

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR

2.1 Data Proyek

Data proyek merupakan informasi awal yang memuat gambaran menyeluruh mengenai karakteristik bangunan. Berikut ini merupakan deskripsi umum Gedung Hotel *Resort* Bantul yang menjadi objek perencanaan:

Nama Proyek : Perencanaan Pembangunan Hotel *Resort*
Lokasi Proyek : Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
Fungsi Bangunan : Perhotelan
Luas Lahan : 3.344 m²
Luas Bangunan : 1.225 m²
Jenis struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

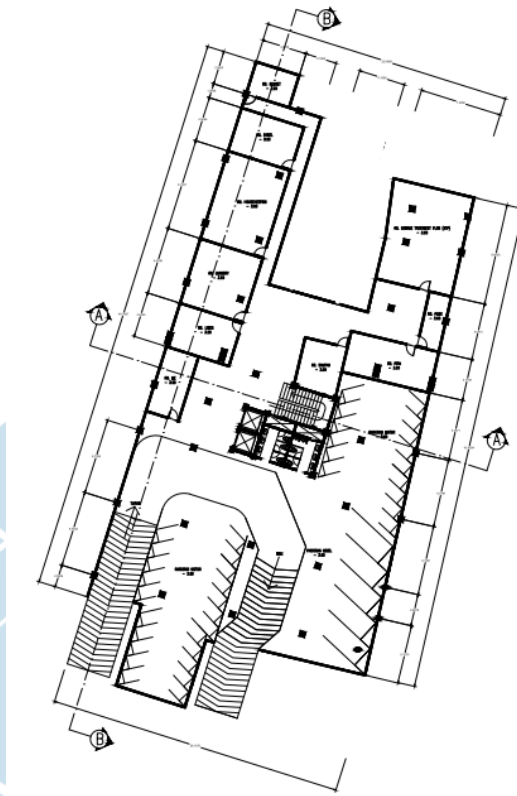
2.1.1 Data Jumlah dan Fungsi Lantai

Gedung Hotel *Resort* Bantul ini berlokasi di Jalan Parangtritis, Kabupaten Bantul. Detail fungsi bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

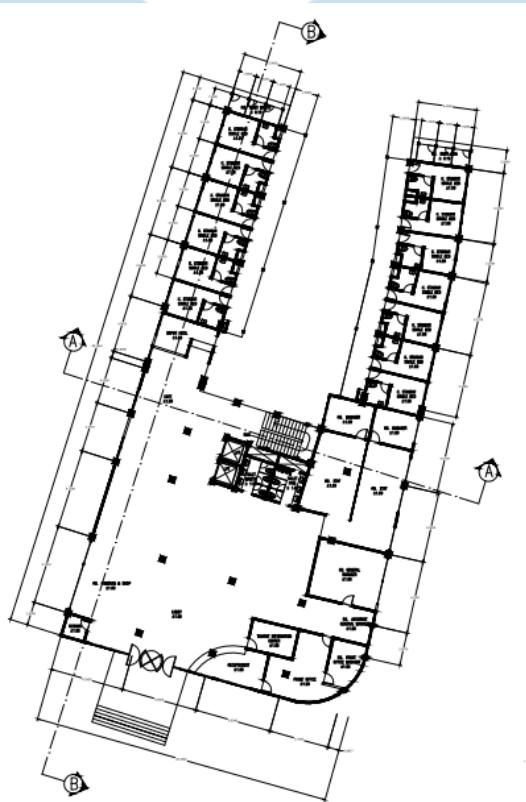
Tabel 2.1 Jumlah dan Fungsi Tiap Lantai Bangunan

Lantai	Fungsi	Elevasi
Atap	Ruang mesin <i>lift</i>	+13,00 m
Lantai 3	<i>Housekeeping</i> , kamar standar <i>double bed</i> (5), kamar <i>suite</i> (4), kamar <i>deluxe</i> (8)	+9,00 m
Lantai 2	Ruang-ruang kantor, <i>housekeeping</i> , kamar standar <i>single bed</i> (12), kamar standar <i>double bed</i> (7)	+5,00 m
Lantai 1	Lobby, ruang-ruang kantor, <i>cafe & shop</i> , dapur, kamar standar <i>single bed</i> (13)	+1,00 m
Basement	Parkiran, <i>housekeeping</i> , ruang-ruang <i>utilities</i> (Mekanikal elektrik, linen, <i>laundry</i> , panel, genset, rg. <i>Sewage Treatment Plan</i> (STP), rg. PABX, rg. pipa dan rg. sampah)	-3,00 m

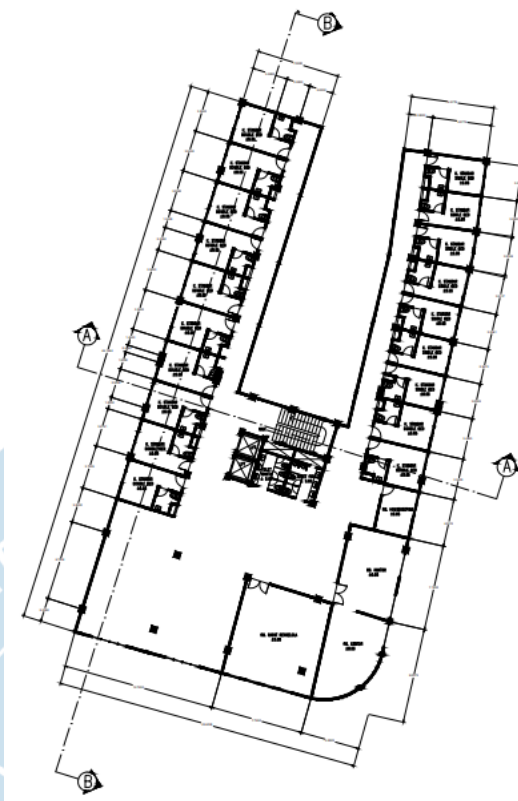
Denah arsitektur tiap lantai dari Gedung Hotel *Resort* Bantul dapat dilihat pada Gambar 2.1, Gambar 2.2, Gambar 2.3, dan Gambar 2.4.



Gambar 2.1 Denah *Basement*



Gambar 2.2 Denah Lantai 1



Gambar 2.3 Denah Lantai 2



Gambar 2.4 Denah Lantai 3

2.1.2 Data Material Struktur

Seluruh data material dalam perencanaan Gedung Hotel *Resort Bantul* mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019, guna memastikan bahwa bangunan yang direncanakan memenuhi standar kekuatan dan keselamatan yang berlaku. Berikut adalah data material struktur yang digunakan dalam perencanaan ini:

1. Material : Beton bertulang
2. Mutu Beton, f_c' : 30 Mpa
3. Mutu Baja Tulangan : Baja tulangan ulir (BJTS); $f_y = 420$ MPa
4. Modulus Elastis, E_c : $4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{30} = 25.743$ MPa
5. Modulus Elastis, E_s : 200.000 MPa

2.2 Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahap awal dalam proses perencanaan struktur yang bertujuan untuk menentukan dimensi awal elemen-elemen struktural. Perhitungan *preliminary design* mengacu pada SNI 2847:2019 sebagai pedoman utama. Perlu dipahami bahwa *preliminary design* bersifat awal dan pendekatan, sehingga hasilnya tidak bersifat mutlak dan sangat memungkinkan untuk mengalami penyesuaian melalui proses *trial and error*, hingga diperoleh ukuran struktur yang memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan kelayakan teknis. Sebagai gambaran, bagian ini menyajikan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* untuk menunjukkan pendekatan awal yang digunakan.

2.2.1 Perencanaan Pelat Lantai

Proses *preliminary design* pelat lantai bertujuan untuk menentukan ketebalan awal pelat yang cukup aman. Penentuan ini dilakukan secara cepat berdasarkan pendekatan rasio bentang terhadap tebal pelat, dengan mengacu pada SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1 dan Tabel 8.3.1.1. Menurut ketentuan tersebut tebal minimum pelat lantai adalah 125 mm. Tebal pelat dapat melebihi angka tersebut selama memenuhi batas minimum yang ditetapkan dan mampu menahan beban sesuai dengan persyaratan kekuatan struktur.

2.2.2 Perencanaan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1, ukuran kolom paling kecil adalah 300 mm agar kolom mampu menahan beban secara aman. Selain itu, perbandingan antara sisi terkecil dan sisi terbesarnya tidak boleh kurang dari 0,4 supaya bentuk kolom tetap seimbang dan tidak terlalu ramping. Dimensi ini ditetapkan sebagai acuan awal dan dapat disesuaikan kembali setelah dilakukan analisis struktur yang lebih rinci. Berikut contoh perhitungannya:

1. Penampang terkecil

$$\begin{array}{ll} b \text{ (penampang terkecil)} & > 300 \text{ mm} \\ 600 \text{ mm} & > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

2. Rasio dimensi

$$\begin{array}{ll} b \text{ (terkecil)} / p \text{ (terbesar)} & > 0,4 \\ 600 \text{ mm} / 700 \text{ mm} & > 0,4 \\ 0,86 & > 0,4 \quad (\text{OK}) \end{array}$$

2.2.3 Perencanaan Balok

Preliminary design balok dilakukan untuk menentukan dimensi awal yang memadai dalam menahan beban struktur. Tinggi balok (h) ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1 sebagai kontrol lendutan awal sesuai jenis tumpuan, sedangkan lebar balok (b) ditentukan mengacu pada Pasal 18.6.2, dengan mempertimbangkan rasio penampang yang efisien. Berikut contoh perhitungannya:

1. Tinggi minimum balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 untuk acuan perhitungan tinggi minimum balok dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tinggi Minimum Balok

Kondisi perlekatan	Minimum h
Perlekatan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

Perhitungan untuk tinggi balok induk adalah $\ell/16$ dengan kondisi perletakan sederhana dan balok anak adalah $\ell/21$ dengan kondisi perletakan menerus dua sisi. Jika, diketahui:

Jenis balok = balok induk
 ℓ = 7000 mm
 h min = $7000/16 = 437,5$ mm
 h pakai = 700 mm > 437,5 mm (OK)

2. Lebar minimum balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 untuk acuan perhitungan lebar minimum harus memenuhi syarat lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil $0,3h$ dan 250 mm.

Jika, diketahui:

h = 700 mm
 $b_{\min 1}$ = 250 mm
 $b_{\min 2}$ = $0,3(700) = 210$ mm
 b pakai = 600 mm > 250 mm (OK)
 b pakai = 600 mm > 210 mm (OK)

2.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur merujuk pada semua gaya dan beban yang bekerja pada elemen-elemen bangunan, termasuk beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa, dan faktor lingkungan lainnya. Dengan menganalisis pembebanan ini, elemen struktur dapat dirancang kuat dalam berbagai kondisi, stabil, dan berfungsi dengan baik selama masa pakainya.

2.3.1 Beban Mati

Beban mati merujuk pada semua beban yang bersifat permanen dan tetap pada struktur, seperti berat material dinding, atap, dan elemen struktural lainnya. Hal ini mencakup semua elemen yang secara fisik menyatu dengan bangunan dan memiliki kontribusi tetap pada total beban yang harus ditanggung. Beban-beban mati yang digunakan dalam perancangan struktur dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Beban Mati (*Dead Load*)

Material	Beban Merata
Beton Bertulang	24 kN/m ³
Baja	78,5 kN/m ³
Dinding Bata	2,5 kN/m ²
Plafond	0,18 kN/m ²
Dinding Partisi	1 kN/m ²

2.3.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan (SIDL) adalah beban permanen yang berasal dari elemen non-struktural yang dipasang di atas elemen struktur utama, seperti lapisan penutup lantai, plafon, partisi ringan, dan elemen arsitektural lainnya yang tidak dihitung sebagai berat sendiri struktur. Contoh perhitungan rinci dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai acuan untuk menghitung beban-beban SIDL lainnya.

Tabel 2.4 Beban Mati Tambahan (SIDL)

Finishing Lantai		
Keramik		0,17 kN/m ²
Mortar Spesi		0,63 kN/m ²
Pasir		0,9 kN/m ²
Plumbing dan Elektrikal		0,3 kN/m ²
Plafond		0,09 kN/m ²
Rangka Plafond		0,05 kN/m ²
SIDL		2,14 kN/m²
Finishing Lantai Atap		
Mortar Spesi		0,63 kN/m ²
Waterproof		0,42 kN/m ²
Plumbing dan Elektrikal		0,3 kN/m ²
Plafond		0,09 kN/m ²
Rangka Plafond		0,05 kN/m ²
SIDL		1,49 kN/m²
Dinding di Atas Balok (Luas Buka 0%)		
Pasangan Bata	4 m×250 kg/m ² ×100%	1000 kg/m
Plesteran	4 m×3×21 kg/m ² ×100%	252 kg/m
SIDL		1252 kg/m (12,52 kN/m)
Dinding dengan Pintu 1 Daun di Atas Balok		
Luas Pintu	0,9 m×2,05 m	1,845 m ²
Luas Dinding	4 m×5,25 m	21 m ²
Luas Buka	1,845 m ² /21 m ² ×100	8,78%≈9%
Pasangan Bata	4 m×250 kg/m ² ×(100-9)%	910 kg/m
Plesteran	4 m×3×21 kg/m ² ×(100-9)%	229,3 kg/m
SIDL		1139,3 kg/m (11,39 kN/m)
Dinding Parapet di Atas Balok (Luas Buka 0%)		
Pasangan Bata	1 m×250 kg/m ² ×100%	250 kg/m
Plesteran	1 m×3×21 kg/m ² ×100%	63 kg/m
SIDL		313 kg/m (3,13 kN/m)
Dinding 5 m di Atas Pelat (Luas Buka 0%)		
Pasangan Bata	5 m×4 m×250 kg/m ² ×100%	5000 kg
Plesteran	5 m×4 m×3×21 kg/m ² ×100%	1260 kg
Total		6260 kg (62,6 kN)
Luas Pelat	5 m×7 m	35 m ²
SIDL	62,6 kN/35 m²	1,8 kN/m²

Dinding 2,5 m dengan Pintu 1 Daun di Atas Pelat		
Luas Pintu	0,9 m×2,05 m	1,845 m ²
Luas Dinding	4 m×2,5 m	10 m ²
Luas Buka	1,845 m ² /10 m ² ×100	18,45%≈18,5%
Pasangan Bata	2,5 m×4 m×250 kg/m ² ×(100-18,5)%	2037,5 kg
Plesteran	2,5 m×4 m×3×21 kg/m ² ×(100-18,5)%	513,45 kg
Total		2550,9 kg (25,51 kN)
Luas Pelat	5 m×5,25 m	26,25 m ²
SIDL	25,51 kN/26,25 m ²	1 kN/m ²

2.3.3 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban sementara yang bekerja pada bangunan selama masa operasional, seperti beban dari penghuni, perabot, aktivitas manusia, dan beban bergerak lainnya yang tidak bersifat permanen. Beban ini dapat bervariasi tergantung pada fungsi ruang dan dipengaruhi oleh aktivitas yang terjadi di dalamnya. Penentuan beban hidup pada Gedung Hotel *Resort Bantul* ini mengacu pada SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1, beban hidup berdasarkan fungsi ruangan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Beban Hidup (*Live Load*)

Basement			
Fungsi Ruang	Beban Merata	Sumber	Keterangan
Toilet	2,87 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Toilet Rooms</i>
Tangga	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Tangga
Rg. <i>Genset</i>	11,97 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Gudang Berat
Rg. Panel	11,97 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Gudang Berat
Rg. <i>Housekeeping</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Ruang Kantor
Rg. <i>Laundry</i>	7,18 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Laundries</i>
Rg. Linen	7,18 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Laundries</i>
Rg. <i>Sewage Treatment Plant</i>	11,97 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Gudang Berat
Rg. PABX	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Ruang Komputer
Rg. Pipa	6 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Gudang Ringan
Rg. Sampah	4,79 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Incinerator Charging Floor</i>
Rg. <i>Mechanical</i> dan Elektrikal	11,97 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Gudang Berat
Parkiran Motor dan Mobil	1,92 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Garasi/ Parkir

Lantai 1			
Fungsi Ruang	Beban Merata	Sumber	Keterangan
Kamar	1,92 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Hunian Satu Keluarga
Toilet	2,87 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Toilet Rooms</i>
Koridor Lantai Dasar	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Koridor
Tangga	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Tangga
<i>Lift</i>	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Mesin
Gudang	6 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Gudang Ringan
<i>Cafe</i>	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Makan dan Restoran
Dapur Kecil	7,18 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Kitchens</i>
Rg. <i>Staff</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Rg. <i>Manager</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Rg. <i>General Manager</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Rg. <i>Assistant General Manager</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Rg. <i>Front Office Manager</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
<i>Front Office</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
<i>Tourist Information Center</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
<i>Receptionist</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Lobi	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Lobi
Lantai 2			
Fungsi Ruang	Beban Merata	Sumber	Keterangan
Kamar	1,92 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Hunian Satu Keluarga
Toilet	2,87 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Toilet Rooms</i>
Koridor Lantai Atas	3,83 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Koridor
Tangga	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Tangga
<i>Lift</i>	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Mesin
Rg. <i>Housekeeping</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Rg. Rapat Pengelola	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	R. Pertemuan
Rg. Kantor	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Atap (tidak dilewati)	0,75 kN/m ²	IS:875-1987	<i>Flat Roof</i>
Lantai 3			
Fungsi Ruang	Beban Merata	Sumber	Keterangan
Kamar	1,92 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Hunian Satu Keluarga
Toilet	2,87 kN/m ²	Tabel C4.3-1	<i>Toilet Rooms</i>
Koridor Lantai Atas	3,83 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Koridor
Tangga	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Tangga
<i>Lift</i>	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Mesin
Rg. <i>Housekeeping</i>	2,4 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Kantor
Balkon	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Balkon

Atap			
Fungsi Ruang	Beban Merata	Sumber	Keterangan
Tangga	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Tangga
Lift	4,79 kN/m ²	Tabel 4.3-1	Rg. Mesin
Atap (dapat dilewati)	1,5 kN/m ²	IS:875-1987	Flat Roof

2.3.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan gaya dinamis yang bekerja pada struktur akibat aktivitas seismik yang berasal dari pergerakan lempeng bumi. Gaya ini bersifat tidak tetap dan sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis bangunan, jenis tanah, serta massa struktur itu sendiri. Untuk menjamin keamanan dan kelayakan bangunan terhadap beban gempa, berikut ini analisis yang dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019 untuk perencanaan Gedung Hotel *Resort* Bantul:

1. Menentukan Kategori Risiko

Gedung yang direncanakan dalam proyek ini merupakan bangunan hotel resort yang berfungsi sebagai tempat hunian sementara dan kegiatan komersial. Berdasarkan tabel kategori risiko dalam SNI 1726:2019, bangunan seperti apartemen, rumah susun, dan hotel termasuk dalam kategori risiko II atau dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kategori Risiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ <i>mall</i> - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Mengacu pada SNI 1726:2019, nilai I_e ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Gedung Hotel *Resort* Bantul termasuk ke dalam kategori risiko II, maka nilai faktor keutamaan gempa (I_e) untuk bangunan ini adalah 1,0 atau dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3. Menentukan Klasifikasi Situs

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 6.1.3 kelas situs SE (tanah lunak) bisa dijadikan asumsi awal dalam perencanaan struktur tahan gempa jika tidak tersedia data geoteknik yang memadai. Ini sangat penting dalam konteks wilayah seperti Kabupaten Bantul, yang secara umum memiliki potensi kegempaan tinggi dan belum tentu seluruh wilayahnya memiliki data $\bar{V}_s$ atau CPT lengkap. Kelas situs ini memiliki kriteria kecepatan gelombang geser rata-rata ($\bar{V}_s$) yang termasuk dalam kategori kurang dari 175 m/detik, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 2.8.

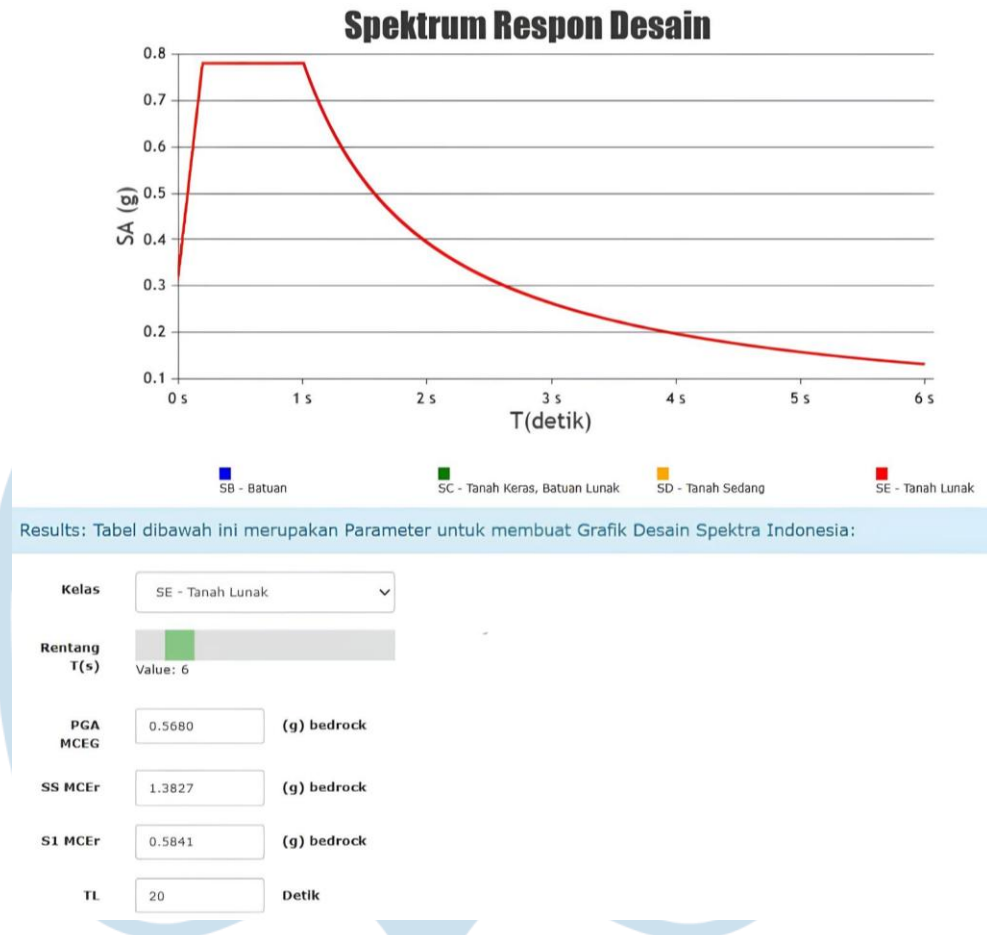
Tabel 2.8 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

4. Menentukan Parameter Respons Spektral

Salah satu tahapan dalam merencanakan pembangunan struktur tahan gempa adalah menentukan parameter respon spektral, yaitu S_{DS} (Spektral Percepatan Desain Periode Pendek) dan S_{DI} (Spektral Percepatan Desain Periode 1 Detik). Nilai S_{DS} dan S_{DI} tidak dihitung secara langsung, melainkan diturunkan dari dua parameter dasar, yaitu S_s (Spektral Percepatan Periode)

dan S_I (Spektral Percepatan Periode 1 Detik). Untuk menentukan nilai S_s dan S_I di wilayah Kabupaten Bantul dengan klasifikasi tanah lunak (SE), dapat diperoleh melalui situs resmi Kementerian PUPR yaitu <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>.



Gambar 2.5 Grafik Desain Spektra

Berdasarkan hasil analisis dan referensi pada Gambar 2.5, nilai $S_s = 1,3827g$ dan $S_I = 0,5841g$. Langkah selanjutnya adalah menentukan koefisien situs F_a dan F_v . Menurut SNI 1726:2019, nilai F_a dan F_v ditentukan berdasarkan jenis tanah dan nilai S_s serta S_I . Untuk tanah lunak (klasifikasi SE), nilai F_a dan F_v dapat diperoleh melalui interpolasi dari Tabel 2.9 dan Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Interpolasi nilai F_a :

$$F_a = \frac{(1,3827 - 1,25)}{(1,5 - 1,25)} + 0,9 = 0,8469$$

Tabel 2.10 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Interpolasi nilai F_v :

$$F_v = \frac{(0,5841 - 0,5)}{(0,6 - 0,5)} + 2,2 = 2,0318$$

Setelah memperoleh nilai S_s serta S_l , serta koefisien situs F_a dan F_v . Langkah selanjutnya adalah menghitung parameter respons spektral maksimum, yaitu S_{MS} dan S_{MI} :

- $S_{MS} = F_a \times S_s = 0,8469 \times 1,3827g = 1,1710g$
- $S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,0318 \times 0,5841g = 1,1868g$

S_{MS} dan S_{MI} merupakan nilai espons spektral maksimum pada lokasi berdasarkan kondisi tanah yang ada. Namun, untuk kepentingan desain struktur, nilai ini perlu dikonversi menjadi parameter respons spektral desain, yaitu:

- $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,1710g = 0,7807g$
- $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 1,1868g = 0,7912g$

5. Menentukan Parameter Periode

Dalam analisis respons spektral gempa, penting untuk mengetahui bentuk kurva respons spektral desain. Untuk membagi zona-zona tersebut, digunakan dua parameter utama, yaitu T_0 dan T_s . Nilai-nilai ini ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} , dengan perhitungan sebagai berikut:

- $T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,7912}{0,7807} = 0,2027 \text{ detik}$
- $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,7912}{0,7807} = 1,0134 \text{ detik}$

6. Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan hasil perhitungan nilai parameter respon spektra, diperoleh S_{DS} sebesar 0,7807g dan S_{D1} sebesar 0,7912g. Mengacu pada SNI 1726:2019 dan dengan mempertimbangkan bahwa Gedung Hotel Resort Bantul termasuk dalam kategori risiko II, maka nilai S_{DS} dan S_{D1} tersebut termasuk ke dalam kategori desain seismik D atau dapat dilihat pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

7. Menentukan Parameter Penahan Gaya Gempa

Struktur bangunan ini direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sesuai ketentuan untuk kategori desain seismik D. Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Tabel 2.13, sistem ini memiliki faktor $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, dan $C_d = 5,5$.

Tabel 2.13 Parameter Penahan Gaya Gempa

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB

8. Menentukan Periode Fundamental (T_a)

Periode fundamental (T_a) adalah waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran alami pada mode getar pertama. Untuk memperoleh nilai T_a , nilai C_t dan x perlu ditentukan terlebih dahulu berdasarkan tipe struktur bangunan. Karena struktur gedung ini menggunakan sistem rangka beton pemikul momen, maka nilai C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
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

Perhitungan periode fundamental (T_a) dilakukan dengan mengacu pada rumus empiris dari SNI 1726:2019, yaitu:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$h_n = 18,1 \text{ m}$$

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0466 \times 18,1^{0,9} = 0,6314 \text{ detik}$$

9. Menentukan Periode Maksimum (T_{max})

Penetapan periode maksimum (T_{max}) bertujuan untuk membatasi nilai periode fundamental agar tetap berada dalam rentang yang wajar. Untuk memperoleh nilai T_{max} , nilai C_u perlu ditentukan terlebih dahulu berdasarkan nilai S_{DI} . Dari perhitungan nilai S_{DI} yang diperoleh lebih dari 0,4, maka nilai koefisien C_u adalah 1,4 (dapat dilihat pada Tabel 2.15).

Tabel 2.15 Koefisien untuk Batasan Atas Periode

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Perhitungan periode maksimum (T_{max}) dilakukan dengan mengacu pada rumus empiris dari SNI 1726:2019, yaitu:

$$T_{max} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0,6314 = 0,884 \text{ detik}$$

10. Menentukan Koefisien Respon Seismik (C_s)

Koefisien respons seismik (C_s) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung gaya geser dasar seismik (V) yang harus ditahan oleh bangunan. Perhitungan nilai (C_s) dalam SNI 1726:2019 dihitung berdasarkan rumus:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,7807}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0976$$

C_s harus lebih besar dari $C_{s \min}$. Nilai $C_{s \min}$:

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e = 0,044 \times 0,7807 \times 1 = 0,0344$$

Karena $C_s > C_{s \min}$, maka C_s yang dipakai adalah $C_s = 0,0976$

11. Menentukan Berat Seismik Efektif

Menurut ketentuan dalam SNI 1726:2019, berat seismik efektif terdiri dari seluruh beban mati bangunan (*dead load*), termasuk berat elemen struktural seperti balok, kolom, dinding, lantai, dan atap, serta beban mati tambahan seperti material penutup lantai dan plafon. Dengan bantuan aplikasi ETABS, berat seismik efektif Gedung Hotel *Resort Bantul* dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Berat Seismik Efektif

Lantai	Massa (kg)
Atap	83261,33
4	1274301,7
3	2010072,73
2	2053835,13
1	1999572,27
Total	7421043,16 (72775,59 kN)

12. Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

Gaya Geser Dasar (V) merupakan gaya total akibat gempa yang harus dapat ditahan oleh sistem struktur bangunan pada dasar atau fondasi. Sesuai ketentuan dalam SNI 1726:2019, gaya geser dasar dihitung menggunakan rumus berikut:

$$V = C_s \times W = 0,0976 \times 72775,59 = 7102,9 \text{ kN}$$

13. Distribusi Beban Gempa Statik

Proses perhitungannya diawali dengan menentukan parameter eksponen k , yang nilainya tergantung pada periode fundamental struktur (T) dari bangunan.

$$k = 0,75 + 0,5T = 0,75 + 0,5 \times 0,6314 = 1,0657$$

Selanjutnya, nilai tersebut digunakan untuk mencari koefisien distribusi beban gempa tiap lantai C_{vx} , dengan rumus:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Kemudian, gaya gempa lateral tiap lantai (F_x) dihitung menggunakan rumus:

$$F_x = C_{vx} \times V$$

Proses ini menghasilkan distribusi beban lateral gempa, yang kemudian digunakan untuk menganalisis respons struktur terhadap gempa, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Distribusi Beban Lateral Gempa

Lantai	w	h	w.h ^k	C _{vx}	F _x	V _x
Atap	816,51	18,1	17875,77	0,02	157,36	157,36
4	12496,63	16	239892,49	0,30	2111,74	2269,10
3	19712,08	12	278490,04	0,35	2451,51	4720,61
2	20141,24	8	184715,80	0,23	1626,03	6346,64
1	19609,11	4	85915,13	0,11	756,30	7102,94
Total	72.775,57		806889,23	1,00	7102,94	

2.3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan merujuk pada berbagai jenis gaya dan momen yang bekerja pada struktur, termasuk beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai faktor redundansi (ρ) ditentukan berdasarkan kategori desain seismik. Karena Gedung Hotel *Resort Bantul* termasuk dalam kategori desain seismik D, maka digunakan nilai $\rho = 1,3$. Adapun nilai faktor kuat lebih (Ω_0) = 3, lalu S_{DS} sebesar 0,7807g. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menyusun kombinasi pembebanan yang dapat dilihat pada Tabel 2.18 & Tabel 2.19.

Tabel 2.18 Kombinasi Pembebanan LRFD

Kombinasi Pembebanan LRFD					
Kombinasi	DL	SIDL	LL	E_x	E_y
Comb1	1,4	1,4			
Comb2	1,2	1,2	1,6		
Comb3	1,36	1,36	0,5	0,39	1,3
Comb4	1,36	1,36	0,5	-0,39	1,3
Comb5	1,36	1,36	0,5	0,39	-1,3
Comb6	1,36	1,36	0,5	-0,39	-1,3
Comb7	1,36	1,36	0,5	1,3	0,39
Comb8	1,36	1,36	0,5	1,3	-0,39
Comb9	1,36	1,36	0,5	-1,3	0,39
Comb10	1,36	1,36	0,5	-1,3	-0,39
Comb11	0,74	0,74		0,39	1,3
Comb12	0,74	0,74		-0,39	1,3
Comb13	0,74	0,74		0,39	-1,3
Comb14	0,74	0,74		-0,39	-1,3
Comb15	0,74	0,74		1,3	0,39
Comb16	0,74	0,74		1,3	-0,39
Comb17	0,74	0,74		-1,3	0,39
Comb18	0,74	0,74		-1,3	-0,39

Keterangan:

DL = beban mati

SIDL = beban mati tambahan

LL = beban hidup

E_x = beban gempa arah x

E_y = beban gempa arah y

Tabel 2.19 Kombinasi Pembebanan *Overstrength*

Kombinasi <i>Overstrength</i> (Ω_0)					
Kombinasi	DL	SIDL	LL	E _x	E _y
P.1	1	1			
P.2	1	1	1		
P.3	1	1	0,75		
P.4	0,6	0,6			
P.5	1,109	1,109		0,2730	0,9100
P.6	1,109	1,109		0,2730	-0,9100
P.7	1,109	1,109		-0,2730	0,9100
P.8	1,109	1,109		-0,2730	-0,9100
P.9	1,109	1,109		0,9100	0,2730
P.10	1,109	1,109		-0,9100	0,2730
P.11	1,109	1,109		0,9100	-0,2730
P.12	1,109	1,109		-0,9100	-0,2730
P.13	1,082	1,082	0,75	0,2048	0,6825
P.14	1,082	1,082	0,75	0,2048	-0,6825
P.15	1,082	1,082	0,75	-0,2048	0,6825
P.16	1,082	1,082	0,75	-0,2048	-0,6825
P.17	1,082	1,082	0,75	0,6825	0,2048
P.18	1,082	1,082	0,75	-0,6825	0,2048
P.19	1,082	1,082	0,75	0,6825	-0,2048
P.20	1,082	1,082	0,75	-0,6825	-0,2048
P.21	0,491	0,491		0,2730	0,9100
P.22	0,491	0,491		0,2730	-0,9100
P.23	0,491	0,491		-0,2730	0,9100
P.24	0,491	0,491		-0,2730	-0,9100
P.25	0,491	0,491		0,9100	0,2730
P.26	0,491	0,491		-0,9100	0,2730
P.27	0,491	0,491		0,9100	-0,2730
P.28	0,491	0,491		-0,9100	-0,2730

Keterangan:

DL = beban mati

SIDL = beban mati tambahan

LL = beban hidup

E_x = beban gempa arah x

E_y = beban gempa arah y

2.4 Kompleksitas Bangunan

Bangunan dengan desain arsitektural yang kompleks, seperti hotel atau *resort*, umumnya memiliki bentuk geometris yang tidak simetris, perbedaan tinggi antar lantai, atau pembagian ruang yang tidak merata. Kompleksitas ini sering kali menyebabkan struktur bangunan memiliki distribusi massa dan kekakuan yang tidak seragam. Dari sinilah muncul potensi ketidakberaturan (*irregularity*), baik secara vertikal maupun horizontal.

Ketidakberaturan pada struktur dapat memengaruhi perilaku dinamis bangunan saat terjadi gempa. Misalnya, jika kekakuan struktur tidak merata di antara lantai, maka lantai yang lebih lemah dapat mengalami perpindahan lateral yang lebih besar (*soft story*), yang berisiko tinggi terhadap keruntuhan lokal. Begitu pula jika distribusi massa atau bentuk denah tidak simetris, pusat massa dan pusat kekakuan akan terpaut, menimbulkan torsi saat terjadi getaran gempa.

Dengan demikian, pengecekan ketidakberaturan bukan hanya langkah teknis, tetapi merupakan bagian penting dari upaya mengatasi risiko yang ditimbulkan oleh kompleksitas desain bangunan, seperti yang diatur dalam SNI 1726:2019 guna memastikan keamanan dan kelayakan struktur terhadap beban gempa.

2.4.1 Identifikasi Masalah

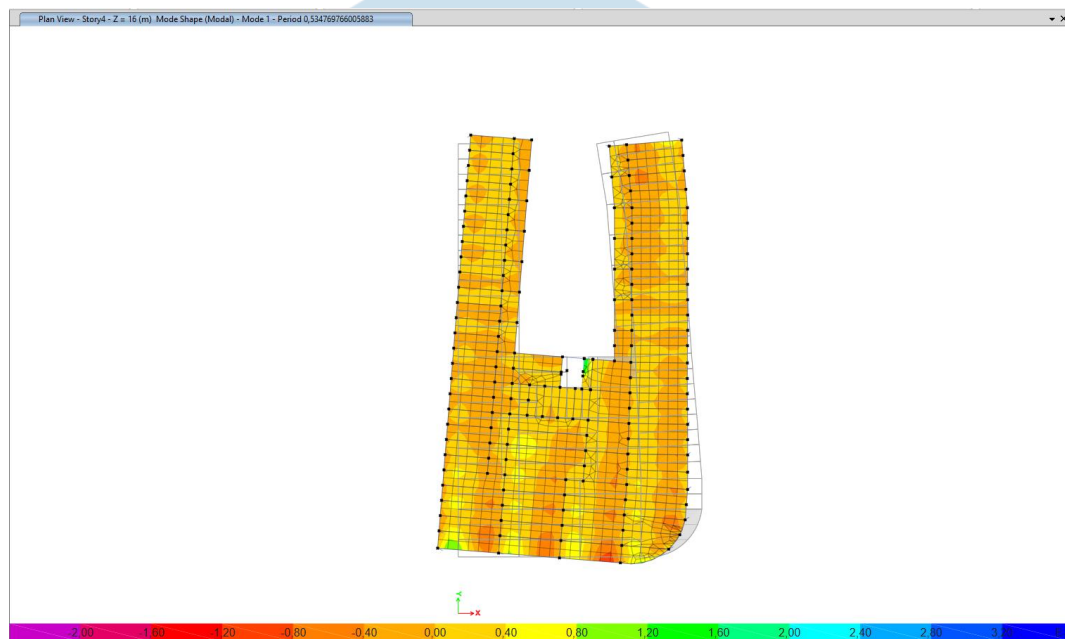
Pada pembangunan suatu gedung, terdapat perpaduan dari berbagai elemen yang saling terhubung untuk menghasilkan bangunan yang fungsional dan tahan lama. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 sampai Gambar 2.4 dalam perencanaan Gedung Hotel *Resort* Bantul ini, terdapat beberapa kompleksitas, yaitu:

- Desain bangunan hotel resort ini berbentuk huruf U, dimana bentuknya yang tidak biasa, melengkung, atau banyak sudut serta membutuhkan perhitungan struktural yang lebih kompleks.
- Susunan bangunan tiap lantai yang memiliki massa yang berbeda, sehingga desain dan konstruksi bangunan menjadi lebih kompleks. Massa yang berbeda tiap lantai dapat mempengaruhi distribusi beban struktural secara tidak merata.

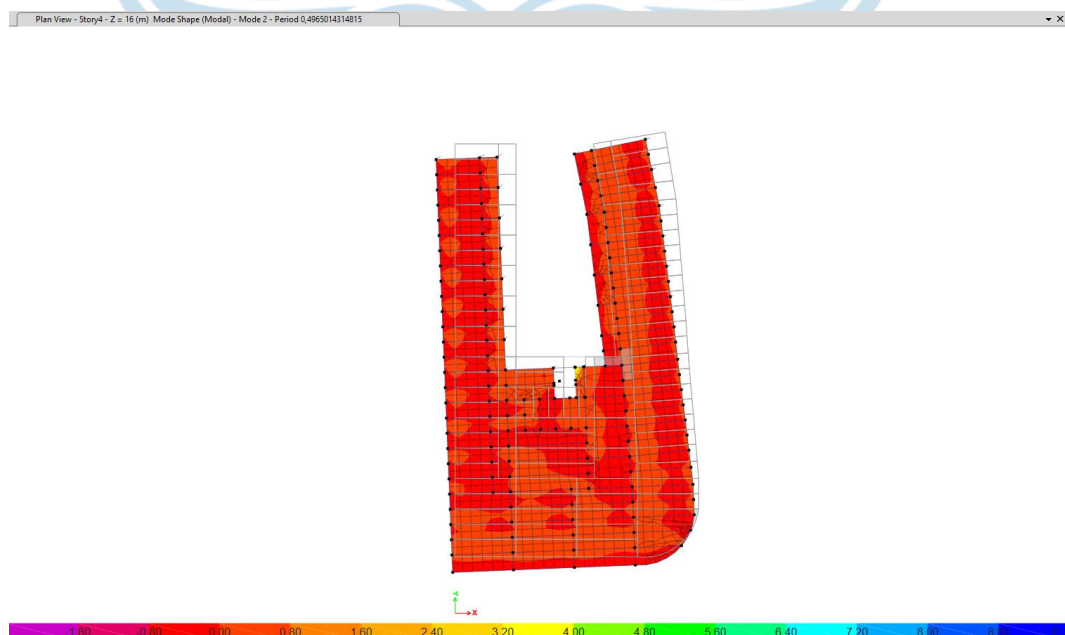
Oleh karena itu, analisis lebih lanjut perlu dilakukan untuk memahami perilaku bangunan terhadap beban gempa.

2.4.2 Analisis Ragam Model Awal

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, analisis *mode shape* bertujuan untuk mengetahui bagaimana bangunan bergetar pada setiap ragam getar alaminya, serta untuk mengidentifikasi arah dan jenis deformasi yang dominan pada setiap mode. Analisis ini menjadi sangat penting terutama jika sebelumnya telah ditemukan indikasi ketidakberaturan atau kompleksitas bentuk bangunan yang dapat menyebabkan distribusi gaya gempa tidak merata.



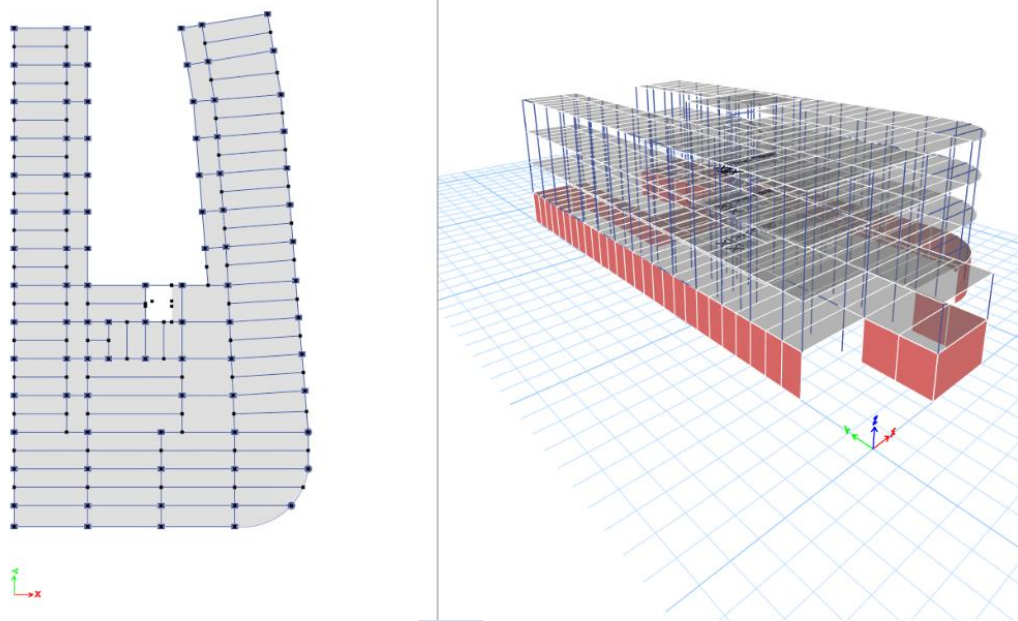
Gambar 2.6 Mode 1 Model Struktur Awal



Gambar 2.7 Mode 2 Model Struktur Awal

Berdasarkan hasil analisis dinamis yang dilakukan, diperoleh bahwa pada *mode* 1 (Gambar 2.6) dan *mode* 2 (Gambar 2.7), struktur mengalami deformasi dominan berupa rotasi terhadap sumbu vertikal. Pola deformasi ini menunjukkan bahwa gaya gempa tidak hanya menyebabkan perpindahan lateral, tetapi juga menghasilkan efek puntiran atau torsi pada bangunan. Kondisi ini menjadi indikasi awal bahwa struktur memiliki kerentanan terhadap torsi, yang umumnya terjadi akibat distribusi massa dan kekakuan yang tidak simetris. Ketidakseimbangan ini dapat menimbulkan respons torsional berlebihan saat terjadi gempa, yang bisa membuat bagian tertentu dari struktur menanggung beban terlalu besar.

2.4.3 Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Model Awal



Gambar 2.8 Pemodelan Struktur Awal

Ketidakberaturan horizontal pada struktur bangunan mengacu pada ketidakaturan dalam distribusi massa, kekakuan, dan kekuatan yang terjadi sepanjang rencana horizontal bangunan atau dalam satu lantai. Hal ini dapat menyebabkan respons dinamis yang tidak diinginkan saat terjadi gempa bumi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan ketidakberaturan horizontal sesuai kriteria yang tercantum dalam Tabel 13 SNI 1726:2019. Struktur awal yang akan ditinjau dapat dilihat pada gambar 2.8. Perhitungan dan hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal adalah sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 (1a dan 1b)

Bangunan dengan ketidakberaturan horizontal tipe 1 adalah bangunan yang denahnya tidak seragam atau tidak simetris. Ini termasuk bangunan dengan bentuk L, U, T, atau bangunan yang memiliki sayap (bagian yang lebih pendek dibandingkan dengan bagian utama). Adanya ketidakberaturan ini ditunjukkan oleh simpangan antar lantai maksimum di satu ujung bangunan lebih dari 1,2 kali simpangan rata-rata di kedua ujung bangunan untuk ketidakberaturan horizontal tipe 1a, serta lebih dari 1,4 kali untuk ketidakberaturan horizontal tipe 1b. Hasil perhitungan ini diambil dari aplikasi ETABS, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.20 dan Tabel 2.21.

Tabel 2.20 Ketidakberaturan Torsi pada Arah X Model Awal

<i>EX+ X1 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,0002	0,0002	1,0850	Regular				Regular
4	28	0,0007	0,0006	1,2000	Regular				Regular
3	28	0,0012	0,0010	1,1610	Regular				Regular
2	28	0,0011	0,0010	1,1330	Regular				Regular
1	28	0,0001	0,0001	1,0950	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EX- X2 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,0003	0,0002	1,1670	Regular				Regular
4	28	0,0008	0,0006	1,3680	Irregular	1,2996	0,0650	1,8194	Regular
3	28	0,0014	0,0010	1,3910	Irregular	1,3437	0,0672	1,8811	Regular
2	28	0,0014	0,0010	1,4080	Irregular	1,3767	0,0688	1,9274	Irregular
1	28	0,0001	0,0001	1,2480	Irregular	1,0816	0,0541	1,5142	Regular
						Max	0,0688	1,9274	

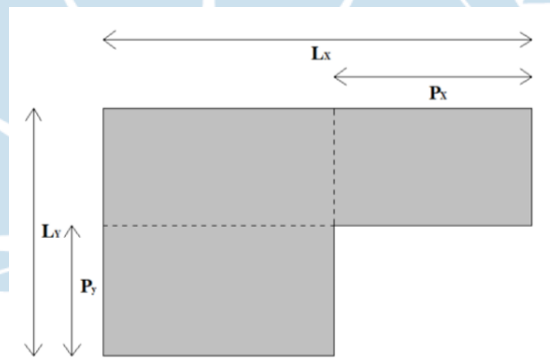
Tabel 2.21 Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y Model Awal

<i>EY+ Y1 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	55,4	0,0002	0,0002	1,0850	Regular				Regular
4	55,4	0,0007	0,0006	1,2000	Regular				Regular
3	55,4	0,0012	0,0010	1,1610	Regular				Regular
2	55,4	0,0011	0,0010	1,1330	Regular				Regular
1	55,4	0,0001	0,0001	1,0950	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EY- Y2 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	55,4	0,00023	0,00020	1,1640	Regular				Regular
4	55,4	0,00058	0,00053	1,0880	Regular				Regular
3	55,4	0,00108	0,00100	1,0820	Regular				Regular
2	55,4	0,00108	0,00101	1,0690	Regular				Regular
1	55,4	0,00003	0,00002	1,2540	Irregular	1,0920	0,0546	3,0249	Regular
						Max	0,0546	3,0249	

Diperoleh hasil bahwa Gedung Hotel *Resort Bantul* mengalami ketidakberaturan torsi karena didapatkan rasio simpangan antar lantai tingkat maksimum di sebuah ujung struktur lebih dari 1,4 kali. Selain itu, bentuk bangunan yang seperti huruf U dan tidak beraturan di sepanjang sisi bangunan juga merupakan alasan terjadinya ketidakberaturan torsi pada Bangunan.

2. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai sudut dalam bangunan. Ketidakberaturan yang dianggap jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Ini biasanya terjadi pada bangunan dengan bentuk U, H, atau bangunan yang memiliki sayap atau bagian yang tidak sejajar dengan bagian utama.



Gambar 2.9 Ketidakberaturan Horizontal 2

Ketidakberaturan ini terjadi apabila:

$$P_y > 0.15L_y \text{ dan } P_x > 0.15L_x$$

Dengan acuan Gambar 2.9 pada Gambar 2.8 dapat dilihat bahwa:

$$P_y = 24,5 \text{ m}$$

$$P_x = 11,5 \text{ m}$$

$$L_y = 47,5 \text{ m}$$

$$L_x = 28 \text{ m}$$

- $P_y > 0,15L_y$
 $24,5 > 0,15 \times 47,5$
 $24,5 > 7,125$ **(TIDAK OK)**

- $$P_x > 0,15L_x$$

$$11,5 > 0,15 \times 28$$

$$11,5 > 4,2 \quad \textbf{(TIDAK OK)}$$

Maka, ketidakberaturan sudut dalam terjadi.

3. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai diskontinuitas diafragma. Ketidakberaturan terjadi ketika diafragma tidak terhubung secara kontinu di seluruh bangunan atau memiliki kelemahan dalam kesinambungan antara elemen diafragma, seperti dinding, pelat, atau balok. Ketidakberaturan ini ada bila luas bukaan $> 0,5$ kali luas lantai atau bila kekakuan diafragma efektif antara satu lantai dengan lantai berikutnya bervariasi melebihi 50%. Dalam hal ini perhitungannya adalah sebagai berikut,

Dilihat pada Gambar 2.8, diketahui:

$$\text{Luas bukaan} = 14 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas lantai} = 1.019 \text{ m}^2$$

$$0,5 \text{ Luas lantai} = 509,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas bukaan} < 0,5 \text{ Luas Lantai}$$

Maka, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma tidak terjadi.

4. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

Perhitungan ini berdasarkan pada akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang. Ketidakberaturan ini terjadi pada bangunan dengan elemen-elemen struktural yang tidak terhubung dengan baik atau tidak berada dalam posisi yang benar-benar tegak lurus satu sama lain, sehingga menyebabkan pergeseran atau pemisahan antara bagian-bagian bangunan saat terjadi gempa. Karena tidak ada dinding pada bangunan yang tidak tegak lurus terhadap lantai atau bidang lainnya pada bangunan ini, maka bangunan tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

5. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Perhitungan ini berdasarkan pada sistem non-pararel. Ketidakberaturan yang terjadi jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa. Dapat dilihat pada Gambar 2.8 bahwa Gedung Hotel *Resort Bantul* jelas memiliki bentuk yang tidak simetris, maka dalam hal ini bangunan mengalami kondisi ketidakberaturan sistem non-pararel.

2.4.4 Ketidakberaturan Vertikal Bangunan Model Awal

Ketidakberaturan vertikal terjadi jika ada perubahan besar dalam massa, kekakuan, atau kekuatan antar lantai secara vertikal. Menurut SNI 1726:2019, ketidakberaturan vertikal diklasifikasikan menjadi beberapa tipe berdasarkan karakteristik tertentu yang dapat mempengaruhi perilaku dinamis struktur saat terjadi gempa. Kondisi-kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan gaya internal, konsentrasi deformasi, dan keruntuhan lokal pada bagian tertentu dari bangunan. Oleh karena itu, identifikasi ketidakberaturan vertikal sangat penting dilakukan. Perhitungan dan hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal adalah sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 (1a dan 1b)

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai *soft story* pada *output* aplikasi ETABS. Adanya ketidakberaturan vertikal tipe 1 ditunjukkan dengan,

- Ketidakberaturan Tipe 1a: Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak yang didefinisikan jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
- Iregularitas Tipe 1b: Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan yang didefinisikan jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Dari *output soft story* pada Tabel 2.22 dan Tabel 2.23 menunjukkan bahwa kondisi *soft story* dan *extreme soft story* tidak terjadi. Maka, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tidak terjadi.

Tabel 2.22 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-X Model Awal

<i>Stiffness Irregularity Check in X-Direction</i>											
Story	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness X-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>	
		0,7			0,8		0,6			0,7	
5	207230,87	-	-				-				
4	751540,39	3,63	Regular				-				
3	995838,18	1,33	Regular				-				
2	1454914,28	1,46	Regular	651536,48	2,23	Regular	1,46	Regular	651536,48	2,23	Regular
1	15909141,73	10,93	Regular	1067430,95	14,90	Regular	10,93	Regular	1067430,95	14,90	Regular

Tabel 2.23 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-Y Model Awal

<i>Stiffness Irregularity Check in Y-Direction</i>											
Story	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness Y-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>	
		0,7			0,8		0,6			0,7	
5	207230,87	-	-				-				
4	751540,39	3,63	Regular				-				
3	995838,18	1,33	Regular				-				
2	1454914,28	1,46	Regular	651536,48	2,23	Regular	1,46	Regular	651536,48	2,23	Regular
1	15909141,73	10,93	Regular	1067430,95	14,90	Regular	10,93	Regular	1067430,95	14,90	Regular

2. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Ketidakberaturan Berat (Massa) dianggap terjadi jika massa efektif satu lantai lebih dari 150% massa efektif pada lantai diatas atau di bawahnya. Dari Tabel 2.24 dan Tabel 2.25 terdapat massa efektif suatu lantai yang lebih dari 1,5 atau 150%, maka ketidakberaturan berat terjadi pada bangunan ini.

Tabel 2.24 Ketidakberaturan Berat Arah X Model Awal

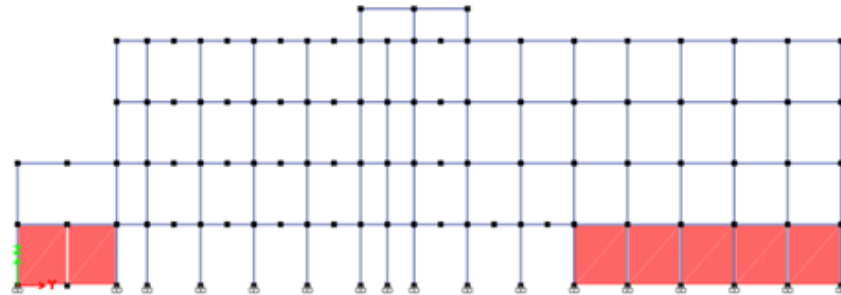
<i>Mass</i>		<i>X Direction</i>			
Story	Mass X	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
5	52372,91	-	-	-	-
4	1041704,49	-	-	0,5989	Regular
3	1739268,49	1,6696	Irregular	0,9412	Regular
2	1847849,08	1,0624	Regular	0,9003	Regular
1	2052432,31	1,1107	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

Tabel 2.25 Ketidakberaturan Berat Arah Y Model Awal

<i>Mass</i>		<i>Y Direction</i>			
Story	Mass Y	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
5	52372,91	-	-	-	-
4	1041704,49	-	-	0,5989	Regular
3	1739268,49	1,6696	Irregular	0,9412	Regular
2	1847849,08	1,0624	Regular	0,9003	Regular
1	2052432,31	1,1107	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

3. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai geometri vertikal. Ketidakberaturan geometri vertikal dianggap terjadi ketika dimensi horizontal sistem penahan gaya lateral pada tingkat manapun lebih besar dari 130% tingkat di atas atau di bawahnya.



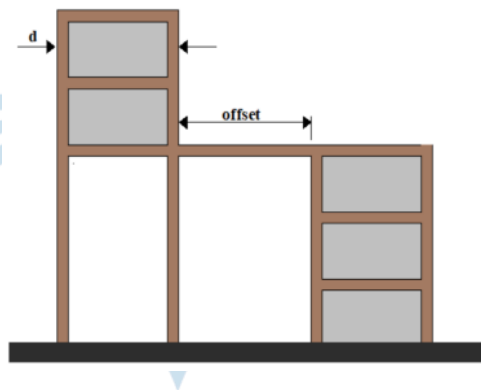
Gambar 2.10 Potongan Model Awal Gedung Hotel Resort Bantul

Berdasarkan kondisi potongan bangunan pada Gambar 2.10, kondisi lantai 3 harus diperiksa. Nilai rasio dari lantai 2 dan 3 adalah sebagai berikut,

$$\frac{\text{Lebar lantai 2}}{\text{Lebar lantai 3}} = \frac{54}{47,5} = 1,14 < 1,3 \text{ OK!}$$

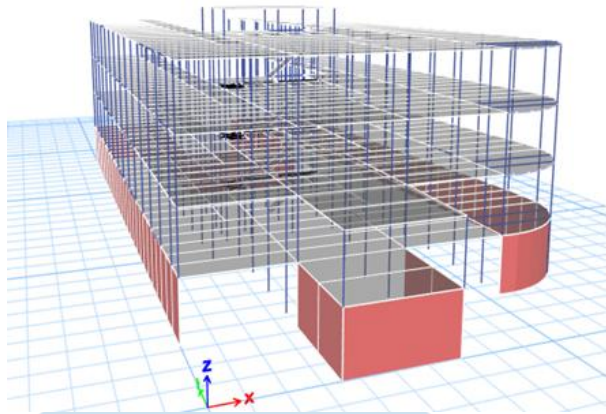
Maka, ketidakberaturan geometrik vertikal tidak terjadi.

4. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4



Gambar 2.11 Ketidakberaturan Vertikal 4

Perhitungan ini berdasarkan pada diskontinuitas *in-place (offset)* atau diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral, seperti yang dilihat pada Gambar 2.11. Dianggap terjadi ketika ada kondisi *offset* dalam bidang dari sistem pemikul gaya lateral yang mengakibatkan *demand overturning* pada balok, kolom, *truss* maupun *slab*.



Gambar 2.12 Model Awal 3d Tampak Depan Gedung

Berdasarkan kondisi yang terjadi pada Gambar 2.12, tidak terjadi kondisi *offset*, sehingga tidak mengakibatkan *demand overturning* pada elemen-elemen struktur lainnya. Maka dari itu, bangunan ini tidak mengalami kondisi ketidakberaturan diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

5. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat.

- Iregularitas Tipe 5a: Diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.
- Iregularitas Tipe 5b: Diskontinuitas ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya.

Dalam artian sederhana, ini adalah kondisi dimana suatu lantai pada bangunan memiliki kekuatan lateral (yaitu kekuatan yang dapat menahan beban samping seperti angin atau gempa) yang jauh lebih rendah dibandingkan lantai di atas atau di bawahnya. Ini sering terjadi pada bangunan yang memiliki lantai dengan ketinggian yang tidak seragam atau memiliki perubahan penggunaan ruang yang signifikan pada lantai tertentu, sehingga menyebabkan diskontinuitas dalam kekuatan lateral.

Tabel 2.26 Pengecekan P-Delta pada Arah X Model Awal

<i>EX 1 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_x</i> kN	<i>U_x</i> mm	<i>Δ_x</i> mm	<i>Θ_x</i> 0,0077	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
5	2100	554,31	-99,31	11,01	1,95	0,0009		<i>No p-delta</i>
4	4000	11790,47	-1858,40	10,66	13,22	0,0038		<i>No p-delta</i>
3	4000	27826,20	-4055,15	8,26	21,97	0,0069		<i>No p-delta</i>
2	4000	44813,72	-5610,65	4,26	21,29	0,0077		<i>No p-delta</i>
1	4000	65284,59	-6473,77	0,39	2,15	0,0000		<i>No p-delta</i>
<i>EX 2 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_x</i> kN	<i>U_x</i> mm	<i>Δ_x</i> mm	<i>Θ_x</i> 0,0079	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
5	2100	554,31	-99,31	11,71	4,46	0,0022		<i>No p-delta</i>
4	4000	11790,47	-1858,40	10,90	13,61	0,0039		<i>No p-delta</i>
3	4000	27826,20	-4055,15	8,42	22,46	0,0070		<i>No p-delta</i>
2	4000	44813,72	-5610,65	4,34	21,67	0,0079		<i>No p-delta</i>
1	4000	65284,59	-6473,77	0,40	2,19	0,0010		<i>No p-delta</i>

Tabel 2.27 Pengecekan P-Delta pada Arah Y Model Awal

<i>EY 1 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_y</i> kN	<i>U_y</i> mm	<i>Δ_y</i> mm	<i>Θ_y</i> 0,0080	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
5	2100	554,31	-99,31	10,53	1,77	0,0009		<i>No p-delta</i>
4	4000	11790,47	-1858,40	10,21	11,65	0,0034		<i>No p-delta</i>
3	4000	27826,20	-4055,15	8,09	21,82	0,0068		<i>No p-delta</i>
2	4000	44813,72	-5610,65	4,12	22,12	0,0080		<i>No p-delta</i>
1	4000	65284,59	-6473,77	0,10	0,53	0,0000		<i>No p-delta</i>
<i>EY 2 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_y</i> kN	<i>U_y</i> mm	<i>Δ_y</i> mm	<i>Θ_y</i> 0,0080	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
5	2100	554,31	-99,31	10,77	2,99	0,0014		<i>No p-delta</i>
4	4000	11790,47	-1858,40	10,23	11,74	0,0034		<i>No p-delta</i>
3	4000	27826,20	-4055,15	8,09	21,81	0,0068		<i>No p-delta</i>
2	4000	44813,72	-5610,65	4,13	22,17	0,0080		<i>No p-delta</i>
1	4000	65284,59	-6473,77	0,10	0,54	0,0002		<i>No p-delta</i>

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.26 dan Tabel 2.27, kuat lateral tingkat pada Gedung Hotel *Resort* Bantul lebih dari 80%. Maka, ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat tidak terjadi.

2.4.5 Analisis *Center of Mass and Center of Rigidity* Model Awal

Center of Mass merupakan titik di mana beban gempa dianggap bekerja, yakni lokasi rata-rata distribusi massa lantai. Sementara itu, *Center of Rigidity* adalah titik di mana gaya lateral dapat diterapkan tanpa menyebabkan rotasi struktur, yaitu titik rata-rata distribusi kekakuan lateral lantai terhadap arah gempa. Perbedaan lokasi antara pusat massa dan pusat kekakuan berpotensi menimbulkan efek torsi atau puntiran pada struktur saat terjadi gempa. Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.28 dan Tabel 2.29, *Center of Mass* dan *Center of Rigidity* pada bangunan ini saling berdekatan atau tidak lebih dari 15%. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi massa dan kekakuan lateral bangunan cukup merata.

Tabel 2.28 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Model Awal

<i>The Center of Mass and Rigidity</i>											
Story	Diaphragms	Mass X	Mass Y	C.M		Cum. X	Cum. Y	XCCm	YCCm	C.R	
				xm	ym					XCR	YCR
5	D5	52372,91	52372,91	11,53	26,05	52372,91	52372,91	11,53	26,05	12,03	27,09
4	D4	1041704,49	1041704,49	13,14	27,97	1041704,49	1041704,49	13,14	27,97	13,30	28,95
3	D3	1739268,49	1739268,49	13,22	28,22	1739268,49	1739268,49	13,22	28,22	13,27	29,25
2	D2	1847849,08	1847849,08	13,08	28,45	1847849,08	1847849,08	13,08	28,45	13,24	29,79
1	D1	2052432,31	2052432,31	13,18	28,74	2052432,31	2052432,31	13,18	28,74	13,44	32,94

Tabel 2.29 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Model Awal

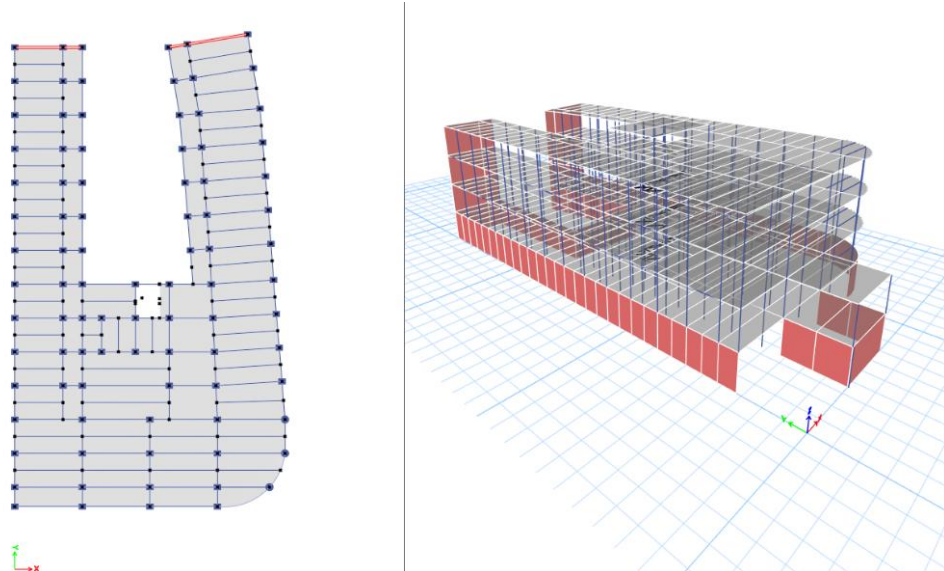
<i>The Eccentricity</i>							
Eccentricity		Dimension		ex/Dx result		ey/Dy resultst	
ex	ey	Dx	Dy	%		%	
0,4956	1,0344	28	55,4	1,7700	OK	1,8671	OK
0,1639	0,9783	28	55,4	0,5854	OK	1,7659	OK
0,0496	1,0325	28	55,4	0,1771	OK	1,8637	OK
0,1605	1,3474	28	55,4	0,5732	OK	2,4321	OK
0,2693	4,2056	28	55,4	0,9618	OK	7,5913	OK

2.5 Pemilihan Model Struktur

Berdasarkan hasil pengecekan ketidakberaturan pada model struktur awal, diketahui bahwa bangunan menunjukkan adanya ketidakberaturan. Keberadaan ketidakberaturan-ketidakberaturan ini dapat meningkatkan risiko konsentrasi gaya gempa di titik-titik tertentu dan berpengaruh terhadap perilaku dinamis bangunan secara keseluruhan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemilihan model struktur alternatif yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan ketidakberaturan tersebut melalui penyesuaian konfigurasi, sistem penahan lateral, serta distribusi massa dan kekakuan agar struktur memenuhi prinsip bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726:2019.

2.5.1 Pemasangan Dinding Geser

Sebagai langkah awal untuk mengurangi ketidakberaturan yang terjadi pada model struktur awal, salah satu pendekatan yang diterapkan adalah dengan menambahkan elemen dinding geser (*shear wall*) pada titik-titik strategis bangunan. Pemasangan dinding geser ini bertujuan untuk meningkatkan kekakuan lateral struktur secara signifikan dan mendistribusi gaya gempa secara lebih merata, sehingga perbedaan antara pusat massa dan pusat kekakuan dapat diminimalkan. Model struktur hasil modifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.13 kemudian dianalisis ulang untuk mengevaluasi sejauh mana efektivitas dinding geser dalam menurunkan tingkat ketidakberaturan bangunan.



Gambar 2.13 Pemodelan dengan Dinding Geser

Setelah dilakukan pengecekan terhadap struktur awal, diketahui bahwa bangunan mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 1, tipe 2, dan tipe 5, serta ketidakberaturan vertikal tipe 2. Oleh karena itu, pada pemodelan ulang dengan penambahan elemen dinding geser ini dilakukan analisis kembali untuk mengevaluasi apakah ketidakberaturan horizontal tipe 1, tipe 2, dan tipe 5, serta ketidakberaturan vertikal tipe 2 masih terjadi atau telah berhasil diminimalkan.

1. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 (1a dan 2b)

Berikut adalah nilai *Torsi Accidental* yang diambil dari *output* ETABS dan hasil perhitungan analisis ketidakberaturan tipe 1.

Tabel 2.30 Ketidakberaturan Torsi pada Arah X Gedung Dinding Geser

<i>EX+ X1 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,0002	0,0002	1,1180	Regular				Regular
4	28	0,0007	0,0004	1,6310	Irregular	1,8473	0,0924	2,5863	Irregular
3	28	0,0013	0,0007	1,7630	Irregular	2,1585	0,1079	3,0218	Irregular
2	28	0,0014	0,0008	1,7880	Irregular	2,2201	0,1110	3,1081	Irregular
1	28	0,0002	0,0002	1,0920	Regular				Regular
						Max	0,1110	3,1081	
<i>EX- X2 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,0003	0,0002	1,1750	Regular				Regular
4	28	0,0008	0,0005	1,8350	Irregular	2,3384	0,1169	3,2737	Irregular
3	28	0,0015	0,0008	1,9120	Irregular	2,5387	0,1269	3,5542	Irregular
2	28	0,0016	0,0008	1,9150	Irregular	2,5467	0,1273	3,5654	Irregular
1	28	0,0002	0,0002	1,2330	Irregular	1,0558	0,0528	1,4781	Regular
						Max	0,1273	3,5654	

Tabel 2.31 Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y Gedung Dinding Geser

<i>EY+ Y1 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,00024	0,00020	1,1620	Regular				Regular
4	28	0,00058	0,00054	1,0760	Regular				Regular
3	28	0,00105	0,00098	1,0730	Regular				Regular
2	28	0,00105	0,00098	1,0680	Regular				Regular
1	28	0,00004	0,00004	1,0770	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EY- Y2 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,00026	0,00021	1,2630	Irregular	1,1078	0,0554	3,0685	Regular
4	28	0,00054	0,00053	1,0060	Regular				Regular
3	28	0,00097	0,00097	1,0050	Regular				Regular
2	28	0,00098	0,00097	1,0060	Regular				Regular
1	28	0,00004	0,00004	1,0850	Regular				Regular
						Max	0,0554	3,0685	

Dari Tabel 2.30 dan Tabel 2.31 diperoleh hasil bahwa Gedung Hotel Resort Bantul tetap mengalami ketidakberaturan torsi karena didapatkan rasio simpangan antar lantai tingkat maksimum di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali. Selain itu, bentuk bangunan yang tetap berbentuk huruf U dan tidak beraturan di sepanjang sisi bangunan juga merupakan alasan terjadinya ketidakberaturan torsi pada Gedung Hotel Resort Bantul.

2. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai sudut dalam bangunan. Pada Gambar 2.13 dapat dilihat bahwa:

$$P_y = 24,5 \text{ m}$$

$$P_x = 11,5 \text{ m}$$

$$L_y = 47,5 \text{ m}$$

$$L_x = 28 \text{ m}$$

- $P_y > 0,15L_y$
 $24,5 > 0,15 \times 47,5$
 $24,5 > 7,125$ (TIDAK OK)
- $P_x > 0,15L_x$
 $11,5 > 0,15 \times 28$
 $11,5 > 4,2$ (TIDAK OK)

Maka, iregularitas sudut dalam tetap terjadi.

3. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Perhitungan ini berdasarkan pada sistem non-paralel. Ketidakberaturan yang terjadi jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa. Dapat dilihat pada Gambar 2.13 bangunan masih memiliki bentuk yang tidak simetris, maka dalam hal ini bangunan mengalami kondisi ketidakberaturan sistem non-paralel.

4. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Dari *output* pada Tabel 2.32 dan Tabel 2.33 terdapat massa efektif suatu lantai yang lebih dari 1,5, maka ketidakberaturan berat tetap terjadi.

Tabel 2.32 Ketidakberaturan Berat Arah X Gedung Dinding Geser

<i>Mass</i>		<i>X Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
5	63713,39	-	-	-	-
4	1264457,24	-	-	0,6293	<i>Regular</i>
3	2009188,09	1,5890	<i>Irregular</i>	0,9472	<i>Regular</i>
2	2121114,41	1,0557	<i>Regular</i>	0,9994	<i>Regular</i>
1	2122334,31	1,0006	<i>Regular</i>	-	-
		0,0000	<i>Regular</i>	-	-

Tabel 2.33 Ketidakberaturan Berat Arah Y Gedung Dinding Geser

<i>Mass</i>		<i>Y Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass Y</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
5	63713,39	-	-	-	-
4	1264457,24	-	-	0,6293	<i>Regular</i>
3	2009188,09	1,5890	<i>Irregular</i>	0,9472	<i>Regular</i>
2	2121114,41	1,0557	<i>Regular</i>	0,9994	<i>Regular</i>
1	2122334,31	1,0006	<i>Regular</i>	-	-
		0,0000	<i>Regular</i>	-	-

5. Pengecekan *Center of Mass* and *Center of Rigidity*

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.34 dan Tabel 2.35, *Center of Mass* dan *Center of Rigidity* pada bangunan ini tidak berdekatan atau lebih dari 15% sehingga efek torsi yang ditimbulkan lumayan tinggi.

Tabel 2.34 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Gedung Dinding Geser

The Center of Mass and Rigidity											
Story	D	Mass X	Mass Y	C.M		Cum. X	Cum. Y	XCCm	YCCm	C.R	
				xm	ym					XCR	YCR
5	D5	63713.39	63713.39	11.54	26.06	63713.39	63713.39	11.54	26.06	11.81	27.69
4	D4	1264457.24	1264457.24	13.18	28.07	1264457.24	1264457.24	13.18	28.07	11.72	42.57
3	D3	2009188.09	2009188.09	13.20	28.45	2009188.09	2009188.09	13.20	28.45	11.56	43.94
2	D2	2121114.41	2121114.41	13.07	28.60	2121114.41	2121114.41	13.07	28.60	11.60	44.14
1	D1	2122334.31	2122334.31	13.09	28.60	2122334.31	2122334.31	13.09	28.60	13.35	33.09

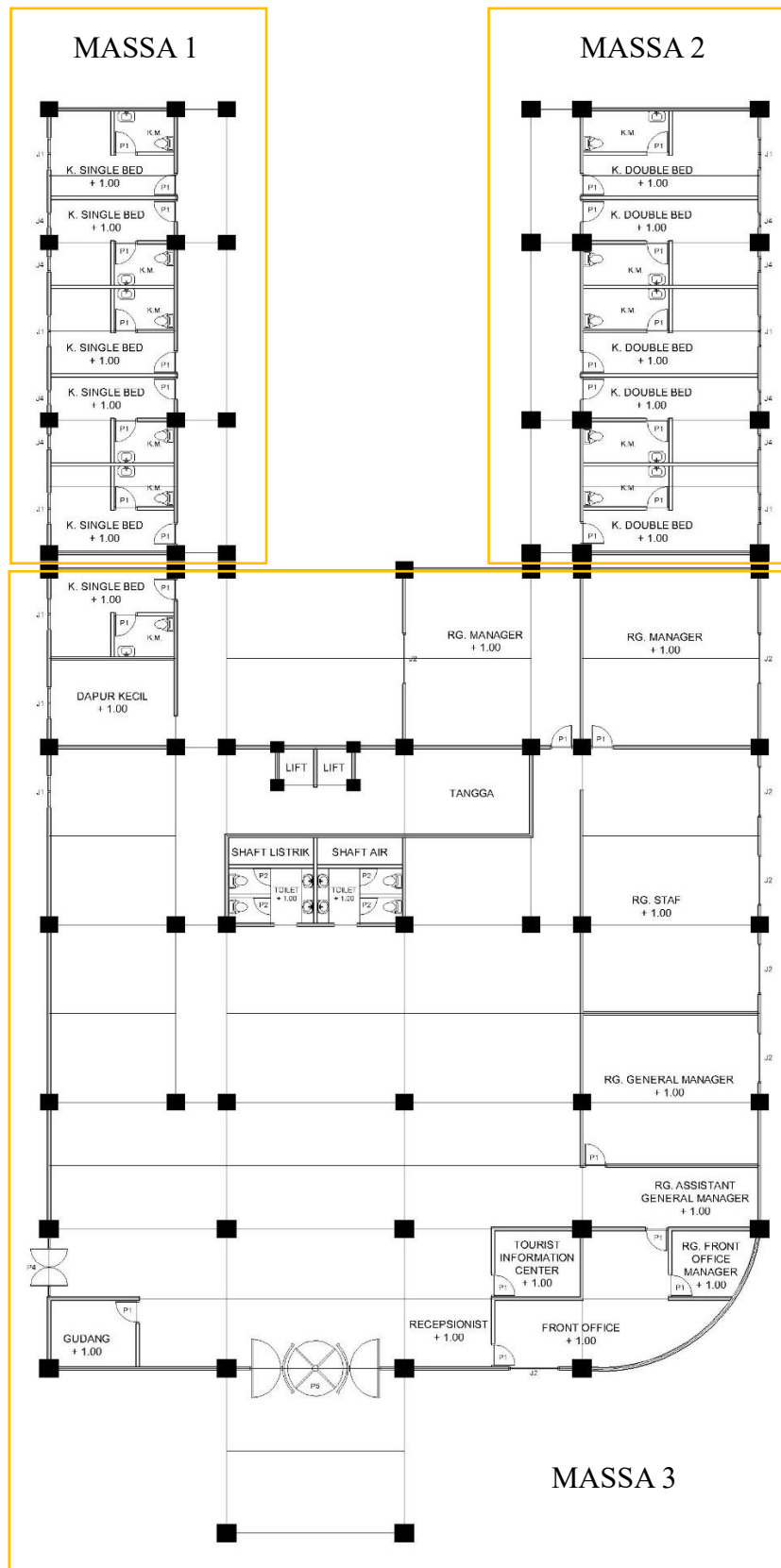
Tabel 2.35 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Gedung Dinding Geser

<i>The Eccentricity</i>							
<i>Eccentricity</i>		<i>Dimension</i>		<i>ex/Dx result</i>		<i>ey/Dy result</i>	
<i>ex</i>	<i>ey</i>	<i>Dx</i>	<i>Dy</i>	<i>%</i>		<i>%</i>	
0,2733	1,6318	28	55,4	0,9761	OK	2,9455	OK
1,461	14,4966	28	55,4	5,2179	OK	26,1671	Not Ok
1,6336	15,4902	28	55,4	5,8343	OK	27,9606	Not Ok
1,4712	15,5362	28	55,4	5,2543	OK	28,0437	Not Ok
0,2612	4,4865	28	55,4	0,9329	OK	8,0984	OK

Dari hasil pengecekan ketidakberaturan pada model struktur dengan dinding geser, diketahui bahwa ketidakberaturan masih terjadi. Bahkan, posisi pusat massa dan pusat kekakuan bangunan menjadi berjauhan. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi kekakuan lateral belum optimal, sehingga perlu dilakukan upaya perbaikan lain untuk meminimalkan ketidakberaturan dan meningkatkan kinerja seismik bangunan.

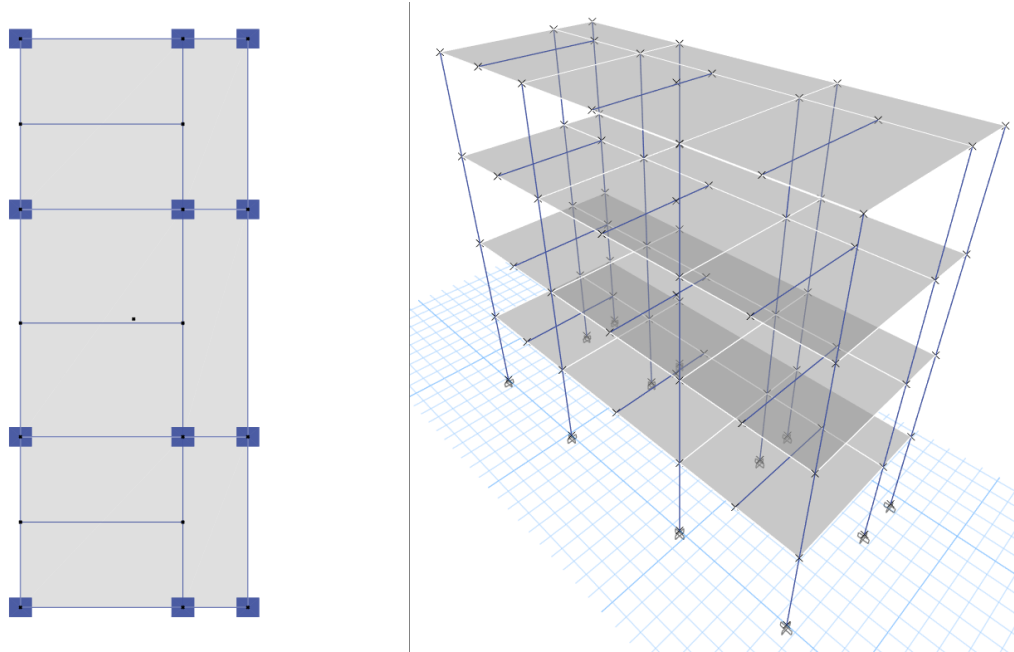
2.5.2 Dilatasi Struktur

Ketidakberaturan pada bangunan dapat terjadi karena distribusi massa yang tidak merata atau tidak seimbang pada struktur bangunan. Sebagai langkah berikutnya untuk mengatasi ketidakberaturan yang masih terjadi, dilakukan upaya dilatasi pada struktur bangunan. Pendekatan ini bertujuan untuk memecah massa bangunan menjadi beberapa bagian yang lebih seimbang dan simetris, sehingga distribusi massa dan kekakuan menjadi lebih merata. Selain itu, bentuk bangunan yang sebelumnya tidak sejajar atau cenderung miring diubah menjadi lebih lurus dan teratur untuk memaksimalkan pemanfaatan lahan yang tersedia. Model struktur hasil modifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.14 kemudian dianalisis ulang untuk mengevaluasi sejauh mana efektivitas dilatasi struktur dalam menurunkan tingkat ketidakberaturan bangunan.



Gambar 2.14 Dilatasi Struktur

a. Massa 1



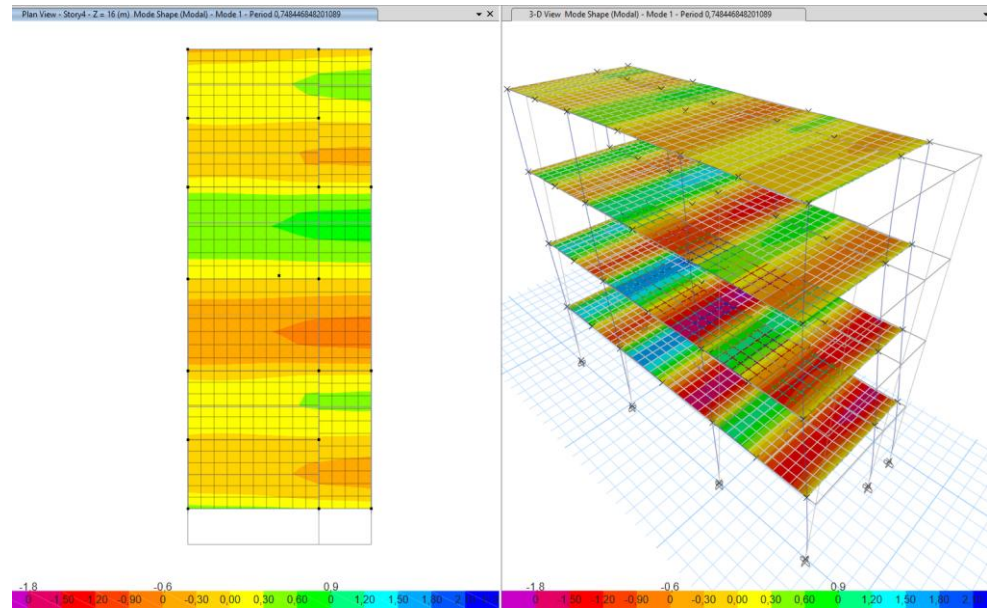
Gambar 2.15 Dilatasi Struktur Massa 1

1. Jumlah dan Bentuk Ragam

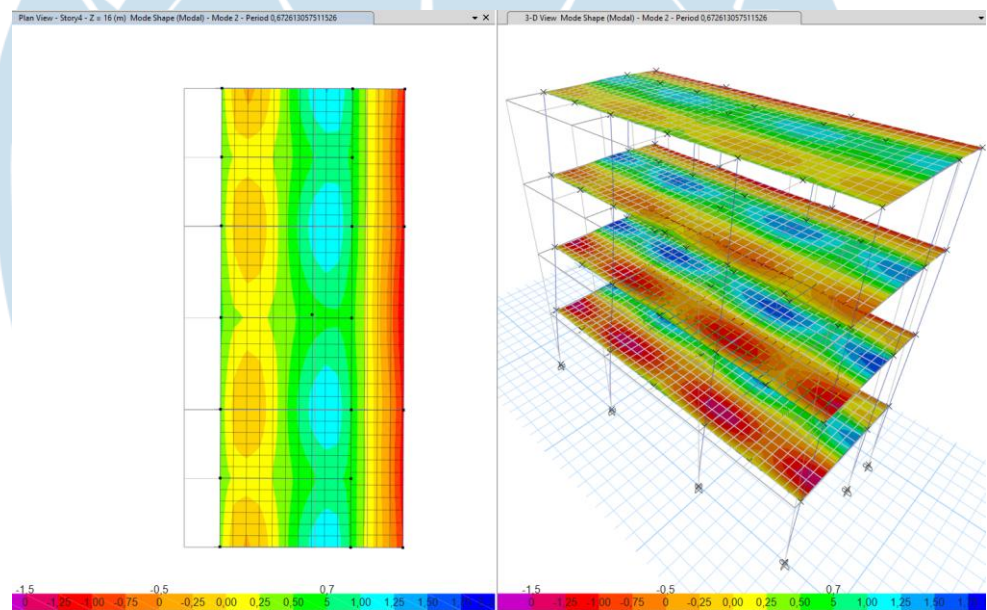
Tujuan dari pengecekan ini adalah untuk memastikan bahwa distribusi deformasi dinamis pada setiap mode tidak lagi didominasi oleh rotasi, serta untuk menilai apakah karakteristik getaran struktur telah berubah menjadi lebih stabil dan seimbang. Dapat dilihat pada Tabel 2.36, Gambar 2.16, dan Gambar 2.17, diketahui bahwa *mode 1* dan *mode 2* pada struktur hasil modifikasi telah berubah menjadi dominan translasi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan dilatasi struktur berhasil mengurangi potensi efek torsi yang berbahaya dan mengarahkan respons dinamis bangunan ke arah yang lebih stabil.

Tabel 2.36 Jumlah Ragam Massa 1

Mode	Periode sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,75	0	0,827000	0	0	0,827	0	0,2075000	0	0,0000022	0,208	0	0,0000022
2	0,67	0,8137000	0	0	0,81	0,827	0	0	0,2232000	0,0004000	0,208	0,223	0,0004000
3	0,55	0,0004000	0,000023	0	0,81	0,827	0	0,0003000	0,0000056	0,8236000	0,208	0,223	0,8240000
4	0,23	0	0,114600	0	0,81	0,942	0	0,6449000	0,0000011	0,0000472	0,853	0,223	0,8241000
5	0,20	0,1264000	0	0	0,94	0,942	0	0,0000018	0,6217000	0,0000291	0,853	0,845	0,8241000
6	0,17	0,0000450	0,000046	0	0,94	0,942	0	0,0002000	0,0002000	0,1189000	0,853	0,845	0,9430000
7	0,12	0	0,043500	0	0,94	0,985	0	0,0877000	0,0000007	0,0000378	0,941	0,845	0,9430000
8	0,11	0,0446000	0	0	0,99	0,985	0	0	0,0975000	0,0000022	0,941	0,943	0,9430000
9	0,09	0,0000013	0,000003	0	0,99	0,985	0	0,0000432	0,0000030	0,0424000	0,941	0,943	0,9855000
10	0,09	0	0,014600	0	0,99	1,000	0	0,0584000	0	0,0003000	0,999	0,943	0,9858000
11	0,08	0,0148000	0	0	1	1,000	0	0	0,0574000	0	0,999	1	0,9858000
12	0,07	0,0000032	0,000300	0	1	1	0	0,0010000	0,0000099	0,0142000	1	1	1



Gambar 2.16 Mode 1 Massa 1



Gambar 2.17 Mode 2 Massa 1

2. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 (1a dan 1b)

Hasil analisis dengan bantuan ETABS pada Tabel 2.37 dan Tabel 2.38 menunjukkan bahwa ketidakberaturan horizontal tipe 1 tidak lagi terjadi. Hal ini ditunjukkan dari rasio simpangan antar lantai tingkat maksimum yang bernilai kurang dari 1,2 sesuai dengan batas yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019.

Tabel 2.37 Ketidakberaturan Torsi pada Arah X Massa 1

<i>EX+ X1 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	7	0,0009	0,0008	1,1320	Regular				Regular
3	7	0,0015	0,0013	1,1360	Regular				Regular
2	7	0,0017	0,0015	1,1400	Regular				Regular
1	7	0,0011	0,0010	1,1450	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EX- X2 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	7	0,0009	0,0008	1,1060	Regular				Regular
3	7	0,0014	0,0013	1,1170	Regular				Regular
2	7	0,0017	0,0015	1,1220	Regular				Regular
1	7	0,0011	0,0010	1,1280	Regular				Regular
						Max	0	0	

Tabel 2.38 Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y Massa 1

<i>EY+ Y1 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	17,5	0,00087	0,00084	1,0340	Regular				Regular
3	17,5	0,00155	0,00151	1,0230	Regular				Regular
2	17,5	0,00193	0,00189	1,0170	Regular				Regular
1	17,5	0,00125	0,00124	1,0080	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EY- Y2 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	17,5	0,00084	0,00084	1,0020	Regular				Regular
3	17,5	0,00153	0,00151	1,0110	Regular				Regular
2	17,5	0,00192	0,00189	1,0160	Regular				Regular
1	17,5	0,00127	0,00124	1,0250	Regular				Regular
						Max	0	0	

3. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Ketidakberaturan horizontal tipe 2 terjadi apabila bentuk denah bangunan mengandung sudut dalam (*re-entrant corner*) yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan dan respons dinamis tidak merata saat terjadi gempa. Berdasarkan hasil pemodelan struktur setelah dilatasi, pada massa 1 bentuk denah bangunan telah berubah menjadi menyerupai bentuk persegi panjang (lihat Gambar 2.15). Dengan konfigurasi geometris yang demikian, tidak terdapat lagi sudut dalam yang tajam atau cekungan ke arah dalam pada struktur. Oleh karena itu, ketidakberaturan horizontal tipe 2 tidak lagi terjadi pada bagian ini.

4. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

Ketidakberaturan horizontal tipe 3 berkaitan dengan adanya diskontinuitas atau ketidakterhubungan pada sistem diafragma lantai, seperti bukaan besar yang memutus kesinambungan diafragma dan menyebabkan distribusi gaya gempa menjadi tidak merata. Berdasarkan hasil modifikasi pemodelan struktur setelah dilatasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.15, pada massa 1 bentuk lantai tidak memiliki bukaan yang dapat mengganggu kontinuitas sistem diafragma. Dengan demikian, ketidakberaturan horizontal tipe 3 tidak terjadi.

5. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat elemen-elemen struktural, seperti dinding atau kolom, yang tidak terhubung secara baik atau tidak tegak lurus terhadap lantai maupun bidang utama struktur, sehingga mengganggu jalur aliran gaya lateral. Pada pemodelan struktur dilatasi massa 1 (lihat Gambar 2.15), seluruh elemen struktural telah didesain dan diposisikan tegak lurus terhadap bidang lantai serta terhubung secara menyeluruh. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa bangunan tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

6. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Ketidakberaturan horizontal tipe 5 dapat terjadi apabila elemen-elemen penahan gaya lateral vertikal tidak tersusun secara paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama bangunan. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15, dilatasi massa 1 berbentuk persegi panjang dengan tata letak struktur yang simetris terhadap sumbu utama. Oleh karena itu, bangunan tidak mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 5 atau kondisi sistem non-paralel.

7. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 (1a dan 1b)

Dari *output soft story* pada Tabel 2.39 dan Tabel 2.40 menunjukkan bahwa kondisi *soft story* dan *extreme soft story* tidak terjadi. Karena kekakuan lateralnya lebih dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau lebih dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Maka, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tidak terjadi pada bangunan massa 1 ini.

Tabel 2.39 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-X Massa 1

<i>Stiffness Irregularity Check in X-Direction</i>											
<i>Story</i>	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness X-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>	
		0,7			0,8		0,6			0,7	
4	80962,29	-	-				-				
3	123445,29	1,52	Regular				-				
2	144944,21	1,17	Regular				-				
1	259363,23	1,79	Regular	116450,60	2,23	Regular	1,79	Regular	116450,60	2,23	Regular

Tabel 2.40 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-Y Massa 1

<i>Stiffness Irregularity Check in Y-Direction</i>											
<i>Story</i>	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness Y-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>	
		0,7			0,8		0,6			0,7	
4	77364,23	-	-				-				
3	104168,92	1,35	Regular				-				
2	115478,24	1,11	Regular				-				
1	200099,77	1,73	Regular	99003,79	2,02	Regular	1,73	Regular	99003,79	2,02	Regular

8. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Ketidakberaturan Berat (Massa) dianggap terjadi jika massa efektif satu lantai lebih dari 150% massa efektif pada lantai diatas atau di bawahnya. Dari Tabel 2.41 dan Tabel 2.42 massa efektif suatu lantai tidak ada yang lebih dari 1,5. Dengan demikian, ketidakberaturan berat tidak terjadi pada bangunan massa 1 ini.

Tabel 2.41 Ketidakberaturan Berat Arah X Massa 1

<i>Mass</i>		<i>X Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
4	155669,01	-	-	-	-
3	295199,84	-	-	1,0000	Regular
2	295199,84	1,0000	Regular	1,0155	Regular
1	290689,13	0,9847	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

Tabel 2.42 Ketidakberaturan Berat Arah Y Massa 1

<i>Mass</i>		<i>Y Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass Y</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
4	155669,01	-	-	-	-
3	295199,84	-	-	1,0000	Regular
2	295199,84	1,0000	Regular	1,0155	Regular
1	290689,13	0,9847	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

9. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3

Ketidakberaturan geometrik vertikal, terjadi apabila dimensi horizontal dari sistem penahan gaya lateral pada suatu tingkat melebihi 130% dari dimensi sistem yang berada di atas atau di bawahnya. Berdasarkan Gambar 2.15, dilatasi massa 1 memiliki konfigurasi yang konsisten secara vertikal atau seragam dari lantai dasar hingga atap. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketidakberaturan geometrik vertikal pada bangunan ini tidak terjadi.

10. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4

Ketidakberaturan vertikal tipe 4 terjadi apabila terdapat kondisi *offset* dalam bidang dari sistem pemikul gaya lateral, yang dapat menyebabkan peningkatan momen guling (*overturning demand*) pada elemen-elemen struktur lain di tingkat yang sama atau di bawahnya. Berdasarkan konfigurasi struktur yang ditunjukkan pada Gambar 2.15, tidak ditemukan adanya kondisi *offset* dalam bidang tersebut. Sistem pemikul gaya lateral tersusun secara kontinu dan sejajar dari bawah ke atas tanpa perpindahan posisi yang signifikan. Oleh karena itu, bangunan ini tidak mengalami ketidakberaturan diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

11. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.43 dan Tabel 2.44, bangunan massa 1 ini tidak mengalami kondisi iregularitas kuat *lateral extreme*. Karena kuat lateral tingkat lebih dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Maka, ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat tidak terjadi.

Tabel 2.43 Pengecekan P-Delta pada Arah X Massa 1

EX 1 Direction								
Story	H (mm)	P kN	Vx kN	Ux mm	Δx mm	Θx 0,0170	Θmax 0,0909	Check
4	4000	2245,55	-261,22	18,22	18,00	0,0070		No p-delta
3	4000	6066,47	-630,28	14,95	28,06	0,0123		No p-delta
2	4000	9887,38	-874,03	9,85	33,15	0,0170		No p-delta
1	4000	13668,65	-992,15	3,82	21,02	0,0000		No p-delta
EX 2 Direction								
Story	H (mm)	P kN	Vx kN	Ux mm	Δx mm	Θx 0,0170	Θmax 0,0909	Check
4	4000	2245,55	-261,22	18,13	17,5065	0,0068		No p-delta
3	4000	6066,47	-630,28	14,95	28,0665	0,0123		No p-delta
2	4000	9887,38	-874,03	9,85	33,1265	0,0170		No p-delta
1	4000	13668,65	-992,15	3,82	21,0265	0,0132		No p-delta

Tabel 2.44 Pengecekan P-Delta pada Arah Y Massa 1

<i>EY 1 Direction</i>								
Story	H (mm)	P kN	V _y kN	U _y mm	Δ _y mm	Θ _y 0,0214	Θ _{max} 0,0909	Check
4	4000	2245,55	-261,22	21,95	18,66	0,0073		No p-delta
3	4000	6066,47	-630,28	18,56	33,23	0,0145		No p-delta
2	4000	9887,38	-874,03	12,52	41,59	0,0214		No p-delta
1	4000	13668,65	-992,15	4,96	27,25	0,0000		No p-delta
<i>EY 2 Direction</i>								
Story	H (mm)	P kN	V _y kN	U _y mm	Δ _y mm	Θ _y 0,0214	Θ _{max} 0,0909	Check
4	4000	2245,55	-261,22	21,92	18,4030	0,0072		No p-delta
3	4000	6066,47	-630,28	18,57	33,2200	0,0145		No p-delta
2	4000	9887,38	-874,03	12,53	41,5910	0,0214		No p-delta
1	4000	13668,65	-992,15	4,97	27,3295	0,0171		No p-delta

12. Pengecekan *Center of Mass and Center of Regidity*

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.45 dan Tabel 2.46, *Center of Mass* dan *Center of Regidity* pada bangunan massa 1 ini saling berdekatan atau tidak lebih dari 15% sehingga efek torsi yang ditimbulkan sangat rendah.

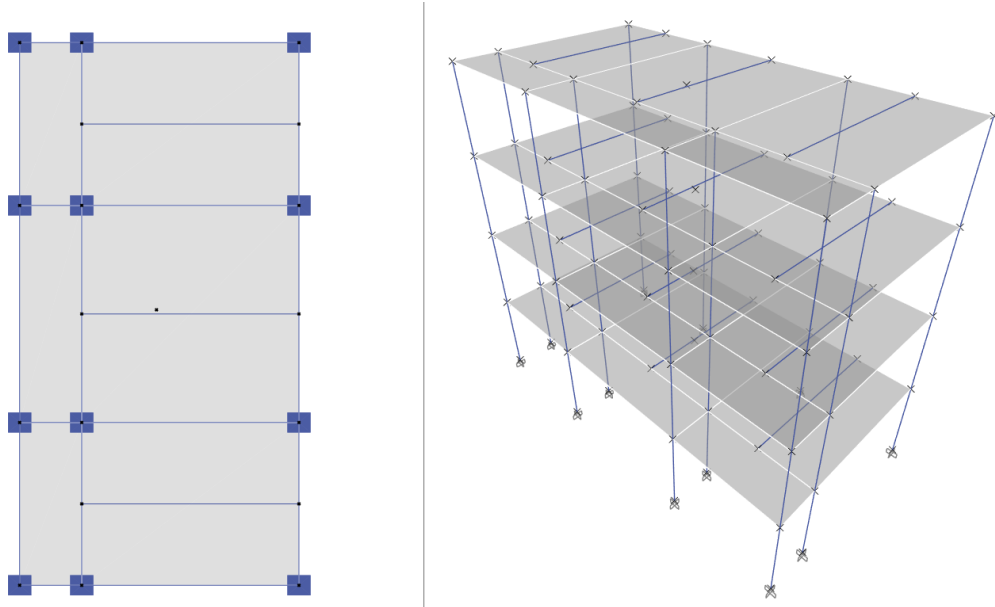
Tabel 2.45 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Massa 1

<i>The Center of Mass and Rigidity</i>											
Story	D	Mass X	Mass Y	C.M		Cum. X	Cum. Y	XCCm	YCCm	C.R	
				xm	ym					XCR	YCR
4	D4	155669,01	155669,01	3,48	47,49	155669,01	155669,01	3,48	47,49	3,30	47,32
3	D3	295199,84	295199,84	3,29	47,32	295199,84	295199,84	3,29	47,32	3,37	47,31
2	D2	295199,84	295199,84	3,29	47,32	295199,84	295199,84	3,29	47,32	3,48	47,31
1	D1	290689,13	290689,13	3,23	47,30	290689,13	290689,13	3,23	47,30	3,73	47,32

Tabel 2.46 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Massa 1

<i>The Eccentricity</i>							
<i>Eccentricity</i>		<i>Dimension</i>		<i>ex/Dx result</i>		<i>ey/Dy result</i>	
ex	ey	Dx	Dy	%		%	
0,1826	0,1651	7	17,5	2,6086	OK	0,9434	OK
0,0793	0,0032	7	17,5	1,1329	OK	0,0183	OK
0,1909	0,0058	7	17,5	2,7271	OK	0,0331	OK
0,4965	0,0239	7	17,5	7,0929	OK	0,1366	OK

b. Massa 2



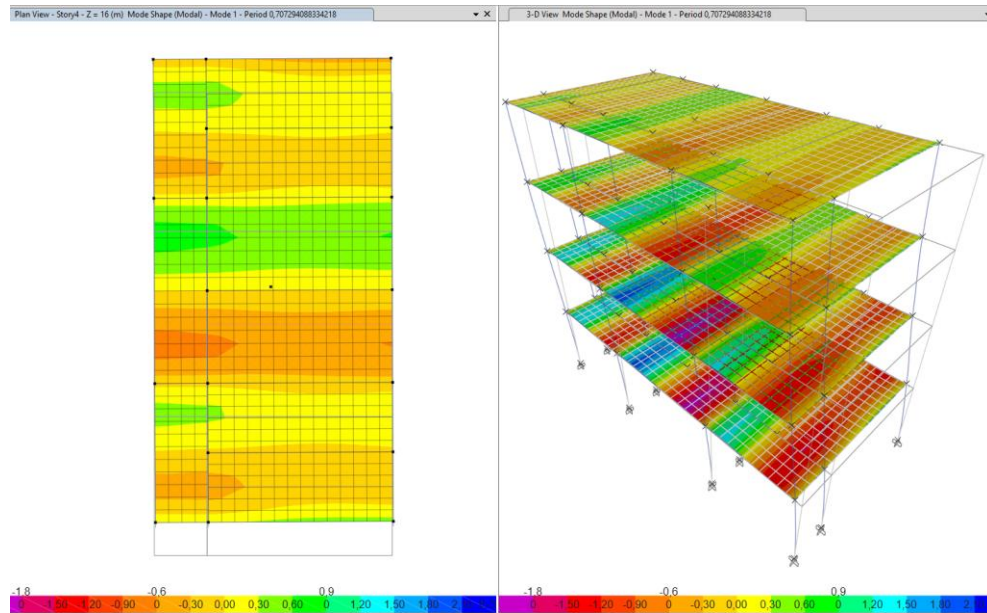
Gambar 2.18 Dilatasi Struktur Massa 2

1. Jumlah dan Bentuk Ragam

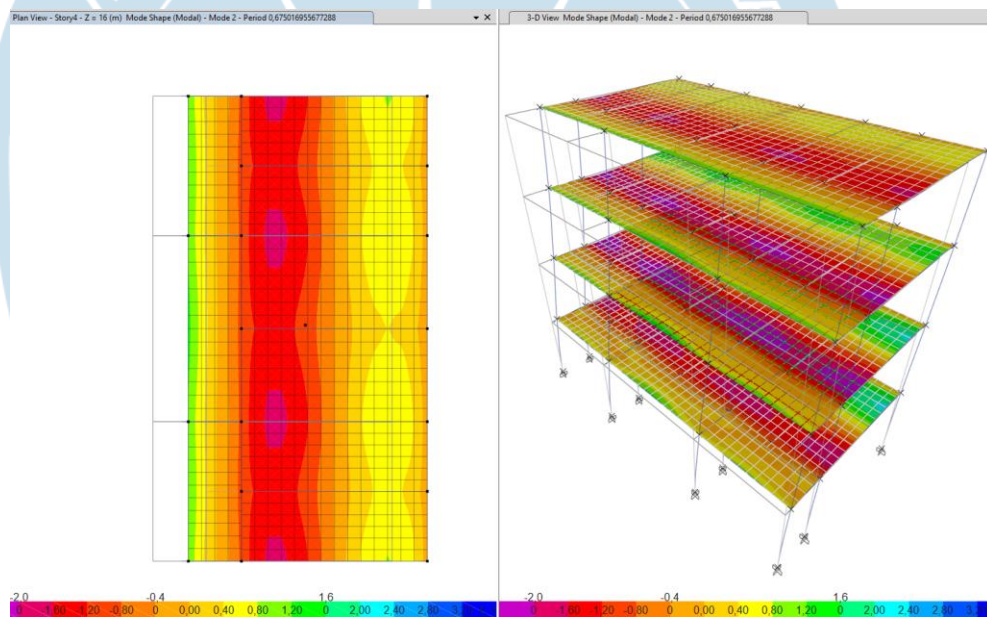
Dapat dilihat pada Tabel 2.47, Gambar 2.19, dan Gambar 2.20, diketahui bahwa *mode 1* dan *mode 2* pada struktur hasil modifikasi pada massa 2 telah berubah menjadi dominan translasi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan dilatasi struktur berhasil mengurangi potensi efek torsi yang berbahaya dan mengarahkan respons dinamis bangunan ke arah yang lebih stabil.

Tabel 2.47 Jumlah Ragam Massa 2

Mode	Periode sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,75	0,71	0,00000057	0,82020000	0	0,00000057	0,820	0	0,2127000	0	0,0009000	0,213	0
2	0,67	0,68	0,79920000	0,00000059	0	0,79920000	0,820	0	0	0,239100	0,0000031	0,213	0,239
3	0,55	0,55	0	0,00050000	0	0,79920000	0,821	0	0,0012000	0,000039	0,8152000	0,214	0,239
4	0,23	0,22	0,00000213	0,11800000	0	0,79920000	0,939	0	0,6345000	0,000010	0,0005000	0,848	0,239
5	0,20	0,20	0,13670000	0,00000373	0	0,93590000	0,939	0	0,0000170	0,596500	0,0001000	0,848	0,836
6	0,17	0,17	0,00010000	0,00050000	0	0,93590000	0,939	0	0,0021000	0,000200	0,1234000	0,851	0,836
7	0,12	0,12	0	0,04620000	0	0,93590000	0,986	0	0,0941000	0	0,0003000	0,945	0,836
8	0,11	0,10	0,04920000	0,00000182	0	0,98510000	0,986	0	0,0000042	0,110400	0,0000073	0,945	0,946
9	0,09	0,09	0,00004473	0,00040000	0	0,98520000	0,986	0	0,0005000	0,000100	0,0452000	0,945	0,946
10	0,09	0,08	0,00000361	0,01350000	0	0,98520000	0,999	0	0,0529000	0,000012	0,0000042	0,998	0,946
11	0,08	0,07	0,01480000	0,00000373	0	1	0,999	0	0,0000128	0,053500	0,0000339	0,998	1
12	0,07	0,06	0,00000928	0,00060000	0	1	1	0	0,0020000	0,000033	0,0144000	1	1



Gambar 2.19 Mode 1 Massa 2



Gambar 2.20 Mode 2 Massa 2

2. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 (1a dan 1b)

Hasil analisis dengan bantuan ETABS pada Tabel 2.48 dan Tabel 2.49 menunjukkan bahwa ketidakberaturan horizontal tipe 1 tidak lagi terjadi. Hal ini ditunjukkan dari rasio simpangan antar lantai tingkat maksimum yang bernilai kurang dari 1,2 sesuai dengan batas yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019.

Tabel 2.48 Ketidakberaturan Torsi pada Arah X Massa 2

<i>EX+ X1 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	9	0,0010	0,0009	1,1050	Regular				Regular
3	9	0,0015	0,0013	1,1070	Regular				Regular
2	9	0,0017	0,0015	1,1130	Regular				Regular
1	9	0,0010	0,0009	1,1190	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EX- X2 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	9	0,0010	0,0009	1,0930	Regular				Regular
3	9	0,0015	0,0013	1,1080	Regular				Regular
2	9	0,0017	0,0015	1,1140	Regular				Regular
1	9	0,0010	0,0009	1,1200	Regular				Regular
						Max	0	0	

Tabel 2.49 Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y Massa 2

<i>EY+ Y1 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	17,5	0,00080	0,00079	1,0130	Regular				Regular
3	17,5	0,00140	0,00137	1,0260	Regular				Regular
2	17,5	0,00176	0,00170	1,0350	Regular				Regular
1	17,5	0,00116	0,00111	1,0480	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EY- Y2 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
4	17,5	0,00083	0,00079	1,0470	Regular				Regular
3	17,5	0,00141	0,00137	1,0300	Regular				Regular
2	17,5	0,00173	0,00170	1,0190	Regular				Regular
1	17,5	0,00111	0,00111	1,0050	Regular				Regular
						Max	0	0	

3. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Ketidakberaturan horizontal tipe 2 terjadi apabila bentuk denah bangunan mengandung sudut dalam (*re-entrant corner*). Berdasarkan hasil pemodelan struktur setelah dilatasi, pada massa 2 bentuk denah bangunan telah berubah menjadi menyerupai bentuk persegi panjang (lihat Gambar 2.18). Dengan konfigurasi geometris yang demikian, tidak terdapat lagi sudut dalam yang tajam atau cekungan ke arah dalam pada struktur. Oleh karena itu, ketidakberaturan horizontal tipe 2 tidak lagi terjadi pada bagian ini.

4. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

Ketidakberaturan horizontal tipe 3 berkaitan dengan adanya diskontinuitas atau ketidakterhubungan pada sistem diafragma lantai, seperti bukaan besar yang memutus kesinambungan diafragma. Berdasarkan hasil modifikasi pemodelan struktur setelah dilatasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.18, pada massa 2 bentuk lantai tidak memiliki bukaan yang dapat mengganggu kontinuitas sistem diafragma. Dengan demikian, ketidakberaturan horizontal tipe 3 tidak terjadi.

5. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat elemen-elemen struktural, seperti dinding atau kolom, yang tidak terhubung secara baik atau tidak tegak lurus terhadap lantai maupun bidang utama struktur, sehingga mengganggu jalur aliran gaya lateral. Pada pemodelan struktur dilatasi massa 2 (lihat Gambar 2.18), seluruh elemen struktural telah didesain dan diposisikan tegak lurus terhadap bidang lantai serta terhubung secara menyeluruh. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa bangunan tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

6. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Ketidakberaturan horizontal tipe 5 dapat terjadi apabila elemen-elemen penahan gaya lateral vertikal tidak tersusun secara paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama bangunan. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.18, dilatasi massa 2 berbentuk persegi panjang dengan tata letak struktur yang simetris terhadap sumbu utama. Oleh karena itu, bangunan tidak mengalami ketidakberaturan sistem non-paralel.

7. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 (1a dan 1b)

Dari *output soft story* pada Tabel 2.50 dan Tabel 2.51 menunjukkan bahwa kondisi *soft story* dan *extreme soft story* tidak terjadi. Karena kekakuan lateralnya lebih dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau lebih dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Maka, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tidak terjadi pada bangunan massa 2 ini.

Tabel 2.50 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-X Massa 2

<i>Stiffness Irregularity Check in X-Direction</i>											
<i>Story</i>	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness X-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>	
		0,7			0,8		0,6			0,7	
4	87486,18	-	-				-				
3	135732,93	1,55	Regular				-				
2	167077,20	1,23	Regular				-				
1	312086,22	1,87	Regular	130098,77	2,40	Regular	1,87	Regular	130098,77	2,40	Regular

Tabel 2.51 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-Y Massa 2

<i>Stiffness Irregularity Check in Y-Direction</i>											
<i>Story</i>	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness Y-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>		<i>Ki+1</i>			<i>Kmi</i>	
		0,7			0,8		0,6			0,7	
4	101044,47	-	-				-				
3	132576,18	1,31	Regular				-				
2	149590,72	1,13	Regular				-				
1	261965,06	1,75	Regular	127737,12	2,05	Regular	1,75	Regular	127737,12	2,05	Regular

8. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Ketidakberaturan Berat (Massa) dianggap terjadi jika massa efektif satu lantai lebih dari 150% massa efektif pada lantai diatas atau di bawahnya. Dapat dilihat pada Tabel 2.52 dan Tabel 2.53 massa efektif suatu lantai tidak ada yang lebih dari 1,5. Maka, ketidakberaturan berat tidak terjadi pada bangunan massa 2 ini.

Tabel 2.52 Ketidakberaturan Berat Arah X Massa 2

<i>Mass</i>		<i>X Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
4	187800,98	-	-	-	-
3	323603,7	-	-	0,9137	Regular
2	354179,38	1,0945	Regular	1,0129	Regular
1	349668,67	0,9873	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

Tabel 2.53 Ketidakberaturan Berat Arah Y Massa 2

<i>Mass</i>		<i>Y Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass Y</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
4	187800,98	-	-	-	-
3	323603,7	-	-	0,9137	Regular
2	354179,38	1,0945	Regular	1,0129	Regular
1	349668,67	0,9873	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

9. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3

Ketidakberaturan geometrik vertikal, terjadi apabila dimensi horizontal dari sistem penahan gaya lateral pada suatu tingkat melebihi 130% dari dimensi sistem yang berada di atas atau di bawahnya. Berdasarkan Gambar 2.18, dilatasi massa 1 memiliki konfigurasi yang konsisten secara vertikal atau seragam dari lantai dasar hingga atap. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketidakberaturan geometrik vertikal pada bangunan ini tidak terjadi.

10. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat kondisi *offset* dalam bidang dari sistem pemikul gaya lateral. Berdasarkan konfigurasi struktur yang ditunjukkan pada Gambar 2.18, tidak ditemukan adanya kondisi *offset* dalam bidang tersebut. Sistem pemikul gaya lateral tersusun secara kontinu dan sejajar dari bawah ke atas tanpa perpindahan posisi yang signifikan. Oleh karena itu, bangunan ini tidak mengalami ketidakberaturan diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

11. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.54 dan Tabel 2.55, bangunan massa 2 ini tidak mengalami kondisi iregularitas kuat *lateral extreme*. Karena kuat lateral tingkat lebih dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Maka, ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat tidak terjadi.

Tabel 2.54 Pengecekan P-Delta pada Arah X Massa 2

<i>EX 1 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_x</i> kN	<i>U_x</i> mm	<i>Δ_x</i> mm	<i>Θ_x</i> 0,0172	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
4	4000	2706,24	-317,52	18,83	20,38	0,0079		<i>No p-delta</i>
3	4000	6880,32	-725,15	15,13	29,17	0,0126		<i>No p-delta</i>
2	4000	11512,66	-1019,81	9,83	33,56	0,0172		<i>No p-delta</i>
1	4000	16105,36	-1162,96	3,72	20,48	0,0000		<i>No p-delta</i>
<i>EX 2 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_x</i> kN	<i>U_x</i> mm	<i>Δ_x</i> mm	<i>Θ_x</i> 0,0172	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
4	4000	2706,24	-317,52	18,75	19,53	0,0076		<i>No p-delta</i>
3	4000	6880,32	-725,15	15,20	29,57	0,0128		<i>No p-delta</i>
2	4000	11512,66	-1019,81	9,82	33,54	0,0172		<i>No p-delta</i>
1	4000	16105,36	-1162,96	3,72	20,48	0,0129		<i>No p-delta</i>

Tabel 2.55 Pengecekan P-Delta pada Arah Y Massa 2

<i>EY 1 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_y</i> kN	<i>U_y</i> mm	<i>Δ_y</i> mm	<i>Θ_y</i> 0,0192	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
4	4000	2706,24	-317,52	19,86	17,20	0,0067		<i>No p-delta</i>
3	4000	6880,32	-725,15	16,73	30,04	0,0130		<i>No p-delta</i>
2	4000	11512,66	-1019,81	11,27	37,51	0,0192		<i>No p-delta</i>
1	4000	16105,36	-1162,96	4,45	24,46	0,0000		<i>No p-delta</i>
<i>EY 2 Direction</i>								
<i>Story</i>	<i>H (mm)</i>	<i>P</i> kN	<i>V_y</i> kN	<i>U_y</i> mm	<i>Δ_y</i> mm	<i>Θ_y</i> 0,0192	<i>Θ_{max}</i> 0,0909	<i>Check</i>
4	4000	2706,24	-317,52	19,86	17,39	0,0067		<i>No p-delta</i>
3	4000	6880,32	-725,15	16,70	30,11	0,0130		<i>No p-delta</i>
2	4000	11512,66	-1019,81	11,22	37,42	0,0192		<i>No p-delta</i>
1	4000	16105,36	-1162,96	4,42	24,31	0,0153		<i>No p-delta</i>

12. Pengecekan *Center of Mass and Center of Rigidity*

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.56 dan Tabel 2.57, *Center of Mass* dan *Center of Rigidity* pada bangunan massa 2 ini saling berdekatan atau tidak lebih dari 15% sehingga efek torsi yang ditimbulkan sangat rendah.

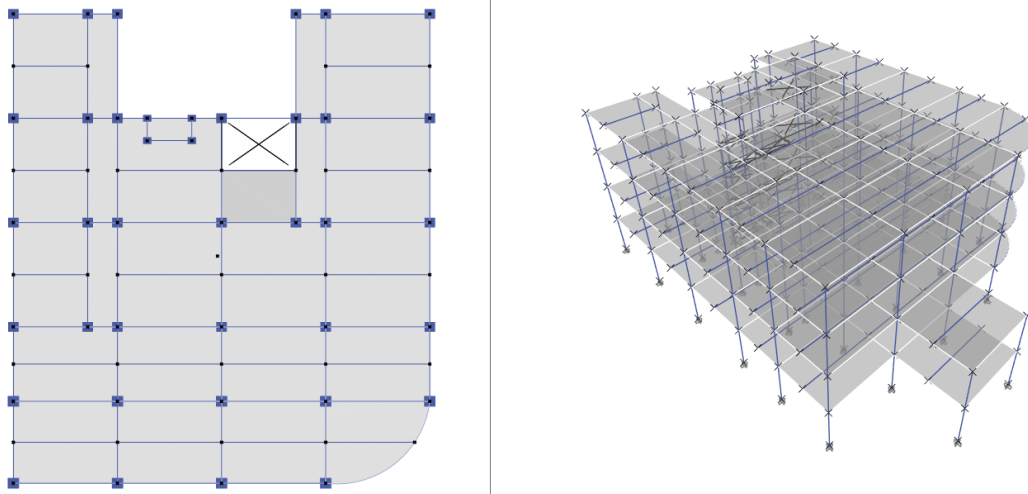
Tabel 2.56 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Massa 2

<i>The Center of Mass and Rigidity</i>											
<i>Story</i>	<i>D</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mass Y</i>	<i>C.M</i>		<i>Cum. X</i>	<i>Cum. Y</i>	<i>XCCm</i>	<i>YCCm</i>	<i>C.R</i>	
				<i>xm</i>	<i>ym</i>					<i>XCR</i>	<i>YCR</i>
4	D4	187800,98	187800,98	23,41	47,49	187800,98	187800,98	23,41	47,49	23,46	47,32
3	D3	323603,70	323603,70	23,52	47,13	323603,70	323603,70	23,52	47,13	23,35	47,31
2	D2	354179,38	354179,38	23,62	47,33	354179,38	354179,38	23,62	47,33	23,20	47,31
1	D1	349668,67	349668,67	23,68	47,31	349668,67	349668,67	23,68	47,31	22,91	47,32

Tabel 2.57 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Massa 2

<i>The Eccentricity</i>							
<i>Eccentricity</i>		<i>Dimension</i>		<i>ex/Dx result</i>		<i>ey/Dy result</i>	
<i>ex</i>	<i>ey</i>	<i>Dx</i>	<i>Dy</i>	<i>%</i>		<i>%</i>	
0,0504	0,1738	9	17,5	0,5600	OK	0,9931	OK
0,1661	0,1795	9	17,5	1,8456	OK	1,0257	OK
0,4167	0,0142	9	17,5	4,6300	OK	0,0811	OK
0,7659	0,013	9	17,5	8,5100	OK	0,0743	OK

c. Massa 3



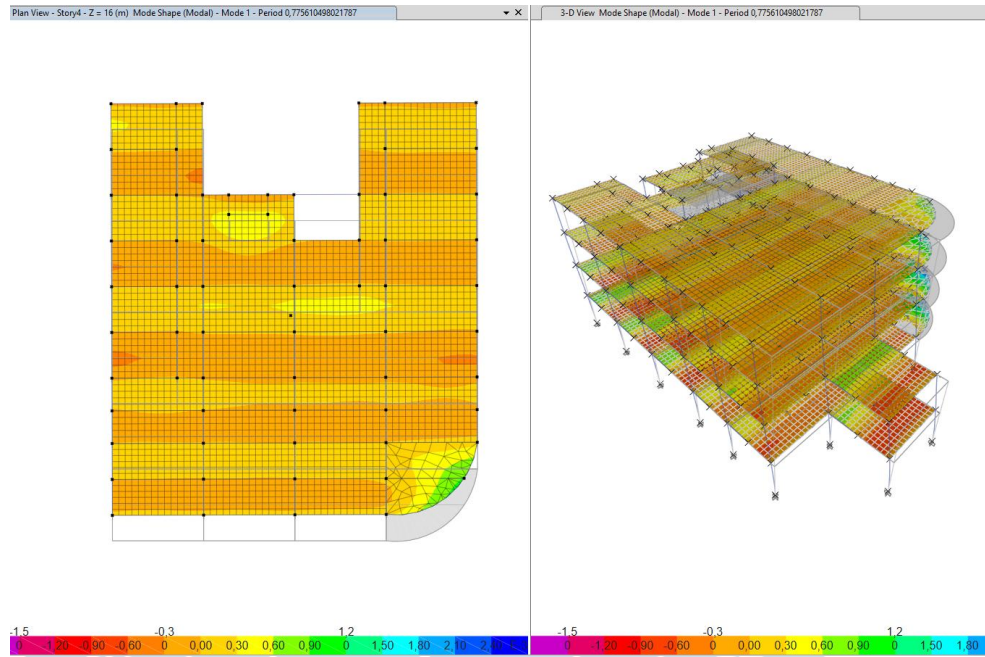
Gambar 2.21 Dilatasi Struktur Massa 3

1. Jumlah dan Bentuk Ragam

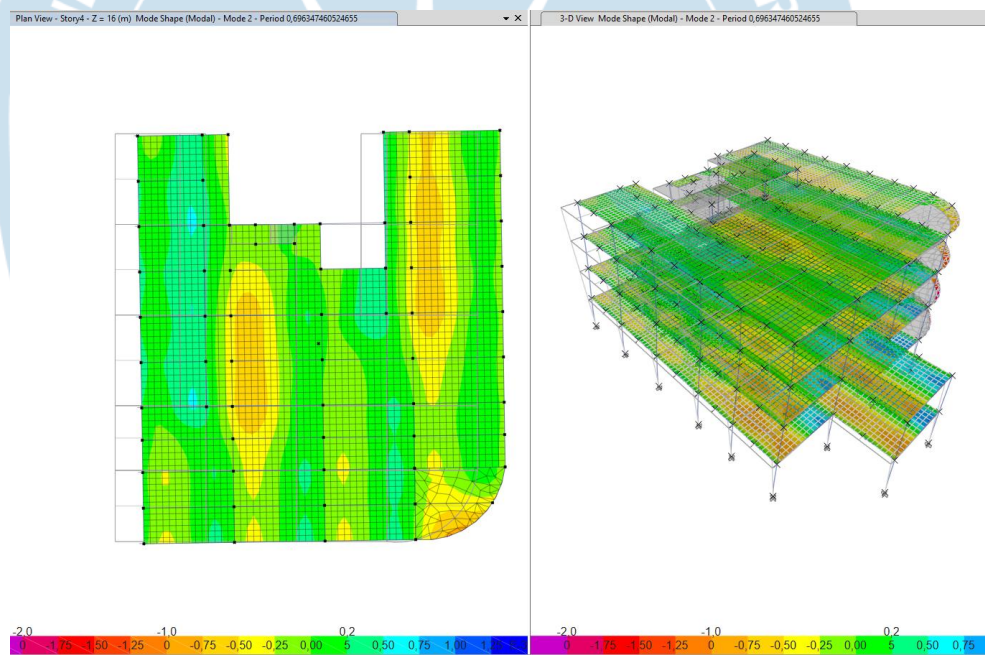
Dapat dilihat pada Tabel 2.58, Gambar 2.22, dan Gambar 2.23, diketahui bahwa *mode* 1 dan *mode* 2 pada struktur hasil modifikasi pada massa 3 telah berubah menjadi dominan translasi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan dilatasi struktur berhasil mengurangi potensi efek torsi yang berbahaya dan mengarahkan respons dinamis bangunan ke arah yang lebih stabil.

Tabel 2.58 Jumlah Ragam Massa 3

Mode	Periode sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,78	0,0005000	0,8230000	0	0,0005	0,823	0	0,2007000	0,0001000	0,0007	0,201	0,0001	0,0007
2	0,70	0,8184000	0,0004000	0	0,8189	0,823	0	0,0001000	0,1953000	0,0071	0,201	0,1954	0,0078
3	0,66	0,0077000	0,0005000	0	0,8266	0,824	0	0,0005000	0,0030000	0,8071	0,201	0,1984	0,8148
4	0,25	0,0000392	0,1141000	0	0,8266	0,938	0	0,6280000	0,0003000	0,0001	0,829	0,1987	0,8150
5	0,22	0,1124000	0,0000133	0	0,9391	0,938	0	0,0001000	0,6226000	0,0029	0,829	0,8213	0,8179
6	0,21	0,0025000	0,0003000	0	0,9416	0,938	0	0,0010000	0,0176000	0,1185	0,830	0,8389	0,9364
7	0,13	0,0000028	0,0425000	0	0,9416	0,981	0	0,0941000	0,0000031	0,0006	0,925	0,8389	0,9370
8	0,12	0,0413000	0,0000020	0	0,9829	0,981	0	0,0000067	0,0906000	0,0003	0,925	0,9295	0,9373
9	0,12	0,0003000	0,0008000	0	0,9832	0,982	0	0,0018000	0,0006000	0,0433	0,926	0,9301	0,9807
10	0,09	0,0000128	0,0172000	0	0,9832	0,999	0	0,0695000	0,0000370	0,0007	0,996	0,9301	0,9813
11	0,09	0,0168000	0,0000074	0	1	0,999	0	0,0000255	0,0693000	0,0003	0,996	0,9994	0,9816
12	0,08	0,0000038	0,0011000	0	1	1	0	0,0041000	0	0,0184	1	0,9994	1



Gambar 2.22 Mode 1 Massa 3



Gambar 2.23 Mode 2 Massa 3

2. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 (1a dan 1b)

Hasil analisis dengan bantuan ETABS pada Tabel 2.59 dan Tabel 2.60 menunjukkan bahwa ketidakberaturan horizontal tipe 1 tidak lagi terjadi. Hal ini ditunjukkan dari rasio simpangan antar lantai tingkat maksimum yang bernilai kurang dari 1,2 sesuai dengan batas yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019.

Tabel 2.59 Ketidakberaturan Torsi pada Arah X Massa 3

<i>EX+ X1 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,0003	0,0003	1,0260	Regular				Regular
4	28	0,0008	0,0007	1,1310	Regular				Regular
3	28	0,0012	0,0011	1,1080	Regular				Regular
2	28	0,0014	0,0012	1,1590	Regular				Regular
1	28	0,0010	0,0008	1,1730	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EX- X2 Direction</i>									
Story	DX	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	28	0,0003	0,0003	1,1050	Regular				Regular
4	28	0,0008	0,0007	1,1420	Regular				Regular
3	28	0,0013	0,0011	1,1690	Regular				Regular
2	28	0,0015	0,0013	1,1700	Regular				Regular
1	28	0,0010	0,0009	1,1520	Regular				Regular
						Max	0	0	

Tabel 2.60 Ketidakberaturan Torsi pada Arah Y Massa 3

<i>EY+ Y1 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	38	0,00047	0,00046	1,0230	Regular				Regular
4	38	0,00089	0,00084	1,0610	Regular				Regular
3	38	0,00148	0,00137	1,0810	Regular				Regular
2	38	0,00174	0,00160	1,0920	Regular				Regular
1	38	0,00118	0,00106	1,1070	Regular				Regular
						Max	0	0	
<i>EY- Y2 Direction</i>									
Story	DY	Drifts		Ratio	Check	Ax	Eccentricity		Extreme Torsional Irregularity
		Max	Avg				%	Absolute length	
5	38	0,00050	0,00047	1,0630	Regular				Regular
4	38	0,00093	0,00084	1,1140	Regular				Regular
3	38	0,00149	0,00137	1,0930	Regular				Regular
2	38	0,00171	0,00159	1,0750	Regular				Regular
1	38	0,00112	0,00106	1,0580	Regular				Regular
						Max	0	0	

3. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Perhitungan ini berdasarkan pada nilai sudut dalam bangunan. Ketidakberaturan yang dianggap jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih dari 15% dimensi denah struktur. Dalam permodelan dilatasi massa 3 yang dapat dilihat pada Gambar 2.21, secara visual masih terdapat bentuk sudut dalam. Namun, berdasarkan pengamatan terhadap bentuk dan ukuran sudut dalam tersebut, kedalaman cekungan tidak melampaui batas ketentuan 15% dari panjang denah bangunan. Dengan demikian, ketidakberaturan sudut dalam tidak terjadi pada bangunan ini.

4. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

Ketidakberaturan ini ada bila luas bukaan $> 0,5$ kali luas lantai atau bila kekakuan diafragma efektif antara satu lantai dengan lantai berikutnya bervariasi melebihi 50%. Dalam hal ini perhitungannya dilihat pada Gambar 2.21, diketahui:

$$\text{Luas bukaan} = 22 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas lantai} = 882 \text{ m}^2$$

$$0,5 \text{ Luas lantai} = 441 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas bukaan} < 0,5 \text{ Luas Lantai}$$

Maka, ketidakberaturan dikontinuitas diafragma tidak terjadi.

5. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

Ketidakberaturan ini terjadi pada bangunan dengan elemen-elemen struktural yang tidak terhubung dengan baik atau tidak berada dalam posisi yang benar-benar tegak lurus satu sama lain. Karena tidak ada dinding pada bangunan yang tidak tegak lurus terhadap lantai atau bidang lainnya pada bangunan ini, maka bangunan tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

6. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Meskipun terdapat elemen yang berbentuk melengkung (Gambar 2.21), keberadaannya tidak terlalu mengganggu. Hal ini karena bentuk lengkung tersebut masih berada dalam pola yang konsisten dan simetris terhadap sumbu utama bangunan, serta dapat ditransformasikan secara efektif ke dalam sistem koordinat ortogonal dalam permodelan struktur. Selama distribusi elemen penahan lateral tetap merata dan mampu menahan gaya gempa secara efisien tanpa menimbulkan eksentrisitas atau torsi berlebih, maka bangunan tidak dikategorikan mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 5.

7. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 (1a dan 1b)

Dari *output soft story* pada Tabel 2.61 dan Tabel 2.62 menunjukkan bahwa kondisi *soft story* dan *extreme soft story* tidak terjadi. Karena kekakuan lateralnya lebih dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau lebih dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Maka, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tidak terjadi pada bangunan massa 3 ini.

Tabel 2.61 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-X Massa 3

<i>Stiffness Irregularity Check in X-Direction</i>											
<i>Story</i>	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness X-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i> 0,7			<i>Kmi</i> 0,8		<i>Ki+1</i> 0,6			<i>Kmi</i> 0,7	
5	228422,79	-	-				-				
4	525276,32	2,30	Regular				-				
3	645205,03	1,23	Regular				-				
2	750908,62	1,16	Regular	466301,38	1,61	Regular	1,16	Regular	466301,38	1,61	Regular
1	1237415,97	1,65	Regular	640463,32	1,93	Regular	1,65	Regular	640463,32	1,93	Regular

Tabel 2.62 Kekakuan Tingkat Akibat Beban Gempa Arah-Y Massa 3

<i>Stiffness Irregularity Check in Y-Direction</i>											
<i>Story</i>	<i>Soft-Story Irregularity Check</i>						<i>Extreme Soft-Story Irregularity Check</i>				
	<i>Stiffness Y-Direction</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>	<i>Kmi= avg</i>	<i>Ki</i>	<i>Check</i>
		<i>Ki+1</i> 0,7			<i>Kmi</i> 0,8		<i>Ki+1</i> 0,6			<i>Kmi</i> 0,7	
5	135173,68	-	-				-				
4	421346,59	3,12	Regular				-				
3	514377,86	1,22	Regular				-				
2	586892,69	1,14	Regular	356966,04	1,64	Regular	1,14	Regular	356966,04	1,64	Regular
1	982280,62	1,67	Regular	507539,04	1,94	Regular	1,67	Regular	507539,04	1,94	Regular

8. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Ketidakberaturan Berat (Massa) dianggap terjadi jika massa efektif satu lantai lebih dari 150% massa efektif pada lantai diatas atau di bawahnya. Dari *output* pada Tabel 2.63 dan Tabel 2.64 massa efektif suatu lantai tidak ada yang lebih dari 1,5. Maka, ketidakberaturan berat tidak terjadi pada bangunan massa 3 ini.

Tabel 2.63 Ketidakberaturan Berat Arah X Massa 3

<i>Mass</i>		<i>X Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
5	85248,12	-	-	-	-
4	944980,82	-	-	0,6723	Regular
3	1405515,74	1,4873	Regular	0,9896	Regular
2	1420217,88	1,0105	Regular	1,0303	Regular
1	1378420,33	0,9706	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

Tabel 2.64 Ketidakberaturan Berat Arah Y Massa 3

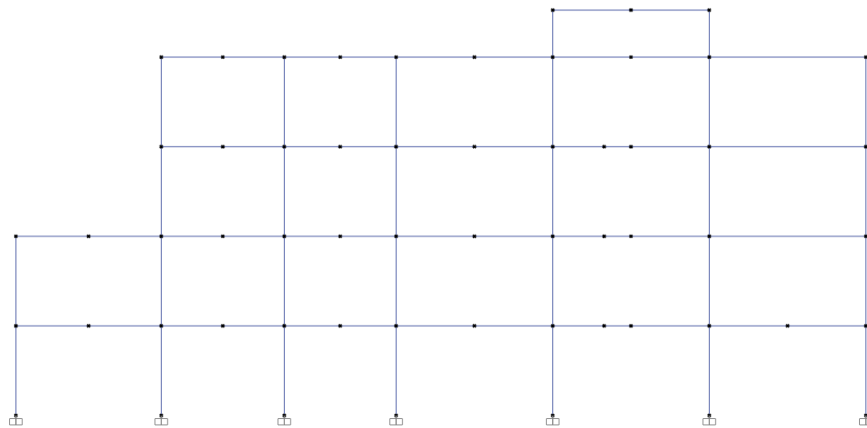
<i>Mass</i>		<i>Y Direction</i>			
<i>Story</i>	<i>Mass Y</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>	<i>Mi</i>	<i>Check</i>
		<i>Mi+1</i>		<i>Mi+1</i>	
5	85248,12	-	-	-	-
4	944980,82	-	-	0,6723	Regular
3	1405515,74	1,4873	Regular	0,9896	Regular
2	1420217,88	1,0105	Regular	1,0303	Regular
1	1378420,33	0,9706	Regular	-	-
		0,0000	Regular	-	-

9. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3

Ketidakberaturan geometri vertikal dianggap terjadi ketika dimensi horizontal sistem penahan gaya lateral pada tingkat manapun lebih besar dari 130% tingkat di atas atau di bawahnya. Berdasarkan kondisi potongan bangunan pada Gambar 2.24, nilai rasio dari lantai 2 dan 3 harus diperiksa sebagai berikut,

$$\frac{\text{Lebar lantai 2}}{\text{Lebar lantai 3}} = \frac{38}{31,5} = 1,21 < 1,3 \text{ OK!}$$

Maka, ketidakberaturan geometri vertikal tidak terjadi.



Gambar 2.24 Potongan Dilatasi Struktur Massa 3

10. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat kondisi *offset* dalam bidang dari sistem pemikul gaya lateral. Berdasarkan Gambar 2.21, tidak ditemukan adanya kondisi *offset* dalam bidang tersebut. Sistem pemikul gaya lateral tersusun secara kontinu dan sejajar dari bawah ke atas tanpa perpindahan posisi yang signifikan. Oleh karena itu, bangunan ini tidak mengalami ketidakberaturan diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

11. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.65 dan Tabel 2.66, bangunan massa 3 ini tidak mengalami kondisi iregularitas kuat *lateral extreme*. Karena kuat lateral tingkat lebih dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Maka, ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat tidak terjadi.

Tabel 2.65 Pengecekan P-Delta pada Arah X Massa 3

<i>EX 1 Direction</i>								
Story	H (mm)	P kN	V _x kN	U _x mm	Δ _x mm	Θ _x 0,0172	Θ _{max} 0,0909	Check
5	2100	1157,74	-131,03	16,89	7,18	0,0055		No p-delta
4	4000	14060,81	-1408,91	15,58	14,80	0,0067		No p-delta
3	4000	32396,71	-2815,99	12,89	23,77	0,0124		No p-delta
2	4000	50442,93	-3743,46	8,57	28,11	0,0172		No p-delta
1	4000	67670,45	-4178,98	3,46	19,02	0,0000		No p-delta
<i>EX 2 Direction</i>								
Story	H (mm)	P kN	V _x kN	U _x mm	Δ _x mm	Θ _x 0,0172	Θ _{max} 0,0909	Check
5	2100	1157,74	-131,03	15,35	-1,74	0,0013		No p-delta
4	4000	14060,81	-1408,91	15,67	14,67	0,0067		No p-delta
3	4000	32396,71	-2815,99	13,00	24,33	0,0127		No p-delta
2	4000	50442,93	-3743,46	8,58	28,10	0,0172		No p-delta
1	4000	67670,45	-4178,98	3,47	19,07	0,0140		No p-delta

Tabel 2.66 Pengecekan P-Delta pada Arah Y Massa 3

<i>EY 1 Direction</i>								
Story	H (mm)	P kN	V _y kN	U _y mm	Δ _y mm	Θ _y 0,0214	Θ _{max} 0,0909	Check
5	2100	1157,74	-131,03	20,30	4,83	0,0037		No p-delta
4	4000	14060,81	-1408,92	19,42	18,30	0,0083		No p-delta
3	4000	32396,71	-2816,00	16,09	30,11	0,0157		No p-delta
2	4000	50442,93	-3743,46	10,62	35,02	0,0214		No p-delta
1	4000	67670,45	-4178,98	4,25	23,37	0,0000		No p-delta
<i>EY 2 Direction</i>								
Story	H (mm)	P kN	V _y kN	U _y mm	Δ _y mm	Θ _y 0,0214	Θ _{max} 0,0909	Check
5	2100	1157,74	-131,03	20,49	5,88	0,0045		No p-delta
4	4000	14060,81	-1408,92	19,42	18,52	0,0084		No p-delta
3	4000	32396,71	-2816,00	16,05	30,06	0,0157		No p-delta
2	4000	50442,93	-3743,46	10,59	34,98	0,0214		No p-delta
1	4000	67670,45	-4178,98	4,23	23,24	0,0171		No p-delta

12. Pengecekan Center of Mass and Center of Rigidity

Berdasarkan hasil pengecekan pada Tabel 2.67 dan Tabel 2.68, Center of Mass dan Center of Rigidity pada bangunan massa 3 ini saling berdekatan atau tidak lebih dari 15% sehingga efek torsi yang ditimbulkan sangat rendah.

Tabel 2.67 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Massa 3

<i>The Center of Mass and Rigidity</i>											
Story	D	Mass X	Mass Y	C.M		Cum. X	Cum. Y	XCCm	YCCm	C.R	
				xm	ym					XCR	YCR
5	D5	85248,12	85248,12	12,97	27,62	85248,12	85248,12	12,97	27,62	13,18	25,77
4	D4	944980,82	944980,82	13,73	21,75	944980,82	944980,82	13,73	21,75	13,79	22,13
3	D3	1405515,74	1405515,74	13,85	21,55	1405515,74	1405515,74	13,85	21,55	13,62	22,07
2	D2	1420217,88	1420217,88	13,77	21,86	1420217,88	1420217,88	13,77	21,86	13,42	21,90
1	D1	1378420,33	1378420,33	13,84	21,65	1378420,33	1378420,33	13,84	21,65	13,09	21,56

Tabel 2.68 Pemeriksaan Pusat Massa & Pusat Berat Massa 3

<i>The Eccentricity</i>							
Eccentricity		Dimension		ex/Dx result		ey/Dy result	
ex	ey	Dx	Dy	%		%	
0,204	1,8509	28	38	0,7286	OK	4,8708	OK
0,0581	0,3776	28	38	0,2075	OK	0,9937	OK
0,2342	0,5202	28	38	0,8364	OK	1,3689	OK
0,3486	0,0393	28	38	1,2450	OK	0,1034	OK
0,747	0,0905	28	38	2,6679	OK	0,2382	OK

2.6 Kesimpulan Pemilihan Rekayasa Struktur

Berdasarkan hasil evaluasi dan pengecekan terhadap berbagai jenis ketidakberaturan struktur sesuai SNI 1726:2019, dapat disimpulkan bahwa model struktur dengan solusi dilatasi merupakan pilihan yang paling optimal. Setelah dilakukan pemisahan massa bangunan dan penyesuaian bentuk denah, seluruh jenis ketidakberaturan baik horizontal maupun vertikal telah berhasil diminimalkan atau dieliminasi. Dengan dilatasi, bangunan akan memiliki kestabilan yang lebih baik dan dapat mengurangi risiko kerusakan akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur. Selain itu, dilatasi juga dapat membantu meningkatkan kinerja struktur bangunan dalam menahan gaya-gaya eksternal yang bekerja pada bangunan tersebut.

