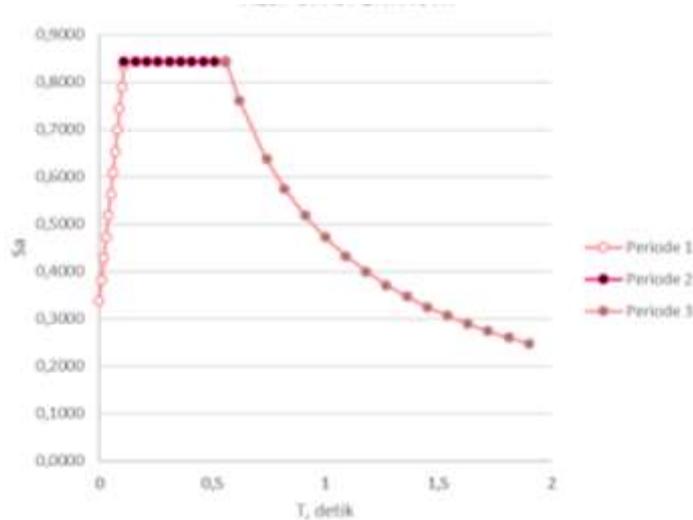
T	S_a
0,11	0,84267
0,16	0,84267
0,21	0,84267
0,26	0,84267
0,31	0,84267
0,36	0,84267
0,41	0,84267
0,46	0,84267
0,51	0,84267
0,56	0,84267

- c) Nilai S_a yang digunakan pada periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$) dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Periode 3 ($T_0 \leq T \leq T_s$)

T	S_a
0,56	0,84205
0,620	0,76056
0,740	0,63722
0,82	0,57506
0,910	0,51818
1,000	0,47155
1,09	0,43261
1,180	0,39962
1,270	0,3713
1,36	0,34673
1,450	0,3252
1,540	0,3062
1,63	0,28929
1,720	0,27415
1,810	0,26052
1,9	0,24818

Lokasi gedung berada pada klasifikasi tanah sedang, grafik desain respon spektrum untuk wilayah Yogyakarta dengan klasifikasi tanah sedang dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Hubungan antara Sa dan T pada desain respon spektrum

b. Skala Masukan Respon Spektrum

Setiap gerak tanah yang dianalisis untuk parameter-parameter respons individual harus dikalikan dengan besaran skalar sebagai berikut:

- 1) Parameter respons gaya harus dikalikan dengan I_e/R , dimana I_e adalah faktor keutamaan gempa yang telah ditentukan berdasarkan jeis pemanfaatan struktur dan R adalah koefisien modifikasi respons yang telah disesuaikan dengan sistem penahan gaya seismik dapat dilihat pada Tabel 2.3.
- 2) Nilai C dinyatakan dengan percepatan gravitasi pada lokasi bangunan tersebut.

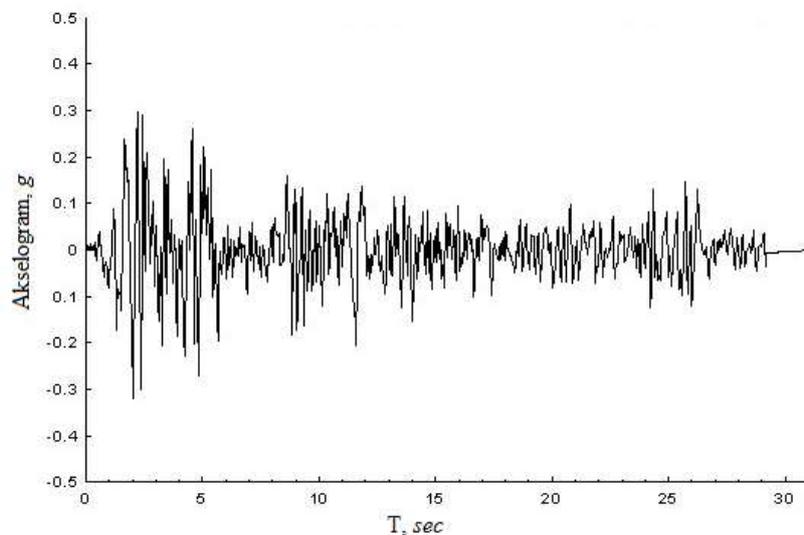
Hasil skala masukan respon spektrum untuk bangunan Hotel El Royale Malioboro dengan klasifikasi tanah sedang dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Skala Masukan RS

Percepatan Gempa	Arah	<i>Scale Factor</i>
		$\frac{I_e}{R} \times g$
RSx	U1 (100%)	1,962
	U2 (30%)	0,5886
RSy	U1 (100%)	0,5886
	U2 (30%)	1,962

1.6.3 Analisis *Time History*

Data rekaman pergerakan tanah yang sesuai harus diambil dari peristiwa-peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Percepatan gempa untuk analisis *time history* dipilih data rekaman gempa Imperial Valley atau El Centro, California pada 18 Mei 1940. Percepatan gempa untuk analisis *time history* dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan data gempa dapat dilihat pada Tabel 3.16.



Gambar 3.16 Akselogram gempa Imperial Valley (*peer.berkeley.edu*)

Tabel 3.14 Data gempa Imperial Valley atau El Centro(*peer.berkeley.edu*)

Deskripsi Gempa	Keterangan
Tanggal	18 Mei 1940
Magnitude	6,95 SR
Kedalaman gempa	8,8 km
Tipe Patahan	Strike-Slip
PGA	0,2584 g
PGV	31,74 cm/sec
PGD	18,01 cm

1.6.4 Periode Fundamental Pendekatan Struktur

Periode Fundamental Pendekatan Struktur T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitng (C_u) dan Periode Fundamental Pendekatan T_a yang harus ditentukan dari persamaan yang telah ditentukan. Didapat data perioda dari hasil analisis *SAP2000* sebagai berikut:

$$T = 1,56 \text{ sec}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,541 \times 0,459 \\ &= 0,472 \end{aligned}$$

$$C_u = 1,4 \quad (\text{Tabel 2.6.})$$

$$C_t = 0,046 \quad (\text{Tabel 2.7.})$$

$$x = 0,9 \quad (\text{Tabel 2.7.})$$

$$h_a = 36,7 \text{ m} \quad (\text{Tabel 3.1.})$$

Perhitungan periode getar minimum,

$$\begin{aligned} T_{\min} &= C_t \times h_a^x \\ &= 0,0466 \times 36,7^{0,9} \\ &= 1,192 \end{aligned}$$

Perhitungan periode getar maksimum,

$$\begin{aligned} T_{\max} &= 1,4 \times 1,192 \\ &= 1,67 \end{aligned}$$

Syarat $T_{\min} < T < T_{\max}$

1.6.5 Perhitungan Koefisien Respon Seismik dan Gaya Geser Seismik

Koefisien respons seismik, (C_s) hasil dari persamaan 3.8. Nilai C_s dari persamaan 3.8 tidak perlu melebihi nilai dari persamaan 3.9 dan tidak boleh kurang dari persamaan 3.9. Geser dasar seismik dalam arah yang ditetapkan ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W$$

$$\begin{aligned} S_{ds} &= \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \\ &= \frac{2}{3} \times 1 \times 1,264 \\ &= 0,843 \end{aligned}$$

$$R = 5 \quad (\text{Tabel 2.3.})$$

$$I_e = 1 \quad (\text{Tabel 2.2.})$$

$$\begin{aligned}
S_{D1} &= \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \\
&= \frac{2}{3} \times 1,541 \times 0,459 \\
&= 0,472
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{smax} &= \frac{SDs}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,843}{\left(\frac{5}{1}\right)} \\
&= 0,169
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_s &= \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,472}{1,56\frac{5}{1}} \\
&= 0,0604
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{smin} &= 0,44 \times S_{DS} \times I_e \\
&= 0,44 \times 0,843 \times 1 \\
&= 0,0371
\end{aligned}$$

Digunakan $C_s = 0,0604$

$$\begin{aligned}
V &= C_s \times W \\
&= 0,0604 \times 48491,335
\end{aligned}$$

$$V = 2932,36 \text{ kN}$$

1.6.6 Pengaruh P-delta

Menurut SNI 1726-2012, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh P-delta tidak disyaratkan apabila koefisien stabil (θ) seperti persamaan rumus 2.6 sama dengan atau kurang dari 0,10 dan tidak melebihi θ_{max} seperti persamaan rumus 2.7. Untuk desain vertikal total pada tingkat x (P_x), simpangan antar lantai tingkat desain (Δ_x), gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x (V_x), dan tinggi tingkat dibawah tingkat x (h_{sx}) dapat dilihat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 P_x , Δ_x , V_x , dan h_{sx} tiap lantai

Lantai	P_x	Δ	V_x	h_{sx}
1	65.653	0.747	2992.122	3.6
2	68.592	1.438	2445.990	3.8
3	96.133	2.048	2296.686	3.9
4	55.882	2.488	2246.919	3.2
5	81.642	2.855	1870.463	3.2
6	69.468	3.151	1555.943	3.2
7	65.315	3.385	1221.460	3.2
8	66.581	3.557	886.886	3.2
9	64.524	3.666	553.471	3.2
10	112.606	3.711	217.537	3.15

Contoh perhitungan θ pada lantai 1:

$$P_1 = 65,653 \text{ kN}$$

$$\Delta_1 = 0,747 \text{ mm}$$

$$V_1 = 2992,122 \text{ kN}$$

$$h_{s1} = 3,6 \text{ m}$$

$$I_e = 1$$

(Tabel 2.2.)

$$C_d = 5$$

(Tabel 2.3.)

$$\theta = \frac{65,653 \times 0,747 \times 1}{2992,122 \times 3,6 \times 5}$$

$$= 0,001$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \times 5}$$

$$= 0,1$$

Koefisien stabilitas (θ) lebih kecil dari θ_{max} sehingga struktur bangunan tergolong stabil, dan jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,1 tetapi kurang dari θ_{max} faktor peningkat pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan rasional seperti mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $\frac{1}{1-\theta}$.

1.6.7. Ketidakberaturan Struktur

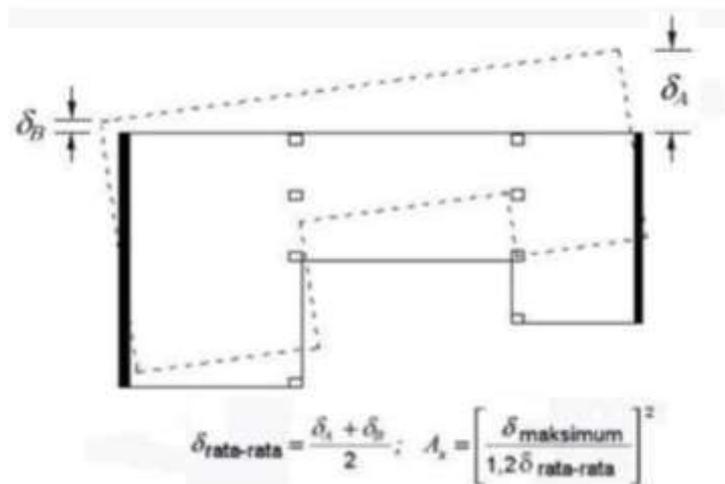
Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak disyaratkan melebihi 3,0, ilustrasi pembesaran momen torsi dapat dilihat pada Gambar 3.16. Ketidakberaturan struktur terhadap torsi (1a dan 1b) ditentukan dengan syarat:

$$\delta_{\text{Max}} < 1,2\delta_{\text{Avg}} \quad = \text{Tidak terjadi ketidakbearturan struktur}$$

$$1,2\delta_{\text{Avg}} < \delta_{\text{Max}} < 1,4\delta_{\text{Avg}} \quad = \text{Terjadi ketidakbearturan torsi 1a}$$

$$\delta_{\text{Max}} > 1,4\delta_{\text{Avg}} \quad = \text{Terjadi ketidakbearturan torsi 1b}$$

Hasil kontrol ketidakberaturan torsi untuk analisis respon spektrum dapat dilihat pada Tabel 3.16 dan untuk analisis *time history* dapat dilihat pada Tabel 3.17.



Gambar 3.17 Faktor pembesaran torsi (SNI 1726:2012)

Tabel 3.16 Kontrol ketidakberaturan torsi untuk analisis respon spektrum

Lantai	δ_{max}	δ_a	δ_b	δ_{avg}	$1,2\delta_{\text{avg}}$	CEK $\delta_{\text{max}} < 1,2\delta_{\text{avg}}$	$1,4\delta_{\text{avg}}$	CEK $\delta_{\text{max}} < 1,4\delta_{\text{avg}}$
basement	0	0	0	0	0		0	
1	0,724	0,724	0,503	0,6135	0,7362	TIDAK TERJADI	0,8589	TIDAK TERJADI
2	1,391	1,391	0,952	1,1715	1,4058	TIDAK TERJADI	1,6401	TIDAK TERJADI
3	1,98	1,98	1,346	1,663	1,9956	TIDAK TERJADI	2,3282	TIDAK TERJADI
4	2,403	2,403	1,652	2,0275	2,433	TIDAK TERJADI	2,8385	TIDAK TERJADI
5	2,756	2,756	1,925	2,3405	2,8086	TIDAK TERJADI	3,2767	TIDAK TERJADI
6	3,046	3,046	2,158	2,602	3,1224	TIDAK TERJADI	3,6428	TIDAK TERJADI
7	3,277	3,277	2,353	2,815	3,378	TIDAK TERJADI	3,941	TIDAK TERJADI
8	3,447	3,447	2,521	2,984	3,5808	TIDAK TERJADI	4,1776	TIDAK TERJADI
9	3,556	3,556	2,615	3,0855	3,7026	TIDAK TERJADI	4,3197	TIDAK TERJADI
10	3,6	3,6	2,663	3,1315	3,7578	TIDAK TERJADI	4,3841	TIDAK TERJADI

Tabel 3.16 Kontrol ketidakberaturan torsi untuk analisis *time history*

Lantai	δ_{max}	δ_a	δ_b	δ_{avg}	$1,2\delta_{avg}$	CEK $\delta_{max} < 1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	CEK $\delta_{max} < 1,4\delta_{avg}$
<i>basement</i>	0	0	0	0	0		0	
1	0,788	0,788	0,593	0,6905	0,8286	TIDAK TERJADI	0,9667	TIDAK TERJADI
2	1,522	1,522	1,132	1,327	1,5924	TIDAK TERJADI	1,8578	TIDAK TERJADI
3	2,174	2,174	1,596	1,885	2,262	TIDAK TERJADI	2,639	TIDAK TERJADI
4	2,645	2,645	1,939	2,292	2,7504	TIDAK TERJADI	3,2088	TIDAK TERJADI
5	3,037	3,037	2,232	2,6345	3,1614	TIDAK TERJADI	3,6883	TIDAK TERJADI
6	3,359	3,359	2,481	2,92	3,504	TIDAK TERJADI	4,088	TIDAK TERJADI
7	3,613	3,613	2,685	3,149	3,7788	TIDAK TERJADI	4,4086	TIDAK TERJADI
8	3,8	3,8	2,871	3,3355	4,0026	TIDAK TERJADI	4,6697	TIDAK TERJADI
9	3,918	3,918	2,954	3,436	4,1232	TIDAK TERJADI	4,8104	TIDAK TERJADI
10	3,967	3,967	3,003	3,485	4,182	TIDAK TERJADI	4,879	TIDAK TERJADI