

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KOLOM MIRING PADA STRUKTUR
GEDUNG BERTINGKAT**
(Studi Kasus Proyek Pembangunan Hotel Rez Semarang)
***(ANALYSIS OF INCLINED COLUMNS IN HIGH-
STORY BUILDING STRUCTURES)***
(Case Study of Hotel Rez Semarang Development Project)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



Daffa Fikri Arkan
19511042

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

ANALISIS KOLOM MIRING PADA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT (Studi Kasus Proyek Pembangunan Hotel Rez Semarang) (*ANALYSIS OF INCLINED COLUMNS IN HIGH- STORY BUILDING STRUCTURES*) (*Case Study of Hotel Rez Semarang Development Project*)

Disusun oleh



Pembimbing I

26.02.25

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

NIK: 165111301

Penguji I

26/2/25

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.

NIK: 185111304

Penguji II

26/2/25

Jafar, S.T., MURP., M.T.

NIK: 185111305



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

25/2/2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 21 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Daffa Fikri Arkan
(19511042)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kolom Miring Pada Struktur Gedung Bertingkat (Studi Kasus Proyek Pembangunan Hotel Rez Semarang)*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir, penulis banyak mendapat bantuan dari pihak lain baik dari segi bimbingan, arahan, serta saran dan kritik hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini dengan hasil yang baik. Berkaitan dengan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan nasihat, saran, dan bimbingan yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir yang telah memberikan nasihat, saran, dan bimbingan yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan saran dan bantuan selama masa perkuliahan sehingga mempermudah proses akademik saya secara maksimal.
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Seluruh dosen, staf pengajar dan civitas akademik Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu, membagi pengalaman serta motivasi selama proses perkuliahan.

6. Kedua orang tua tercinta, Alm. Heri Purnomo dan Mulatsih atas cinta, dukungan, dan doa tulus yang selalu mereka berikan. Tanpa kasih sayang dan bimbingan kalian, penulis tidak akan dapat mencapai titik ini dalam perjalanan akademik. Doa dan semangat kalian selalu menjadi sumber inspirasi bagi penulis untuk terus berusaha dan berkarya
7. Kakak saya Firda Fitri Annisa dan Alma Yumna Shafira yang terus memberikan semangat, dukungan, doa dan nasihat sehingga saya dapat lebih semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Pacar Saya Tercinta Shintya Bunga Arlinda Ginting yang telah memberi dukungan, semangat, motivasi, dan menemani saya selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Sahabat-sahabat seperjuangan Artha yang banyak membantu dan saling menyemangati selama penyusunan Tugas Akhir ini
10. Semua pihak yang membantu penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 21 Februari 2025

Penulis,



Daffa Fikri Arkan

(19511042)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
ABSTRAK	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Manfaat untuk Peneliti	3
1.4.2 Manfaat untuk Pembaca	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian	8
2.3 Keaslian Penelitian	10
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Konsep Bangunan Tahan Gempa	11
3.2 Struktur Beton Bertulang	11
3.3 Kolom Beton Bertulang	13

3.3.1	Tipe -Tipe Kolom	13
3.3.2	Kolom Miring	14
3.3.3	Kolom Biaksial	14
3.3.4	Metode ACI 318	16
3.3.5	Metode Bresler	17
3.3.6	Pengaruh Kelangsingan Kolom	22
3.3.7	Diagram Interaksi Kekuatan Elemen Kolom	27
3.3	Pembebanan	28
3.3.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	29
3.3.2	Beban Hidup	31
3.3.3	Beban Gempa (<i>Seismic Load</i>)	34
3.3.4	Beban Kombinasi	35
3.4	Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019	36
3.4.1	Klasifikasi Situs	36
3.4.2	Kategori Risiko Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	37
3.4.3	Faktor Keutamaan Gempa	40
3.4.4	Penentuan Nilai Respon Spektra	40
3.4.5	Kategori Desain Seismik	44
3.4.6	Definisi Persyaratan Kategori Desain Seismik	45
3.4.7	Spektrum Respon Desain	46
3.4.8	Parameter dan Pemilihan Sistem Struktur Gedung	47
3.4.9	Penentuan Periode Fundamental Struktur Gedung	49
3.4.10	Gaya Geser Seismik	51
3.4.11	Distribusi Vertikal Gaya Seismik	52
3.4.12	Penentuan klasifikasi struktur beraturan dan tidak beraturan	53
3.4.13	Penentuan berat seismik efektif	60
3.4.14	Penentuan faktor redundansi	63
3.4.15	Analisis respons spektrum ragam	65
3.5	Torsi Pada Struktur Bangunan	66

3.5.1	Torsi bawaan	67
3.5.2	Torsi tak terduga	67
3.5.3	Pembesaran momen torsi tak terduga	67
3.6	Simpangan Antar Tingkat	69
3.7	Pengaruh P- delta ($P-\Delta$)	71
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		73
4.1	Umum	73
4.2	Data Penelitian	73
4.3	Metodologi Pengumpulan Data	79
4.3.1	Metode observasi	79
4.3.2	Metode studi literatur	79
4.3.3	Metode kepustakaan	79
4.4	Tahapan Penelitian	80
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		83
5. 1	Data Gedung Hotel Rez	83
5. 2	Pembebanan Struktur Gedung	83
5.2.1	Beban mati (<i>dead load</i>)	83
5.2.2	Beban hidup (<i>Live load</i>)	84
5.2.3	Beban gempa (<i>Seismic load</i>)	85
5. 3	Permodelan Struktur	91
5. 4	Analisis Struktur Gedung Hotel Rez Semarang	92
5.4.1	Perhitungan Respon Seismik	92
5.4.2	Kombinasi Pembebanan	99
5.4.3	Kontrol Ketidakberaturan Bangunan	101
5.4.4	Kontrol Kestabilan Model Struktur Bangunan Statik	133
5.4.5	Kontrol Kestabilan Model Struktur Bangunan Dinamik	142
5.5	Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Miring	151
5. 6	Pengecekan Stabilitas Kolom Miring	153
5.6.1	Pengecekan Panjang Tekuk Kolom	157
5.6.2	Analisis Kelangsingan Kolom	158
5.7	Pengecekan Kapasitas Kolom	161

5.7.1	Pengecekan Kapasitas Kolom Miring	161
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		169
6.1	Kesimpulan	169
6.2	Saran	170
DAFTAR PUSTAKA		171
LAMPIRAN		173

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 3. 1 Berat Sendiri Material	29
Tabel 3. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung	30
Tabel 3. 3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung	32
Tabel 3. 4 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum	33
Tabel 3. 5 Klasifikasi Situs	36
Tabel 3. 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa	37
Tabel 3. 7 Faktor Keutamaan Gempa	40
Tabel 3. 8 Koefisien Situs F_a	42
Tabel 3. 9 Koefisien Situs F_v	42
Tabel 3. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek	44
Tabel 3. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Satu Detik	44
Tabel 3. 12 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik	45
Tabel 3. 13 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	48
Tabel 3. 14 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	50
Tabel 3. 15 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	50
Tabel 3. 16 Ketidakberaturan horizontal pada struktur	53
Tabel 3. 17 Ketidakberaturan vertikal pada struktur	57
Tabel 3. 18 Prosedur analisis yang diizinkan	61
Tabel 3. 19 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar	64
Tabel 3. 20 Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a, b}$	70
Tabel 4. 1 Data Umum	73
Tabel 4. 2 Data Teknis	74

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Awal Berat Sendiri per Lantai	94
Tabel 5. 2 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal	95
Tabel 5. 3 Kombinasi Pembebanan	100
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kekakuan Lantai (K) Arah X dan Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	105
Tabel 5. 5 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b Untuk Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	106
Tabel 5. 6 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b Untuk Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	107
Tabel 5. 7 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Untuk Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	108
Tabel 5. 8 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Portal Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	109
Tabel 5. 9 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Portal Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	110
Tabel 5. 10 Perhitungan Rasio Nilai Kekuatan Tingkat Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	113
Tabel 5. 11 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	114
Tabel 5. 12 Pemeriksaan Tahap Awal Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (+Ex) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	121
Tabel 5. 13 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (+EX-) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	122
Tabel 5. 14 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (-EX) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	123
Tabel 5. 15 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (-EX+) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	124

Tabel 5. 16 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah Y (+EY) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	125
Tabel 5. 17 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah Y (+EY-) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	126
Tabel 5. 18 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah Y (-EY) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	127
Tabel 5. 19 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (-EY+) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	128
Tabel 5. 20 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2 Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	130
Tabel 5. 21 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	131
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	132
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	133
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Perhitungan δx	135
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Koefisien Stabilitas (θ) dan Pemeriksaan Kestabilan Struktur Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	138
Tabel 5. 26 Pemeriksaan Pengaruh P-Delta Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	139
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dan Simpangan antar tingkat izin, $\Delta a^{a, b}$	140
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Perhitungan δx	143

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Koefisien Stabilitas (θ) dan Pemeriksaan Kestabilan Struktur Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	147
Tabel 5. 30 Pemeriksaan Pengaruh P-Delta Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	148
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dan Simpangan antar tingkat izin, $\Delta a^{a, b}$	150
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Miring Gedung Hotel Rez	152
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Miring Gedung Hotel Rez	160
Tabel 5. 34 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Kapasitas Kolom Miring Gedung Hotel Rez	168

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tipe kolom berdasarkan pada bentuk dan tipe tulangan:(a) kolom terikat; (b) kolom spiral; (c) kolom komposit.	14
Gambar 3. 2 Kolom yang menerima momen biaksial	15
Gambar 3. 3 Diagram interaksi kolom biaksial dan garis batas aman	16
Gambar 3. 4 Grafik kontur beban	18
Gambar 3. 5 Kurva interaksi	19
Gambar 3. 6 Diagram interaksi P – M untuk kolom	21
Gambar 3. 7 <i>Jackson & Moreland Alignment Chart</i>	27
Gambar 3. 8 Diagram interaksi kolom	28
Gambar 3. 9 Peta Respon Spektra Periode 0,2 Detik (S_s)	41
Gambar 3. 10 Peta Respon Spektra Periode 1 Detik (S_1)	41
Gambar 3. 11 Grafik Spektrum Respon Desain	47
Gambar 3. 12 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a,1b dan 2	55
Gambar 3. 13 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3	56
Gambar 3. 14 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4	56
Gambar 3. 15 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5	56
Gambar 3. 16 Sketsa Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a, 1b dan 2	59
Gambar 3. 17 Sketsa Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 dan 4	60
Gambar 3. 18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b	60
Gambar 3. 19 Faktor Pembesaran Torsi (A_x)	68
Gambar 3. 20 Penentuan Simpangan AntarTingkat	69
Gambar 4. 1 Lokasi Gedung Hotel Rez Semarang	74
Gambar 4. 2 Potongan Melintang	75
Gambar 4. 3 Denah Lantai Dasar	75
Gambar 4. 4 Denah Lantai 1 dan Lantai 1A	75
Gambar 4. 5 Potongan Kolom Miring Lantai 1	76
Gambar 4. 6 Denah Lantai 2 dan Lantai 2A	76

Gambar 4. 7 Potongan Kolom Miring Lantai 2	77
Gambar 4. 8 Denah Lantai 3 dan 4	77
Gambar 4. 9 Denah Lantai 5 dan 6	78
Gambar 4. 10 Denah Lantai 7 dan 8	78
Gambar 4. 11 Denah Lantai 9	78
Gambar 4. 12 Denah Lantai Atap	79
Gambar 4. 13 Flowchart Penelitian	81
Gambar 5. 1 Profil N_{SPT} versus Kedalaman	86
Gambar 5. 2 Hasil Perhitungan Respon Spektrum Nilai S_S dan nilai S_I	87
Gambar 5. 3 Grafik Respons Spektrum Tanah Lunak Gedung Hotel Rez	90
Gambar 5. 4 Model Struktur Gedung Hotel Rez dengan <i>SAP2000</i>	91
Gambar 5. 5 Analisis Permodelan Struktur	92
Gambar 5. 6 <i>Base Reaction</i> Gaya Gempa Statik Ekuivalen dan Gempa Dinamik Gedung Hotel Rez	96
Gambar 5. 7 <i>Base Reaction</i> Gaya Gempa Statik Ekuivalen dan Gempa Dinamik Gedung Hotel Rez Setelah Skala Ulang	97
Gambar 5. 8 <i>Modal Participating Mass Ratio Output SAP 2000</i>	98
Gambar 5. 9 Nilai Titik Berat Bangunan Struktur Gedung Hotel Rez	101
Gambar 5. 10 Gambaran Posisi Titik Berat Bangunan Berdasarkan Arah X-Y	102
Gambar 5. 11 Nilai <i>Joint Displacement</i> Kolom I-3 Arah X dan Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	104
Gambar 5. 12 Susunan Portal Gedung Hotel Rez Arah X dan Arah Y	111
Gambar 5. 13 <i>Joint Displacement</i> Arah X (+EX) Pada Titik A dan B	116
Gambar 5. 14 <i>Joint Displacement</i> Arah X (+EX-) Pada Titik A dan B	116
Gambar 5. 15 <i>Joint Displacement</i> Arah X (-EX) Pada Titik A dan B	117
Gambar 5. 16 <i>Joint Displacement</i> Arah X (-EX+) Pada Titik A dan B	117
Gambar 5. 17 <i>Joint Displacement</i> Arah Y (+EY) Pada Titik A dan B	118
Gambar 5. 18 <i>Joint Displacement</i> Arah Y (+EY-) Pada Titik A dan B	119
Gambar 5. 19 <i>Joint Displacement</i> Arah Y (-EY) Pada Titik A dan B	119
Gambar 5. 20 <i>Joint Displacement</i> Arah Y (-EY+) Pada Titik A dan B	120
Gambar 5. 21 Denah P_x - L_x dan P_y - L_y Gedung Hotel Rez	129

Gambar 5. 22 Nilai Defleksi Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	134
Gambar 5. 23 Nilai Defleksi Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	134
Gambar 5. 24 Nilai Px Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	136
Gambar 5. 25 Nilai Vx Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	137
Gambar 5. 26 Nilai Vx Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	137
Gambar 5. 27 Grafik Koefisien Stabilitas Arah X, Arah Y, dan Batas Koefisien Stabilitas Gedung Hotel Rez	140
Gambar 5. 28 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arax X, Arah Y dan Simpangan Izin	141
Gambar 5. 29 Nilai Defleksi Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	143
Gambar 5. 30 Nilai Defleksi Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	143
Gambar 5. 31 Nilai Px Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	145
Gambar 5. 32 Nilai Vx Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	145
Gambar 5. 33 Nilai Vx Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez	146
Gambar 5. 34 Grafik Koefisien Stabilitas Arah X, Arah Y, dan Batas Koefisien Stabilitas Gedung Hotel Rez	149
Gambar 5. 35 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arax X, Arah Y dan Simpangan Izin	151
Gambar 5. 36 Nilai k berdasarkan <i>alignment chart</i>	157
Gambar 5. 37 Dimensi penampang kolom miring	162
Gambar 5. 38 Diagram interaksi P – M untuk kolom miring	162
Gambar 5. 39 Diagram interaksi Pu & Mux untuk kolom miring	166
Gambar 5. 40 Diagram interaksi Pu & Muy untuk kolom miring	166
Gambar 5. 41 Diagram interaksi P – M untuk kolom miring	167

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Detail Engineering Design* (DED) Bangunan Gedung Hotel Rez Semarang

DAFTAR NOTASI

A_g	= luas bruto penampang kolom, mm ²
A_s	= luas tulangan tarik pada struktur, mm ²
b	= ukuran lebar penampang struktur, mm
C	= koefisien beban gempa.
C_c	= gaya tekan beton, kN.
C_d	= faktor pembesaran defleksi.
C_m	= Faktor yang menjadi penghubung diagram momen aktual ke diagram momen seragam ekuivalen.
C_s	= koefisien respons seismic yang ditentukan.
C_t	= faktor pengali periode fundamental pendekatan.
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
D	= diameter tulangan ulir (<i>deform</i>), mm.
D	= beban mati yang digunakan (dalam pembebanan struktur)
D	= tinggi efektif penampang struktur (kolom atau balok) yang diukur dari tepi serat beton tekan sampai pusat berat tulangan tarik, mm
D_p	= diameter tulangan polos, mm .
E	= Pengaruh beban seismic.
E_c	= modulus elastisitas beton, MPa.
E_h	= pengaruh gempa horizontal
E_v	= pengaruh beban seismic vertikal.
F_a	= koefisien situs untuk parameter respons spektral periode pendek.
F_i	= beban gempa nominal static ekuivalen pada lantai ke-i, kN
F_v	= koefisien situs untuk parameter respons spektral periode panjang.
f'_c	= kuat tekan beton yang disyaratkan pada waktu umur beton 28 hari, MPa.
f_s	= tegangan tarik baja tulangan, MPa
f'_s	= tegangan tekan baja tulangan, MPa.

- f_x = gaya lateral pada tingkat-x.
 f_y = kuat tarik atau kuat leleh baja tulangan tarik, MPa
 H = tinggi total gedung diukur dari taraf penjepitan lateral, mm
 h = ukuran tinggi penampang struktur, mm.
 I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan.
 K = faktor momen pikul, MPa
 KDS = kategori desain seismik.
 k = faktor Panjang efektif kolom.
 k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai.
 l_u = Panjang kolom yang tak terkekang (mm).
 M_2 = Momen ujung terbesar pada elemen struktur tekan (Nmm).
 M_1 = Momen ujung terkecil di elemen struktur tekan (Nmm).
 M_{1ns} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_1 bekerja, karena beban yang menyebabkan guncangan samping tidak besar (Nmm).
 M_{1s} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_1 bekerja, karena beban yang menyebabkan goyangan samping lumayan besar (Nmm).
 M_{2s} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_2 bekerja, karena beban yang menyebabkan goyangan samping lumayan besar (Nmm).
 M_{2ns} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_2 bekerja, karena beban yang menyebabkan guncangan samping tidak besar (Nmm).
 δ_s = Faktor momen yang dibesarkan untuk rangka bergoyang.
 M_{ox} = M_{ux} pada suatu beban aksial Pn dimana M_{uy} atau $ey = 0$
 M_{oy} = M_{uy} pada suatu beban aksial Pn dimana M_{ux} atau $ex = 0$
 M_{ux} = momen terfaktor yang bekerja searah sumbu X.
 M_{uy} = momen terfaktor yang bekerja searah sumbu Y.
 P = Beban aksial pada kolom.
 P_c = Beban tekuk kritis
 P_n = beban aksial ultimit kolom.

- P_{no} = beban aksial nominal kolom
 P_u = beban aksial perlu atau beban aksial terfaktor, kN.
 P_{ux} = beban aksial nominal pada eksentrisitas e_x ,
 P_{uy} = beban aksial nominal pada eksentrisitas e_{xy} ,
 P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat- x , kN.
 Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal
 Q = indeks stabilitas kolom
 r = Jari-jari girasi penampang (mm).
 R = koefisien modifikasi respons.
 S_{DS} = percepatan respons spektral desain pada rentang periode pendek (0,2 detik).
 S_{DI} = percepatan respons spektral desain pada rentang periode panjang (1 detik.)
 S_{MS} = parameter modifikasi percepatan respons spektral periode pendek.
 S_{MI} = parameter modifikasi percepatan respons spektral periode panjang.
 SNI = standar nasional indonesia
 S_S = parameter percepatan respons gempa maksimum pada periode pendek.
 S_1 = parameter percepatan respons gempa maksimum pada periode panjang.
 T = Periode getar fundamental struktur.
 T_a = waktu getar fundamental struktur untuk rumus pendekatan, detik.
 T_L = Peta transisi periode panjang.
 V = beban dasar nominal statik ekuivalen akibat gempa rencana, kN.
 V_{us} = gaya geser lantai total di tingkat yang diawasi.
 W = berat seismik efektif, kN.
 W_i = berat gedung termasuk beban hidup yang sesuai pada lantai ke- i , kN.
 W_t = berat total gedung termasuk beban hidup yang sesuai, kN.
 β = faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen.
 ρ = faktor redudansi.
 θ = koefisien stabilitas.
 Ψ = rasio kekakuan kolom

- δ_x = simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm).
- δ_{xe} = nilai defleksi di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik.
- Δ = simpangan antar tingkat desain.
- Δ_0 = Simpangan relatif antar tingkat orde pertama di tingkat yang ditinjau
- ϕ = faktor reduksi kekuatan struktur.
- \emptyset = lambang diameter batang tulangan polos, mm.

ABSTRAK

Salah satu elemen penting dalam struktur gedung adalah kolom, yang berfungsi menyalurkan beban vertikal dari lantai atas ke dasar gedung. Dalam beberapa desain arsitektur modern, kolom miring digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas ruang dan estetika, namun memerlukan analisis lebih lanjut karena distribusi bebannya yang tidak merata. Dalam kolom biaksial, letak sumbu netral dari penampang miring yang membentuk sudut θ karena interaksi antara momen lentur dua arah dan gaya aksial kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur gedung dengan kolom miring pada proyek pembangunan Hotel Rez Semarang menggunakan pemodelan *SAP 2000*. Analisis mencakup stabilitas gedung serta kapasitas kolom miring dalam menahan beban. Metode analisis kolom miring yang digunakan adalah perhitungan secara biaksial dengan pendekatan metode ACI 318, Bresler, dan dari hasil *SpColumn*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter struktur seperti periode getar, gaya geser dasar, displacement, simpangan antar tingkat, dan pengaruh P-delta telah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019. Nilai koefisien stabilitas terbesar akibat gempa arah X (θEx) sebesar 0,035 sedangkan gempa arah Y (θEy) sebesar 0,020 telah memenuhi syarat kurang dari nilai θ_{maks} sebesar 0,091 sehingga struktur gedung dikatakan stabil jika terjadi gempa. Selain itu, dalam pengecekan kapasitas kolom miring secara biaksial dengan pendekatan metode ACI 318, Bresler, dan dari hasil *SpColumn*, semua kolom miring pada struktur gedung Hotel Rez Semarang memenuhi persyaratan keamanan. Kolom dengan beban aksial dan momen terbesar yaitu kolom K15 di lantai 1 menghasilkan rasio kapasitas kolom $0,242 \leq 1$ dan $P_n = 24787,486 \text{ kN} > P_u = 3384,745 \text{ kN}$ serta mampu menahan beban-beban yang diberikan.

Kata kunci: Kolom miring, Stabilitas struktur, Kapasitas kolom, Bresler, *SpColumn*

ABSTRACT

One of the important elements in a building structure is the column, which functions to transmit vertical loads from the upper floors to the base of the building. In some modern architectural designs, inclined columns are used to improve spatial flexibility and aesthetics but require further analysis due to their uneven load distribution. In biaxial columns, the location of the neutral axis of the inclined cross-section forms an angle θ due to the interaction between the two-directional bending moment and the complex axial force. This study aims to analyze the structural behavior of a building with inclined columns in the Rez Hotel Semarang construction project using SAP 2000 modeling. The analysis includes the stability of the building as well as the capacity of the inclined columns to withstand loads. The inclined column analysis method used is a biaxial calculation using the ACI 318, Bresler method approach, and from the SpColumn results.

The results showed that structural parameters such as vibration period, base shear force, displacement, deviation between levels, and P-delta influence have met the requirements of SNI 1726-2019. The largest stability coefficient value due to the X-direction earthquake (θ_{Ex}) of 0,035 while the Y-direction earthquake (θ_{Ey}) of 0,020 has met the requirements of less than the max θ value of 0,091 so that the building structure is said to be stable in the event of an earthquake. In addition, in checking the capacity of biaxially inclined columns with the ACI 318 method approach, Bresler, and from SpColumn results, all inclined columns in the Rez Hotel Semarang building structure meet the safety requirements. The column with the largest axial load and moment is column K15 on the 1st floor resulting in a column capacity ratio of $0,242 \leq 1$ and $P_n = 24787,486 \text{ kN} > P_u = 3384,745 \text{ kN}$ and can withstand the applied loads.

Keywords: *Inclined column, Structural stability, Column capacity, Bresler, SpColumn*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan gedung bertingkat di Indonesia berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan ruang perkotaan. Struktur bangunan harus dirancang agar tahan terhadap gempa bumi mengingat Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik (BMKG Wilayah III Denpasar, 2017). Oleh karena itu, seorang perencana struktur harus mampu merancang gedung bertingkat yang tidak hanya memenuhi aspek fungsional dan estetika, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap gempa.

Di antara elemen struktural penting dalam gedung bertingkat, kolom adalah elemen yang sangat vital. Kolom bertanggung jawab untuk menyalurkan beban vertikal dari lantai atas ke bawah hingga ke dasar gedung. Ketahanan dan stabilitas kolom sangat krusial untuk menghindari potensi kegagalan struktural/keruntuhan total (*total collapse*) yang bisa mengakibatkan kerugian material dan bahkan nyawa manusia (Sudarmoko,1996). Pada beberapa desain arsitektur yang inovatif, penggunaan kolom miring sering dipilih karena memberikan fleksibilitas dalam tata letak interior dan menciptakan ruang yang lebih menarik. Kolom miring adalah kolom yang tidak tegak lurus dengan lantai dan sering digunakan untuk memberikan estetika yang menarik serta mengoptimalkan penggunaan ruang. Penggunaan kolom miring menimbulkan tantangan tambahan dalam analisis dan perencanaan struktural karena distribusi beban yang tidak merata pada kolom tersebut. Jika tidak dikelola dengan baik, ketidakseimbangan beban ini bisa mengakibatkan ketidakstabilan struktural.

Kolom miring yaitu sebuah kolom yang bentuknya tidak vertikal yang mempunyai kemiringan dengan sudut tertentu. Kolom miring dan kolom vertikal memiliki kegunaan yang sama, yaitu menahan beban aksial tekan secara vertikal. Kolom miring telah diterapkan pada berbagai gedung bertingkat di Indonesia,

seperti Central Park Mall Surabaya dan Mall Pakuwon Surabaya. Objek penelitian dalam studi ini adalah Proyek Pembangunan Hotel Rez Semarang, yang terdiri dari 9 lantai dengan struktur atas beton bertulang. Pada bangunan ini, kolom miring diterapkan dari lantai 1 hingga lantai 3 dengan total 12 kolom. Penggunaan kolom miring pada Hotel Rez Semarang bertujuan untuk mendukung struktur pelat kantilever yang memiliki bentang cukup panjang di lantai 2.

Berdasarkan hal yang telah diterangkan, maka pada tugas akhir ini peneliti akan menganalisis struktur gedung yang menggunakan kolom miring dengan permodelan menggunakan *software SAP 2000*. Kemudian menganalisa stabilitas kolom miring untuk mengetahui dampak kolom miring terhadap keamanan pada struktur gedung Hotel Rez Semarang. Selanjutnya dilakukan analisis kapasitas kolom miring pada gedung Hotel Rez Semarang. Hasil dari penelitian ini yaitu pada analisis struktur didapatkan nilai gaya geser dasar, periode, *displacement*, simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta. Kemudian mengetahui stabilitas kolom miring dan dampaknya terhadap keamanan dan stabilitas struktur gedung, setelah itu mengetahui kapasitas kolom miring pada gedung Hotel Rez Semarang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku struktur gedung yang menggunakan kolom miring dalam proyek pembangunan Hotel Rez Semarang?
2. Bagaimana dampak kolom miring terhadap keamanan dan stabilitas gedung Hotel Rez Semarang?
3. Apakah kapasitas kolom miring pada gedung Hotel Rez Semarang mampu menahan beban yang diberikan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, didapatkan tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui perilaku struktur gedung yang menggunakan kolom miring pada proyek pembangunan Hotel Rez Semarang.
2. Mengetahui dampak kolom miring terhadap keamanan dan stabilitas gedung Hotel Rez Semarang.
3. Mendapatkan nilai kapasitas kolom miring pada gedung Hotel Rez Semarang.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat untuk Peneliti

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini bagi penulis yaitu sebagai berikut.

1. Peneliti dapat mengetahui bagaimana cara merancang struktur bangunan gedung beton bertulang tahan gempa dengan benar sesuai persyaratan SNI 1726 - 2019.
2. Peneliti dapat memahami perilaku struktur bangunan yang menggunakan kolom miring pada proyek pembangunan Hotel Rez Semarang.
3. Peneliti dapat mengetahui dampak kolom miring terhadap keamanan dan stabilitas gedung Hotel Rez Semarang.
4. Peneliti dapat mengetahui kapasitas kolom miring pada gedung Hotel Rez Semarang.
5. Peneliti dapat menentukan penggunaan kolom yang lebih baik dan efisien pada bangunan gedung.

1.4.2 Manfaat untuk Pembaca

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini bagi pembaca yaitu sebagai berikut.

1. Pembaca dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai struktur bangunan gedung tahan gempa.
2. Pembaca dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai kolom miring.
3. Pembaca mendapatkan pengetahuan dan informasi mengenai perencanaan struktur bangunan gedung yang menggunakan kolom miring.

4. Pembaca dapat menggunakan sebagai bahan bacaan atau referensi untuk peneliti selanjutnya dalam merencanakan struktur bangunan gedung tahan gempa.
5. Pembaca dapat menggunakan sebagai bahan bacaan maupun referensi untuk merencanakan dan membangun gedung bertingkat dengan menggunakan kolom miring.

1.5 Batasan Penelitian

Topik penelitian yang dibahas dalam tugas akhir ini memiliki alur pembahasan yang cakupannya luas, oleh karena itu diperlukan batasan-batasan penelitian agar pembahasan penelitian ini tidak meluas dan dapat menjelaskan topik secara spesifik. Batasan-batasan penelitian yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Analisis dan pembahasan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.
 - a) Model struktur bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah Gedung Hotel Rez Semarang yang menggunakan struktur beton bertulang.
 - b) Data spesifikasi Gedung Hotel Rez Semarang yang digunakan sebagai penelitian adalah hasil perencanaan oleh konsultan perencana PT Perkasa Carista Estetika. Adapun data spesifikasi yang diperoleh adalah sebagai berikut:
 - 1) Jumlah lantai = 9 Lantai
 - 2) Mutu material beton, F_c = 30 MPa (Balok dan pelat) dan 35 MPa (Kolom)
 - 3) Mutu baja tulangan ulir, F_y = 420 Mpa
 - 4) Sistem struktur = Rangka Pemikul Momen Khusus
 - c) Data gambar yang digunakan sebagai acuan permodelan adalah data *shop drawing* pembangunan Gedung Hotel Rez Semarang yang dikerjakan oleh kontraktor pelaksana PT Total Bangun Persada Tbk.
 - d) Dalam perencanaan ini bangunan gedung terletak di Kota Semarang Provinsi Jawa Tengah dengan Kategori Desain Seismik D pada jenis tanah lunak yang bersumber dari hasil uji tanah dilokasi.

- e) Elemen struktur yang dimodelkan meliputi balok, kolom, dan plat.
 - f) Elemen struktur yang dimodelkan tidak termasuk tangga
 - g) Analisis tidak membahas Rencana Anggaran Biaya.
 - h) Analisis tidak membahas metode pelaksanaan
 - i) Beban yang di input dalam perhitungan struktur meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa.
 - j) Perhitungan beban gempa menggunakan analisis pengaruh respon spektrum.
 - k) Analisis kolom miring secara biaksial dengan pendekatan metode bresler, metode ACI 318, dan hasil *software SPColumn*
 - l) Permodelan gedung menggunakan *software SAP2000* dan analisis struktur akan mengeluarkan output gaya geser dasar, periode, displacement, simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta.
2. Peraturan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
- a) SNI-1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
 - b) SNI-2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
 - c) SNI-1727:2020, Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya tentang analisis kolom miring pada bangunan tinggi telah dilakukan dengan berbagai sumber yang dapat dijadikan masukan atau referensi untuk penelitian ini. Berikut ini adalah beberapa kutipan dari proyek penelitian sebelumnya. Berikut ini adalah beberapa penelitian perbandingan yang telah dilakukan.

1. Simatupang (2019) menggunakan analisis elemen hingga terhadap pengaruh interaksi dengan elemen struktur lainnya untuk membandingkan perilaku struktur kolom vertikal dan kolom miring pada kondisi daerah gempa. SNI 2847 (2013) menjadi dasar perancangan bangunan tinggi beton bertulang dengan SRPMB, dan digunakan Program Analisis Struktur untuk analisis. Dengan jenis tanah lunak (SE), lokasi perancangan bangunan yang dituju adalah di Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan perilaku struktur bangunan dengan kolom vertikal dengan bangunan dengan kolom miring. Di Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, bangunan dengan kolom miring yang dibebani gempa memiliki nilai gaya dalam berupa momen lentur, momen torsi, gaya geser, dan gaya aksial pada struktur kolom dan baloknya lebih tinggi dibandingkan dengan bangunan dengan kolom vertikal, berdasarkan hasil analisis perbandingan. Pada bangunan dengan kolom miring, berat keseluruhan tulangan yang dibutuhkan 70,89% lebih tinggi dibandingkan pada bangunan dengan kolom vertikal.
2. Putri (2017) Menggunakan program Analisis Struktur *SAP 2000* membandingkan penggunaan kolom miring dan kolom vertikal berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 2847-2013 di gedung UPT BSMKU Universitas

Jember. Nilai gaya dalam kolom miring dibandingkan dengan kolom vertikal setelah sudut 5° dan 10° digunakan dalam desainnya. Hanya desain kolom miring terluar yang dibandingkan dengan desain gedung UPT BSMKU asli. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan gaya-gaya dalam struktur di bawah beban horizontal ketika kolom miring digunakan dibandingkan dengan kolom vertikal. Setelah perbandingan, ditentukan bahwa nilai gaya dalam kolom miring (momen, geser, dan aksial) lebih tinggi daripada kolom vertikal. Akibatnya, kolom utama dianggap tidak cukup kuat untuk menahan beban. Sedangkan kolom vertikal dengan kolom miring 10° memiliki simpangan yang lebih besar yaitu mencapai $\geq 50\%$, sedangkan nilai antara kolom vertikal dengan kolom miring 5° memiliki simpangan yang lebih besar yaitu $\geq 50\%$ dan sangat kecil yaitu $< 50\%$. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tidak kuat menahan beban karena kolom miring tidak menerus sehingga mengakibatkan momen dan gaya aksial bertambah besar dan terutama bertumpu pada balok-balok tiap lantai.

3. Fitriansyah (2021) melakukan penelitian dengan mengkaji struktur gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat yang memiliki empat kolom miring pada lantai tiga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas kolom miring biaksial pada gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat yang mampu menahan beban dan melakukan perancangan ulang struktur apabila hasil analisis kolom miring tidak mampu menahan beban yang ditentukan. Pemodelan struktur gedung menggunakan program *ETABS* yang menghasilkan gaya dalam (aksial, geser, dan momen), periode, *displacement*, simpangan antar lantai, dan pengaruh P-delta. Dengan menghitung analisis kapasitas kolom biaksial menggunakan pendekatan teknik Bresler dan hasil *SpColumn*, maka dapat dilakukan verifikasi kapasitas kolom miring. Kolom miring pada struktur gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat memenuhi syarat keselamatan (rasio kapasitas kolom $0,578 < 1$ dan $P_n = 24381,234 \text{ kN} > P_u = 1896,5573 \text{ kN}$) serta dapat menahan beban yang ditentukan, berdasarkan hasil analisis *SpColumn* dan pendekatan biaksial menggunakan metode Bresler.

4. Wiranata (2018) membandingkan struktur beton bertulang dengan dan tanpa kolom miring pada keempat sisinya. Sistem struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK). Kolom miring sebagai kolom struktur dan konstruksi tanpa kolom miring dibandingkan dari segi respon struktur, simpangan antar lantai, lendutan, dan geser struktur. Analisis dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 dengan menggunakan dimensi struktur kolom dan balok ideal yang memenuhi spesifikasi beton struktur bangunan gedung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dibandingkan dengan model 2 yang tidak menggunakan kolom miring, momen dan geser balok model 1 berkurang (sebesar 80,825%), dan selisih gaya geser balok sebesar 66,706%. Konstruksi model 2 lebih kaku dibandingkan dengan model 1, dibuktikan dengan nilai periode struktur sebesar 0,74 detik pada model dengan kolom miring dan 0,539 detik pada model tanpa kolom miring. Kedua versi dievaluasi menggunakan bentang 5 m yang identik dan memiliki lendutan yang berada dalam batas atas lendutan yang diizinkan. Geser maksimum dan momen maksimum bangunan perpustakaan dengan kolom miring pada model 1 lebih rendah daripada bangunan perpustakaan tanpa kolom miring pada model 2.
5. Kresna (2016) melakukan evaluasi penggunaan kolom miring pada struktur gedung C-Dast Universitas Jember. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai besarnya gaya aksial, momen, atau geser pada kolom miring terhadap kinerja kolom vertikal. Data dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak *SAP 2000* yang kemudian dievaluasi untuk mengetahui nilai gaya dalam (aksial, geser, dan momen). Hasil analisis gaya dalam struktur kolom vertikal cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan nilai gaya dalam. Setelah beralih ke kolom miring, terjadi deviasi yang signifikan sebesar $> 50\%$, sedangkan sebagian kecil mengalami deviasi $< 50\%$.

2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan beberapa penelitian sejenis yang telah dikumpulkan tersebut, maka dapat dilihat perbedaan terhadap penelitian yang akan dilakukan oleh penulis yaitu seperti pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Penelitian terdahulu					Sekarang
	Kresna, F. B. (2016)	Putri, V. D. (2017)	Wiranata, W. (2018)	Simatupang, A. D. U. A. (2019)	Fitriansyah, R. H. (2021)	Arkan, D. F. (2025)
Judul	Evaluasi Penggunaan Kolom Miring Pada Struktur Bangunan C-Dast Universitas Jember	Studi Perbandingan Penggunaan Kolom Tegak dan Kolom Miring Pada UPT BSMKU Universitas Jember dengan Menggunakan Program Analisis Struktur	Studi Perbandingan Gedung Beton Bertulang dengan Kolom Miring dan Tanpa Kolom Miring di Keempat Sisi Gedung	Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang pada Gedung yang Memiliki Kolom Miring dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)	Analisis Kolom Miring Pada Struktur Gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat	Analisis Kolom Miring Pada Gedung Bertingkat (Studi Kasus Proyek Pembangunan Hotel Rez Semarang)
Objek	Bangunan C-Dast Universitas Jember	Gedung UPT BSMKU Universitas Jember	Gedung Perpustakaan di Bandung	Gedung Hotel Rez5 Lantai	Gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat	Gedung Hotel Rez Semarang
Hasil	Bila dibandingkan dengan nilai gaya dalam pada struktur kolom vertikal, hasil analisis gaya dalam pada struktur kolom miring seringkali lebih besar. Setelah mengubah desain menjadi kolom miring, terjadi penyimpangan nilai gaya dalam yang signifikan sebesar $\geq 50\%$, sedangkan sebagian kecil mengalami penyimpangan nilai gaya dalam sebesar $\leq 50\%$.	Nilai gaya dalam antara kolom tegak dan kolom miring 5° memiliki deviasi yang lebih besar $\geq 50\%$ dan sebagian kecil $\leq 50\%$ sedangkan kolom tegak dengan kolom miring 10° memiliki deviasi yang lebih besar mencapai $\geq 50\%$.	Gaya geser balok berbeda sebesar 66,706% dan momen dan geser balok 80,825% lebih rendah pada Model 1 dengan kolom miring dibandingkan pada Model 2 tanpa kolom miring. Momen dan geser maksimum bangunan perpustakaan dengan kolom miring pada model 1 lebih rendah dibandingkan bangunan perpustakaan tanpa kolom miring pada model 2.	Bangunan dengan kolom miring memiliki nilai gaya dalam yang lebih tinggi pada konstruksi kolom dan baloknya daripada bangunan dengan kolom tegak. Pada bangunan dengan kolom miring, berat total persyaratan tulangan yang dikenakan adalah 70,89% lebih tinggi daripada pada bangunan dengan kolom tegak.	Kolom miring Gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat dapat memikul beban yang ditentukan dan memenuhi standar keselamatan (menghasilkan rasio kapasitas kolom sebesar $0,578 < 1$ dan $P_n = 24381,234 \text{ kN} > P_u = 1896,5573 \text{ kN}$).	Dari penelitian ini akan diketahui perilaku struktur gedung yang menggunakan kolom miring dan kapasitas kolom miring.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian terdahulu yang disajikan pada Tabel 2.1, penelitian mengenai analisis gedung yang memiliki kolom miring cukup banyak dilakukan. Namun, penelitian tentang analisis gedung dengan kolom miring yang mengkaji stabilitas dan kapasitas semua kolom miring masih jarang dilakukan. Adapun bukti penelitian yang dilakukan merupakan karya asli dan bukan bentuk dari karya plagiasi adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan denah perencanaan berdasarkan *detail engineering design* (DED) Gedung Hotel Rez Semarang.
2. Analisis dan pemodelan secara 3D menggunakan bantuan *software SAP 2000* dengan dimensi ukuran dan mutu material mengikuti data struktur gedung.
3. Perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian-penelitian terdahulu adalah model gedung yang dianalisis, lokasi gedung yang dianalisis yaitu di Kota Semarang dengan situs tanah lunak. Fungsi bangunan sebagai gedung perhotelan dengan total jumlah 9 lantai.

Berdasarkan bukti di atas maka dapat dikatakan bahwa penelitian yang dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Dalam menganalisis risiko bangunan gedung, klasifikasi berdasarkan tujuan bangunan digunakan untuk menganalisis risiko konstruksi bangunan. Struktur yang memiliki fungsi lebih penting memiliki tugas untuk menahan gaya gempa dalam jangka waktu lebih lama atau lebih lama dibandingkan dengan bangunan yang fungsinya kurang penting. Widodo (2012) menegaskan bahwa prinsip desain bangunan yang akan dibangun harus mengikuti prinsip bangunan tahan gempa, artinya struktur harus mampu menahan tekanan gempa dengan kerusakan yang minimal dan biaya konstruksi yang murah. Menciptakan struktur dengan kekuatan yang cukup dan menekan biaya semaksimal mungkin merupakan tujuan dari desain bangunan tahan gempa. Dari penjelasan tersebut, prinsip desain bangunan tahan gempa dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Bangunan masih dapat beroperasi secara normal jika terjadi gempa kecil karena struktur utamanya tidak rusak. Elemen non-struktural
2. Struktur utama mungkin mengalami kerusakan kecil saat gempa sedang, tetapi masih dapat diperbaiki. Meskipun elemen non-struktural mungkin mengalami kerusakan yang lebih serius, elemen tersebut masih dapat diganti atau diperbaiki.
3. Pada gempa kuat, bangunan mungkin mengalami kerusakan namun tidak boleh hancur total (*totally collapses*).

3.2 Struktur Beton Bertulang

Beton dihasilkan melalui kombinasi bahan agregat kasar dan halus, termasuk batu pecah, bongkahan batu, pasir, dan material lainnya. Untuk memfasilitasi reaksi kimia selama fase pengerasan dan pengerasan beton, prosedur ini menggunakan jumlah perekat semen dan air yang tepat (Dipohusodo, I., 1999).

Beton hanya dapat menahan sejumlah tegangan tarik sebelum retak. Oleh karena itu, kekuatan tulangan khusus tambahan diperlukan untuk mencapai kinerja optimal dalam sistem struktural. Kekuatan ini terutama bertanggung jawab untuk menahan gaya tarik yang berkembang dalam sistem (Dipohusodo, I., 1999).

Mc Cormac (2004) menyatakan bahwa beton memiliki berbagai keunggulan sebagai struktur bangunan, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Beton memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lain;
- b. Beton merupakan bahan yang paling ekonomis untuk tiang penyangga jembatan, pondasi telapak, atau dinding *basement*;
- c. Salah satu karakteristik unik beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi berbagai bentuk, mulai dari balok, pelat, kolom sederhana hingga atap kubah atau cangkang besar;
- d. Beton bertulang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, sehingga merupakan bahan struktur yang ideal untuk bangunan yang mungkin terpapar air dalam jumlah besar. Ketika terjadi kebakaran dengan kekuatan sedang, elemen struktur yang dilindungi oleh penutup beton yang cukup tebal hanya akan mengalami kerusakan pada permukaan tanpa runtuh.
- e. Beberapa daerah dapat memanfaatkan beton dari bahan lokal yang murah (seperti kerikil, pasir, atau air) dan memerlukan jumlah semen dan tulangan baja yang relatif sedikit, yang mungkin dapat diperoleh dari daerah lain;
- f. Beton bertulang tidak memerlukan biaya perawatan yang tinggi.

Sementara itu, Mc Cormac (2004) juga mengidentifikasi kelemahan dalam penggunaan beton sebagai bahan struktur, yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan posisi beton selama proses pengerasan;
- b. Kekuatan tarik beton yang rendah memerlukan penggunaan tulangan tarik;
- c. Jika tahanan per satuan volume beton rendah, dimensi beton akan relatif besar, menjadi pertimbangan penting untuk bangunan tinggi dan struktur berbentuk panjang;

- d. Semakin rendah tahanan per satuan volume beton, semakin berat beton bertulang tersebut. Hal ini memiliki dampak besar pada struktur berbentuk panjang, di mana berat beban mati beton memiliki pengaruh besar pada momen lentur;
- e. Sifat beton yang bervariasi karena rasio pencampuran dan pengadukan yang berbeda. Selain itu, proses pengecoran dan pengerasan beton tidak dapat diatur dengan ketat seperti dalam produksi bahan lain, seperti kayu lapis dan baja.

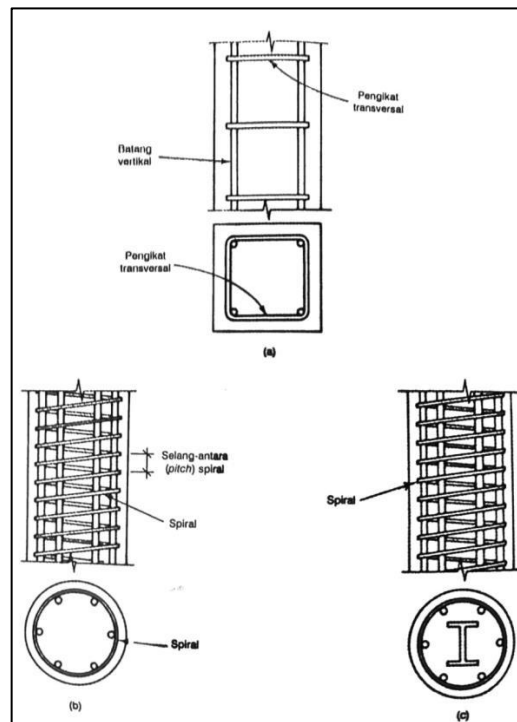
3.3 Kolom Beton Bertulang

Kolom merupakan elemen struktural yang berfungsi sebagai batang tekan vertikal untuk mendukung beban dari balok atau elemen struktural lainnya yang berada di atasnya (Nobel, 2012). Sebab kolom berperan sebagai elemen tekan, maka penurunan progresif tanah di sekitarnya dan potensi keruntuhan total struktur dapat terkait dengan kerusakan pada kolom di titik kritis

3.3.1 Tipe -Tipe Kolom

Dalam buku Beton Bertulang edisi kelima jilid satu (Edward G. Nawy dkk, 2010), kolom dapat dikelompokkan berdasarkan pada beberapa faktor, termasuk beban pada irisan-penampang, bentuk dan susunan tulangan, serta panjang kolom dalam kaitannya dengan dimensi lateralnya. Tiga tipe kolom diidentifikasi melalui susunan dan bentuk tulangan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.1:

- a. Kolom-kolom komposit, di mana bentuk struktural baja melingkupi beton dan dapat ditempatkan dalam rangka tulangan.
- b. Kolom-kolom bujursangkar yang diperkuat dengan batang longitudinal atau pengikat lateral.
- c. Kolom-kolom bulat yang diperkuat dengan tulangan spiral, tulangan longitudinal, dan pengikat lateral.



Gambar 3. 1 Tipe kolom berdasarkan pada bentuk dan tipe tulangan:(a) kolom terikat; (b) kolom spiral; (c) kolom komposit.

(Sumber: Edward G.Nawy dkk, 2010)

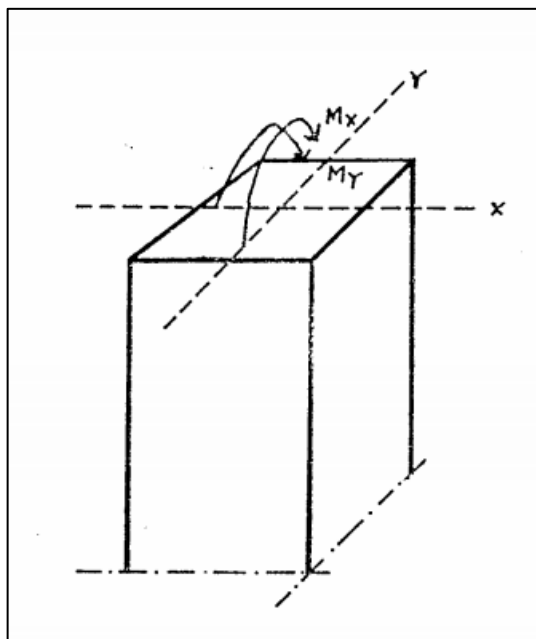
3.3.2 Kolom Miring

Kolom miring merujuk pada elemen rangka struktur yang tidak sejajar atau berorientasi pada sudut tertentu, membentuk sudut kemiringan yang menopang beban dari pelat dan balok. Penggunaan kolom miring, dalam beberapa situasi, merupakan upaya dari arsitek untuk memberikan nilai estetika tambahan pada gedung, menciptakan daya tarik bagi pengunjung. Bangunan yang dengan kolom miring menunjukkan periode dan peralihan yang lebih besar daripada bangunan yang menggunakan kolom tegak. Selain itu, diharapkan bahwa kolom miring dapat memberikan dukungan tambahan sehingga mampu efektif menahan beban horizontal.

3.3.3 Kolom Biaksial

Kolom biaksial adalah kolom yang menerima beban aksial atau momen pada arah x dan y, serta beban lateral dari angin atau gempa bumi pada konstruksi

yang terletak di daerah aktif seismik yang sedang hingga berat (Budur, K., Suwardja, A, 1994). Momen biaksial memiliki dua momen pada pusat gravitasi penampang elemen, yang masing-masing berpotongan pada arah sumbu tegak lurus. Jika pusat gravitasi penampang elemen sistem sumbu koordinat x , y , dan z diketahui, kolom biaksial digunakan. Gambar 3.2 menunjukkan bahwa kolom tersebut kemudian mengalami dua momen pada arah sumbu x dan y di samping beban tekan aksial yang sejajar dengan sumbu z .



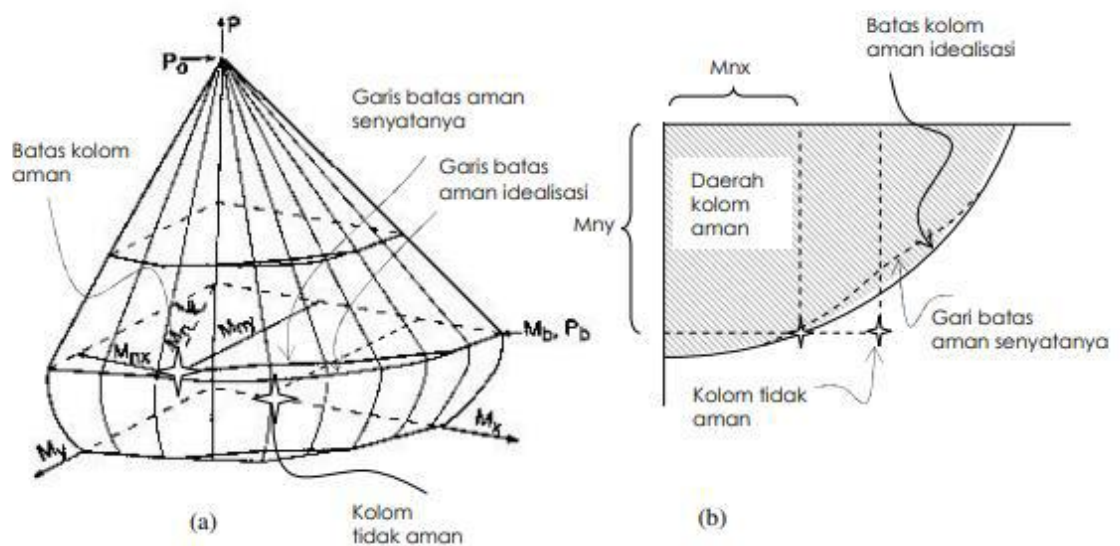
Gambar 3. 2 Kolom yang menerima momen biaksial

(Sumber: Budur & Suwardja, 1994)

Menurut Budur & Suwardja (1994) terjadinya momen biaksial pada umumnya diakibatkan oleh faktor – faktor yang mempengaruhi kolom sebagai berikut:

- a. Pada kolom luar dan dalam mengakibatkan beban lantai yang tidak seimbang.
- b. Pada bangunan gedung/industri mengakibatkan beban eksentris.
- c. Pada beban angin atau gempa mengakibatkan beban lateral.

Misalnya, kolom tidak diragukan lagi berbahaya secara biaksial jika kolom tersebut uniaxial di salah satu arah x dan baik di dalam maupun di luar garis pengaman, tetapi aman dalam arah sumbu y. Selain itu, meskipun kolom tersebut aman secara uniaxial di kedua arah, kolom tersebut mungkin tidak aman secara biaksial (lihat Gambar 3.3). Namun, kolom struktural tidak diragukan lagi aman secara uniaxial jika kolom tersebut aman secara biaksial, tetapi tidak sebaliknya.



Gambar 3. 3 Diagram interaksi kolom biaksial dan garis batas aman

(Sumber: Dhany, 2014)

3.3.4 Metode ACI 318

Untuk metode ACI 318 dibagi lagi ada beberapa cara untuk jenis-jenis kolom sebagai berikut:

a) Kolom dengan penampang bujur sangkar

Kolom yang mempunyai sisi sama dan penyebaran tulangan merata maupun berkelompok pada ke 4 sudut disebut dengan kolom tampang bujur sangkar. Dikarenakan tulangan dan tampang simetri maka kapasitas ke dua arah bisa dianggap sama,

$$\frac{M_{ox} - M_{ux}}{M_{ox}} = \frac{M_{uy}}{M_{oy}} \quad (3.1)$$

$$1 - \frac{M_{ux}}{M_{ox}} = \frac{M_{uy}}{M_{oy}}; \text{ karena } M_{ox} = M_{oy} \quad (3.2)$$

Syarat aman bila :

$$M_{ux} + M_{uy} \leq M_{ox} \text{ atau } M_{oy} \quad (3.3)$$

dimana:

M_{uy} = momen terhadap sumbu y

M_{ox} = M_{ux} pada suatu beban aksial Pn dimana M_{uy} atau $ex = 0$

M_{ux} = momen terhadap sumbu x

M_{oy} = M_{uy} pada suatu beban aksial Pn dimana M_{ux} atau $ey = 0$

a) Kolom dengan penampang persegi empat

Kolom dengan penampang segi empat merupakan kolom tampang segi empat apabila sisi-sisinya berbeda. Sebab sisinya berbeda serta melebihi jumlah tulangan yang tidak sama di setiap sisi, sehingga $M_{ox} \neq M_{oy}$.

$$\frac{M_{ux}}{M_{ox}} + \frac{M_{uy}}{M_{oy}} = 1 \quad (3.4)$$

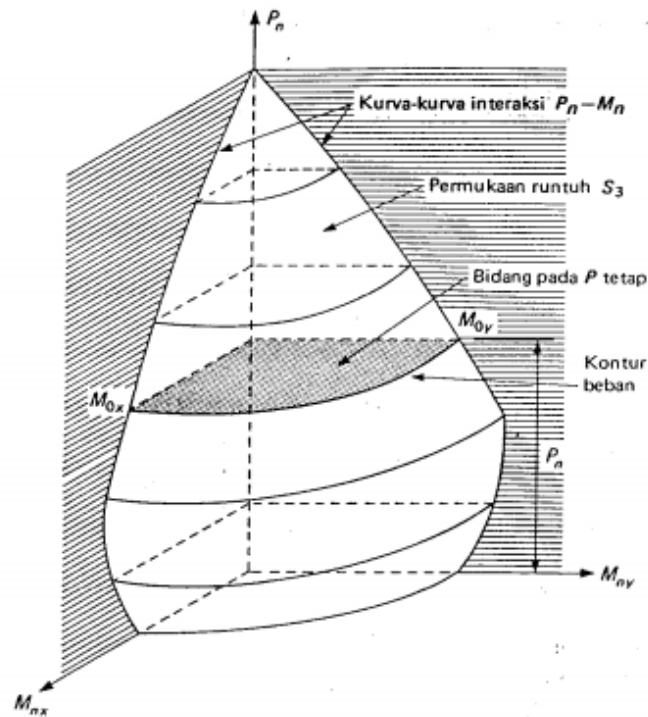
Syarat aman bila :

$$\frac{M_{ux}}{M_{ox}} + \frac{M_{uy}}{M_{oy}} \leq 1 \quad (3.5)$$

3.3.5 Metode Bresler

Untuk mendapatkan hasil yang memenuhi persyaratan dengan proses perhitungan yang mudah dilakukan. Perkembangan teknologi komputer telah memungkinkan untuk melakukan analisis kolom biaksial dengan presisi dan akurasi yang lebih tinggi. Ada metode pendekatan kolom biaksial yang dapat dilakukan analisis secara manual yang diusulkan oleh beberapa ahli yaitu dengan metode Bresler. Metoda Bresler dapat disebut juga dengan metoda kontur beban

yang pada grafik kontur beban melibatkan potongan permukaan $P_u - M_{ux} - M_{uy}$ dengan nilai P_n konstan, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Grafik kontur beban

(Sumber: Budur & Suwardja, 1994)

Untuk kontur beban pada P_u yang konstan terdapat persamaan non-dimensional, dinyatakan dalam bentuk:

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right)^{\alpha_1} + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right)^{\alpha_2} \leq 1 \quad (3.6)$$

dimana:

$$M_{ux} = P_n e_x$$

$$M_{uy} = P_n e_y$$

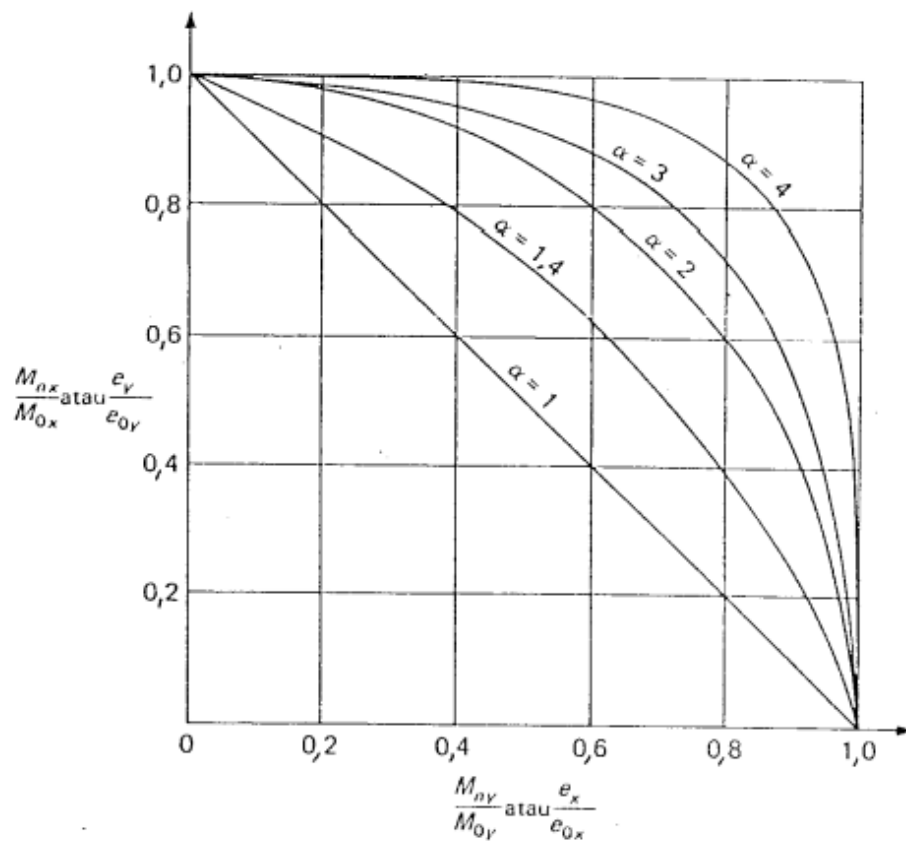
$$M_{ox} = M_{ux} \text{ pada suatu beban aksial } P_n \text{ dimana } M_{uy} \text{ atau } e_x=0$$

$$M_{oy} = M_{uy} \text{ pada suatu beban aksial } P_n \text{ dimana } M_{ux} \text{ atau } e_y=0$$

α_1, α_2 = eksponen yang tergantung pada dimensi penampang kolom, presentasi tulangan, penempatan tulangan dan tegangan f_c' dan f_y .

Menurut Bresler, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ dapat dibenarkan, dan menghasilkan grafik pada Gambar 3.5 dan persamaan (3.7) dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right)^\alpha \leq 1 \quad (3.7)$$



Gambar 3. 5 Kurva interaksi

(Sumber: Budur & Suwardja, 1994)

Adapun cara lain dalam menentukan kolom biaksial yang dilakukan dengan membandingkan kemampuan gaya aksial ultimit dan gaya aksial terfaktornya sebagai berikut:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} + \frac{1}{P_{no}} \quad (3.8)$$

dimana:

P_n = beban aksial ultimit,

P_{ux} = beban aksial nominal pada eksentrisitas e_x ,

P_{uy} = beban aksial nominal pada eksentrisitas e_{xy} ,

P_{no} = beban aksial nominal.

Menghitung P_{no} :

$$P_{no} = (0,85f'_c(bh - A_s)) + A_s \times f_y \quad (3.9)$$

Asumsi kolom ini yaitu runtuh tekan, maka harus $Pn_x > Pb_x$ & $Pn_x > Pb_y$

Menghitung Pb_x & Pb_y :

$$P_b = C_c + C_s - T \quad (3.10)$$

$$C_c = 0,85f'_c(bh - A_s) \quad (3.11)$$

$$C_s = A'_s(f_y - 0,85f'_c) \quad (3.12)$$

$$T = A_s f_y \quad (3.13)$$

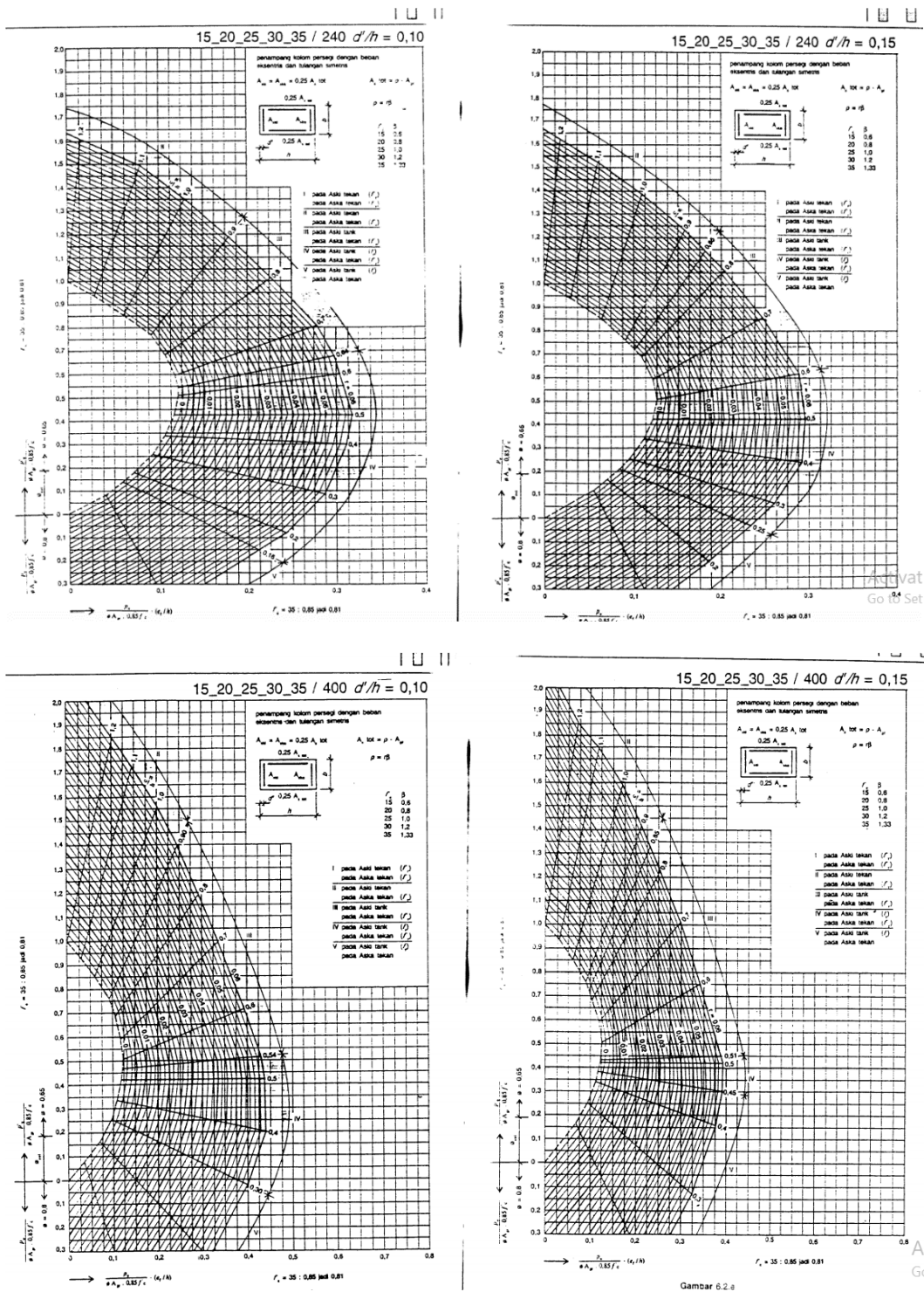
Adapun rumus Pn_x & Pn_y (Kamaludin, 2017) sebagai berikut:

Menghitung Pn_x :

$$Pn_x = \frac{b \times h \times f'_c}{\frac{a \times h \times e_y}{d^2} + 1,18} + \frac{A_s f_y}{\frac{e_y}{d \times d'} + 0,50} \quad (3.14)$$

Menghitung Pn_y :

$$Pn_y = \frac{b \times h \times f'_c}{\frac{3 \times h \times e_x}{(b-d')^2} + 1,18} + \frac{A_s f_y}{\frac{e_x}{(b-2d)} + 0,50} \quad (3.15)$$



Gambar 3. 6 Diagram interaksi P – M untuk kolom

(Sumber: Vis & Gideon, 1993)

3.3.6 Pengaruh Kelangsingan Kolom

Dalam merancang elemen struktur yang mengalami tekan, pengaruh kelangsingan kolom harus diperhatikan. Secara umum, desain kolom melibatkan pemilihan penampang melintang dan tulangan yang tepat agar kolom cukup kuat untuk menahan kombinasi beban terfaktor berupa kompresi aksial dan momen (momen primer). Selain itu, kolom harus mampu menahan lendutan yang diakibatkan oleh faktor kelangsingan (momen sekunder) (Lesmana, 2019). Kelangsingan kolom dinyatakan sebagai rasio kelangsingan:

$$\lambda = \frac{k \cdot l_u}{r} \quad (3.16)$$

dimana:

k = Faktor panjang efektif yang besarnya tergantung kekangan-kekangan rotasional dan lateral ujung-ujungnya.

l_u = Panjang kolom yang tak terkekang (mm).

r = Jari-jari girasi penampang (mm).

Berdasar SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5.1; Hal-92, besaran jari-jari girasi sebesar 0,3 kali dimensi secara menyeluruh pada arah stabilitas yang diamati untuk kolom persegi atau untuk kolom bundar 0,25 kali diameter yang ditinjau dan atau dapat dihitung sebagai berikut:

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \quad (3.17)$$

Berdasarkan pengaruh kelangsingan dan pembesaran momen yang terjadi, kolom dikelompokkan menjadi dua yaitu kolom bergoyang dan kolom tak bergoyang. Adapun pembahasan lebih detailnya pada Subbab 3.3.6.1 dan Subbab 3.3.6.2 adalah sebagai berikut:

3.3.6.1 Kolom Bergoyang (Sway)

Untuk kolom bergoyang, pengaruh kelangsingan bisa diabaikan memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5; Persamaan (6.2.5a); Hal-91, yaitu:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \quad (3.18)$$

Metode pembesaran momen untuk kolom bergoyang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.7; Hal-110, yaitu:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (3.19)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (3.20)$$

dimana:

M_2 = Momen ujung terbesar pada elemen struktur tekan (Nmm).

M_1 = Momen ujung terkecil di elemen struktur tekan (Nmm).

M_{1ns} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_1 bekerja, karena beban yang menyebabkan guncangan samping tidak besar (Nmm).

M_{1s} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_1 bekerja, karena beban yang menyebabkan goyangan samping lumayan besar (Nmm).

M_{2s} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_2 bekerja, karena beban yang menyebabkan goyangan samping lumayan besar (Nmm).

M_{2ns} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_2 bekerja, karena beban yang menyebabkan guncangan samping tidak besar (Nmm).

δ_s = Faktor momen yang dibesarkan untuk rangka bergoyang.

Besaran nilai δ_s diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.6.2; Hal-110, yaitu:

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1,0 \quad (3.21)$$

atau

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1,0 \quad (3.22)$$

atau berdasarkan analisis orde kedua. Paramater yang terdapat pada persamaan (3.23) dan (3.22) sebagai berikut:

a) Indeks stabilitas (Q); sesuai SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.4.1; Hal-106.

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} l_c} \quad (3.24)$$

dimana:

$\sum P_u$ = Beban vertikal total (N).

Δ_0 = Simpangan relatif antar tingkat orde pertama di tingkat yang ditinjau karena V_{us} .

l_c = Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat joint.

V_{us} = gaya geser lantai total di tingkat yang diawasi.

b) Beban tekuk kritis (P_c); sesuai SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.4.1; Hal-107.

$$P_c = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{(kl_u)^2} \quad (3.25)$$

Nilai dari $(EI)_{eff}$ ditentukan berdasar SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.4.4; Hal-107.

Nilai $(EI)_{eff}$ harus dihitung berdasarkan salah satu persamaan berikut ini:

$$(EI)_{eff} = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}} \quad (3.26)$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0,2E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}} \quad (3.27)$$

$$(EI)_{eff} = \frac{E_c I}{1 + \beta_{dns}} \quad (3.28)$$

3.3.6.2 Kolom tak Bergoyang (Non-Sway)

Untuk kolom tak bergoyang, pengaruh kelangsingan bisa diabaikan bila memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5; Persamaan (6.2.5b); Hal-91, yaitu:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (3.29)$$

dan

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 40 \quad (3.30)$$

Pada persamaan (2.29), bernilai M_1/M_2 negatif bila lendutan yang terjadi pada kolom tergolong lendutan tunggal. Dan bernilai positif bila tergolong lendutan ganda.

Metode pembesaran momen untuk kolom tak bergoyang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.5; Hal-108, yaitu:

$$M_c \leq \delta M_2 \quad (3.31)$$

dimana:

δ = Faktor pembesaran momen dalam menggambarkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung unsur struktur tekan.

M_c = Momen terfaktor order pertama M_2 yang dibesarkan untuk pengaruh kurvatur unsur struktur (Nmm).

Berdasar SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.5.4; Hal-109, Nilai M_2 pada persamaan (2.22) tidak boleh kurang dari $M_{2,min}$:

$$M_{2,min} \leq P_u(15 + 0,03h) \quad (3.26)$$

Nilai δ dihitung berdasarkan SNI – 2847 – 2019, Pasal 6 6.4.5.2; Hal-108, yaitu:

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1,0 \quad (3.27)$$

dimana:

P_u = Gaya aksial terfaktor, digunakan sebagai negatif untuk tarik (N) atau positif untuk tekan.

C_m = Faktor yang menjadi penghubung diagram momen aktual ke diagram momen seragam ekuivalen.

P_c = Beban tekuk kritis, sesuai persamaan (3.25)

Besaran nilai C_m ditentukan berdasarkan SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.5.3; Hal-109. Adapun ketentuannya adalah sebagai berikut:

a) Untuk kolom tanpa beban transversal yang bekerja diantara tumpuannya:

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (3.28)$$

Pada persamaan (2.34), bernilai M_1/M_2 negatif bila lendutan yang terjadi pada kolom tergolong lendutan tunggal. Dan bernilai positif bila tergolong lendutan ganda.

b) Untuk kolom dengan beban transversal yang bekerja diantara tumpuannya:

$$C_m = 1,0 \quad (3.29)$$

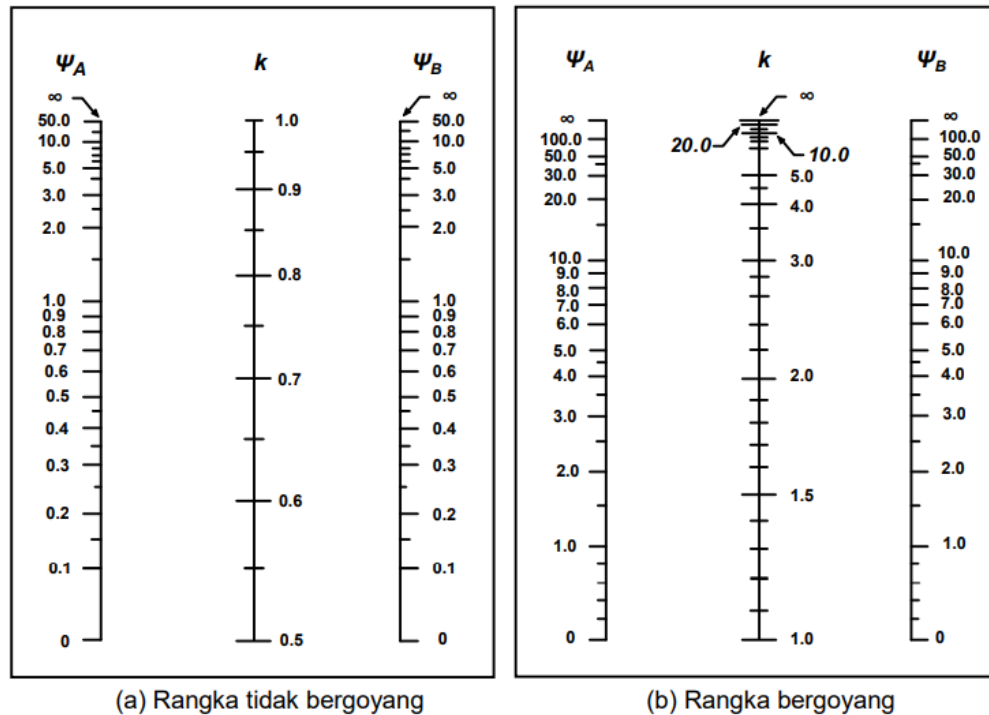
Bila $M_{2,min} > M_2$ maka nilai $C_m = 1,0$

Setelah memperoleh nilai momen dari orde kedua, ada syarat yang perlu dipastikan yaitu berdasarkan SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.6; Hal-94, yaitu:

$$M_{u,orde2} \leq 1,4M_{u,orde2} \quad (3.30)$$

Sedangkan dalam menentukan besaran k , akan digunakan alat bantu desain primer yang dikenal dengan istilah Jackson & Moreland Alignment Chart pada Gambar 3.7, dan rumus perbandingan antara elemen struktur tekan dan elemen struktur lentur di salah satu ujung unsur struktur tekan pada bidang rangka yang dihitung yakni:

$$\Psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Balok}} \quad (3.31)$$



Ψ = rasio $\sum(EI/l_c)$ untuk kolom terhadap $\sum(EI/l)$ untuk balok pada satu ujung kolom dalam bidang yang ditinjau
 l = panjang bentang balok diukur dari pusat ke pusat joint

Gambar 3.7 Jackson & Moreland Alignment Chart

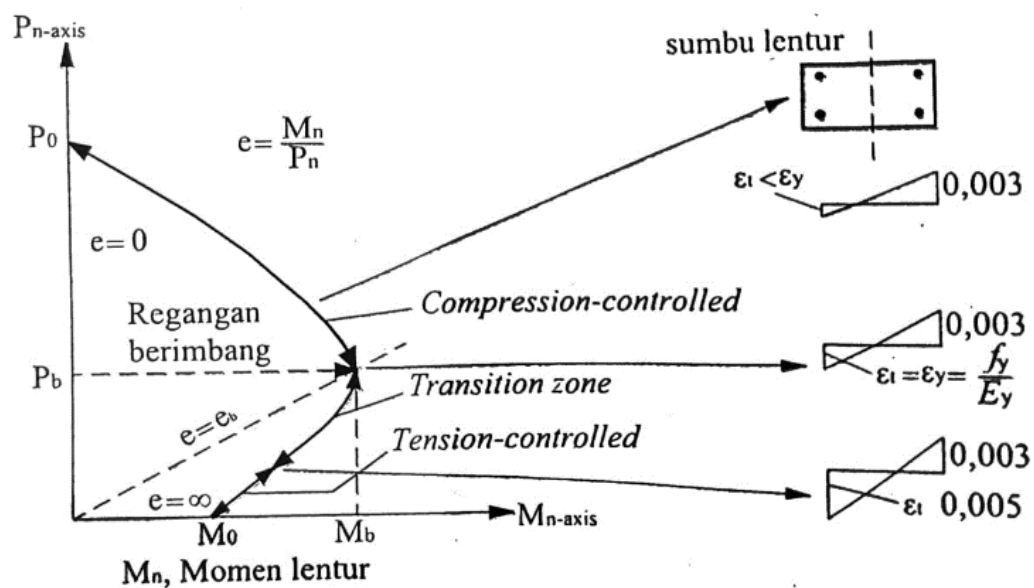
(Sumber: SNI – 2847 – 2019)

3.3.7 Diagram Interaksi Kekuatan Elemen Kolom

Ilustrasi hubungan gabungan antara beban aksial dan momen lentur disebut diagram interaksi kolom. Kolom adalah komponen struktural yang mengalami beban kompresi aksial dan momen secara bersamaan. Banyak kombinasi kekuatan dapat diperoleh dari interaksi kedua faktor tersebut (P & M). Diagram interaksi P-M adalah kurva yang menunjukkan bagaimana kompresi aksial (P) dan momen (M) berinteraksi. Diagram interaksi P-M, yang menghubungkan beban aksial dengan momen lentur pada anggota kompresi, dapat digunakan untuk menggambarkan daya dukung penampang beton bertulang dalam menahan beban lentur dan aksial gabungan.

Setiap titik pada kurva direpresentasikan oleh kombinasi kekuatan momen nominal M_n dan kekuatan beban nominal P_n yang dikaitkan dengan lokasi sumbu netral tertentu. Daerah kontrol kompresi dan daerah kontrol tegangan dibedakan

dalam diagram interaksi untuk situasi seimbang. Diagram interaksi dipisahkan menjadi dua kondisi kompresi dan tegangan berdasarkan rasio P/M. sebelum tulangan baja mengalami leleh $\epsilon_y = f_s/E_s$, hampir semua atau sebagian penampang kolom mencapai regangan tekan maksimum $\epsilon_c = 0,003$ dalam kondisi kompresi. Dalam keadaan tegangan, material kolom mencapai regangan tekannya ($\epsilon_c = 0,003$) dan hampir semua tulangan kolom melampaui regangan lelehnya (ϵ_y). Kondisi regangan seimbang adalah keadaan di mana P dan M seimbang antara kedua kondisi tersebut.



Gambar 3. 8 Diagram interaksi kolom

(Sumber : Lesmana, 2019)

3.3 Pembebanan

Beban yang diperhitungkan dalam proyek konstruksi bangunan umumnya mencakup beban lateral dan gravitasi. Beban gravitasi terdiri dari beban mati, dan beban hidup. Sementara itu, beban lateral mencakup beban gempa dan beban angin. Perlu dicatat bahwa dalam analisis struktural, beban angin sering kali diabaikan atau tidak dihitung.

3.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merujuk pada berat semua materi konstruksi gedung yang dipasang dengan beban yang besar dan konstan, selalu berada pada posisi yang sama. Ini mencakup lantai, plafon, dinding partisi tetap, dinding, tangga, atap, klading gedung, finishing, serta elemen arsitektural dan struktural seperti beban sendiri dari kolom, balok, dan pelat lantai (SNI 1727: 2020). Beban mati tambahan merujuk pada Panduan Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987 (PPPURG), yang mengkaji berat jenis dari setiap material yang membentuk bangunan serta berat sendiri komponen gedung. Data berat jenis bahan konstruksi yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditemukan pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Berat Sendiri Material

No	Material	Berat	Satuan
1	Baja	7850	kg/m ³
2	Batu alam	2600	kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500	kg/m ³
4	Batu Pecah	1450	kg/m ³
5	Beton	2200	kg/m ³
6	Beton Bertulang	2400	kg/m ³
7	Kayu kelas I	1000	kg/m ³
8	Kerikil, Koral (Kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650	kg/m ³
9	Pasangan bata merah	1700	kg/m ³
10	Pasir (Kering udara sampai lembab)	1600	kg/m ³
11	Pasir (Jenuh Air)	1800	kg/m ³
12	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850	kg/m ³
13	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700	kg/m ³
14	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	kg/m ³

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (1987)

Sedangkan untuk berat sendiri komponen gedung yang digunakan sebagai beban mati tambahan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Berat	Satuan
1	Adukan, per cm tebal:		
	– Dari semen	21	kg/m ²
	– Dari kapur, semen merah atau tras	17	kg/m ²
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m ²
3	Dinding pasangan bata merah:		
	– Satu batu	450	kg/m ²
	– Setengah batu	250	kg/m ²
4	Dinding pasangan batako:		
	Berlubang:		
	– Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	kg/m ²
	– Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	kg/m ²
	Tanpa Lubang		
	– Tebal dinding 15 cm	300	kg/m ²
	– Tebal dinding 10 cm	200	kg/m ²
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:		
	– Semen asbes (etemit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4mm	11	kg/m ²
	– Kaca, dengan tebal 3-5mm	10	kg/m ²
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40	kg/m ²

Lanjutan Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Berat	Satuan
7	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7	kg/m ²
8	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50	kg/m ²
9	Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40	kg/m ²
10	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa usuk	10	kg/m ²
11	Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24	kg/m ²
12	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m ²

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (1987)

Catatan:

- 1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.
- 2) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.
- 3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis batu tertentu lihat pedoman perencanaan konstruksi kayu.

3.3.2 Beban Hidup

Menurut PPPURG tahun 1987, beban hidup merujuk pada beban yang timbul dari kegiatan dan penduduk yang menggunakan gedung atau struktur, tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Beban ini bersifat tidak tetap dan dapat berasal dari barang-barang yang dapat dipindahkan. Rincian beban hidup untuk lantai gedung dapat dilihat dalam Tabel 3.3

Tabel 3. 3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

No	Komponen Gedung	Berat	Satuan
1	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam No. 2	200	kg/m ²
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125	kg/m ²
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250	kg/m ²
4	Lantai ruang olahraga	400	kg/m ²
5	Lantai ruang dansa	500	kg/m ²
6	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam nomor 1, 4, 5 seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400	kg/m ²
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500	kg/m ²
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam No. 3	300	kg/m ²
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam No. 4, 5, 6, dan 7	500	kg/m ²
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam No, 3, 4, 5, 6, dan 7	250	kg/m ²
11	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan Ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400	kg/m ²

Lanjutan Tabel 3.3 Beban Hidup Pada Lantai

No	Komponen Gedung	Berat	Satuan
12	Lantai gedung parkir bertingkat:		kg/m ²
	– untuk lantai bawah	800	kg/m ²
	– untuk lantai tingkat lainnya	400	
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300	kg/m ²

(Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, 1987)

Menurut SNI-1727:2020, beban hidup ialah beban yang timbul akibat aktivitas dan kehadiran pengguna serta penghuni bangunan atau struktur, tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, hujan, gempa, banjir, atau beban mati. Pada perancangan bangunan gedung, perencanaan beban hidup menjadi penting sebagai nilai maksimum yang mungkin terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan, tetapi tetap mematuhi nilai beban merata minimum yang telah ditetapkan dalam peraturan. Penetapan nilai beban hidup minimum mengacu pada SNI-1727:2020 yang disesuaikan berdasarkan fungsi atau tujuan dari setiap ruang dalam bangunan. Besaran beban hidup yang diterapkan pada Gedung Hotel Rez Semarang dapat ditemukan dalam tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/ m ²)
Hunian satu dan dua keluarga	
- Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)
- Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)
- Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)
- Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)
Semua hunian rumah tinggal lainnya	

Lanjutan Tabel 3.4 Beban Hidup Terdistribusi

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/ m ²)
- Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)
- Ruang publik	100 (4,79)
- Koridor ruang publik	100 (4,79)
Atap	
- Atap bukan untuk bangunan hunian	20 (0,96)

Sumber: Tabel 4.3-1 SNI 1727 (2020)

3.3.3 Beban Gempa (*Seismic Load*)

Beban gempa adalah seluruh beban statik ekuivalen statik pada struktur yang bekerja pada gedung yang searah dengan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Pada penelitian ini digunakan beban gempa dinamik respon spektrum. Perencanaan berdasarkan SNI 1726 tahun 2019, kombinasi beban gempa harus disesuaikan dengan gempa vertikal (E) sebagai berikut.

$$E = E_h + E_v \quad (3.32)$$

$$E = E_h - E_v \quad (3.33)$$

Keterangan:

E_h = pengaruh gempa horizontal

E_v = pengaruh gempa vertikal

Untuk menambah pengaruh gaya desak digunakan persamaan (3.1), sedangkan untuk menambah gaya tarik digunakan persamaan (3.2). Nilai E_v dan E_h dihitung dengan persamaan (3.34) dan persamaan (3.35) yang dapat dilihat dibawah ini.

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.34)$$

$$E_v = 0,2 \times S_{DS} \times D \quad (3.35)$$

Keterangan:

ρ = faktor redundansi struktur

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal

D = pengaruh beban mati

3.3.4 Beban Kombinasi

Faktor – faktor untuk beban yang bekerja pada struktur sudah ditetapkan pada standar pembebanan struktur gedung (SPRG) atau standar beton. Faktor – faktor tersebut dikombinasikan dan didapatkan beban yang paling besar atau ekstrim. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019, digunakan pembebanan sebagai berikut.

- a. $U = 1,4D$
- b. $U = 1,2D + 1,6L$
- c. $U = 1,2D + L + E_h + 0,3 E_v$
- d. $U = 1,2D + L + E_h - 0,3 E_v$
- e. $U = 1,2D + L - E_h + 0,3 E_v$
- f. $U = 1,2D + L - E_h - 0,3 E_v$
- g. $U = 1,2D + L + 0,3E_h + E_v$
- h. $U = 1,2D + L + 0,3E_h - E_v$
- i. $U = 1,2D + L - 0,3E_h + E_v$
- j. $U = D + 0,5L$

Keterangan:

U = kuat diperlukan

D = beban mati

L = beban hidup

E_v = beban gempa vertikal

E_h = beban gempa horizontal

3.4 Ketentuan Umum Perencanaan Struktur Bangunan Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019

Ketentuan umum perencanaan struktur bangunan pada tugas akhir ini yang akan digunakan adalah sebagai berikut.

3.4.1 Klasifikasi Situs

Prosedur dalam klasifikasi situs memberikan kriteria mengenai desain seismik berupa faktor – faktor amplifikasi pada struktur bangunan. Perumusan kriteria desain seismik suatu struktur bangunan di permukaan bumi atau penentuan amplifikasi besaran nilai percepatan gempak maksimal dari batuan dasar menuju permukaan tanah suatu situs, maka situs tersebut dilakukan klasifikasi situs terlebih dahulu. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 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)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut :		

Lanjutan Tabel 3.5 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)			<ul style="list-style-type: none"> – 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) – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa</p>

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

3.4.2 Kategori Risiko Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Menurut SNI 1726 tahun 2019 kategori risiko bangunan berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan dan risiko yang timbul berdasarkan prioritasnya dibagi menjadi empat kategori. Keempat kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	I

**Lanjutan Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan <p>Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</p>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali kategori risiko I,III, dan IV; tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung Hotel Rez - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung Pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas penitipan anak 	III

**Lanjutan Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan – bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulan, kantor polisi, dan garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas tanggap darurat lainnya - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

3.4.3 Faktor Keutamaan Gempa

Setiap bangunan dibangun dengan berbagai fungsi. Perbedaan fungsi tersebut menimbulkan perbedaan risiko terhadap gempa bumi. Perbedaan risiko menentukan faktor gempa yang digunakan untuk merencanakan beban gempa yang akan dialami oleh bangunan tersebut. Faktor keutamaan gempa berdasarkan kategori risiko dapat dilihat pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

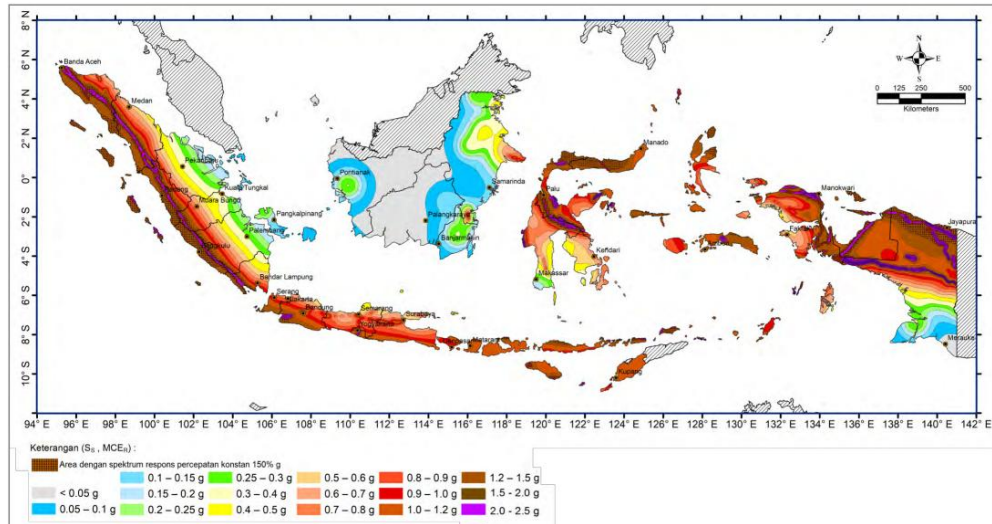
Tabel 3. 7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

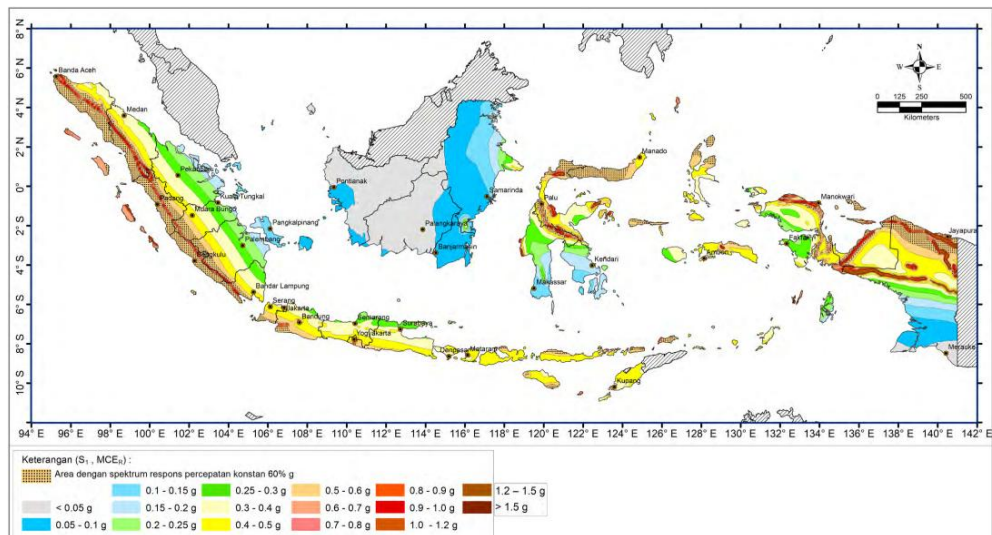
3.4.4 Penentuan Nilai Respon Spektra

Peristiwa gempa bumi yang terjadi pada setiap daerah pasti berbeda – beda, hal tersebut menyebabkan perbedaan nilai respon spektra. Dalam menentukan nilai respon spektra gempa di permukaan tanah pada struktur bangunan gedung diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik (S_s) dan 1 detik (S_l). Nilai tersebut ditentukan berdasarkan peta gempa sesuai dengan SNI 1726 tahun 2019 yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3. 9 Peta Respon Spektra Periode 0,2 Detik (S_s)

Sumber: SNI 1726 tahun 2019



Gambar 3. 10 Peta Respon Spektra Periode 1 Detik (S_1)

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Parameter respon spektra percepatan gempa di permukaan tanah ditentukan berdasarkan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik (F_a) dan periode 1 detik (F_v) yang didapatkan dari hubungan percepatan gempa dengan kelas situs yang dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respon 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)					

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Catatan:

- Untuk nilai antar S_S dapat ditentukan dengan interpolasi linier
- SS^(a) = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

Tabel 3. 9 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_S \leq 0,1$	$S_S = 0,2$	$S_S = 0,3$	$S_S = 0,4$	$S_S = 0,5$	$S_S \geq 0,6$
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)					

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Catatan:

- Untuk nilai antar S_S dapat ditentukan dengan interpolasi linier

- $SS^{(a)}$ = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

Untuk mengetahui parameter respon spektrum percepatan pada permukaan tanah dapat dicari dengan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (3.36)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.37)$$

Keterangan:

S_S = Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 0,2$ detik

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik

Untuk perancangan nilai respon spektrum desain pada perencanaan ini dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.38 dan Persamaan 3.39 sebagai berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.38)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.39)$$

Keterangan:

S_S = parameter spektral desain periode pendek

S_1 = parameter spektral desain periode 1 detik

3.4.5 Kategori Desain Seismik

Pada perancangan struktur harus memiliki kategori desain seismik. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III dimana parameter respon spektral percepatan terletak pada periode 1 detik (S_I) lebih besar atau sama dengan 0,75 ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur berkategori risiko IV dimana parameter respon spektral percepatan terletak pada periode 1 detik (S_I) lebih besar atau sama dengan 0,75 ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Untuk menentukan nilai S_{DS} dan S_{DI} dapat dipilih berdasarkan Tabel 3.10 dan 3.11 sebagai berikut.

Tabel 3. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I, 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

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Tabel 3. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Satu Detik

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

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

3.4.6 Definisi Persyaratan Kategori Desain Seismik

a. Kategori desain seismik A dan B

Bangunan berkategori desain seismik A dan B didesain minimal dengan menggunakan peraturan berdasarkan pada desain struktur momen pemikul momen biasa (SMPMB) atau sistem dinding struktur biasa (SDSB).

b. Kategori desain seismik C

Bangunan berkategori desain seismik C didesain minimal dengan menggunakan peraturan berdasarkan pada desain struktur momen pemikul momen menengah (SMPMM) atau sistem dinding struktur biasa (SDSB).

c. Kategori desain seismik D

Bangunan berkategori desain seismik D didesain minimal dengan menggunakan peraturan berdasarkan pada desain struktur momen pemikul momen khusus (SMPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK).

d. Kategori desain seismik E dan F

Bangunan berkategori desain seismik E dan F didesain minimal dengan menggunakan peraturan berdasarkan pada desain struktur momen pemikul momen khusus (SMPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK).

Klasifikasi kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.12 sebagai berikut.

Tabel 3. 12 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

Tingkat Risiko Kegempaan	Kategori Desain Seismik	Syarat
Rendah	A dan B	SRPM B/M/K SDS B/K
Menengah	C	SRPM M/K SDS B/K

Lanjutan Tabel 3. 12 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

Tingkat Risiko Kegempaan	Kategori Desain Seismik	Syarat
Tinggi	D, E, dan F	SRPM K SDS K

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Keterangan:

SRPM = Sistem Rangka Pemikul Momen

SDS = Sistem Dinding Struktur

B/M/K = Biasa/Menengah/Khusus

3.4.7 Spektrum Respon Desain

Menurut SNI 1726 tahun 2019 ketika spektrum respon desain diperlukan dan tidak menggunakan prosedur gerakan tanah dari spesifik situs, maka kurva dari spektrum respon desain harus dikembangkan mengacu pada Gambar 3.7 dan empat ketentuan yang dijelaskan sebagai berikut.

- a. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a harus menggunakan persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.40)$$

- b. Untuk periode lebih besar atau sama dengan dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .

- c. Untuk periode lebih besar dari T_S dan lebih kecil atau sama dengan dari T_L , respon spektral percepatan desain S_a diambil menurut persamaan sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.41)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respon spektral percepatan desain S_a , diambil menurut persamaan sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T} \quad (3.42)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

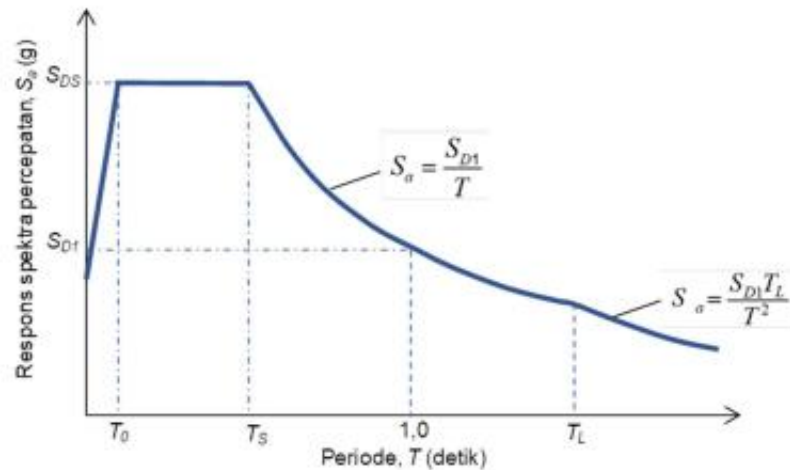
S_{D1} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar struktur

T_L = peta transisi periode panjang

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.43)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.44)$$



Gambar 3. 11 Grafik Spektrum Respon Desain

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

3.4.8 Parameter dan Pemilihan Sistem Struktur Gedung

Setelah diketahui sistem pemikul gaya seismik pada struktur gedung yang akan didesain, selanjutnya dilakukan analisis perhitungan beban lateral dengan mengacu pada tiga jenis faktor. Faktor yang dimaksud antara lain adalah faktor modifikasi respon, faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran defleksi. Nilai dari ketiga faktor tersebut disajikan dalam Tabel 3.13.

Tabel 3. 13 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon R	Faktor Kuat Lebih Sistem Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi C_d^e	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka Pemikul Momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
Rangka beton pemikul momen menengah	5	3	4,5	T B	T B	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	T B	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Keterangan:

- a = koefisien modifikasi (R), untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.
- b = nilai pada tabel faktor kuat lebih (Ω_0), lebih besar atau sama dengan 2,5 maka Ω_0 dibolehkan untuk mereduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.
- c = faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), untuk penggunaan dalam 0, 0, dan 0.
- d = TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan.

3.4.9 Penentuan Periode Fundamental Struktur Gedung

Periode fundamental struktur (T) dapat diketahui dari hasil analisis struktur yang sedang ditinjau. Menurut SNI 1726 tahun 2019, terdapat persyaratan yang menyebutkan bahwa periode fundamental yang digunakan sebagai perhitungan tidak boleh melebihi dari batas atas periode pendekatan yang didapatkan dari perkalian koefisien periode batas atas dengan periode pendekatan. T boleh langsung digunakan periode pendekatan (T_a) agar memudahkan dalam pelaksanaan. Periode pendekatan ditentukan menggunakan persamaan 3.45.

$$T_a = Ct \cdot h_n^x \quad (3.45)$$

Keterangan:

h_n merupakan ketinggian struktur bangunan gedung dengan satuan meter dari lantai dasar sampai ketinggian tertentu, sedangkan Ct dan x ditentukan pada Tabel 3.14 dan Tabel 3.15.

Tabel 3. 14 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respon spetral 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

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

Tabel 3. 15 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:		
a. Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
b. Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75

Lanjutan Tabel 3.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726 tahun 2019

3.4.10 Gaya Geser Seismik

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 gaya geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan ditentukan sesuai dengan persamaan 3.46 sebagai berikut.

$$T_a = C_s \cdot W \quad (3.46)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif

Nilai koefisien respon seismik (C_s), dapat ditentukan dengan persamaan 3.47 nilainya tidak boleh melebihi nilai yang dihasilkan oleh persamaan 3.48 untuk $T \leq T_L$ dan persamaan 3.49 untuk $T > T_L$ dan juga nilai koefisien respon seismik (C_s) tidak boleh kurang dari nilai persamaan 3.50. Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g maka C_s harus tidak kurang dari persamaan 3.51.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.47)$$

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.48)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.49)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,001 \quad (3.50)$$

$$C_s = \frac{0,5 S_L}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.51)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respon spektral desain

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode fundamental struktur (detik)

S_I = parameter percepatan respon spektral maksimum

S_{DI} = parameter percepatan respon spektral desain pada periode 1 detik

3.4.11 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Distribusi gaya seismik lateral (F_x) pada setiap tingkatan lantai dapat ditentukan menggunakan persamaan 3.52 dengan koefisien faktor distribusi vertikal (C_{vx}) dengan persamaan 3.53 sebagai berikut.

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.52)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.53)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x (m)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut.

a. Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

- b. Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
- c. Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditetapkan dengan perhitungan interpolasi linier antar 1 dan 2

3.4.12 Penentuan klasifikasi struktur beraturan dan tidak beraturan

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan. Penentuan dari klasifikasi tersebut adalah berdasarkan pada kriteria berikut.

1. Ketidakberaturan horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan dan harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik mengacu sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 13 SNI 1726:2019 dan harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal SNI 1726:2019 yang dirujuk dalam tabel tersebut. Persyaratan dalam pasal-pasal ketidakberaturan horizontal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.17 berikut.

Tabel 3. 16 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 3.16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E dan F C, D, E dan F C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F

Lanjutan Tabel 3.17 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

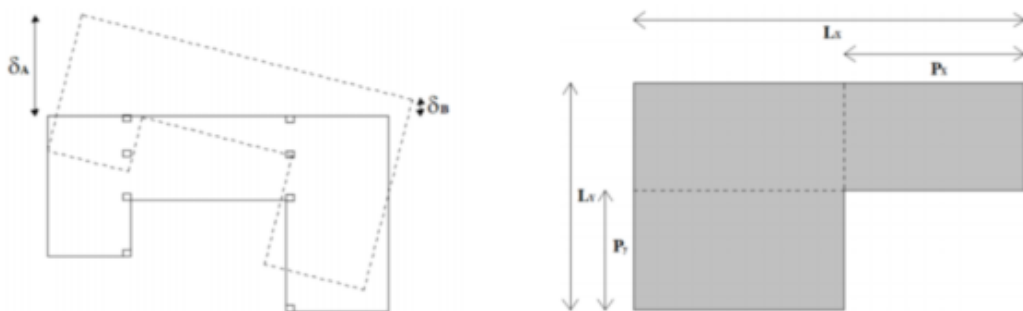
No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1b.	<p>Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.</p>	<p>7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 3.16 11.3.4</p>	<p>E, dan F D B, C, dan D C, dan D C, dan D D B, C, dan D</p>
2	<p>Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.</p>	<p>7.3.3.4 Tabel 3.16</p>	<p>D, E dan F D, E dan F</p>
3	<p>Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.</p>	<p>7.3.3.4 Tabel 3.16</p>	<p>D, E dan F D, E dan F</p>
4	<p>Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang</p>	<p>7.3.3.3 7.3.3.3</p>	<p>B, C, D, E dan F D, E dan F</p>

Lanjutan Tabel 3.17 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
	didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.7.3 Tabel 3.16 11.3.4	B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 3.16 11.3.4	C, D, E dan F B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F

Sumber: Tabel 13 SNI 1726 (2019)

Adapun sketsa ketidakberaturan horizontal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.12, Gambar 3.13, 3.14 dan 3.15 berikut.



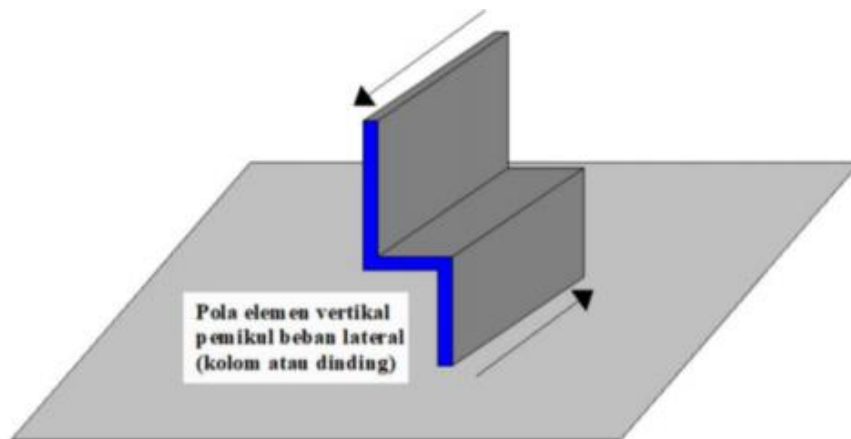
Gambar 3. 12 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a,1b dan 2

(Sumber: Gambar 5 SNI 1726-2019)



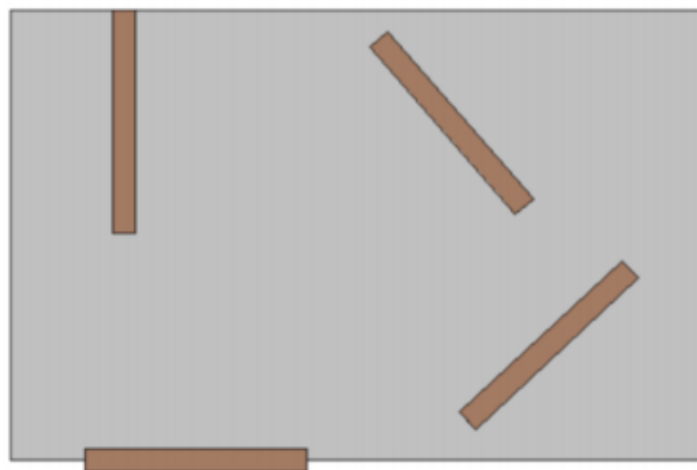
Gambar 3. 13 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

(Sumber: Gambar 5 SNI 1726-2019)



Gambar 3. 14 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

(Sumber: Gambar 5 SNI 1726-2019)



Gambar 3. 15 Sketsa Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

(Sumber: Gambar 5 SNI 1726-2019)

2. Ketidakberaturan vertikal

Berdasarkan pasal 7.3.2.2 SNI 1726:2019, struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 3.15 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik seperti yang merujuk pada Tabel 14 SNI 1726:2019 dan harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal SNI 1726:2019 yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Dengan terdapat pengecualian apabila terdapat beberapa hal sebagai berikut.

- a. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 dalam Tabel 3.15 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar tingkat akibat gaya seismik lateral desain yang nilainya lebih besar dari 130 % rasio simpangan antar tingkat di atasnya. Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan. Simpangan antar tingkat. Hubungan rasio simpangan antar tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi.
- b. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, dan 2 dalam Tabel 3.15 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain seismik atau bangunan dua tingkat yang didesain untuk kategori desain seismik B, C, atau D. Adapun persyaratan dalam pasal-pasal ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Tabel 3.18 berikut.

Tabel 3. 17 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	Tabel 3.16	D, E, dan F

Lanjutan Tabel 3.18 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

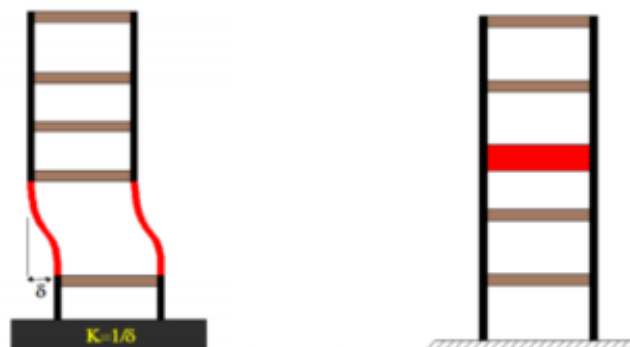
No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan , jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	7.3.3.1 Tabel 3.16	E, dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat didekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu.	Tabel 3.16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 3.16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen atau Terdapat reduksi kekakuan elemen di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.2 Tabel 3.16	B, C,D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F

Lanjutan Tabel 3.18 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % dari Kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua	7.3.3.1 Tabel 3.16	E, dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 3.16	D, E, dan F B, dan C D, E, dan F

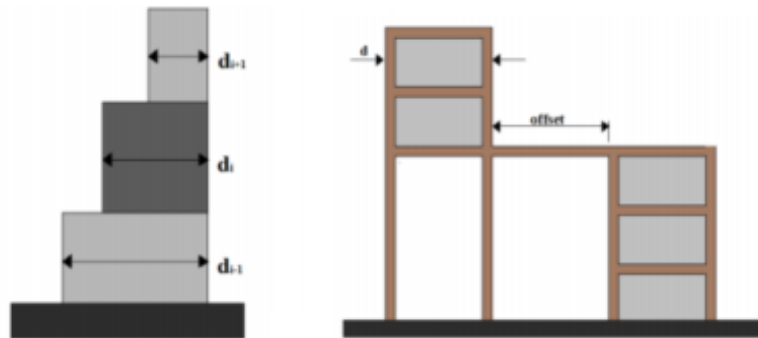
Sumber: Tabel 15 SNI 1726 (2019)

Adapun sketsa ketidakberaturan horizontal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.16, Gambar 3.17, dan 3.18 berikut.



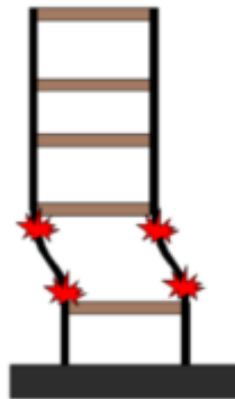
Gambar 3. 16 Sketsa Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a, 1b dan 2

(Sumber: Gambar 6 SNI 1726-2019)



Gambar 3. 17 Sketsa Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 dan 4

(Sumber: Gambar 6 SNI 1726-2019)



Gambar 3. 18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b

(Sumber: Gambar 6 SNI 1726-2019)

3.4.13 Penentuan berat seismik efektif

Berdasarkan pasal 7.7.2 SNI 1726:2019, berat seismik efektif struktur (W) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar pada beberapa hal dibawah ini.

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 % beban hidup lantai.

Dengan terdapat pengecualian apabila terdapat beberapa hal sebagai berikut.

- a. Bila beban penyimpanan tidak lebih dari 5 % terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif.
- b. Beban hidup lantai di tempat parkir umum dan struktur parkir terbuka tidak perlu dimasukkan.

2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan SNI 1727: 2020 sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m².
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen.
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

Adapun persyaratan dalam pasal-pasal ketidakberaturan horizontal merujuk pada Tabel 16 SNI 1726:2019 dan dapat dilihat seperti pada Tabel 3.19 berikut.

Tabel 3. 18 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik Struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam pasal 7.9	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber: SNI-1726 (2019)

Catatan:

I = Diizinkan

TI = Tidak Diizinkan

Model matematika struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan yang dikenakan atau pengaruh P-delta. Model harus menyertakan kekakuan dan kekuatan elemen yang signifikan terhadap distribusi gaya dan deformasi dalam struktur dan merepresentasikan distribusi massa dan kekakuan secara spasial pada seluruh struktur. Sebagai tambahan, model tersebut harus sesuai dengan hal berikut ini.

- a. Properti kekakuan elemen beton dan batu bata harus memperhitungkan pengaruh penampang retak.
- b. Untuk sistem rangka baja pemikul momen, kontribusi deformasi daerah panel pada simpangan antar tingkat keseluruhan harus disertakan.

Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 4, atau 5 dari Tabel 13 harus dianalisis menggunakan penggambaran 3 dimensi. Jika model 3 dimensi digunakan, minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi dalam dua arah denah ortogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal harus disertakan di masing-masing tingkat struktur. Jika menggunakan analisis riwayat waktu atau ragam respons spektral, minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi dalam dua arah denah ortogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal harus disertakan di masing-masing tingkat struktur.

Dengan terdapat pengecualian apabila terdapat beberapa hal sebagai berikut.

- a. Analisis menggunakan representasi 3 dimensi tidak diperlukan untuk struktur dengan diafragma fleksibel yang memiliki ketidakberaturan horizontal struktur Tipe 4.

3.4.14 Penentuan faktor redundansi

Faktor redundansi (ρ) ditentukan dengan mengacu pada pasal 7.3.4 SNI 1726:2019 dan harus diaplikasikan pada masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik.

1. Nilai faktor redundansi (ρ) adalah 1,0 dan diizinkan untuk digunakan pada struktur pemikul gaya seismik apabila terdapat hal-hal sebagai berikut.
 - a. Desain struktur untuk kategori desain seismik B atau C.
 - b. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-delta.
 - c. Desain komponen nonstruktural.
 - d. Desain struktur nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
 - e. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan, yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan pasal 7.4.3 SNI 1726:2019.
 - f. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan pasal 7.4.3 SNI 1726:2019.
 - g. Beban diafragma yang ditentukan menggunakan persamaan (51), termasuk batasan yang disyaratkan oleh persamaan (52) dan persamaan (53). Persamaan tersebut merujuk pada SNI 1726:2019.
 - h. Desain struktur dengan sistem peredam sesuai pasal 13 SNI 1726:2019.
 - i. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.
2. Menurut pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2019, nilai faktor redundansi (ρ) adalah sebesar 1,3 dan diizinkan untuk digunakan pada struktur pemikul gaya seismik dengan kategori desain seismik D, E, dan F baik yang memiliki maupun tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan.

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F nilai faktor redundansi (ρ) sebesar 1,0 dan diizinkan untuk digunakan pada struktur pemikul gaya seismik apabila memenuhi satu dari dua kondisi sebagai berikut.

 - a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 3.20.

- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat (h_{sx}) untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 3. 19 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

Elemen pemikul gaya lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Penghilangan suatu bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).

Lanjutan Tabel 3.20 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

Elemen pemikul gaya lateral	Persyaratan
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Penghilangan suatu dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di sebarang tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar pada sebarang kolom kantilever tunggal tidak akan berpengaruh atau mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).

Sumber: Tabel 15 SNI 1726 (2019)

3.4.15 Analisis respons spektrum ragam

1. Jumlah ragam

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

Dengan terdapat pengecualian apabila terdapat beberapa hal sebagai berikut.

- a. Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit

90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

2. Parameter respons ragam

Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar tingkat harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e).

3. Parameter respons terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726.

4. Skala nilai desain untuk respons terkombinasi

Geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T . Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 0, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

3.5 Torsi Pada Struktur Bangunan

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal.

3.5.1 Torsi bawaan

Untuk diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan (M_t) akibat eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.

3.5.2 Torsi tak terduga

Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) akibat perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sebesar 5 % dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan. Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5 % yang disyaratkan tidak perlu diterapkan. Torsi tak terduga harus diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan horizontal seperti yang diatur pada Tabel 3.14. Momen torsi tak terduga (M_{ta}) tidak perlu diperhitungkan pada saat menentukan gaya seismik E pada perencanaan struktur dan pada saat menentukan simpangan antar tingkat desain atau pada saat menentukan batasan-batasan, kecuali untuk struktur-struktur berikut.

1. Struktur dengan kategori desain seismik B dengan ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b.
2. Struktur dengan kategori desain seismik C, D, E, dan F dengan ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a atau Tipe 1b.

3.5.3 Pembesaran momen torsi tak terduga

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, dimana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti yang didefinisikan dalam Tabel 3.14 dan harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} pada masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x). Pengaruh tersebut diketahui berdasarkan pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019 dan dapat ditentukan seperti persamaan berikut.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2 \quad (3.54)$$

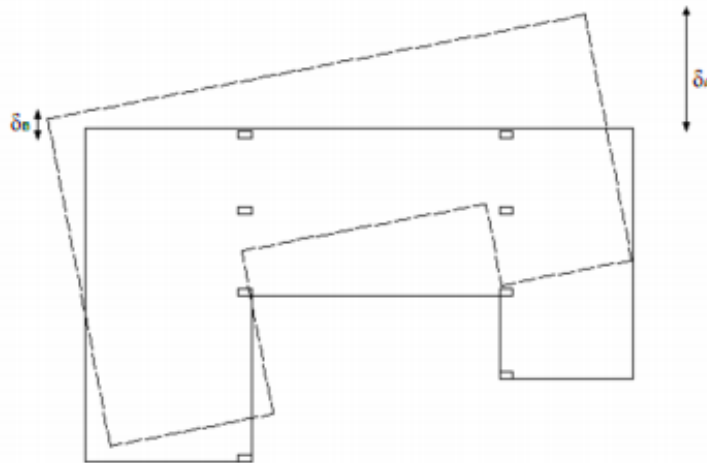
$$\delta_{avg} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \quad (3.55)$$

Keterangan:

δ_{avg} = Perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

δ_{avg} = Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain. Adapun sketsa faktor pembesaran torsi (A_x) tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.19 berikut.

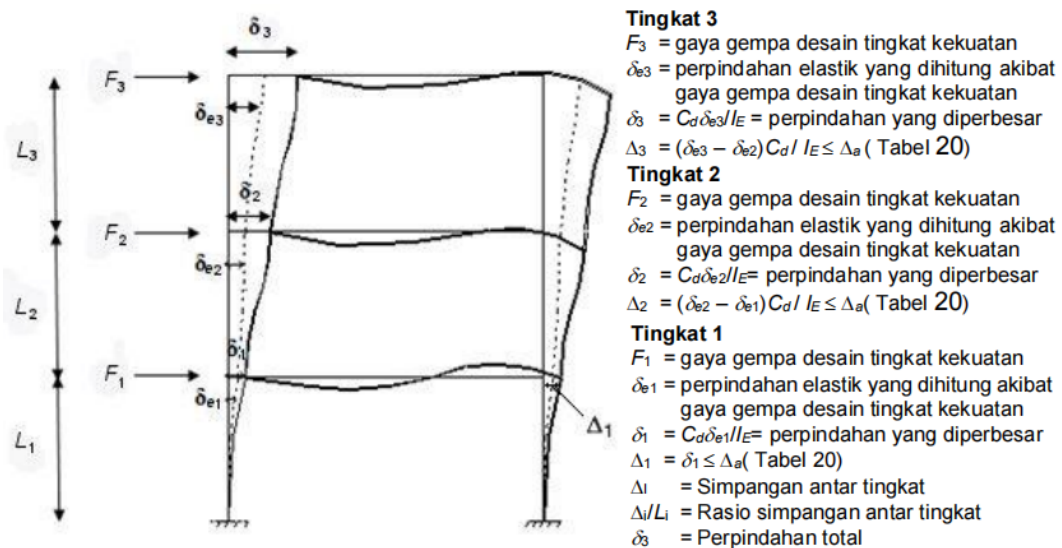


Gambar 3.19 Faktor Pembesaran Torsi (A_x)

(Sumber: Gambar 9 SNI 1726-2019)

3.6 Simpangan Antar Tingkat

Menurut pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, (Δ) harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin. Adapun penentuan simpangan antar tingkat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.20 berikut.



Gambar 3. 20 Penentuan Simpangan AntarTingkat

(Sumber: Gambar 10 SNI 1726-2019)

Geser dasar minimum untuk menghitung simpangan antar tingkat harus dilakukan dengan menggunakan gaya seismik desain sedangkan nilai periode untuk menghitung simpangan antar tingkat yang berfungsi untuk menentukan kesesuaian dengan batasan simpangan antar tingkat dan diizinkan untuk menentukan simpangan antar tingkat elastik (δ_{xe}) dengan menggunakan gaya desain seismik berdasarkan pada periode fundamental struktur yang dihitung tanpa batasan atas ($C_u T_a$) yang ditetapkan.

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 3.14.

Simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal pada sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) dapat ditentukan berdasarkan 3.51 persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.56)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 3.11

δ_{xe} = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan.

Pada pasal 7.12.1 SNI 1726:2019 diisyaratkan simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Adapun simpangan antar tingkat izin dapat dilihat pada Tabel 3.21 berikut.

Tabel 3. 20 Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a, b}$

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: Tabel 20 SNI 1726 (2019)

Catatan:

a. h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

- b. Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan.
- c. Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur tidak diabaikan.
- d. Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

3.7 Pengaruh P- delta (P- Δ)

Pengaruh P-delta (P- Δ) pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti yang ditentukan pada pasal 7.8.7 SNI 1726:2019 dan dapat dilihat pada persamaan 3.52 berikut atau bernilai sama dengan atau kurang dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.57)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat- x , (kN), bila menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0.

Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan $x - 1$ (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 3.11.

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ max yang ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.58)$$

Keterangan:

β = Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat dan $x - 1$. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ max maka faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta (P- Δ) pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan berdasarkan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1-\theta)$. Jika θ lebih besar dari θ max, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

Jika pengaruh P-delta (P- Δ) disertakan dalam analisis otomatis, persamaan 3.58 tetap harus dipenuhi, akan tetapi, nilai θ yang dihitung dari persamaan 3.57 menggunakan hasil analisis P-delta (P- Δ) diizinkan dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum diperiksa dengan persamaan 3.58

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Metode Penelitian adalah aspek yang sangat penting dalam suatu penelitian, yang kemudian digunakan untuk mengatasi permasalahan yang telah dirumuskan dan tujuannya adalah untuk menguraikan dengan jelas kerangka penelitian guna menciptakan penelitian yang terstruktur dan sistematis.

Penelitian ini berpedoman pada SNI-1726:2019, SNI-2847:2019, dan SNI-1727:2020 serta membutuhkan data gedung berupa data yang sesuai dengan permasalahan yang telah dirumuskan.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian merupakan salah satu hal yang penting dalam sebuah analisis. Data penelitian yang digunakan berupa *shop drawing* (gambar kerja) sebagai acuan dalam permodelan struktur dan data teknis bangunan sebagai acuan dalam melakukan analisis dengan bantuan *software*. Data umum dan data teknis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4. 1 Data Umum

No	Data	Keterangan
1	Model Bangunan	Gedung Hotel Rez, Semarang
2	Fungsi Bangunan	Perhotelan
3	Jumlah Lantai	9 Lantai
4	Lokasi Bangunan	Jl. KH Ahmad Dahlan No.41, Karang Kidul, Semarang, Jawa Tengah

Lokasi Gedung Hotel Rez Semarang pada penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Gedung Hotel Rez Semarang

(Sumber: Google Earth Pro, 2024)

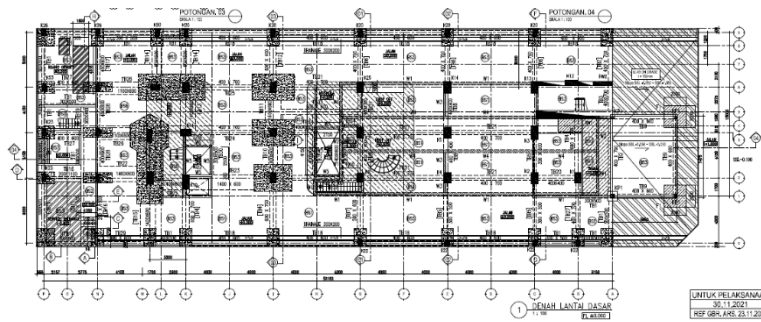
Tabel 4. 2 Data Teknis

No	Data	Keterangan
1	Mutu Beton, f_c'	30 MPa dan 35 MPa
2	Kuat Tarik Leleh Baja, f_y	420 MPa
3	Tulangan yang digunakan	D16, D22, D25 dan D29
4	Sengkang	D10 dan D13
5	Selimit Beton	50 mm
6	Jenis Tanah	Tanah Lunak

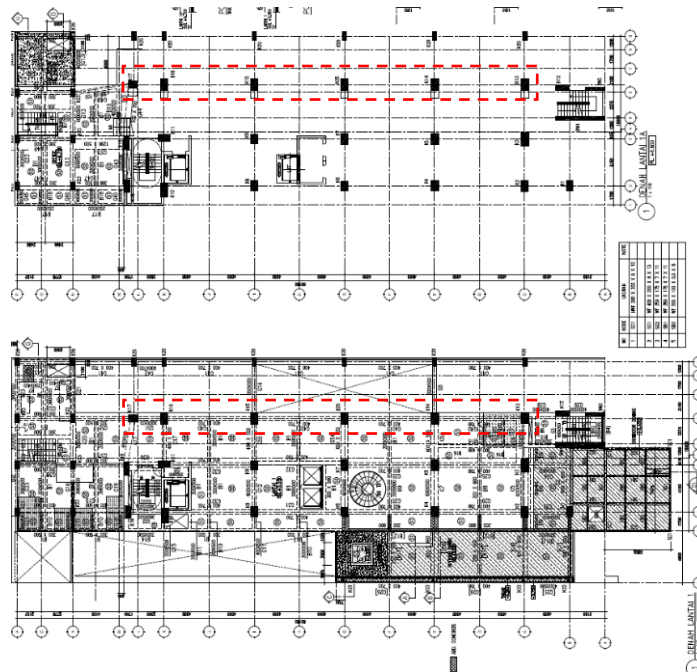
Denah gedung dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.12 sebagai berikut.



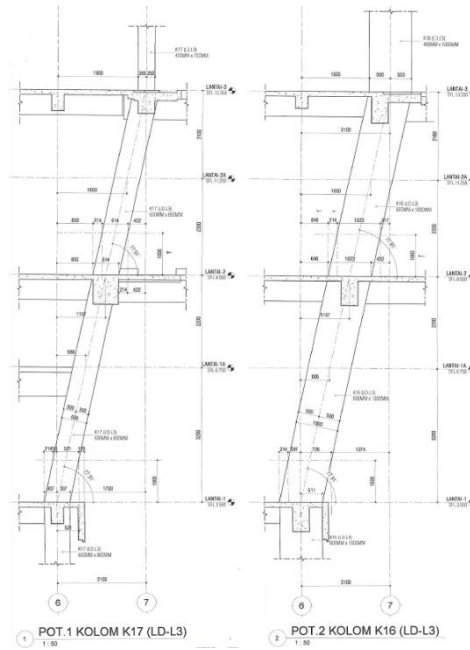
Gambar 4. 2 Potongan Melintang



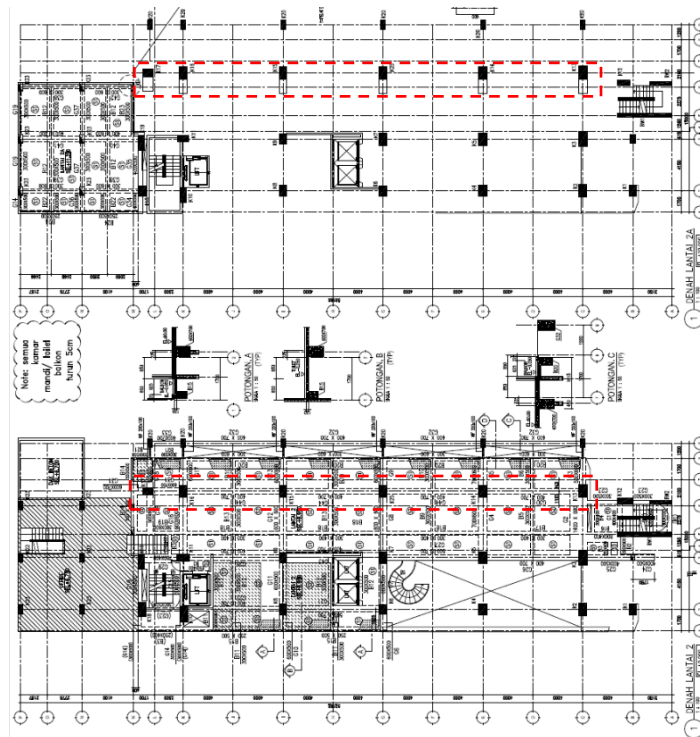
Gambar 4. 3 Denah Lantai Dasar



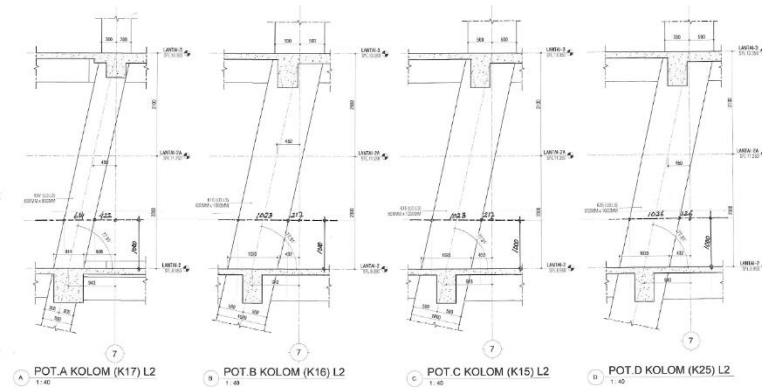
Gambar 4. 4 Denah Lantai 1 dan Lantai 1A



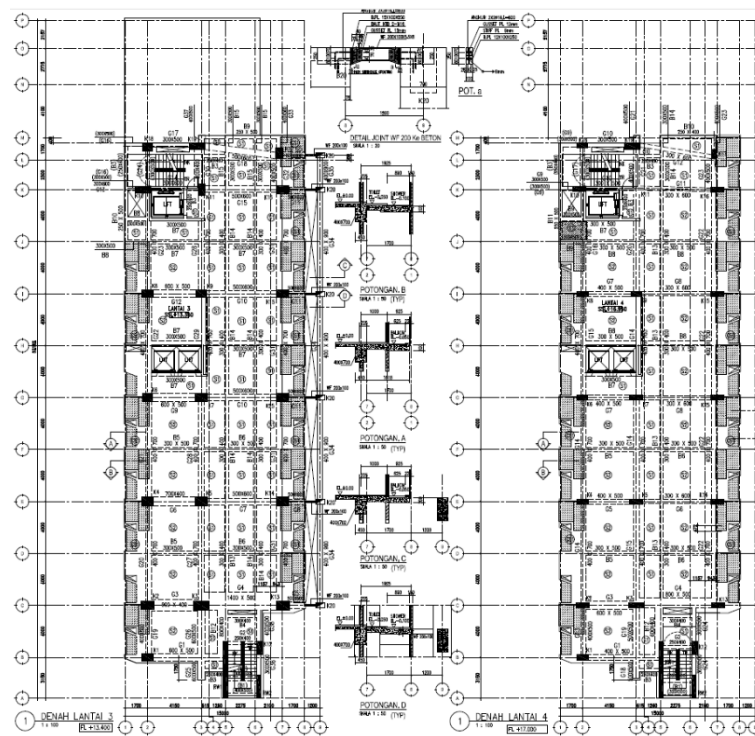
Gambar 4. 5 Potongan Kolom Miring Lantai 1



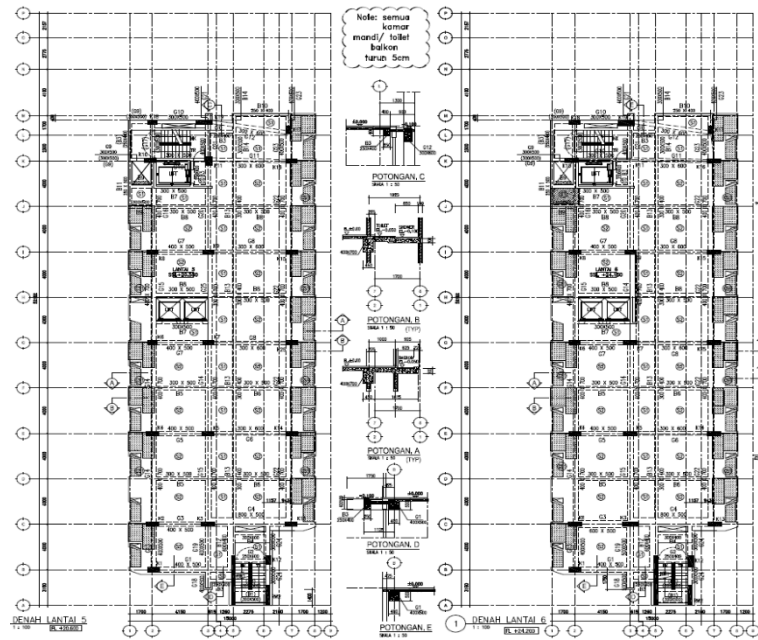
Gambar 4. 6 Denah Lantai 2 dan Lantai 2A



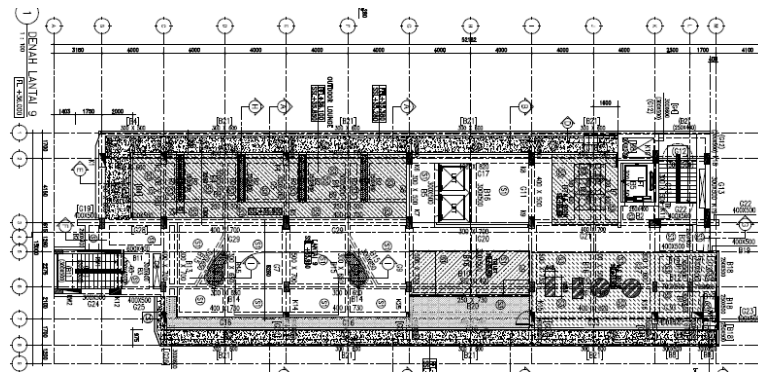
Gambar 4. 7 Potongan Kolom Miring Lantai 2



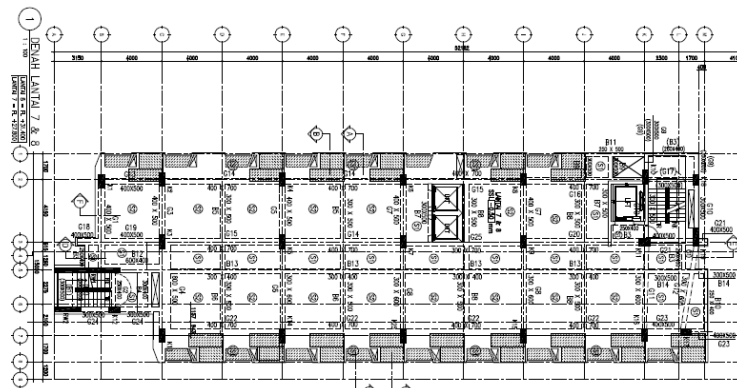
Gambar 4. 8 Denah Lantai 3 dan 4



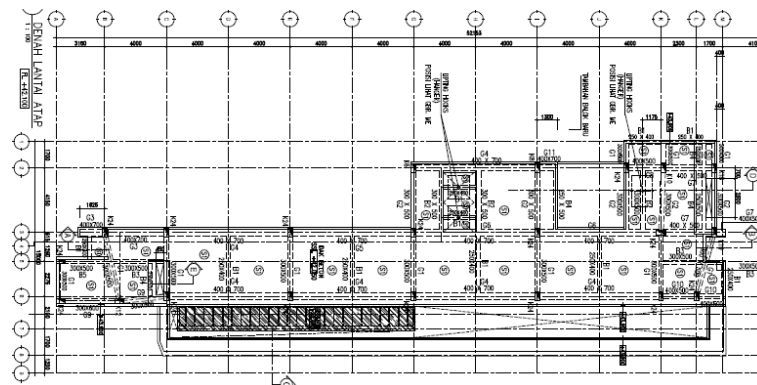
Gambar 4. 9 Denah Lantai 5 dan 6



Gambar 4. 10 Denah Lantai 7 dan 8



Gambar 4. 11 Denah Lantai 9



Gambar 4. 12 Denah Lantai Atap

4.3 Metodologi Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dan data yang diasumsikan merupakan data sekunder yang meliputi gambar shop drawing, data pembebanan, mutu material, asumsi lokasi, respons spektral gempa dan jenis tanah yang digunakan. Adapun metodologi yang digunakan untuk memperoleh data sekunder tersebut adalah sebagai berikut ini

4.3.1 Metode observasi

Metode observasi adalah pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan survei langsung ke lokasi pembangunan gedung serta melakukan tanya jawab kepada pihak terkait yaitu kontraktor pelaksana PT. Total Bangun Persada Tbk serta konsultan MK PT. Data Anugerah Tiara Abadi sehingga mendapatkan informasi yang lebih jelas dan akurat. Observasi dilakukan pada lokasi penelitian yaitu Jl. KH Ahmad Dahlan No.41, Karang Kidul, Semarang, Jawa Tengah

4.3.2 Metode studi literatur

Metode studi literatur adalah cara untuk mengumpulkan data dengan mempelajari sumber bacaan tertulis seperti buku maupun dokumen tertulis lain yang didapatkan.

4.3.3 Metode kepustakaan

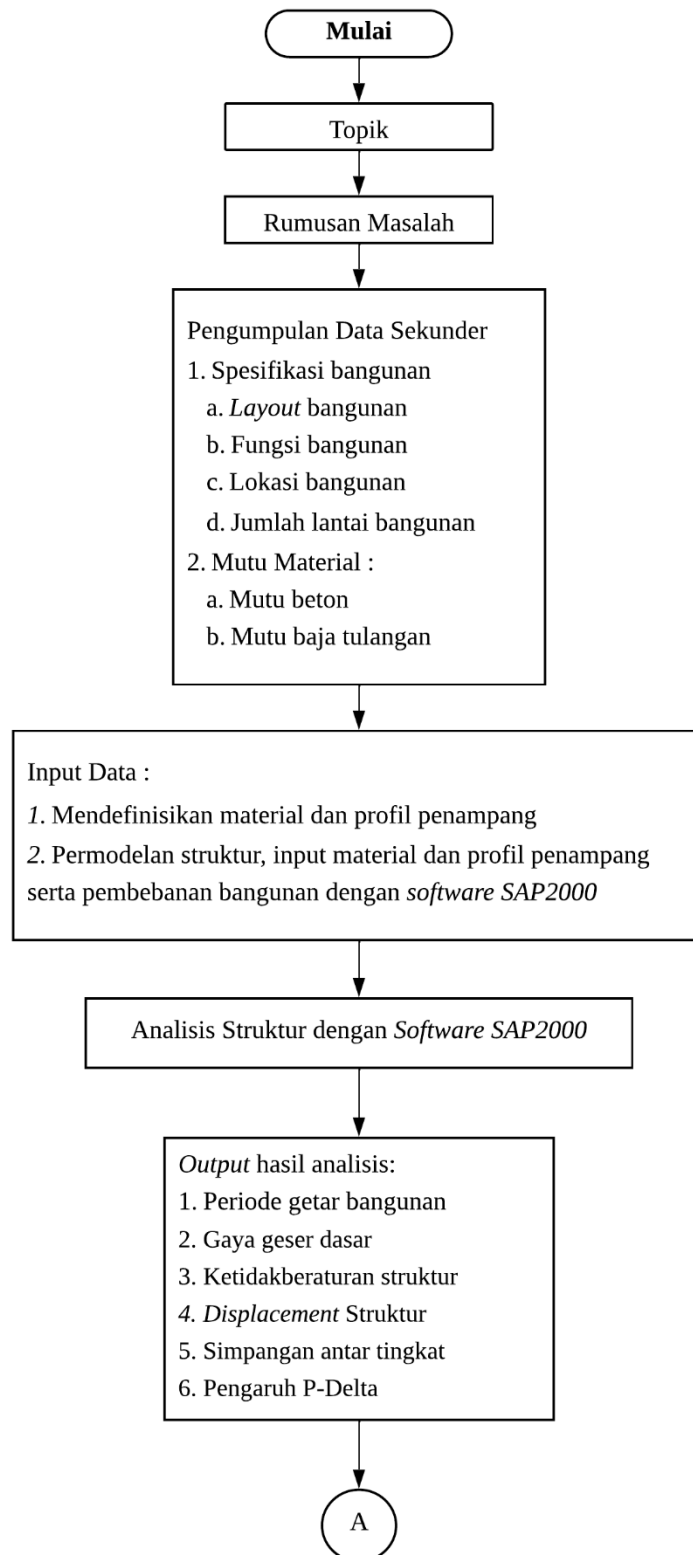
Metode kepustakaan adalah cara untuk mengumpulkan data dengan mencari referensi seperti jurnal, skripsi, tugas akhir maupun thesis yang digunakan sebagai referensi untuk membantu penulisan penelitian ini.

4.4 Tahapan Penelitian

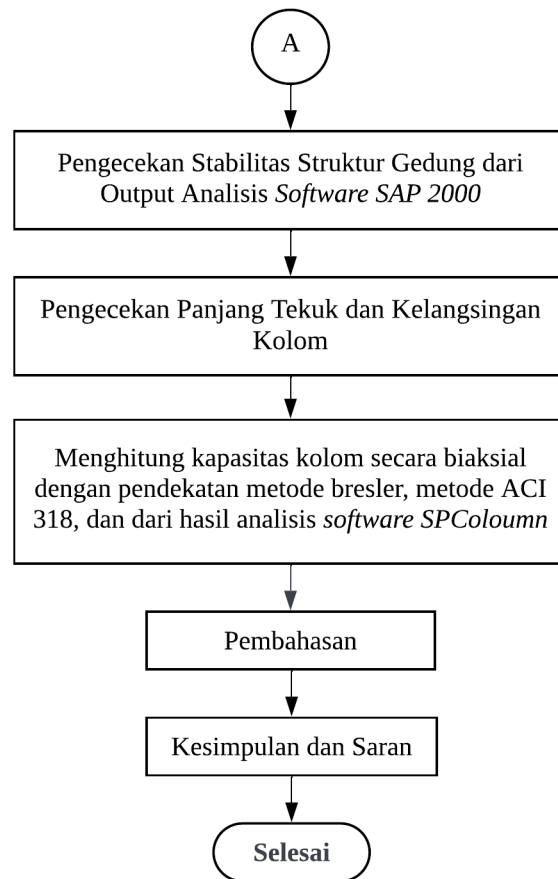
Berdasarkan data sekunder yang didapatkan, dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data primer yang meliputi respons struktur berupa gaya geser dasar, *lateral displacement*, simpangan antar lantai tingkat (*story drift*), dan gambar pemodelan 3D bangunan. Terdapat 8 tahapan dalam pengolahan data sekunder menjadi data primer sebagai berikut.

1. Melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk penulisan laporan ini.
2. Mendefinisikan material dan profil penampang.
3. Melakukan pemodelan 3D pada *software SAP 2000* sesuai dengan data yang digunakan.
4. Melakukan analisis struktur dengan *software SAP 2000*, Output hasil analisis :
 - a. Periode getar bangunan
 - b. Gaya geser dasar
 - c. Ketidakberaturan struktur
 - d. *Displacement* Struktur
 - e. Simpangan antar tingkat
 - f. Pengaruh P-Delta
5. Melakukan analisis stabilitas kolom dengan pengecekan panjang tekuk kolom dan kelangsingan kolom.
6. Melakukan analisis kapasitas kolom miring dilakukan dengan perhitungan analisis kapasitas kolom secara biaksial dengan pendekatan metode bresler, metode ACI 318 dan dari hasil analisis *software SpColumn*.
7. Melakukan penulisan laporan sebagai pembuktian tertulis karena telah dilakukannya penelitian yang isinya mulai dari latar belakang sampai dengan pembahasan dan kesimpulan.

Berikut tahapan metode analisis tersebut penulis gambarkan dalam bentuk *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 13 Flowchart Penelitian



Lanjutan Gambar 4.13 Flowchart Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Gedung Hotel Rez

Data gedung yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| a. Jenis bangunan | = Gedung bertingkat |
| b. Material struktur | = Beton bertulang |
| c. Sistem struktur | = Rangka Pemikul Momen Khusus |
| d. Fungsi bangunan | = Perhotelan |
| e. Lokasi bangunan | = Semarang |
| f. Titik koordinat | = 6°59'13,661"LS - 110°25'40,046"BT |
| g. Tinggi bangunan | = 42,1 m |
| h. Jumlah lantai bangunan | = 9 Lantai |
| i. Mutu material beton, f_c | = 30 MPa dan 35 MPa |
| j. Mutu baja tulangan ulir, f_y | = 420 MPa |

5.2 Pembebanan Struktur Gedung

Perencanaan pembebanan pada penelitian ini meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019.

5.2.1 Beban mati (*dead load*)

Beban yang tergolong kedalam beban mati dalam perencanaan bangunan gedung ini adalah berat dari seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap. Perhitungan beban mati dapat dilihat sebagai berikut.

1. Beban mati akibat berat sendiri struktur bangunan (*self weight*)

Beban mati akibat berat sendiri struktur bangunan dipengaruhi oleh output dimensi penampang dari setiap elemen struktur yang direncanakan. Perhitungan berat sendiri struktur bangunan dapat diketahui dengan bantuan permodelan menggunakan *software SAP 2000* karena pada permodelan akan terhitung volume beban dengan mendefinisikan nilai berat volume material

sehingga beban sendiri struktur bangunan (*self weight*) per lantai bangunan maupun keseluruhan juga akan terdefiniskan.

2. Beban mati tambahan untuk pelat lantai

Beban mati tambahan yang digunakan dalam perencanaan berupa seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang didalamnya.

a. Keramik dan Spesi	= 110 kg/m ²
b. <i>Mechanical ducting</i>	= 19 kg/m ²
c. Rangka plafond	= 10 kg/m ²
d. Plafond	= 5 kg/m ²

Total beban mati tambahan pelat lantai	= 144 kg/m ²
	= 1,44 kN/m ²

Berdasarkan perhitungan diatas, beban mati tambahan untuk pelat lantai didapatkan sebesar 1,44 kN/m². Beban tersebut tidak termasuk beban akibat berat sendiri untuk pelat beton bertulang.

3. Beban mati tambahan untuk pelat atap

Beban mati tambahan yang digunakan dalam perencanaan pelat atap berupa seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang pada atap

Rangka plafond

a. Lapisan <i>Waterproof</i>	= 5 kg/m ²
b. <i>Mechanical Ducting</i>	= 19 kg/m ²
c. Plafond	= 5 kg/m ²
d. Rangka Plafond	= 10 kg/m ²

Total beban mati tambahan pelat atap	= 39 kg/m ²
	= 0,39 kN/m ²

5.2.2 Beban hidup (Live load)

Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung mengacu pada SNI-1727:2020 dan terbagi berdasarkan fungsi bangunan serta masing-masing ruang. Maka dari itu diperoleh beban hidup untuk gedung Hotel Rez sebagai berikut.

1. Beban hidup untuk lantai
 - a. Ruang pertemuan, koridor, restoran, Gimnasium, mushola dan lobby = 4,79 kN/m²
 - b. Ruang kantor = 2,40 kN/m²
 - c. Toilet = 2,87 kN/m²
 - d. Ruang kamar dan tempat parkir = 1,92 kN/m²
2. Beban hidup untuk atap
 - a. Lantai atap = 0,96 kN/m²

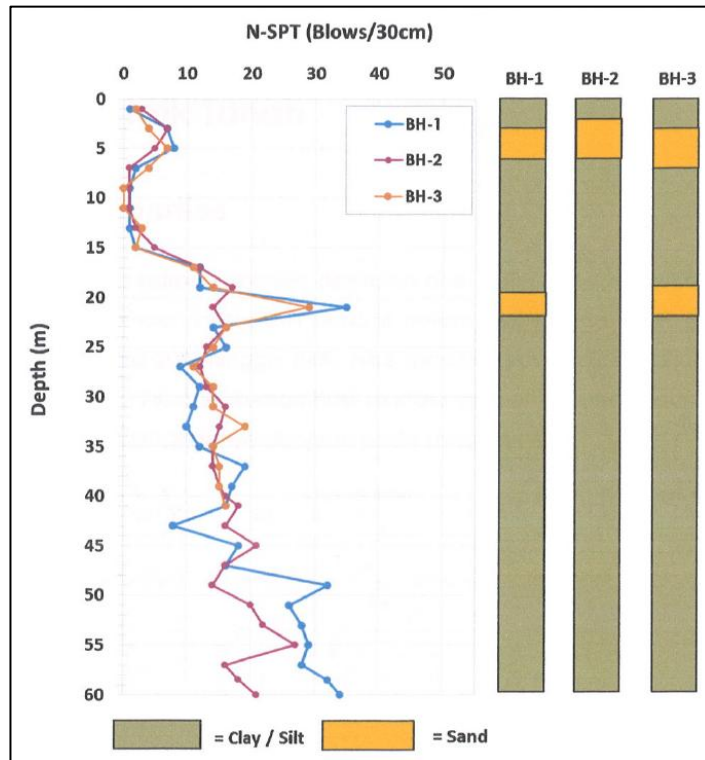
5.2.3 Beban gempa (*Seismic load*)

Dalam perencanaan bangunan gedung ini, perhitungan beban gempa pada struktur gedung mengacu pada SNI-1726:2019 dan dilakukan dengan beberapa tahapan berikut.

1. Penentuan Kategori risiko bangunan
Berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019, gedung perhotelan termasuk kedalam kategori II
2. Penentuan faktor keutamaan gempa
Berdasarkan Tabel 4 SNI 1726:2019, untuk kategori risiko II maka faktor keutamaan bangunan (I_e) untuk kategori tersebut adalah sebesar 1 (satu).
3. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)
Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS) untuk struktur umumnya mengacu pada SNI 1726:2019. Dikarenakan pada permodelan ini sistem struktur yang digunakan adalah Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang efektif digunakan pada wilayah dengan kategori gempa yang relatif tinggi yang mana bangunan memiliki rentang $SDS \geq 0,5$ dan bangunan masuk dalam kategori resiko II, maka dapat disimpulkan bahwa Kategori Desain Seismik yaitu D (KDS D).

4. Penentuan klasifikasi situs

Penentuan klasifikasi situs untuk menentukan jenis tanah ditentukan berdasarkan data tanah yang diperoleh dengan melakukan pengujian langsung di lapangan untuk mendapatkan gambaran jenis tanah. Berikut Gambar 5.1 profil tanah hasil pemboran dilokasi.



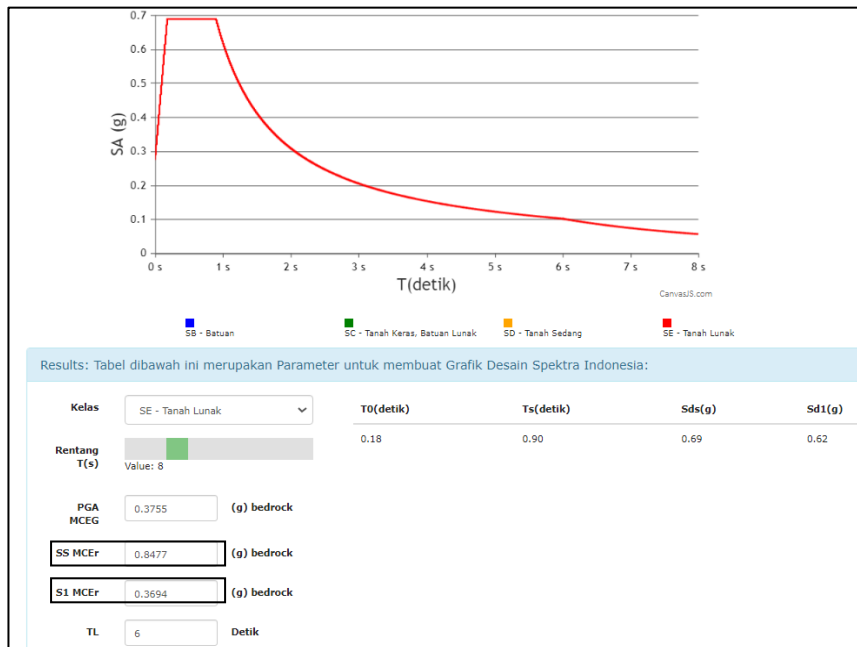
Gambar 5. 1 Profil N_{SPT} versus Kedalaman

Berdasarkan gambar diatas, secara umum menunjukkan bahwa dari permukaan tanah hingga kedalaman sekitar 2 m didominasi oleh lempung atau lanau dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak. Pada kedalaman 2 m hingga 7 m terdiri dari pasir kelanauan lepas. Berikutnya hingga kedalaman sekitar 15 m terdiri dari lapisan lempung yang sangat lunak hingga lunak. Dari hasil penyelidikan tanah secara umum, jenis tanah pada lokasi tersebut tergolong kedalam Tanah Lunak (SE).

5. Penentuan parameter percepatan batuan dasar

Penentuan parameter percepatan batuan dasar Parameter S_5 (percepatan tanah selama periode waktu yang singkat) dan S_1 (percepatan tanah selama periode 1

detik) diperoleh melalui *website* (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, diakses pada 25 Agustus 2024) dengan cara memasukan koordinat lokasi yang diasumsikan dalam perencanaan dengan klasifikasi situs yang digunakan adalah tanah lunak (SE).



Gambar 5. 2 Hasil Perhitungan Respon Spektrum Nilai S_s dan nilai S_1

(Sumber: *website* <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, diakses pada 25 Agustus 2024)

Berdasarkan Gambar 5.2 tersebut didapatkan nilai S_s sebesar 0,8477 g dan S_1 sebesar 0,3694 g.

6. Penentuan koefisien situs

- Menentukan nilai faktor amplifikasi F_a dan F_v

Faktor amplifikasi meliputi nilai getaran terkait percepatan pada getaran periode 0,2 detik (F_a) dan periode 1 detik (F_v). F_a ditentukan berdasarkan nilai S_s , S_1 dan klasifikasi situs melalui Tabel 6 SNI 1726-2019. Diperoleh nilai F_a sebesar 1,3 dan nilai F_v sebesar 2,5224.

- Menentukan parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode detik (S_{M1})

Nilai S_{MS} dan S_{MI} dihitung berdasarkan pasal 6.2 SNI 1726:2019 yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. Perhitungan parameter tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \cdot S_S \\ &= 1,3 \times 0,8447 \text{ g} \\ &= 1,1020 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \cdot S_I \\ &= 2,5224 \times 0,3694 \text{ g} \\ &= 0,9318 \text{ g} \end{aligned}$$

- c. Penentuan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1})

Nilai S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{D1} dihitung berdasarkan pasal 6.3 SNI 1726:2019 dan perhitungan parameter tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} 1,1020 \text{ g} \\ &= 0,7347 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{MI} \\ &= \frac{2}{3} 0,9318 \text{ g} \\ &= 0,6212 \text{ g} \end{aligned}$$

7. Perhitungan respon spektrum

Karena desain respon spektrum diperlukan dalam perencanaan ini, maka kurva spektrum respons desain harus disesuaikan dengan mengikuti ketentuan pasal 6.4 SNI 1726:2019 seperti perhitungan berikut.

- a. Nilai periode T_0 dan T_s dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \frac{0,6212 \text{ g}}{0,7347 \text{ g}} \\ &= 0,1691 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,6212 \text{ g}}{0,7347 \text{ g}} \\
 &= 0,8455 \text{ s}
 \end{aligned}$$

b. Apabila nilai $T < T_0$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\
 &= 0,7347 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,1691} \right) \\
 &= 0,2762
 \end{aligned}$$

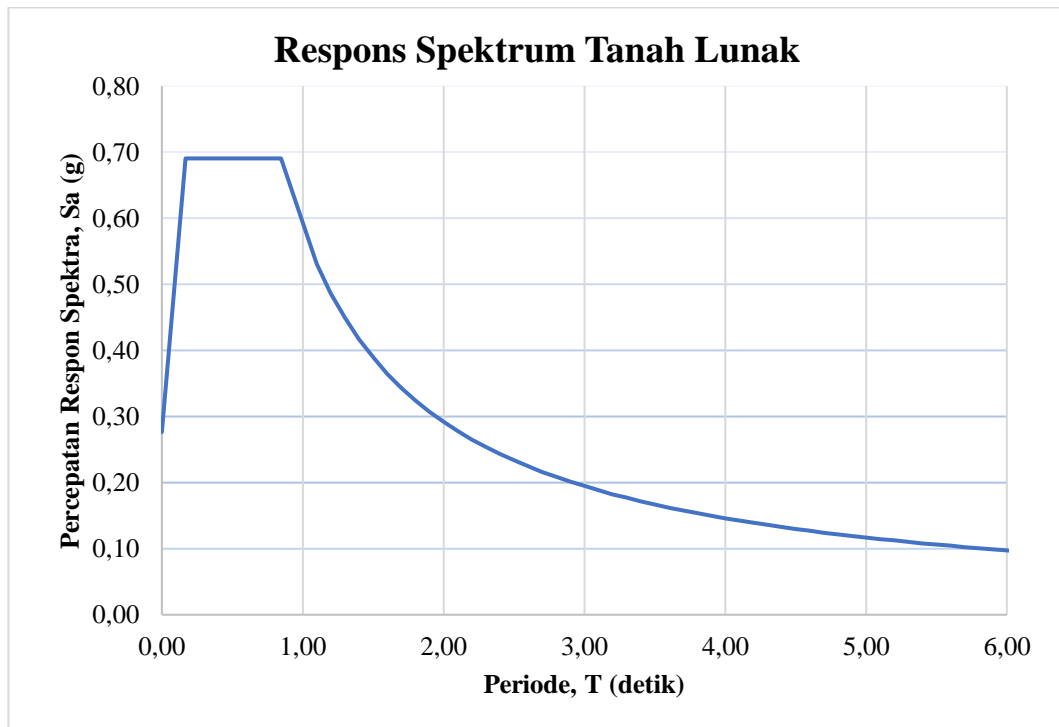
c. Apabila nilai $T_0 \leq T \leq T_s$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \\
 &= 0,7347 \text{ g}
 \end{aligned}$$

d. Apabila nilai $T_s < T$

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
 &= \frac{0,6212}{1,1} \\
 &= 0,5647
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada nilai T sebesar 1 sampai dengan 10 detik. Nilai-nilai S_a yang telah hitung tersebut kemudian dapat dijadikan dasar untuk membuat grafik respon spektrum. Adapun grafik respons spektrum dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5. 3 Grafik Respons Spektrum Tanah Lunak Gedung Hotel Rez

8. Penentuan faktor sistem struktur pemikul gaya seismik

Berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019, sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang tertera didalamnya. Koefisien modifikasi respons, (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) harus ditentukan sesuai dengan sistem struktur yang digunakan untuk rangka beton bertulang pemikul momen khusus.

$$R = 8$$

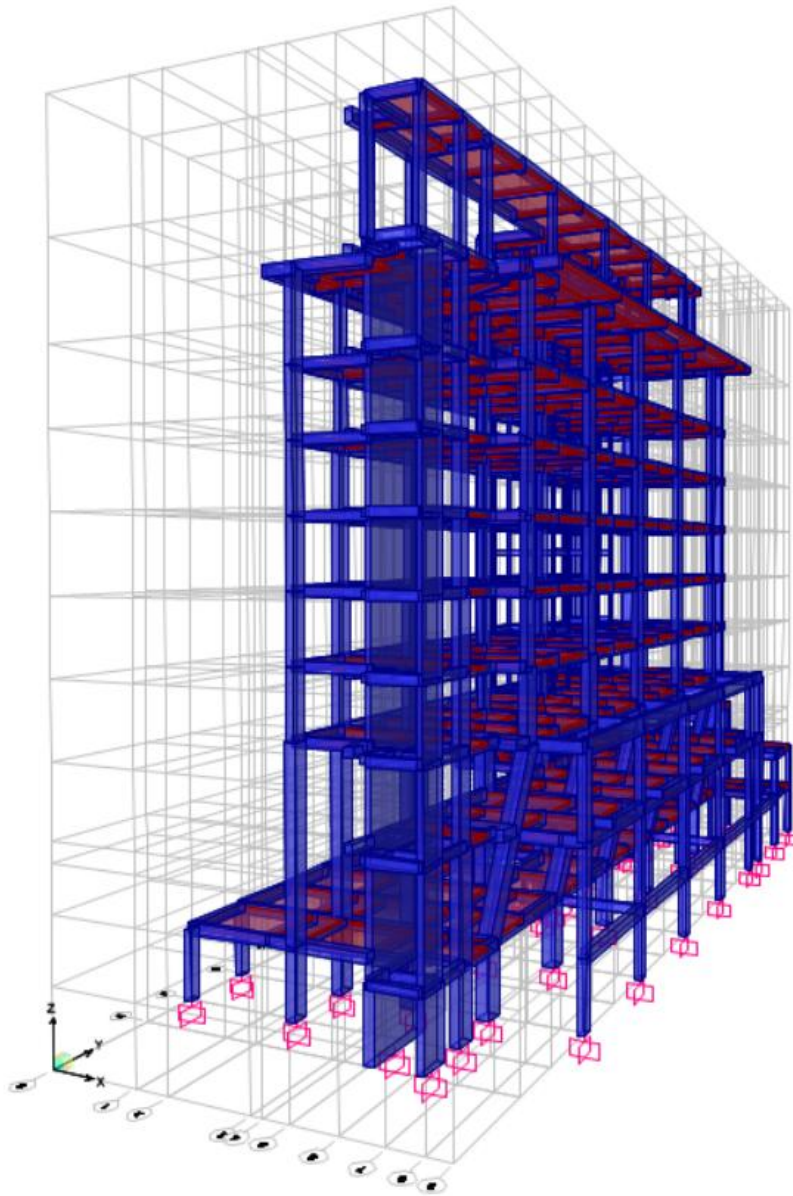
$$\Omega_0 = 3$$

$$C_d = 5,5$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala respon spektrum} &= \frac{I}{R} \times g \\ &= \frac{I}{8} \times 9,81 \\ &= 1,2263 \end{aligned}$$

5.3 Permodelan Struktur

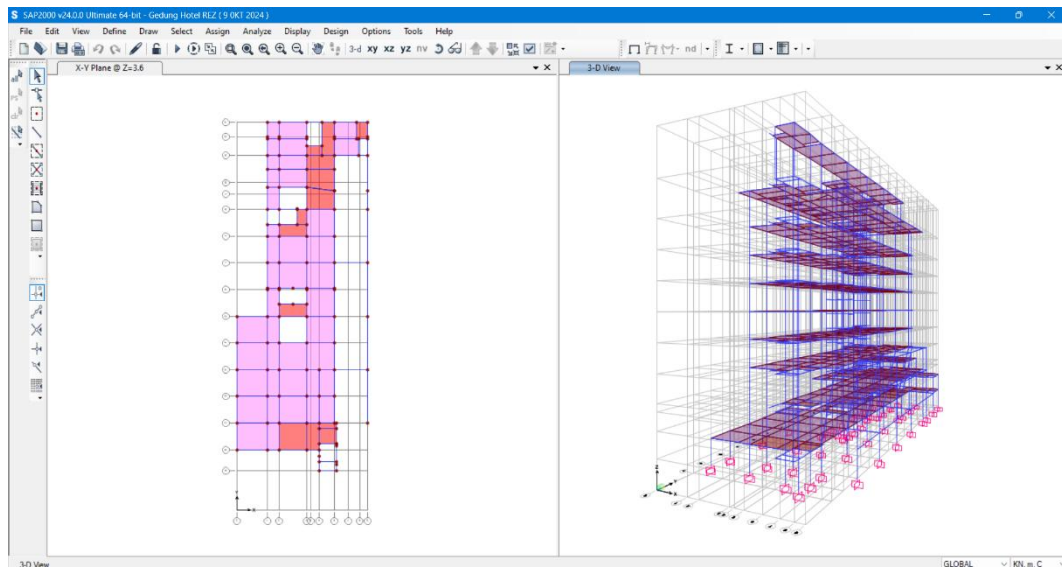
Pemodelan awal struktur Gedung Hotel Rez Semarang dilakukan dengan gambar DED (*Detail Engineering Design*) yang sudah ada kemudian dilakukan permodelan 3 dimensi untuk analisis dengan *software SAP 2000*.



Gambar 5. 4 Model Struktur Gedung Hotel Rez dengan *SAP2000*

5.4 Analisis Struktur Gedung Hotel Rez Semarang

Analisis struktur dilakukan untuk mendapatkan nilai periode kemudian dilakukan perhitungan beban gempa dan kontrol beban gempa tersebut. Analisis dilakukan dalam perangkat lunak SAP 2000 seperti tampak pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Analisis Permodelan Struktur

5.4.1 Perhitungan Respon Seismik

Setelah itu dilakukan perhitungan respon seismik mengacu pada SNI-1726:2019 sebagai berikut.

1. Penentuan Nilai Periode Fundamental

Periode fundamental pendekatan (T_a) dapat ditentukan dengan merujuk berdasarkan pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019 sebagai berikut.

a. Perhitungan Waktu Getar Struktur (T)

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times 42,1^{0,9} \\ &= 1,3497 \text{ detik} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Nilai Periode Maksimum

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u T_a \\ &= 1,4 \times 1,3497 \end{aligned}$$

$$= 1,8896 \text{ detik}$$

- a. Perolehan Nilai Periode Berdasarkan *Output SAP 2000* dengan model struktur dalam kondisi penampang retak

$$T_c = 1,7158 \text{ detik}$$

- d. Menentukan Nilai Periode Struktur Pakai

Berdasarkan hasil perhitungan, Karena diperoleh nilai yang memenuhi salah satu syarat $T_a < T_c < C_u T_a$ Maka nilai periode struktur yang digunakan adalah T_c sebesar 1,7158 detik

2. Perhitungan Gaya lateral ekuivalen

- a. Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan berdasarkan pasal 7.8.1.1 sesuai dengan persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{I_e} \\ &= \frac{0,7347}{\frac{8}{1}} \\ &= 0,0918 \text{ g} \end{aligned}$$

Untuk memperoleh $C_{s \max}$, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_{s \max} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,6212}{1,7158\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0,0453 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s \min} &= 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,7347 \times 1 \geq 0,01 \\ &= 0,0323 \leq 0,01 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas yang mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1 dapat disimpulkan bahwa nilai $C_{s \min} < C_s < C_{s \max}$, maka nilai C_s yang digunakan adalah $C_{s \max}$ sebesar 0,0453 g.

b. Perhitungan berat bangunan per lantai (W)

Berat sendiri bangunan diperoleh berdasarkan *Output SAP2000* dan dapat dilihat pada tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Awal Berat Sendiri per Lantai

Keterangan	Berat Sendiri Bangunan, W (kN)
Lantai 1	6006,21
Lantai 1A	1104,28
Lantai 2	5268,05
Lantai 2A	1235,23
Lantai 3	4877,60
Lantai 4	3565,99
Lantai 5	3568,06
Lantai 6	3430,76
Lantai 7	3420,40
Lantai 8	3403,12
Lantai 9	5139,23
Atap	2408,42
Total	43427,33

c. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar seismik (V) dihitung dengan merujuk pada pasal 7.8.1 SNI 1726:2019 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,04525 \times 43427,33 \\
 &= 1965,2873 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Distribusi gaya seismik vertikal dan horizontal

Gaya seismik lateral (F_x) pada setiap tingkat dihitung berdasarkan pasal 7.8.3 SNI 1726:2019 sebagai berikut.

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

Dan untuk nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx})

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

k = Eksponen terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut.

- Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, = 1
- Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, = 2
- Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Maka nilai k untuk $T = 1,7158$ dt dicari dengan menggunakan interpolasi sebagai berikut.

$$k = (2-1) + \frac{(1,7158-0,5)}{2}$$

$$= 1,6079$$

Hasil dari distribusi gaya seismik vertikal dan horizontal pada setiap lantai bangunan berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal

Lantai	w_i (kN)	h (m)	h^k	$w_i \times h^k$	C_{vx}	F_x (kN)
Lantai Atap +42.10	2408,42	42,1	408,962	984951,14	0,159	312,154
Lantai 9 +36.00	5139,23	36	317,965	1634092,97	0,264	517,882
Lantai 8 +31.40	3403,12	31,4	255,219	868540,22	0,140	275,260
Lantai 7 +27.80	3420,40	27,8	209,836	717721,60	0,116	227,462
Lantai 6 +24.20	3430,76	24,2	167,895	576006,75	0,093	182,550
Lantai 5 +20.60	3568,06	20,6	129,589	462379,71	0,075	146,539
Lantai 4 +17.00	3565,99	17	95,157	339327,60	0,055	107,541
Lantai 3 +13.40	4877,60	13,4	64,904	316575,81	0,051	100,330
Lantai 2A +10.00	1235,23	10	40,542	50077,90	0,008	15,871

Lanjutan Tabel 5. 2 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal

Lantai	w_i (kN)	h (m)	h^k	$w_i \times h^k$	C_{vx}	F_x (kN)
Lantai 2 +9.00	5268,05	9	34,224	180291,88	0,029	57,139
Lantai 1A +6.80	1104,28	6,8	21,807	24080,70	0,004	7,632
Lantai 1 +3.60	6006,21	3,6	7,843	47106,37	0,008	14,929
Lantai dasar +0.00	0,00	0	0,000	0,00	0,000	0,000
Total				6201152,63	1,000	1965,287

4. Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

Berdasarkan *Output SAP 2000* pada analisis tahap awal diperoleh nilai *base shear* seperti pada gambar 5.6.

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
Ex Static	LinStatic		-2180.761	1.218E-10	9.157E-11	-1.571E-09	-63701.0779	67281.8559
Ey Static	LinStatic		8.133E-11	-2180.761	-1.38E-11	63701.0779	6.696E-09	-26154.495
Ex RS	LinRespSpec	Max	1165.83	69.561	152.221	4989.0475	29615.5385	32139.0422
Ey RS	LinRespSpec	Max	69.222	1695.957	17.502	45003.9848	1729.8837	17805.4784

Gambar 5. 6 Base Reaction Gaya Gempa Statik Ekuivalen dan Gempa Dinamik Gedung Hotel Rez

Menurut gambar 5.6 diketahui nilai dari gaya geser dasar statik yang diakibatkan oleh beban gempa untuk arah x (V_x) sebesar -2180,761 kN dan arah y (V_y) sebesar -2180,761 kN; sedangkan untuk gaya geser dasar dinamik yang diakibatkan oleh beban gempa untuk arah x (V_x) sebesar 1165,830 kN dan arah y (V_y) sebesar 1695,957 kN.

5. Kontrol Persyaratan $V_{dinamik} > V_{statik}$

a. Arah x

$$V_{statik} = -2180,761 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} = 1165,830 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} > V_{statik} = 1165,830 > 2180,761 \text{ (tidak memenuhi syarat)}$$

$$\text{Evaluasi skala respon spektrum} = \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}}$$

$$= \frac{2180,761}{1165,830}$$

$$= 1,871$$

Skala ulang respon spektrum = Faktor Skala x Evaluasi Skala

$$= 1,226 \times 1,871$$

$$= 2,294$$

b. Arah y

$$V_{statik} = -2180,761 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} = 1695,957 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} > V_{statik} = 1695,957 > 2180,761 \text{ (tidak memenuhi syarat)}$$

$$\begin{aligned} \text{Evaluasi skala respon spektrum} &= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\ &= \frac{2180,761}{1695,957} \end{aligned}$$

$$= 1,286$$

Skala ulang respon spektrum = Faktor Skala x Evaluasi Skala

$$= 1,226 \times 1,286$$

$$= 1,577$$

Berdasarkan hasil kontrol persyaratan diatas maka diperlukan evaluasi skala untuk respon spektrum arah X dan Y. Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh skala ulang spektrum respon sebesar 2,294 untuk arah X dan 1,577 untuk arah Y, kemudian dilakukan input ulang pada *response spectrum case SAP2000* dan dilakukan pemeriksaan ulang terhadap hasil *base shear reaction* seperti pada gambar 5.7 di bawah ini.

S Base Reactions									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Base Reactions									
Filter:									
	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
	Ex Static	LinStatic		-2180.761	6.65E-11	1.075E-10	5.13E-10	-63701.0779	67281.8559
	Ey Static	LinStatic		-8.607E-12	-2180.761	-1.587E-11	63701.0779	4.881E-09	-26154.495
	Ex RS	LinRespSpec	Max	2674.414	159.573	349.195	11444.875	67938.0452	73726.9629
	Ey RS	LinRespSpec	Max	109.164	2674.524	27.601	70971.284	2728.0265	28079.2394

Gambar 5.7 Base Reaction Gaya Gempa Statik Ekuivalen dan Gempa Dinamik Gedung Hotel Rez Setelah Skala Ulang

Berdasarkan gambar 5.7 dapat diketahui bahwa nilai gaya geser dasar dinamik yang diakibatkan oleh beban gempa setelah skala ulang untuk arah X (V_x) sebesar 2674,414 kN dan arah Y (V_y) sebesar 2674,524 kN. Dari hasil *base shear reaction* tersebut dapat diketahui bahwa nilai $V_{dinamik} > V_{statik}$ sehingga telah memenuhi syarat.

6. Analisis respon spektrum ragam

Menurut SNI-1726:2019 pasal 7.9, varian yang cukup harus disertakan dalam analisis linier dinamis untuk mencapai partisipasi massa varian gabungan sebesar 100% dari massa struktur. Jumlah varian yang digunakan dalam perencanaan ini adalah 30 dan diizinkan untuk menyertakan jumlah varian minimum untuk mencapai massa varian gabungan minimal 90% dari massa aktual di setiap arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Setiap lantai bangunan memiliki tiga derajat kebebasan, yaitu pada arah sumbu x, sumbu y, dan torsi. Selain itu, bangunan yang dianalisis memiliki sepuluh lantai. Gambar 5.8 menunjukkan partisipasi massa varian berdasarkan Output SAP 2000.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	MODAL	Mode	1	1.715806	0.89443	0.00114	0.00021	0.80443	0.00114	0.00021	0.0003	0.00054	0.0003	0.0002	0.00054
2	MODAL	Mode	2	1.387788	0.05185	0.00954	2.133E-05	0.85608	0.01067	0.00024	0.0021	0.03269	0.48581	0.0024	0.33872
3	MODAL	Mode	3	1.164311	3.776E-05	0.64643	5.258E-07	0.85612	0.6571	0.00024	0.15297	1.317E-08	0.0132	0.15537	0.33872
4	MODAL	Mode	4	0.613091	0.10466	0.00039	0.00079	0.76078	0.6575	0.00103	6.803E-05	0.17171	0.00677	0.15544	0.51043
5	MODAL	Mode	5	0.517443	0.02067	0.00145	8.157E-05	0.78145	0.65895	0.00111	0.00046	0.02451	0.13365	0.15591	0.53493
6	MODAL	Mode	6	0.455164	0.05369	7.381E-05	0.00109	0.83514	0.65902	0.00022	0.00012	0.0674	0.00283	0.15603	0.60234
7	MODAL	Mode	7	0.396184	0.00127	0.1281	1.322E-05	0.83641	0.78713	0.00222	0.10486	0.00121	0.00201	0.26089	0.60355
8	MODAL	Mode	8	0.382899	0.02796	0.00582	0.00031	0.86427	0.79294	0.00252	0.0039	0.03247	0.09918	0.26478	0.63602
9	MODAL	Mode	9	0.323803	0.02796	5.722E-05	0.00112	0.89223	0.793	0.00365	0.00014	0.03448	0.00358	0.26482	0.6705
10	MODAL	Mode	10	0.283439	0.00764	0.00092	7.612E-06	0.89988	0.79391	0.00365	0.00018	0.01205	0.05327	0.2651	0.68256
11	MODAL	Mode	11	0.26277	0.00011	0.0387	2.569E-05	0.89999	0.83278	0.00366	0.02031	0.00022	0.00175	0.28541	0.68278
12	MODAL	Mode	12	0.262245	1.453E-05	0.00564	3.528E-06	0.9	0.83842	0.00369	0.00283	2.895E-05	0.00023	0.28803	0.68281
13	MODAL	Mode	13	0.237278	2.123E-07	0.00028	4.241E-08	0.9	0.8387	0.00369	0.00017	2.983E-07	1.134E-06	0.28821	0.68281
14	MODAL	Mode	14	0.221697	0.01358	1.8E-05	0.00034	0.91356	0.83871	0.00402	0.00013	0.0301	0.00221	0.28834	0.7129
15	MODAL	Mode	15	0.210466	1.761E-06	0.00023	4.641E-08	0.91356	0.83894	0.00402	0.00019	4.229E-06	1.833E-07	0.28853	0.71291
16	MODAL	Mode	16	0.198468	0.00186	0.00035	0.00139	0.91542	0.83929	0.00541	0.00097	0.0051	0.02289	0.2895	0.71801
17	MODAL	Mode	17	0.18259	4.06E-06	0.00704	2.269E-05	0.91542	0.84834	0.00543	0.00478	1.123E-05	4.847E-05	0.29428	0.71802
18	MODAL	Mode	18	0.178569	1.324E-05	0.04979	5.268E-06	0.91544	0.89613	0.00544	0.03238	2.998E-05	5.087E-06	0.32666	0.71805
19	MODAL	Mode	19	0.160674	0.01498	5.898E-05	0.01068	0.93042	0.89619	0.01612	1.984E-05	0.03665	0.002	0.32668	0.7547
20	MODAL	Mode	20	0.142108	0.00307	9.68E-05	0.16032	0.93348	0.89629	0.17643	0.00092	0.00689	0.00208	0.3278	0.78159
21	MODAL	Mode	21	0.135487	0.00503	0.0008	0.08165	0.93852	0.89708	0.25808	0.00148	0.01406	0.00221	0.32909	0.71565
22	MODAL	Mode	22	0.129591	0.01115	0.00094	2.807E-05	0.94967	0.89772	0.25811	0.00744	0.03844	0.00329	0.33653	0.81409
23	MODAL	Mode	23	0.118841	0.00012	0.02876	0.00044	0.94979	0.92848	0.25855	0.02637	0.00074	0.00143	0.3629	0.81483
24	MODAL	Mode	24	0.107389	0.02261	4.29E-05	0.00361	0.9724	0.92852	0.26206	1.639E-06	0.07337	0.00102	0.3629	0.8882

Gambar 5.8 Modal Participating Mass Ratio Output SAP 2000

Dilihat berdasarkan *Output SAP 2000* tersebut diperoleh nilai partisipasi massa pada ragam ke 23 sudah mencapai lebih dari 90 % yaitu sebesar 94,98% untuk

arah X dan 92,65% untuk arah Y. Sehingga diizinkan untuk menggunakan 23 ragam pada analisis.

5.4.2 Kombinasi Pembebanan

Untuk mendapatkan kekuatan (U) yang dibutuhkan, maka harus ditentukan kombinasi beban. Beban mati, beban hidup, dan beban gempa merupakan contoh kombinasi beban. Kombinasi beban yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pendekatan yang paling efektif, yang mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 4.2.2 yang membahas tentang kombinasi beban fundamental untuk perencanaan struktur. Menurut SNI 2847:2019 pasal 5.3.1, kombinasi beban tersebut juga sama dengan kombinasi beban yang dibutuhkan untuk beban terfaktor. Berikut ini adalah ilustrasi perhitungan kombinasi beban tersebut.

1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
 $= 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1,0E + 1,0 L$
 $= 1,2D + 1,0E_v + 1,0E_h + 1,0 L$
 $= 1,2D + 1,0 (0,2 S_{DS}D) + 1,0 \rho Q_E + 1,0 L$
 $= 1,2 + 1,0 (0,2 S_{DS}) D + 1,0 \rho E_x + 0,3 \rho E_y + 1,0L$
 $= 1,2 + 1,0 (0,2 \times 0,7347) D + 1,0 \rho E_x + 0,3 \rho E_y + 1,0L$
 $= 1,3496D + 1,0 \rho E_x + 0,3 \rho E_y + 1,0L$
4. $U = 1,3496D + 0,3 \rho E_x + 1,0 \rho E_y + 1,0L$
5. $U = 1,3496D - 1,0 \rho E_x + 0,3 \rho E_y + 1,0L$
6. $U = 1,3496D - 0,3 \rho E_x + 1,0 \rho E_y + 1,0L$
7. $U = 1,3496D + 1,0 \rho E_x - 0,3 \rho E_y + 1,0L$
8. $U = 1,3496D + 0,3 \rho E_x - 1,0 \rho E_y + 1,0L$
9. $U = 1,3496D - 1,0 \rho E_x - 0,3 \rho E_y + 1,0L$
10. $U = 1,3496D - 0,3 \rho E_x - 1,0 \rho E_y + 1,0L$
11. $U = 0,9D - 1,0E$
 $= 0,9D - 1,0E_v + 1,0E_h$
 $= 0,9D - 1,0 (0,2 S_{DS}D) + 1,0 \rho Q_E$

$$\begin{aligned}
&= 0,9 - 1,0 (0,2 S_{Ds}) D + 1,0 \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
&= 0,9 - 1,0 (0,2 \times 0,7347) D + 1,0 \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
&= 0,7531D + 1,0 \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
12. \quad U &= 0,7531D + 0,3 \rho Ex + 1,0 \rho Ey \\
13. \quad U &= 0,7531D - 1,0 \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
14. \quad U &= 0,7531D - 0,3 \rho Ex + 1,0 \rho Ey \\
15. \quad U &= 0,7531D + 1,0 \rho Ex - 0,3 \rho Ey \\
16. \quad U &= 0,7531D + 0,3 \rho Ex - 1,0 \rho Ey \\
17. \quad U &= 0,7531D - 1,0 \rho Ex - 0,3 \rho Ey \\
18. \quad U &= 0,7531D - 0,3 \rho Ex - 1,0 \rho Ey
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian direkapitulasi dan disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan	Jenis Beban				
	DL	ADL	LL	EX	EY
Kombinasi 1	1,400	1,400			
Kombinasi 2	1,200	1,200	1,600		
Kombinasi 3	1,347	1,347	1,000	1,000	0,300
Kombinasi 4	1,347	1,347	1,000	0,300	1,000
Kombinasi 5	1,347	1,347	1,000	-1,000	0,300
Kombinasi 6	1,347	1,347	1,000	-0,300	1,000
Kombinasi 7	1,347	1,347	1,000	1,000	-0,300
Kombinasi 8	1,347	1,347	1,000	0,300	-1,000
Kombinasi 9	1,347	1,347	1,000	-1,000	-0,300
Kombinasi 10	1,347	1,347	1,000	-0,300	-1,000
Kombinasi 11	0,753	0,753		1,000	0,300
Kombinasi 12	0,753	0,753		0,300	1,000
Kombinasi 13	0,753	0,753		-1,000	0,300

Lanjutan Tabel 5. 3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan	Jenis Beban				
	DL	ADL	LL	EX	EY
Kombinasi 14	0,753	0,753		-0,300	1,000
Kombinasi 15	0,753	0,753		1,000	-0,300
Kombinasi 16	0,753	0,753		0,300	-1,000
Kombinasi 17	0,753	0,753		-1,000	-0,300
Kombinasi 18	0,753	0,753		-0,300	-1,000

5.4.3 Kontrol Ketidakberaturan Bangunan

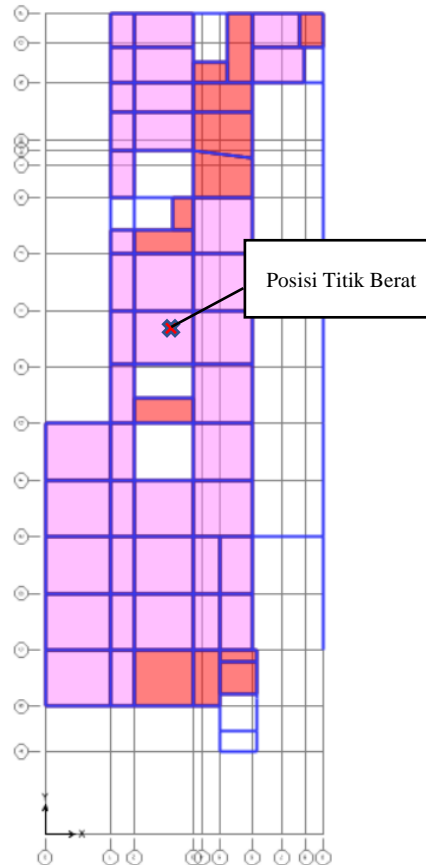
1. Pemeriksaan letak titik berat bangunan

Titik berat bangunan digunakan sebagai acuan ketika meninjau struktur kolom untuk memperoleh nilai *displacement* pada setiap lantai. Letak titik berat bangunan dapat diperoleh dengan menggunakan bantuan analisis *SAP 2000* dengan menggunakan fitur *display -> show table -> joint output -> joint masses*. Nilai titik berat bangunan berdasarkan *output SAP 2000* dapat dilihat pada Gambar 5.9 sedangkan untuk gambaran posisi letak titik berat bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

Joint Text	MassSource	U1 KN-s2/mm	U2 KN-s2/mm	U3 KN-s2/mm	R1 KN-mm-s2	R2 KN-mm-s2	R3 KN-mm-s2	CenterX mm	CenterY mm	CenterZ mm
~83	MSSSRC1	8.4E-05	8.4E-05	8.4E-05	0	0	0	11774.78	26461.09	36000
~84	MSSSRC1	6E-05	6E-05	6E-05	0	0	0	11524.93	25941.79	36000
~85	MSSSRC1	4.1E-05	4.1E-05	4.1E-05	0	0	0	11248.17	25819.49	36000
~86	MSSSRC1	8.4E-05	8.4E-05	8.4E-05	0	0	0	11371.41	26297.68	36000
~87	MSSSRC1	0.000106	0.000106	0.000106	0	0	0	11564.77	27403.32	36000
~88	MSSSRC1	9.2E-05	9.2E-05	9.2E-05	0	0	0	11660.82	26946.36	36000
~89	MSSSRC1	8.3E-05	8.3E-05	8.3E-05	0	0	0	11280.77	26784.56	36000
~90	MSSSRC1	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	0	0	0	11271.21	27164.65	36000
~91	MSSSRC1	0.00017	0.00017	0.00017	0	0	0	12667.19	27230.45	36000
~92	MSSSRC1	0.00012	0.00012	0.00012	0	0	0	13231.12	27342.45	36000
~93	MSSSRC1	8.9E-05	8.9E-05	8.9E-05	0	0	0	12050.61	27463.89	36000
~94	MSSSRC1	0.000115	0.000115	0.000115	0	0	0	12147.39	27062.44	36000
SumAccelUX	MSSSRC1	5.003092	0	0	0	0	0	11373.39	29843.4	19285.09
SumAccelUY	MSSSRC1	0	5.003092	0	0	0	0	11373.39	29843.4	19285.09
SumAccelUZ	MSSSRC1	0	0	5.003092	0	0	0	11373.39	29843.4	19285.09

Gambar 5. 9 Nilai Titik Berat Bangunan Struktur Gedung Hotel Rez

Sedangkan untuk gambaran posisi letak titik berat bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5. 10 Gambaran Posisi Titik Berat Bangunan Berdasarkan Arah X-Y

2. Kontrol ketidakberaturan vertikal gedung Hotel Rez

Dalam proses ini, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap permodelan struktur untuk dilakukan cek apakah pada permodelan tersebut terdapat ketidakberaturan vertikal. Pemeriksaan ketidakberaturan dilakukan dengan mengacu pada pasal 7.3.2.2 SNI 1726:2019. Adapun pemeriksaan ketidakberaturan vertikal adalah sebagai berikut.

- a. Ketidakberaturan tipe 1a (kekakuan tingkat lunak) dan ketidakberaturan tipe 1b (kekakuan tingkat lunak berlebihan)

Dalam mengevaluasi kekakuan setiap lantai dengan mempertimbangkan elemen kolom yang terletak paling dekat dengan pusat massa bangunan, maka fokus peninjauan akan jatuh pada kolom yang terletak dalam grid I-3. Nilai kekakuan setiap lantai (*story stiffness*) dihitung dengan asumsi gaya seismik lateral (F_x) pada setiap tingkat adalah gaya satu satuan atau bernilai 1. Berikut tahapan untuk mendapatkan nilai kekakuan.

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= U_2 \text{ lantai 3} - U_2 \text{ lantai 2} \\ &= 14,512 - 10,086 \\ &= 4,426 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_3 &= \frac{V_3}{\Delta_3} \\ &= \frac{7}{4,426} \\ &= 1,582 \text{ kN/mm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}K_i &< 70\% K_{i+1} \\ 1,582 \text{ kN/mm} &< 0,7 \times 1,337 \text{ kN/mm} \\ 1,582 \text{ kN/mm} &> 0,936 \text{ kN/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_i &< 80\% (\text{avg}K_{i+3}) \\ 1,582 \text{ kN/mm} &< 0,8 \times \frac{1,337+1,127+0,959}{3} \\ 1,582 \text{ kN/mm} &> 0,913 \text{ kN/mm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}K_i &< 60\% K_{i+1} \\ 1,582 \text{ kN/mm} &< 0,6 \times 1,337 \text{ kN/mm} \\ 1,582 \text{ kN/mm} &> 0,802 \text{ kN/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_i &< 70\% (\text{avg}K_{i+3}) \\ 1,582 \text{ kN/mm} &< 0,7 \times \frac{1,337+1,127+0,959}{3} \\ 1,582 \text{ kN/mm} &> 0,799 \text{ kN/mm}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk *Displacement* Simpangan pada setiap lantai yang ditentukan berdasarkan selisih nilai *displacement* dengan tingkat di atasnya. Nilai *displacement* dapat diperoleh menggunakan bantuan analisis *SAP 2000* dengan menggunakan fitur *display -> show table -> joint output -> joint displacement*. Adapun nilai *joint displacement* berdasarkan *output SAP 2000* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
78	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.00533	0.000129	9.212E-06	2E-05	0.000345	0.000249
78	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.00155	0.003617	8.4E-05	0.000403	0.000107	6.5E-05
137	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.002665	3.8E-05	0.000107	2.2E-05	0.000771	6.4E-05
137	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.00019	0.001172	2.7E-05	0.000407	5.6E-05	4.6E-05
158	Ex RS	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
158	Ey RS	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
209	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.010603	0.000222	0.000267	1.6E-05	0.000816	0.000374
209	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.000801	0.005423	6.4E-05	0.000669	7.2E-05	8.8E-05
315	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.016137	0.000248	0.000381	2E-05	0.000903	0.000585
315	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.001359	0.010086	9E-05	0.000805	8.6E-05	0.000164
438	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.023112	0.000378	0.000487	4.7E-05	0.001037	0.000818
438	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.001951	0.014512	0.000113	0.000845	9E-05	0.000228
607	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.039401	0.001089	0.000638	6.5E-05	0.001097	0.001333
607	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.003345	0.023437	0.000142	0.0008	9.7E-05	0.000326
872	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.06074	0.002438	0.000727	3.7E-05	0.000588	0.001951
872	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.005247	0.035667	0.000148	0.000435	5.1E-05	0.000448
1000	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.072103	0.002999	0.000741	3.8E-05	0.000487	0.002317
1000	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.006414	0.040071	0.000142	7.7E-05	4.3E-05	0.000525
1063	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.031249	0.00069	0.000572	6.1E-05	0.001131	0.001078
1063	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.002634	0.019	0.00013	0.000837	9.9E-05	0.000278
1154	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.04691	0.001507	0.000684	6.9E-05	0.001036	0.001557
1154	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.004006	0.027608	0.000149	0.000747	9.2E-05	0.00037
1237	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.053383	0.001946	0.000711	6.1E-05	0.00092	0.001752
1237	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.004588	0.031416	0.000151	0.000658	8.2E-05	0.000404

Gambar 5. 11 Nilai *Joint Displacement* Kolom I-3 Arah X dan Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Setelah parameter nilai untuk kekakuan setiap lantai telah diketahui, maka perhitungan nilai kekakuan dapat dilakukan dan direkapitulasi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.4. Selanjutnya dilakukan Pemeriksaan ketidakberaturan horizontal tipe 1a kekakuan tingkat lunak dan tipe 1b tingkat lunak berlebihan seperti pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kekakuan Lantai (K) Arah X dan Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Elevasi (mm)	F_x Ex Ey (kN)	V_x Ex (kN)	V_x Ey (kN)	δ_x Ex (mm)	δ_x Ey (mm)	Δ Ex (mm)	Δ Ey (mm)	K Ex (kN/mm)	K Ey (kN/mm)
Lantai 9	42100	1	1	1	72,1030	40,071	11,363	4,404	0,088	0,227
Lantai 8	36000	1	2	2	60,7400	35,667	7,357	4,251	0,272	0,470
Lantai 7	31400	1	3	3	53,3830	31,416	6,473	3,808	0,463	0,788
Lantai 6	27800	1	4	4	46,9100	27,608	7,509	4,171	0,533	0,959
Lantai 5	24200	1	5	5	39,4010	23,437	8,152	4,437	0,613	1,127
Lantai 4	20600	1	6	6	31,2490	19,000	8,137	4,488	0,737	1,337
Lantai 3	17000	1	7	7	23,1120	14,512	6,975	4,426	1,004	1,582
Lantai 2	13400	1	8	8	16,1370	10,086	5,534	4,663	1,446	1,716
Lantai 1A	9000	1	9	9	10,6030	5,423	5,273	1,806	1,707	4,983
Lantai 1	6800	1	10	10	5,3300	3,617	2,665	2,445	3,752	4,090
Lantai Dasar	3600	1	11	11	2,6650	1,172	2,665	1,172	4,128	9,386

Tabel 5. 5 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b Untuk Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Kekakuan Arah X (kN/mm)	Tipe 1a (Kekakuan Tingkat Lunak)			Tipe 1b (Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan)		
		70% dari 1 Tingkat diatas (kN/mm)	80% dari rata-rata 3 Tingkat diatas (kN/mm)	Status	60% dari 1 Tingkat diatas (kN/mm)	70% dari rata-rata 3 Tingkat diatas (kN/mm)	Status
Lantai 9	0,088	0,000	0,000	Regular	0,000	0,000	Regular
Lantai 8	0,272	0,062	0,070	Regular	0,053	0,062	Regular
Lantai 7	0,463	0,190	0,144	Regular	0,163	0,126	Regular
Lantai 6	0,533	0,324	0,220	Regular	0,278	0,192	Regular
Lantai 5	0,613	0,373	0,338	Regular	0,320	0,296	Regular
Lantai 4	0,737	0,429	0,429	Regular	0,368	0,376	Regular
Lantai 3	1,004	0,516	0,502	Regular	0,442	0,439	Regular
Lantai 2	1,446	0,703	0,628	Regular	0,602	0,549	Regular
Lantai 1A	1,707	1,012	0,850	Regular	0,867	0,744	Regular
Lantai 1	3,752	1,195	1,108	Regular	1,024	0,970	Regular
Lantai Dasar	4,128	2,627	1,841	Regular	2,251	1,611	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberatura

Tabel 5. 6 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b Untuk Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Kekakuan Arah Y (kN/mm)	Tipe 1a (Kekakuan Tingkat Lunak)			Tipe 1b (Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan)		
		70% dari 1 Tingkat diatas (kN/mm)	80% dari rata-rata 3 Tingkat diatas (kN/mm)	Status	60% dari 1 Tingkat diatas (kN/mm)	70% dari rata-rata 3 Tingkat diatas (kN/mm)	Status
Lantai 9	0,227	0,000	0,000	Regular	0,000	0,000	Regular
Lantai 8	0,470	0,159	0,182	Regular	0,136	0,159	Regular
Lantai 7	0,788	0,329	0,279	Regular	0,282	0,244	Regular
Lantai 6	0,959	0,551	0,396	Regular	0,473	0,347	Regular
Lantai 5	1,127	0,671	0,591	Regular	0,575	0,517	Regular
Lantai 4	1,337	0,789	0,766	Regular	0,676	0,671	Regular
Lantai 3	1,582	0,936	0,913	Regular	0,802	0,799	Regular
Lantai 2	1,716	1,107	1,079	Regular	0,949	0,944	Regular
Lantai 1A	4,983	1,201	1,236	Regular	1,029	1,081	Regular
Lantai 1	4,090	3,488	2,208	Regular	2,990	1,932	Regular
Lantai Dasar	9,386	2,863	2,877	Regular	2,454	2,517	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Berdasarkan Tabel 5.24 dan Tabel 5.25, struktur gedung Hotel Rez yang direncanakan tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1a (kekakuan tingkat lunak) maupun ketidakberaturan tipe 1b (kekakuan tingkat lunak berlebihan).

b. Ketidakberaturan Tipe 2 (Massa bangunan)

Pemeriksaan ketidakberaturan massa bangunan memerlukan berat bangunan atau massa bangunan. Berat sendiri bangunan diperoleh berdasarkan *Output SAP 2000* dan dapat dilihat pada Tabel 5.1. Setelah berat bangunan diketahui maka pemeriksaan ketidakberaturan massa dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Untuk Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Berat Bangunan, W (kN)	150 % Berat 1 Tingkat diatas (kN)	150 % Berat 1 Tingkat dibawah (kN)	Status
Lantai 9	2408,416	0,000	5418,936	Regular
Lantai 8	5139,229	3612,624	11563,265	Regular
Lantai 7	3403,116	7708,844	7657,011	Regular
Lantai 6	3420,396	5104,674	7695,891	Regular
Lantai 5	3430,764	5130,594	7719,219	Regular
Lantai 4	3568,056	5146,146	8028,126	Regular
Lantai 3	3565,992	5352,084	8023,482	Regular
Lantai 2A	4877,597	5348,988	10974,593	Regular
Lantai 2	1235,225	7316,396	2779,256	Regular
Lantai 1A	5268,047	1852,838	11853,106	Regular
Lantai 1	1104,277	7902,071	2484,623	Regular
Lantai Dasar	6006,214	1656,416	0,000	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Berdasarkan Tabel 5.7, struktur gedung Hotel Rez tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 2 (massa bangunan).

c. Ketidakberaturan Tipe 3 (Geometri Vertikal)

Pengecekan pada ketidakberaturan geometri vertikal dilakukan dengan mengalikan dimensi portal dalam arah sumbu X dan Y dengan peningkatan sebesar 130% pada tingkat di atas atau di bawahnya. Adapun pemeriksaan geometri vertikal dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9

**Tabel 5. 8 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Portal
Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez**

Keterangan	d_i (m)	130% d_i 1 Tingkat diatas (kN)	130% d_i 1 Tingkat dibawah (kN)	Status
Lantai 9	13,8	0,0	13,5	Regular
Lantai 8	10,4	17,9	13,5	Regular
Lantai 7	10,4	13,5	13,5	Regular
Lantai 6	10,4	13,5	13,5	Regular
Lantai 5	10,4	13,5	13,5	Regular
Lantai 4	10,4	13,5	17,3	Regular
Lantai 3	13,3	13,5	19,5	Regular
Lantai 2A	15	17,3	17,3	Regular
Lantai 2	15	19,5	19,5	Regular
Lantai 1A	15	19,5	25,4	Regular
Lantai 1	19,5	19,5	25,5	Regular
Lantai Dasar	19,6	25,4	0,0	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

**Tabel 5. 9 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Portal
Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez**

Keterangan	d_i (m)	130 % d_i 1 Tingkat diatas (kN)	Status	130 % d_i 1 Tingkat dibawah (kN)	Status
Lantai 9	43,2	0,0	Regular	56,1	Regular
Lantai 8	43,2	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 7	43,2	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 6	43,2	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 5	43,2	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 4	43,2	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 3	43,2	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 2A	10,0	56,1	Regular	56,1	Regular
Lantai 2	43,2	13,0	Irregular	13,0	Irregular
Lantai 1A	10,0	56,1	Regular	67,8	Regular
Lantai 1	52,2	13,0	Irregular	67,8	Regular
Lantai Dasar	52,2	67,8	Regular	0,0	Regular

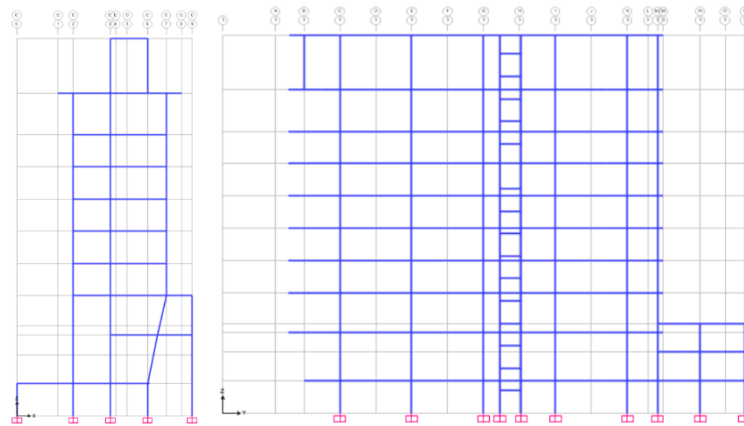
Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Berdasarkan Tabel 5.8 dan 5.9 diatas, struktur gedung Hotel Rez yang dianalisis memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3 (geometri vertikal) pada Lantai 1 dan Lantai 2 pada portal arah Y. Konsekuensi gedung dengan KDS D yang memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3 sesuai SNI 1726:2019, yaitu gedung tidak boleh dianalisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen saja.

- d. Ketidakberaturan Tipe 4 (Diskontinuitas Bidang Penahan Gaya Lateral)
Pemeriksaan ketidakberaturan diskontinuitas bidang penahan gaya lateral dilihat berdasarkan susunan portal penyusun gedung pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5. 12 Susunan Portal Gedung Hotel Rez Arah X dan Arah Y

Apabila diperhatikan melalui gambar dan mengingat bahwa gedung Hotel Rez memiliki struktur yang memiliki diskontinuitas kolom portal yang terputus dan offset (tidak menerus dari lantai dasar hingga atap), maka kita dapat menyimpulkan bahwa gedung Hotel Rez ini dapat dikatakan mengalami ketidakberaturan tipe 4 (ketidakberaturan dalam bidang penahan gaya lateral), baik dalam arah X maupun Y.

- e. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a (Kekuatan Tingkat Lemah) dan Tipe 5b (Kekuatan Tingkat Lemah Berlebihan)

Untuk menentukan apakah ada nilai kurang dari 80% atau kurang dari 60%, kekuatan geser pada setiap tingkat dibandingkan dengan kekuatan geser pada tingkat di atasnya. Nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx}) yang diperoleh dari rumus dalam subbab 5.4.1, dapat digunakan untuk

menentukan kekuatan tingkat. Berikut ini contoh perhitungan untuk ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan.

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{V_x}{V_3 + 1} \\ &= \frac{0,900}{0,846} \\ &= 1,065 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} V_n &< 80\% V_{ni} + 1 \\ 1,065 \text{ kN} &< 0,80 \times 1,065 \text{ kN} \\ 1,065 \text{ kN} &> 0,852 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} V_n &< 60\% V_{ni} + 1 \\ 1,065 \text{ kN} &< 0,60 \times 1,065 \text{ kN} \\ 1,065 \text{ kN} &> 0,639 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 5.10 memberikan ringkasan nilai kekuatan tingkat. Pemeriksaan ketidakberaturan kemudian dapat dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.11 di bawah ini.

Tabel 5. 10 Perhitungan Rasio Nilai Kekuatan Tingkat Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	w_i (kN)	h (m)	h^k	$w_i \times h^k$	C_{vx}	V_x	V_n
Lantai 9	2408,416	42,100	408,962	984951,136	0,159	0,159	0,000
Lantai 8	5139,229	36,000	317,965	1634092,967	0,264	0,422	2,659
Lantai 7	3403,116	31,400	255,219	868540,219	0,140	0,562	1,332
Lantai 6	3420,396	27,800	209,836	717721,601	0,116	0,678	1,206
Lantai 5	3430,764	24,200	167,895	576006,748	0,093	0,771	1,137
Lantai 4	3568,056	20,600	129,589	462379,707	0,075	0,846	1,097
Lantai 3	3565,992	17,000	95,157	339327,600	0,055	0,900	1,065
Lantai 2	4877,597	13,400	64,904	316575,805	0,051	0,951	1,057
Lantai 1A	1235,225	10,000	40,542	50077,896	0,008	0,959	1,008
Lantai 1	5268,047	9,000	34,224	180291,882	0,029	0,989	1,030
Lantai Dasar	1104,277	6,800	21,807	24080,700	0,004	0,992	1,004

Tabel 5. 11 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Kekuatan Tingkat V_n	Tipe 5a (Kekuatan Tingkat Lemah)		Tipe 5b (Kekuatan Tingkat Lemah Berlebih)	
		80% Nilai Kekuatan Tingkat	Status	60% Nilai Kekuatan Tingkat	Status
Lantai 9	0,000	0,000	Regular	0,000	Regular
Lantai 8	2,659	2,127	Regular	1,595	Regular
Lantai 7	1,332	1,065	Regular	0,799	Regular
Lantai 6	1,206	0,965	Regular	0,723	Regular
Lantai 5	1,137	0,910	Regular	0,682	Regular
Lantai 4	1,097	0,877	Regular	0,658	Regular
Lantai 3	1,065	0,852	Regular	0,639	Regular
Lantai 2	1,057	0,845	Regular	0,634	Regular
Lantai 1A	1,008	0,807	Regular	0,605	Regular
Lantai 1	1,030	0,824	Regular	0,618	Regular
Lantai Dasar	1,004	0,803	Regular	0,602	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

3. Kontrol ketidakberaturan horizontal gedung Hotel Rez

Pada proses analisis, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap pada model struktur untuk memeriksa apakah pada model struktur tersebut mempunyai ketidakberaturan horizontal. Pemeriksaan ketidakberaturan horizontal dilakukan dengan mengacu pada Tabel 13 SNI 1726:2019. Adapun pemeriksaan ketidakberaturan vertikal adalah sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan horizontal tipe 1a (Torsi) dan ketidakberaturan tipe 1b (Torsi Berlebih)

Pemeriksaan ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebih dapat diketahui berdasarkan nilai rasio simpang antar tingkat dengan rata-rata simpang. Nilai rasio antar tingkat dan nilai simpang rata-rata dapat diperoleh berdasarkan *Output SAP 2000* dengan menggunakan fitur *display -> show table -> joint output -> joint displacement* dan dengan meninjau kedua ujung struktur portal terpanjang pada arah X maupun arah Y. Karena Bentuk bangunan yang tidak simetris (tidak memiliki sumbu simetris) sehingga harus ditinjau dengan gaya gempa ortogonal artinya 100% untuk satu arah kemudian 30% ke arah yang tegak lurus. Untuk arah X kolom yang ditinjau adalah portal memanjang arah Y yaitu kolom pada grid B-6 untuk titik A dan kolom pada grid L-6 untuk titik B. Adapun nilai *joint displacement* arah X dapat dilihat pada gambar 5.13, 5.14, 5.15 dan 5.16 berikut.

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
31	+EX	LinStatic	0.002226	0.000215	0.000108	-6.5E-05	0.000822	1E-05
73	+EX	LinStatic	0.002221	0.00026	-0.000113	-0.000126	0.001079	-1.4E-05
82	+EX	LinStatic	0	0	0	0	0	0
232	+EX	LinStatic	0.007819	0.000674	0.000262	-8.9E-05	0.00082	0.000151
360	+EX	LinStatic	0.013593	0.001924	0.000383	-0.000357	0.001429	0.00012
429	+EX	LinStatic	0.020499	0.003154	0.000508	-0.000302	0.001496	7.1E-05
593	+EX	LinStatic	0.037355	0.00575	0.000705	-0.000323	0.001671	2.4E-05
892	+EX	LinStatic	0.061295	0.009785	0.000841	-0.000271	0.001149	-7.1E-05
1019	+EX	LinStatic	0.072468	0.011017	-0.000935	-0.000275	0.000583	-0.000147
1041	+EX	LinStatic	0.075355	0.011749	0.000856	-0.000217	0.000613	-0.000115
1042	+EX	LinStatic	0.028612	0.004416	0.00061	-0.000323	0.001691	6.2E-05
1142	+EX	LinStatic	0.04555	0.007079	0.000772	-0.000316	0.001536	-1.863E-06
1225	+EX	LinStatic	0.052823	0.008309	0.000814	-0.000293	0.001347	-3.2E-05
1314	+EX	LinStatic	0.060372	0.00957	-0.000892	-0.000273	0.001292	-0.00016
1317	+EX	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1318	+EX	LinStatic	0.010684	0.001394	-0.000273	-0.000255	0.001423	-5.9E-05
1319	+EX	LinStatic	0.016887	0.00271	-0.000438	-0.000311	0.001315	6.4E-05
1320	+EX	LinStatic	0.023613	0.003854	-0.000544	-0.000297	0.0019	2.6E-05
1322	+EX	LinStatic	0.03142	0.005013	-0.000633	-0.000304	0.001966	-6.706E-06
1323	+EX	LinStatic	0.039305	0.006175	-0.000727	-0.000289	0.001852	-4.8E-05
1324	+EX	LinStatic	0.046561	0.007285	-0.000798	-0.000282	0.001684	-9.1E-05
1325	+EX	LinStatic	0.053031	0.008335	-0.000849	-0.00026	0.001489	-0.000137

Gambar 5. 13 Joint Displacement Arah X (+EX) Pada Titik A dan B

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
31	+EX-	LinStatic	0.002191	-0.000344	0.000154	0.000192	0.000811	1.2E-05
73	+EX-	LinStatic	0.002216	-0.000209	-8.7E-05	9.1E-05	0.001076	-1.3E-05
82	+EX-	LinStatic	0	0	0	0	0	0
232	+EX-	LinStatic	0.007666	-0.001804	0.000386	0.000262	0.000807	0.000172
360	+EX-	LinStatic	0.013341	-0.002719	0.000586	0.000166	0.001431	0.00014
429	+EX-	LinStatic	0.020414	-0.003578	0.000794	0.000219	0.001564	6.9E-05
593	+EX-	LinStatic	0.038013	-0.005224	0.001121	0.000171	0.001767	-2.9E-05
892	+EX-	LinStatic	0.063023	-0.007395	0.001348	0.000104	0.001212	-0.000191
1019	+EX-	LinStatic	0.068801	-0.010143	-0.000775	-7E-05	0.000465	-0.000287
1041	+EX-	LinStatic	0.077429	-0.008086	0.001376	-5.434E-06	0.000685	-0.000274
1042	+EX-	LinStatic	0.028856	-0.004439	0.000963	0.000193	0.001781	3.6E-05
1142	+EX-	LinStatic	0.046597	-0.005968	0.001232	0.000161	0.001626	-7.9E-05
1225	+EX-	LinStatic	0.054235	-0.00665	0.001303	0.000142	0.001422	-0.000132
1314	+EX-	LinStatic	0.057403	-0.008688	-0.000715	8.1E-05	0.001225	-0.000272
1317	+EX-	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1318	+EX-	LinStatic	0.010672	-0.000991	-0.000209	0.000136	0.001418	-5.4E-05
1319	+EX-	LinStatic	0.016816	-0.00192	-0.000331	0.00016	0.001273	6.6E-05
1320	+EX-	LinStatic	0.023256	-0.002925	-0.000411	0.00027	0.001796	1.4E-05
1322	+EX-	LinStatic	0.030575	-0.004066	-0.00048	0.000257	0.001829	-3.3E-05
1323	+EX-	LinStatic	0.037888	-0.005255	-0.000557	0.00023	0.001712	-9.5E-05
1324	+EX-	LinStatic	0.044593	-0.006397	-0.000619	0.000217	0.001552	-0.000161
1325	+EX-	LinStatic	0.050557	-0.007455	-0.000668	0.000206	0.001375	-0.000225

Gambar 5. 14 Joint Displacement Arah X (+EX-) Pada Titik A dan B

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
31	-EX+	LinStatic	-0.002191	0.000344	-0.000154	-0.000192	-0.000811	-1.2E-05
73	-EX+	LinStatic	-0.002216	0.000209	8.7E-05	-9.1E-05	-0.001076	1.3E-05
82	-EX+	LinStatic	0	0	0	0	0	0
232	-EX+	LinStatic	-0.007666	0.001804	-0.000386	-0.000262	-0.000807	-0.000172
360	-EX+	LinStatic	-0.013341	0.002719	-0.000586	-0.000166	-0.001431	-0.00014
429	-EX+	LinStatic	-0.020414	0.003578	-0.000794	-0.000219	-0.001564	-6.9E-05
593	-EX+	LinStatic	-0.038013	0.005224	-0.001121	-0.000171	-0.001767	2.9E-05
892	-EX+	LinStatic	-0.063023	0.007395	-0.001348	-0.000104	-0.001212	0.000191
1019	-EX+	LinStatic	-0.068801	0.010143	0.000775	7E-05	-0.000465	0.000267
1041	-EX+	LinStatic	-0.077429	0.008086	-0.001376	5.434E-06	-0.000665	0.000274
1042	-EX+	LinStatic	-0.028856	0.004439	-0.000963	-0.000193	-0.001781	-3.6E-05
1142	-EX+	LinStatic	-0.046597	0.005968	-0.001232	-0.000161	-0.001626	7.9E-05
1225	-EX+	LinStatic	-0.054235	0.00685	-0.001303	-0.000142	-0.001422	0.000132
1314	-EX+	LinStatic	-0.057403	0.008688	0.000715	-8.1E-05	-0.001225	0.000272
1317	-EX+	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1318	-EX+	LinStatic	-0.010672	0.000991	0.000209	-0.000136	-0.001418	5.4E-05
1319	-EX+	LinStatic	-0.016816	0.00192	0.000331	-0.00016	-0.001273	-6.6E-05
1320	-EX+	LinStatic	-0.023256	0.002925	0.000411	-0.00027	-0.001796	-1.4E-05
1322	-EX+	LinStatic	-0.030575	0.004066	0.00048	-0.000257	-0.001829	3.3E-05
1323	-EX+	LinStatic	-0.037888	0.005255	0.000557	-0.00023	-0.001712	9.5E-05
1324	-EX+	LinStatic	-0.044593	0.006397	0.000619	-0.000217	-0.001552	0.000161
1325	-EX+	LinStatic	-0.050557	0.007455	0.000668	-0.000206	-0.001375	0.000225

Gambar 5. 15 Joint Displacement Arah X (-EX) Pada Titik A dan B

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
31	-EX	LinStatic	-0.002226	-0.000215	-0.000108	6.5E-05	-0.000822	-1E-05
73	-EX	LinStatic	-0.002221	-0.00026	0.000113	0.000126	-0.001079	1.4E-05
82	-EX	LinStatic	0	0	0	0	0	0
232	-EX	LinStatic	-0.007819	-0.000674	-0.000262	8.9E-05	-0.00082	-0.000151
360	-EX	LinStatic	-0.013593	-0.001924	-0.000383	0.000357	-0.001429	-0.00012
429	-EX	LinStatic	-0.020499	-0.003154	-0.000508	0.000302	-0.001496	-7.1E-05
593	-EX	LinStatic	-0.037355	-0.00575	-0.000705	0.000323	-0.001671	-2.4E-05
892	-EX	LinStatic	-0.061295	-0.009785	-0.000841	0.000271	-0.001149	7.1E-05
1019	-EX	LinStatic	-0.072468	-0.011017	0.000935	0.000275	-0.000583	0.000147
1041	-EX	LinStatic	-0.075355	-0.011749	-0.000856	0.000217	-0.000613	0.000115
1042	-EX	LinStatic	-0.028612	-0.004416	-0.00061	0.000323	-0.001691	-6.2E-05
1142	-EX	LinStatic	-0.04555	-0.007079	-0.000772	0.000316	-0.001536	1.863E-06
1225	-EX	LinStatic	-0.052823	-0.008309	-0.000814	0.000293	-0.001347	3.2E-05
1314	-EX	LinStatic	-0.060372	-0.00957	0.000892	0.000273	-0.001292	0.00016
1317	-EX	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1318	-EX	LinStatic	-0.010684	-0.001394	0.000273	0.000255	-0.001423	5.9E-05
1319	-EX	LinStatic	-0.016887	-0.00271	0.000438	0.000311	-0.001315	-6.4E-05
1320	-EX	LinStatic	-0.023613	-0.003854	0.000544	0.000297	-0.0019	-2.6E-05
1322	-EX	LinStatic	-0.03142	-0.005013	0.000633	0.000304	-0.001966	6.706E-06
1323	-EX	LinStatic	-0.039305	-0.006175	0.000727	0.000289	-0.001852	4.8E-05
1324	-EX	LinStatic	-0.046561	-0.007285	0.000798	0.000282	-0.001684	9.1E-05
1325	-EX	LinStatic	-0.053031	-0.008335	0.000849	0.00026	-0.001489	0.000137

Gambar 5. 16 Joint Displacement Arah X (-EX+) Pada Titik A dan B

Kemudian Untuk arah Y kolom yang ditinjau adalah portal memanjang arah X yaitu kolom pada grid B-6 untuk titik A dan kolom pada grid B-2 untuk titik B. Adapun nilai *joint displacement* arah Y dapat dilihat pada gambar 5.17, 5.18, 5.19 dan 5.20 berikut.

S Joint Displacements									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
Filter:									
	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
	54	+EY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	73	+EY	LinStatic	0.000876	0.000817	-8.6E-05	-0.000378	0.000427	9.788E-06
	101	+EY	LinStatic	0.000693	0.000787	0.000111	-0.000254	0.000198	1.6E-05
	212	+EY	LinStatic	0.003222	0.003815	0.000267	-0.000552	0.000361	4.9E-05
	287	+EY	LinStatic	0.005044	0.007303	0.000359	-0.000601	0.000282	8.2E-05
	422	+EY	LinStatic	0.007219	0.010602	0.000447	-0.000636	0.000432	0.000149
	587	+EY	LinStatic	0.012467	0.017491	0.000568	-0.00059	0.000453	0.000297
	866	+EY	LinStatic	0.019683	0.027665	0.000652	-0.000275	0.000326	0.00049
	972	+EY	LinStatic	0.00982199...	0.014034	0.000516	-0.000647	0.00047	0.000214
	1001	+EY	LinStatic	0.024168	0.032038	0.000674	-0.000249	0.000277	0.000596
	1019	+EY	LinStatic	0.035233	0.037047	-0.00062	-0.000423	0.000421	0.000562
	1136	+EY	LinStatic	0.014929	0.020857	0.00061	-0.000517	0.000416	0.000359
	1219	+EY	LinStatic	0.017154	0.024004	0.000637	-0.000468	0.000376	0.000424
	1314	+EY	LinStatic	0.029127	0.031907	-0.00063	-0.000654	0.000635	0.000512
	1317	+EY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	1318	+EY	LinStatic	0.004226	0.004172	-0.000208	-0.000694	0.000577	2.1E-05
	1319	+EY	LinStatic	0.006866	0.008099	-0.000339	-0.000842	0.000607	0.000115
	1320	+EY	LinStatic	0.01006	0.011849	-0.000423	-0.000991	0.000934	0.000168
	1322	+EY	LinStatic	0.013994	0.015864	-0.000489	-0.000988	0.001013	0.000224
	1323	+EY	LinStatic	0.0181	0.019972	-0.000553	-0.000919	0.000974	0.000297
	1324	+EY	LinStatic	0.021923	0.023911	-0.000595	-0.000884	0.000895	0.00037
	1325	+EY	LinStatic	0.02536	0.027594	-0.000619	-0.000824	0.000785	0.000432

Gambar 5. 17 Joint Displacement Arah Y (+EY) Pada Titik A dan B

S Joint Displacements									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Joint Displacements									
Filter:									
	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
	54	-EY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	73	-EY	LinStatic	-0.000876	-0.000817	8.6E-05	0.000378	-0.000427	-9.788E-06
	101	-EY	LinStatic	-0.000693	-0.000787	-0.000111	0.000254	-0.000198	-1.6E-05
	212	-EY	LinStatic	-0.003222	-0.003815	-0.000267	0.000552	-0.000361	-4.9E-05
	287	-EY	LinStatic	-0.005044	-0.007303	-0.000359	0.000601	-0.000282	-8.2E-05
	422	-EY	LinStatic	-0.007219	-0.010602	-0.000447	0.000636	-0.000432	-0.000149
	587	-EY	LinStatic	-0.012467	-0.017491	-0.000568	0.00059	-0.000453	-0.000297
	866	-EY	LinStatic	-0.019683	-0.027665	-0.000652	0.000275	-0.000326	-0.00049
	972	-EY	LinStatic	-0.0098219...	-0.014034	-0.000516	0.000647	-0.00047	-0.000214
	1001	-EY	LinStatic	-0.024168	-0.032038	-0.000674	0.000249	-0.000277	-0.000596
	1019	-EY	LinStatic	-0.035233	-0.037047	0.00062	0.000423	-0.000421	-0.000562
	1136	-EY	LinStatic	-0.014929	-0.020857	-0.00061	0.000517	-0.000416	-0.000359
	1219	-EY	LinStatic	-0.017154	-0.024004	-0.000637	0.000468	-0.000376	-0.000424
	1314	-EY	LinStatic	-0.029127	-0.031907	0.00063	0.000654	-0.000635	-0.000512
	1317	-EY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	1318	-EY	LinStatic	-0.004226	-0.004172	0.000208	0.000694	-0.000577	-2.1E-05
	1319	-EY	LinStatic	-0.006866	-0.008099	0.000339	0.000842	-0.000607	-0.000115
	1320	-EY	LinStatic	-0.01006	-0.011849	0.000423	0.000991	-0.000934	-0.000168
	1322	-EY	LinStatic	-0.013994	-0.015864	0.000489	0.000988	-0.001013	-0.000224
	1323	-EY	LinStatic	-0.0181	-0.019972	0.000553	0.000919	-0.000974	-0.000297
	1324	-EY	LinStatic	-0.021923	-0.023911	0.000595	0.000884	-0.000895	-0.00037
	1325	-EY	LinStatic	-0.02536	-0.027594	0.000619	0.000824	-0.000785	-0.000432

Gambar 5. 18 Joint Displacement Arah Y (+EY-) Pada Titik A dan B

S Joint Displacements									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Joint Displacements									
Filter:									
	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
	54	+EY-	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	73	+EY-	LinStatic	-0.00066	0.000774	-1.4E-05	-0.000355	-0.00032	1.433E-06
	101	+EY-	LinStatic	-0.000642	0.000848	-1.1E-05	-0.000288	-0.000183	3.065E-06
	212	+EY-	LinStatic	-0.002773	0.004306	-2.8E-05	-0.000607	-0.000283	-4.5E-05
	287	+EY-	LinStatic	-0.004238	0.007913	-6E-05	-0.000625	-0.00024	-4.4E-05
	422	+EY-	LinStatic	-0.006208	0.011293	-9.1E-05	-0.000659	-0.000392	-1.1E-05
	587	+EY-	LinStatic	-0.010817	0.018241	-0.00014	-0.000602	-0.000399	8.3E-05
	866	+EY-	LinStatic	-0.017165	0.028316	-0.000173	-0.000296	-0.000276	0.000224
	972	+EY-	LinStatic	-0.008494	0.01477	-0.000117	-0.000663	-0.000412	2.4E-05
	1001	+EY-	LinStatic	-0.020723	0.032675	-0.000164	-0.000282	-0.000202	0.000284
	1019	+EY-	LinStatic	-0.015362	0.035074	-5.776E-06	-0.000289	3.5E-05	0.000284
	1136	+EY-	LinStatic	-0.013018	0.02159	-0.000158	-0.000527	-0.000358	0.000126
	1219	+EY-	LinStatic	-0.014912	0.024716	-0.000167	-0.000475	-0.000317	0.000172
	1314	+EY-	LinStatic	-0.012866	0.030265	-5.1E-05	-0.000559	-0.000272	0.000246
	1317	+EY-	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	1318	+EY-	LinStatic	-0.0032	0.003913	-3.5E-05	-0.000635	-0.00042	8.97E-06
	1319	+EY-	LinStatic	-0.004968	0.007592	-6.1E-05	-0.000762	-0.000322	-2.4E-05
	1320	+EY-	LinStatic	-0.006486	0.011148	-7.7E-05	-0.00094	-0.000387	1.1E-05
	1322	+EY-	LinStatic	-0.007963	0.014975	-8.6E-05	-0.000926	-0.000346	4.5E-05
	1323	+EY-	LinStatic	-0.00931	0.018892	-8.8E-05	-0.000855	-0.000307	9.5E-05
	1324	+EY-	LinStatic	-0.010505	0.022648	-8.2E-05	-0.000821	-0.00027	0.000147
	1325	+EY-	LinStatic	-0.011545	0.026157	-7.1E-05	-0.000768	-0.000244	0.000194

Gambar 5. 19 Joint Displacement Arah Y (-EY) Pada Titik A dan B

S Joint Displacements									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted						Joint Displacements			
Filter:									
	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
	54	-EY+	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	73	-EY+	LinStatic	0.00066	-0.000774	1.4E-05	0.000355	0.00032	-1.433E-06
	101	-EY+	LinStatic	0.000642	-0.000848	1.1E-05	0.000288	0.000183	-3.065E-06
	212	-EY+	LinStatic	0.002773	-0.004306	2.8E-05	0.000607	0.000283	4.5E-05
	287	-EY+	LinStatic	0.004238	-0.007913	6E-05	0.000625	0.00024	4.4E-05
	422	-EY+	LinStatic	0.006208	-0.011293	9.1E-05	0.000659	0.000392	1.1E-05
	587	-EY+	LinStatic	0.010817	-0.018241	0.00014	0.000602	0.000399	-8.3E-05
	866	-EY+	LinStatic	0.017165	-0.028316	0.000173	0.000296	0.000276	-0.000224
	972	-EY+	LinStatic	0.008494	-0.01477	0.000117	0.000663	0.000412	-2.4E-05
	1001	-EY+	LinStatic	0.020723	-0.032675	0.000164	0.000282	0.000202	-0.000284
	1019	-EY+	LinStatic	0.015362	-0.035074	5.776E-06	0.000289	-3.5E-05	-0.000284
	1136	-EY+	LinStatic	0.013018	-0.02159	0.000158	0.000527	0.000358	-0.000126
	1219	-EY+	LinStatic	0.014912	-0.024716	0.000167	0.000475	0.000317	-0.000172
	1314	-EY+	LinStatic	0.012866	-0.030265	5.1E-05	0.000559	0.000272	-0.000246
	1317	-EY+	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	1318	-EY+	LinStatic	0.0032	-0.003913	3.5E-05	0.000635	0.00042	-8.97E-06
	1319	-EY+	LinStatic	0.004968	-0.007592	6.1E-05	0.000762	0.000322	2.4E-05
	1320	-EY+	LinStatic	0.006486	-0.011148	7.7E-05	0.00094	0.000387	-1.1E-05
	1322	-EY+	LinStatic	0.007963	-0.014975	8.6E-05	0.000926	0.000346	-4.5E-05
	1323	-EY+	LinStatic	0.00931	-0.018892	8.8E-05	0.000855	0.000307	-9.5E-05
	1324	-EY+	LinStatic	0.010505	-0.022648	8.2E-05	0.000821	0.00027	-0.000147
	1325	-EY+	LinStatic	0.011545	-0.026157	7.1E-05	0.000768	0.000244	-0.000194

Gambar 5. 20 Joint Displacement Arah Y (-EY+) Pada Titik A dan B

Nilai *Joint Displacement* arah X dan arah Y tersebut dijadikan sebagai dasar melakukan perhitungan simpangan antar tingkat yang kemudian dapat dilakukan pemeriksaan terhadap ketidakberaturan torsi dan dapat dilihat pada tabel 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 dan 5.19 untuk arah X dan Y.

Tabel 5. 12 Pemeriksaan Tahap Awal Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (+Ex) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata-Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status	Ax	Ax Pakai
Lantai 9	0,072	0,075	0,012	0,014	0,013	0,014	1,075	Regular	0,722	1,000
Lantai 8	0,060	0,061	0,007	0,008	0,008	0,008	1,072	Regular	0,705	1,000
Lantai 7	0,053	0,053	0,006	0,007	0,007	0,007	1,058	Regular	0,697	1,000
Lantai 6	0,047	0,046	0,007	0,008	0,008	0,008	1,061	Regular	0,710	1,000
Lantai 5	0,039	0,037	0,008	0,009	0,008	0,009	1,052	Regular	0,730	1,000
Lantai 4	0,031	0,029	0,008	0,008	0,008	0,008	1,019	Regular	0,761	1,000
Lantai 3	0,024	0,020	0,007	0,007	0,007	0,007	1,013	Regular	0,796	1,000
Lantai 2	0,017	0,014	0,006	0,006	0,006	0,006	1,036	Regular	0,853	1,000
Lantai 1	0,011	0,008	0,008	0,006	0,007	0,008	1,204	Irregular 1a	0,926	1,000
Lantai Dasar	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	1,001	Regular	0,696	1,000

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 13 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (+EX-) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata- Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status	Ax	Ax Pakai
Lantai 9	0,069	0,077	0,011	0,014	0,013	0,014	1,117	Regular	0,779	1,000
Lantai 8	0,057	0,063	0,007	0,009	0,008	0,009	1,124	Regular	0,761	1,000
Lantai 7	0,051	0,054	0,006	0,008	0,007	0,008	1,123	Regular	0,744	1,000
Lantai 6	0,045	0,047	0,007	0,009	0,008	0,009	1,123	Regular	0,725	1,000
Lantai 5	0,038	0,038	0,007	0,009	0,008	0,009	1,112	Regular	0,697	1,000
Lantai 4	0,031	0,029	0,007	0,008	0,008	0,008	1,071	Regular	0,735	1,000
Lantai 3	0,023	0,020	0,006	0,007	0,007	0,007	1,047	Regular	0,788	1,000
Lantai 2	0,017	0,013	0,006	0,006	0,006	0,006	1,040	Regular	0,864	1,000
Lantai 1	0,011	0,008	0,008	0,005	0,007	0,008	1,214	Irregular 1a	0,941	1,000
Lantai Dasar	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	1,006	Regular	0,702	1,000

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 14 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (-EX) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata- Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status
Lantai 9	-0,072	-0,075	-0,012	-0,014	-0,013	-0,012	0,925	Regular
Lantai 8	-0,060	-0,061	-0,007	-0,008	-0,008	-0,007	0,928	Regular
Lantai 7	-0,053	-0,053	-0,006	-0,007	-0,007	-0,006	0,942	Regular
Lantai 6	-0,047	-0,046	-0,007	-0,008	-0,008	-0,007	0,939	Regular
Lantai 5	-0,039	-0,037	-0,008	-0,009	-0,008	-0,008	0,948	Regular
Lantai 4	-0,031	-0,029	-0,008	-0,008	-0,008	-0,008	0,981	Regular
Lantai 3	-0,024	-0,020	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007	0,987	Regular
Lantai 2	-0,017	-0,014	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	0,964	Regular
Lantai 1	-0,011	-0,008	-0,008	-0,006	-0,007	-0,006	0,796	Regular
Lantai Dasar	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,999	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 15 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (-EX+) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata- Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status
Lantai 9	-0,069	-0,077	-0,011	-0,014	-0,013	-0,011	0,883	Regular
Lantai 8	-0,057	-0,063	-0,007	-0,009	-0,008	-0,007	0,876	Regular
Lantai 7	-0,051	-0,054	-0,006	-0,008	-0,007	-0,006	0,877	Regular
Lantai 6	-0,045	-0,047	-0,007	-0,009	-0,008	-0,007	0,877	Regular
Lantai 5	-0,038	-0,038	-0,007	-0,009	-0,008	-0,007	0,888	Regular
Lantai 4	-0,031	-0,029	-0,007	-0,008	-0,008	-0,007	0,929	Regular
Lantai 3	-0,023	-0,020	-0,006	-0,007	-0,007	-0,006	0,953	Regular
Lantai 2	-0,017	-0,013	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	0,960	Regular
Lantai 1	-0,011	-0,008	-0,008	-0,005	-0,007	-0,005	0,786	Regular
Lantai Dasar	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,994	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 16 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah Y (+EY) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata- Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status
Lantai 9	0,037	0,032	0,005	0,004	0,005	0,005	1,081	Regular
Lantai 8	0,032	0,028	0,004	0,004	0,004	0,004	1,082	Regular
Lantai 7	0,028	0,024	0,004	0,003	0,003	0,004	1,078	Regular
Lantai 6	0,024	0,021	0,004	0,003	0,004	0,004	1,078	Regular
Lantai 5	0,020	0,017	0,004	0,003	0,004	0,004	1,086	Regular
Lantai 4	0,016	0,014	0,004	0,003	0,004	0,004	1,078	Regular
Lantai 3	0,012	0,011	0,004	0,003	0,004	0,004	1,064	Regular
Lantai 2	0,008	0,007	0,004	0,003	0,004	0,004	1,059	Regular
Lantai 1	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	1,051	Regular
Lantai Dasar	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1,019	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 17 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah Y (+EY-) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata-Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status
Lantai 9	0,035	0,033	0,005	0,004	0,005	0,005	1,049	Regular
Lantai 8	0,030	0,028	0,004	0,004	0,004	0,004	1,066	Regular
Lantai 7	0,026	0,025	0,004	0,003	0,003	0,004	1,058	Regular
Lantai 6	0,023	0,022	0,004	0,003	0,004	0,004	1,057	Regular
Lantai 5	0,019	0,018	0,004	0,003	0,004	0,004	1,060	Regular
Lantai 4	0,015	0,015	0,004	0,003	0,004	0,004	1,048	Regular
Lantai 3	0,011	0,011	0,004	0,003	0,003	0,004	1,025	Regular
Lantai 2	0,008	0,008	0,004	0,004	0,004	0,004	1,010	Regular
Lantai 1	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	1,048	Regular
Lantai Dasar	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1,046	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 18 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah Y (-EY) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata- Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status
Lantai 9	-0,037	-0,032	-0,005	-0,004	-0,005	-0,004	0,919	Regular
Lantai 8	-0,032	-0,028	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	0,918	Regular
Lantai 7	-0,028	-0,024	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	0,922	Regular
Lantai 6	-0,024	-0,021	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,922	Regular
Lantai 5	-0,020	-0,017	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,914	Regular
Lantai 4	-0,016	-0,014	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,922	Regular
Lantai 3	-0,012	-0,011	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,936	Regular
Lantai 2	-0,008	-0,007	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,941	Regular
Lantai 1	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	0,949	Regular
Lantai Dasar	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,981	Regular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 19 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tahap Awal Tipe 1a dan 1b Berdasarkan Nilai Simpangan Antar Tingkat Rata-Rata Untuk Arah X (-EY+) Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	δ_x Titik A (m)	δ_x Titik B (m)	Δ Titik A	Δ Titik B	Δ Rata-Rata	Δ Max	Δ Max / Δ Rata-Rata	Status
Lantai 9	-0,035	-0,033	-0,005	-0,004	-0,005	-0,004	0,951	Regular
Lantai 8	-0,030	-0,028	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	0,934	Regular
Lantai 7	-0,026	-0,025	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	0,942	Regular
Lantai 6	-0,023	-0,022	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,943	Regular
Lantai 5	-0,019	-0,018	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,940	Regular
Lantai 4	-0,015	-0,015	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	0,952	Regular
Lantai 3	-0,011	-0,011	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	0,975	Regular
Lantai 2	-0,008	-0,008	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	0,990	Regular
Lantai 1	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	0,952	Regular
Lantai Dasar	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,954	Regular

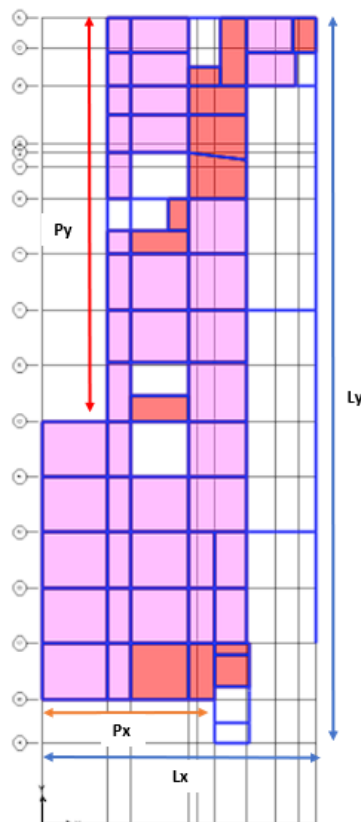
Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Berdasarkan Tabel 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 dan 5.17 tersebut maka dapat dilihat bahwa terdapat nilai simpangan antar tingkat rata rata yang melebihi nilai 1,2 dan kurang dari 1,4 pada arah X (+EX dan +EX-). Sehingga dinyatakan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a (torsion). Dari hasil rekapitulasi perhitungan pembesaran momen torsi tak terduga pada arah X (+EX dan +EX-) menunjukkan bahwa nilai $A_x < 1$ sehingga tidak perlu adanya pembesaran torsi. Kemudian selain itu nilai simpangan antar tingkat rata rata yang lain tidak melebihi nilai 1,2 sehingga dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a (torsion) dan tipe 1b (torsion berlebih).

b. Ketidakberaturan horizontal tipe 2 (Sudut Dalam)



Gambar 5. 21 Denah Px-Lx dan Py-Ly Gedung Hotel Rez

Permodelan struktur gedung Hotel Rez memiliki ketidakberaturan sudut dalam jika dilihat dari pemeriksaan bentuk bangunan melalui denah yang

dapat dilihat pada Gambar 5.21, bentuk bangunan adalah tidak simetris dua arah dan memiliki arah pendek dengan bentuk yang lebih ramping ke arah dalam. Memiliki ketidakberaturan tipe 2 jika $P_x > 15\% L_x$, atau $P_y > 15\% L_y$. Maka dari itu dilakukan pemeriksaan ketidakberaturan horizontal tipe 2. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5. 20 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2 Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Lx (m)	Px (m)	15%Lx	Status
19,600	12,025	2,940	Irregular
Ly (m)	Py (m)	15%Ly	Status
55,182	29,032	8,277	Irregular

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Tabel 5.18, permodelan struktur gedung Hotel Rez dinyatakan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2 (sudut dalam). Konsekuensi gedung dengan KDS D yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2 (sudut dalam) sesuai SNI 1726:2019, yaitu gedung tidak boleh dianalisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen.

c. Ketidakberaturan horizontal tipe 3 (Diskontinuitas Diafragma)

Pemeriksaan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dilakukan dengan cara menghitung luas total diafragma dengan luas bukaan atau *void* pada model struktur gedung hotel rez. Kemudian membandingkannya secara persentase. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5. 21 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Luas Total (m²)	Luas Void (m²)
Lantai Atap	290	0
Lantai 9	538	47
Lantai 8	426	47
Lantai 7	426	47
Lantai 6	426	47
Lantai 5	426	47
Lantai 4	426	47
Lantai 3	426	47
Lantai 2A	100	0
Lantai 2	421	52
Lantai 1A	124	12
Lantai 1	615	75
Total	4644	469
Persentase	10,10% < 50%	
Status	Regular	

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

d. Ketidakberaturan horizontal tipe 4 (Pergeseran Tegak Lurus Bidang)

Pemeriksaan ketidakberaturan pergeseran bidang tegak lurus dapat dilakukan dengan cara melihat berdasarkan elemen struktur vertikal pada gedung Hotel Rez. Pada gedung Hotel Rez ini struktur vertikal adalah terdapat pergeseran tegak lurus kolom sehingga memiliki pergeseran posisi, maka pada gedung Hotel Rez dinyatakan memiliki ketidakberaturan horizontal pergeseran tegak lurus bidang. Konsekuensi gedung dengan KDS D yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 4

sesuai SNI 1726:2019, yaitu gedung tidak boleh dianalisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen.

e. Ketidakberaturan horizontal tipe 5 (Struktur non paralel)

Pemeriksaan ketidakberaturan horizontal struktur non paralel dapat dilakukan dengan cara melihat berdasarkan model struktur pada gedung Hotel Rez apakah terdapat struktur portal yang memiliki posisi tidak saling teratur atau ortogonal. Maka model struktur gedung Hotel Rez dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan sistem non paralel dikarenakan tidak terdapat struktur portal yang ortogonal.

4. Berikut rekapitulasi hasil pemeriksaan ketidakberaturan dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Status	
	<i>Regular</i>	<i>Irregular</i>
Ketidakberaturan Tipe 1a	✓	
Ketidakberaturan Tipe 1b	✓	
Ketidakberaturan Tipe 2	✓	
Ketidakberaturan Tipe 3		✓
Ketidakberaturan Tipe 4		✓
Ketidakberaturan Tipe 5a	✓	
Ketidakberaturan Tipe 5b	✓	

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Status	
	<i>Regular</i>	<i>Irregular</i>
Ketidakberaturan Tipe 1a		✓
Ketidakberaturan Tipe 1b	✓	
Ketidakberaturan Tipe 2		✓
Ketidakberaturan Tipe 3	✓	
Ketidakberaturan Tipe 4		✓
Ketidakberaturan Tipe 5	✓	

Catatan:

Regular = Tidak Terdapat Ketidakberaturan

Irregular = Terdapat Ketidakberaturan

5.4.4 Kontrol Kestabilan Model Struktur Bangunan Statik

1. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Berikut contoh perhitungan simpangan antar tingkat.

Arah X:

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \\ \delta_x &= \frac{5,5 \times 23,540}{1} \\ \delta_x &= 129,470 \text{ mm}\end{aligned}$$

Arah Y:

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \\ \delta_x &= \frac{5,5 \times 12,441}{1} \\ \delta_x &= 68,426 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pada sub bab 5.2.3 diketahui nilai C_d adalah 5,5 dan I_e adalah 1, Sedangkan untuk Simpangan pada setiap lantai yang ditentukan dengan analisis elastik (δ_{xe}) dapat diperoleh berdasarkan *output SAP 2000* menggunakan fitur *section cut* pada kolom disetiap lantai bangunan dan dapat dilihat pada gambar 5.22 dan 5.23 berikut.

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
78	Ex Static	LinStatic	0.005695	-2.4E-05	-1.2E-05	-5.532E-07	0.000393	0.000107
137	Ex Static	LinStatic	0.002408	-1.1E-05	-0.000114	1.3E-05	0.000719	-2.405E-06
209	Ex Static	LinStatic	0.010033	-0.000102	-0.000285	-8.15E-07	0.000824	0.0001
315	Ex Static	LinStatic	0.01594	-1.4E-05	-0.000408	-1.6E-05	0.000958	9.5E-05
438	Ex Static	LinStatic	0.02354	0.000104	-0.000523	-2E-05	0.001118	8.8E-05
607	Ex Static	LinStatic	0.041961	0.000404	-0.000687	-2.6E-05	0.001213	2.9E-05
872	Ex Static	LinStatic	0.067005	0.000892	-0.00078	-1.4E-05	0.000645	-8.2E-05
1000	Ex Static	LinStatic	0.079868	0.00122	-0.000794	2.2E-05	0.00053	-0.000137
1063	Ex Static	LinStatic	0.032612	0.000247	-0.000615	-2.5E-05	0.001238	6.7E-05
1154	Ex Static	LinStatic	0.050725	0.000556	-0.000736	-2.5E-05	0.001146	-7.595E-06
1237	Ex Static	LinStatic	0.058358	0.000704	-0.000764	-2E-05	0.001012	-4.3E-05

Gambar 5. 22 Nilai Defleksi Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
78	Ey Static	LinStatic	2.2E-05	0.002982	-6.9E-05	-0.000331	7.497E-06	-5.177E-06
137	Ey Static	LinStatic	2.7E-05	0.000966	-1.8E-05	-0.000336	9.287E-06	-2E-05
209	Ey Static	LinStatic	0.000156	0.004511	-4.2E-05	-0.000565	9.228E-06	2.3E-05
315	Ey Static	LinStatic	0.000186	0.008524	-5.8E-05	-0.000694	-3.081E-06	3E-05
438	Ey Static	LinStatic	2.2E-05	0.012441	-7.3E-05	-0.000749	-2.4E-05	5.9E-05
607	Ey Static	LinStatic	-0.000621	0.020623	-9E-05	-0.00073	-3.7E-05	0.00019
872	Ey Static	LinStatic	-0.001547	0.032311	-9E-05	-0.000396	-1.6E-05	0.000367
1000	Ey Static	LinStatic	-0.001677	0.036752	-8.4E-05	-3.3E-05	-1.1E-05	0.000431
1063	Ey Static	LinStatic	-0.000269	0.016512	-8.3E-05	-0.000754	-3.4E-05	0.00012
1154	Ey Static	LinStatic	-0.000974	0.024558	-9.4E-05	-0.000687	-3.5E-05	0.000252
1237	Ey Static	LinStatic	-0.001259	0.028207	-9.4E-05	-0.000606	-2.6E-05	0.000315

Gambar 5. 23 Nilai Defleksi Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Setelah nilai C_d , I_e dan δ_{xe} telah diketahui, maka nilai δ_x dapat dihitung. Adapun rekapitulasi perhitungan nilai δ_x dapat dilihat pada tabel 5.24 berikut.

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Perhitungan δ_x

Keterangan	δ_{xe} arah x (mm)	δ_{xe} arah y (mm)	δ_x arah x (mm)	δ_x arah y (mm)
Lantai 9	79,868	36,752	439,274	202,136
Lantai 8	67,005	32,311	368,528	177,711
Lantai 7	58,358	28,207	320,969	155,139
Lantai 6	50,725	24,558	278,988	135,069
Lantai 5	41,961	20,623	230,786	113,427
Lantai 4	32,612	16,512	179,366	90,816
Lantai 3	23,540	12,441	129,470	68,426
Lantai 2	15,940	8,524	87,670	46,882
Lantai 1A	12,195	6,782	67,073	37,301
Lantai 1	10,033	4,511	55,182	24,811
Lantai Dasar	2,408	0,966	13,244	5,313

2. Pengaruh P-delta

Pemeriksaan kestabilan struktur dilakukan dengan menghitung koefisien stabilitas (θ) seperti yang ditentukan pada pasal 7.8.7 SNI 1726:2019. Berikut contoh perhitungan koefisien stabilitas.

Arah X:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

$$\theta = \frac{35333,926 \times 41,8 \times 1}{1969,948 \times 3600 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,038$$

Arah Y:

$$\theta = \frac{P_y \Delta I_e}{V_y h_{sx} C_d}$$

$$\theta = \frac{35333,926 \times 21,544 \times 1}{1969,948 \times 3600 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,020$$

Menghitung θ_{maks} :

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta \times C_d}$$

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

$$\theta_{maks} = 0,091$$

Nilai P_x dan V_x dapat diperoleh dengan menggunakan bantuan analisis *SAP 2000* dengan menggunakan fitur *section cut* pada kolom disetiap lantai bangunan. Adapun nilai P_x dan V_x berdasarkan *output SAP 2000* dapat dilihat pada gambar 5.24, 5.25 dan 5.26 berikut.

S Section Cut Forces - Analysis									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Section Cut Forces - Analysis									
Filter:									
	SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
	K LT 0Dsr	D+L	Combination	-3.881E-09	-1.266E-10	61224.299	-232626.306	-28246.5435	-9.528E-08
	K LT 1	D+L	Combination	-3.999E-09	-1.255E-10	52223.16	-273743.831	10314.187	-1.032E-07
	K LT 1A	D+L	Combination	-323.79	-9.474	4266.662	-14945.6856	-1315.1214	-477.3718
	K LT 2	D+L	Combination	265.684	71.468	38448.981	-108951.184	15732.6214	-1706.9033
	K LT 3	D+L	Combination	-5.027E-09	-9.343E-11	35333.926	-68281.7744	-31199.9602	-9.747E-08
	K LT 4	D+L	Combination	-4.286E-09	-6.77E-11	30262.139	-57770.1004	-26587.7915	-8.633E-08
	K LT 5	D+L	Combination	-2.869E-09	-2.974E-11	25188.288	-47864.8568	-22284.6609	-6.03E-08
	K LT 6	D+L	Combination	-2.411E-09	-3.526E-11	20251.729	-37772.1697	-18109.7889	-4.75E-08
	K LT 7	D+L	Combination	-2.465E-09	-3.672E-11	15325.538	-27608.7378	-13892.0653	-4.653E-08
	K LT 8	D+L	Combination	-1.69E-09	5.58E-12	10416.627	-17714.4696	-9631.6071	-3.169E-08
	K LT 9	D+L	Combination	1.923E-10	4.397E-12	2503.691	-506.0307	-1454.4013	8.733E-10

Gambar 5. 24 Nilai Px Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

S Section Cut Forces - Analysis									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Section Cut Forces - Analysis									
Filter:									
	SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
	K LT 0Dsr	Ex Static	LinStatic	-2180.25	-1.713E-10	8.734E-11	5.51E-09	-63689.3544	-5948.7582
	K LT 1	Ex Static	LinStatic	-2162.492	-1.621E-10	9.393E-11	4.753E-09	-55840.5858	-8928.1256
	K LT 1A	Ex Static	LinStatic	-527.915	4.076	-319.034	1509.3968	-4295.8673	-1302.7877
	K LT 2	Ex Static	LinStatic	-1825.476	3.127	1638.068	-28969.1192	-33902.1973	-6088.3932
	K LT 3	Ex Static	LinStatic	-1969.948	-1.242E-10	7.387E-11	3.306E-09	-35018.3159	835.487
	K LT 4	Ex Static	LinStatic	-1845.806	-1.076E-10	4.79E-11	2.92E-09	-27929.9768	849.2499
	K LT 5	Ex Static	LinStatic	-1676.948	-7.317E-11	4.965E-11	2.479E-09	-21292.9727	852.191
	K LT 6	Ex Static	LinStatic	-1464.213	-1.079E-10	2.8E-11	1.945E-09	-15261.6257	876.0471
	K LT 7	Ex Static	LinStatic	-1198.065	-1.565E-10	4.094E-11	1.592E-09	-10001.2719	886.9887
	K LT 8	Ex Static	LinStatic	-868.278	-1.506E-10	3.113E-11	1.002E-09	-5695.4614	936.316
	K LT 9	Ex Static	LinStatic	-292.14	2.503E-11	5.258E-13	-1.027E-10	-1728.4544	597.3373

Gambar 5. 25 Nilai V_x Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

S Section Cut Forces - Analysis									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Section Cut Forces - Analysis									
Filter:									
	SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
	K LT 0Dsr	Ey Static	LinStatic	-1.207E-09	-2180.25	-9.726E-12	63689.3544	-3.945E-08	-2540.9549
	K LT 1	Ey Static	LinStatic	-1.213E-09	-2162.492	-1.052E-11	55840.5858	-3.51E-08	-455.5279
	K LT 1A	Ey Static	LinStatic	66.014	-503.609	1460.389	-5643.7371	248.1292	280.7849
	K LT 2	Ey Static	LinStatic	25.681	-1723.541	382.726	30458.3925	2708.5542	-757.7
	K LT 3	Ey Static	LinStatic	-1.25E-09	-1969.948	-2.334E-12	35018.3159	-2.311E-08	-2908.3632
	K LT 4	Ey Static	LinStatic	-1.246E-09	-1845.806	-7.976E-12	27929.9768	-1.859E-08	-2721.0092
	K LT 5	Ey Static	LinStatic	-1.044E-09	-1676.948	-9.587E-12	21292.9727	-1.407E-08	-2483.1775
	K LT 6	Ey Static	LinStatic	-9.294E-10	-1464.213	-1.207E-11	15261.6257	-1.031E-08	-2174.2379
	K LT 7	Ey Static	LinStatic	-1.008E-09	-1198.065	-1.216E-11	10001.2719	-6.942E-09	-1789.1281
	K LT 8	Ey Static	LinStatic	-7.624E-10	-868.278	-1.865E-11	5695.4614	-3.301E-09	-1299.5337
	K LT 9	Ey Static	LinStatic	2.429E-11	-292.14	-8.527E-14	1728.4544	1.48E-10	-303.7707

Gambar 5. 26 Nilai V_x Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Setelah nilai parameter untuk perhitungan koefisien stabilitas (θ) telah diketahui, langkah berikutnya adalah menghitung nilai θ . Rekap perhitungan nilai θ dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan pemeriksaan pengaruh P-Delta pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Koefisien Stabilitas (θ) dan Pemeriksaan Kestabilan Struktur Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	P_x (kN)	$V_x Ex$ (kN)	$V_x Ey$ (kN)	$\delta_x Ex$ (mm)	$\delta_x Ey$ (mm)	ΔEx (mm)	ΔEy (mm)	hsx (mm)	θEx	θEy	θ_{maks}	Cek hasil
Lantai 9	2503,691	292,140	292,140	79,868	36,752	70,747	24,426	6100	0,018	0,006	0,091	Stabil
Lantai 8	10416,627	868,278	868,278	67,005	32,311	47,558	22,572	4600	0,023	0,011	0,091	Stabil
Lantai 7	15325,538	1198,065	1198,065	58,358	28,207	41,982	20,070	3600	0,027	0,013	0,091	Stabil
Lantai 6	20251,729	1464,213	1464,213	50,725	24,558	48,202	21,643	3600	0,034	0,015	0,091	Stabil
Lantai 5	25188,288	1676,948	1676,948	41,961	20,623	51,419	22,611	3600	0,039	0,017	0,091	Stabil
Lantai 4	30262,139	1845,806	1845,806	32,612	16,512	49,896	22,391	3600	0,041	0,019	0,091	Stabil
Lantai 3	35333,926	1969,948	1969,948	23,540	12,441	41,800	21,544	3600	0,038	0,020	0,091	Stabil
Lantai 2	38448,981	1825,476	1723,541	15,940	8,524	87,670	46,882	4400	0,076	0,043	0,091	Stabil
Lantai 1A	4266,662	527,915	503,609	12,195	6,782	67,073	37,301	2200	0,045	0,026	0,091	Stabil
Lantai 1	52223,160	2162,492	2162,492	10,033	4,511	55,182	24,811	3200	0,076	0,034	0,091	Stabil
Lantai Dasar	61224,299	2180,250	2180,250	2,408	0,966	13,244	5,313	3600	0,019	0,008	0,091	Stabil

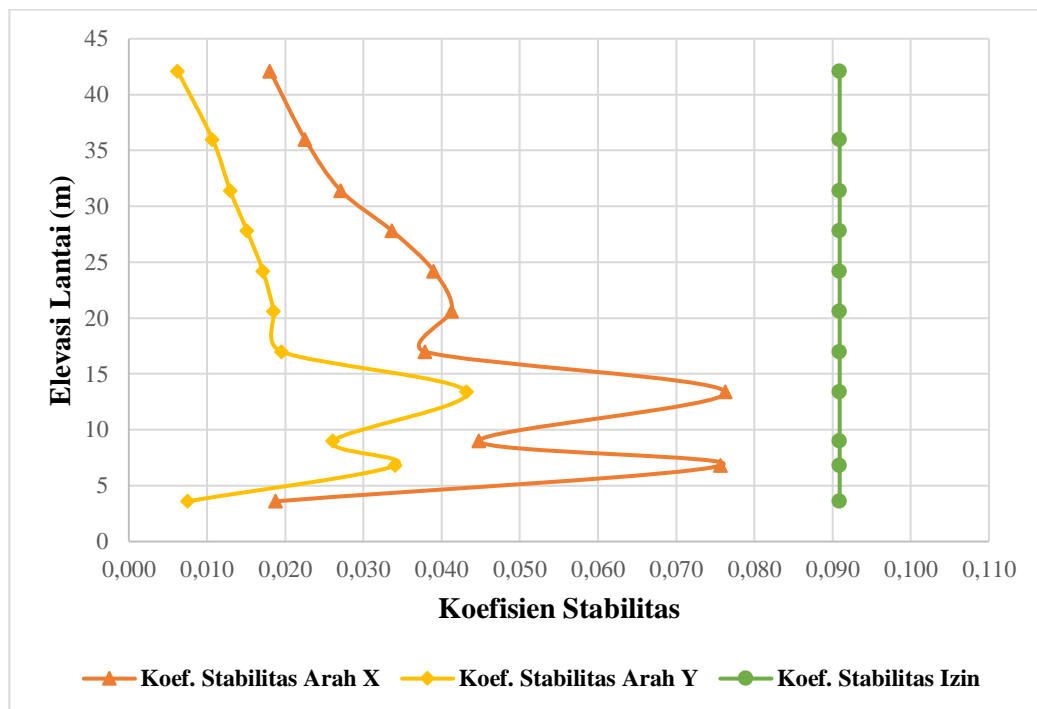
Tabel 5. 26 Pemeriksaan Pengaruh P-Delta Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Elevasi (mm)	θ_{Ex}	θ_{Ey}	Status P-Delta		Faktor P-Delta	
				x	y	x	y
Lantai 9	42100	0,018	0,006	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 8	36000	0,023	0,011	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 7	31400	0,027	0,013	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 6	27800	0,034	0,015	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 5	24200	0,039	0,017	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 4	20600	0,041	0,019	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 3	17000	0,038	0,020	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 2	13400	0,076	0,043	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 1A	9000	0,045	0,026	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 1	6800	0,076	0,034	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai Dasar	3600	0,019	0,008	Tidak	Tidak	1,00	1,00

Catatan:

Tidak = Tidak Terdapat Pengaruh P-Delta

Ya = Terdapat Pengaruh P-Delta



Gambar 5. 27 Grafik Koefisien Stabilitas Arah X, Arah Y, dan Batas Koefisien Stabilitas Gedung Hotel Rez

3. Batasan Simpangan Antar Tingkat

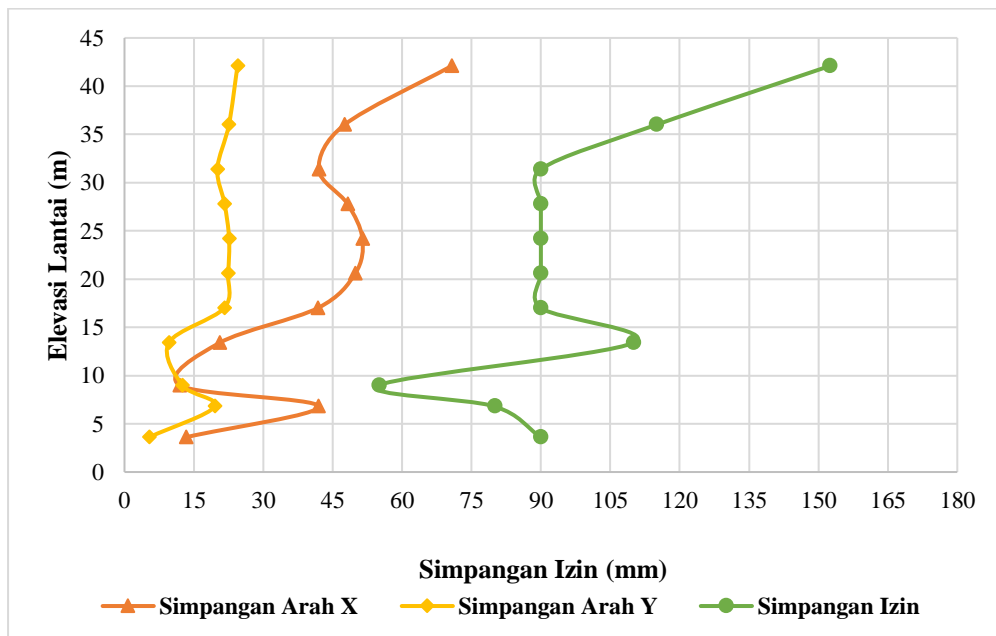
Model struktur Gedung Hotel Rez dinyatakan telah memenuhi ketentuan sesuai dengan pasal 7.12.1 SNI 1726:2019. Perhitungan simpangan antar tingkat dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 5.25. Sedangkan untuk nilai simpang antar tingkat terdapat batasan yang telah dihitung dan direkapitulasi Pada Tabel 5.27 dan disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat sebagaimana Gambar 5.28.

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dan Simpangan antar tingkat izin, $\Delta a^{a, b}$

Keterangan	Elevasi (mm)	ΔEx (mm)	ΔEy (mm)	Δa Izin (mm)
Lantai 9	42100	70,7465	24,4255	153
Lantai 8	36000	47,5585	22,5720	115

Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dan Simpangan antar tingkat izin, Δa ^{a, b}

Keterangan	Elevasi (mm)	ΔE_x (mm)	ΔE_y (mm)	Δa Izin (mm)
Lantai 7	31400	41,9815	20,0695	90
Lantai 6	27800	48,2020	21,6425	90
Lantai 5	24200	51,4195	22,6105	90
Lantai 4	20600	49,8960	22,3905	90
Lantai 3	17000	41,8000	21,5435	90
Lantai 2	13400	20,5975	9,5810	110
Lantai 1A	9000	11,8910	12,4905	55
Lantai 1	6800	41,9375	19,4975	80
Lantai Dasar	3600	13,2440	5,3130	90



Gambar 5. 28 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arax X, Arah Y dan Simpangan Izin

5.4.5 Kontrol Kestabilan Model Struktur Bangunan Dinamik

1. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Berikut contoh perhitungan simpangan antar tingkat.

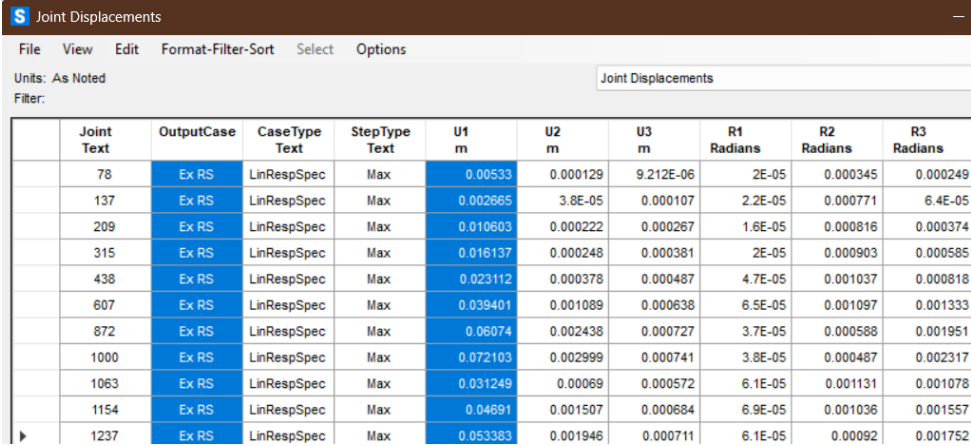
Arah X:

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \\ \delta_x &= \frac{5,5 \times 23,112}{1} \\ \delta_x &= 127,116 \text{ mm}\end{aligned}$$

Arah Y:

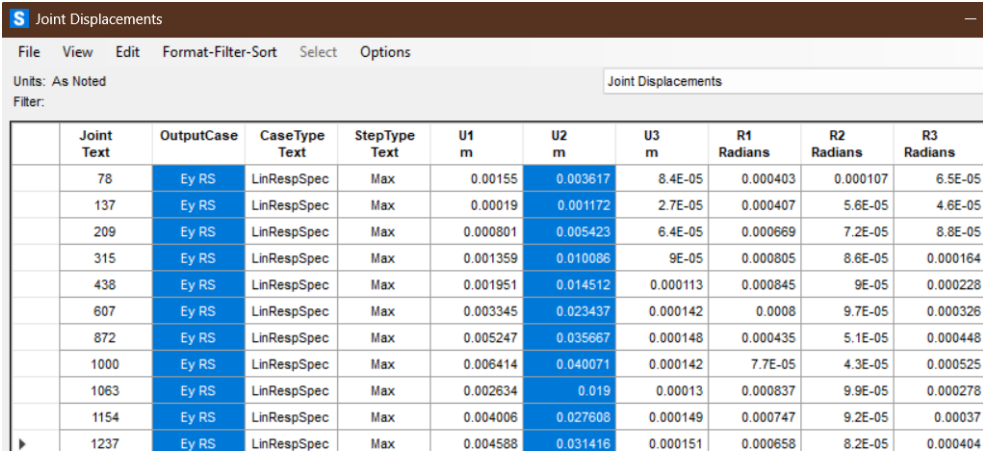
$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \\ \delta_x &= \frac{5,5 \times 14,512}{1} \\ \delta_x &= 79,816 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pada sub bab 5.2.3 diketahui nilai C_d adalah 5,5 dan I_e adalah 1, Sedangkan untuk Simpangan pada setiap lantai yang ditentukan dengan analisis elastik (δ_{xe}) dapat diperoleh berdasarkan *output SAP 2000* menggunakan fitur *section cut* pada kolom disetiap lantai bangunan dan dapat dilihat pada gambar 5.29 dan 5.30 berikut.



Joint Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
78	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.00533	0.000129	9.212E-06	2E-05	0.000345	0.000249
137	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.002865	3.8E-05	0.000107	2.2E-05	0.000771	6.4E-05
209	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.010603	0.000222	0.000267	1.6E-05	0.000816	0.000374
315	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.016137	0.000248	0.000381	2E-05	0.000903	0.000585
438	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.023112	0.000378	0.000487	4.7E-05	0.001037	0.000818
607	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.039401	0.001089	0.000638	6.5E-05	0.001097	0.001333
872	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.06074	0.002438	0.000727	3.7E-05	0.000588	0.001951
1000	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.072103	0.002999	0.000741	3.8E-05	0.000487	0.002317
1063	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.031249	0.00069	0.000572	6.1E-05	0.001131	0.001078
1154	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.04691	0.001507	0.000684	6.9E-05	0.001036	0.001557
1237	Ex RS	LinRespSpec	Max	0.053383	0.001946	0.000711	6.1E-05	0.00092	0.001752

Gambar 5. 29 Nilai Defleksi Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez



Joint Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
78	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.00155	0.003617	8.4E-05	0.000403	0.000107	6.5E-05
137	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.00019	0.001172	2.7E-05	0.000407	5.6E-05	4.6E-05
209	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.000801	0.005423	6.4E-05	0.000689	7.2E-05	8.8E-05
315	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.001359	0.010086	9E-05	0.000805	8.6E-05	0.000164
438	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.001951	0.014512	0.000113	0.000845	9E-05	0.000228
607	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.003345	0.023437	0.000142	0.0008	9.7E-05	0.000326
872	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.005247	0.035667	0.000148	0.000435	5.1E-05	0.000448
1000	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.006414	0.040071	0.000142	7.7E-05	4.3E-05	0.000525
1063	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.002634	0.019	0.00013	0.000837	9.9E-05	0.000278
1154	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.004006	0.027808	0.000149	0.000747	9.2E-05	0.00037
1237	Ey RS	LinRespSpec	Max	0.004588	0.031416	0.000151	0.000658	8.2E-05	0.000404

Gambar 5. 30 Nilai Defleksi Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Setelah nilai C_d , I_e dan δ_{xe} telah diketahui, maka nilai δ_x dapat dihitung. Adapun rekapitulasi perhitungan nilai δ_x dapat dilihat pada tabel 5.28 berikut.

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Perhitungan δ_x

Keterangan	δ_{xe} arah x (mm)	δ_{xe} arah y (mm)	δ_x arah x (mm)	δ_x arah y (mm)
Lantai 9	72,103	40,071	396,567	220,391
Lantai 8	60,740	35,667	334,070	196,169
Lantai 7	53,383	31,416	293,607	172,788
Lantai 6	46,910	27,608	258,005	151,844

Lanjutan Tabel 5. 28 Rekapitulasi Perhitungan δ_x

Keterangan	δ_{xe} arah x (mm)	δ_{ye} arah y (mm)	δ_x arah x (mm)	δ_y arah y (mm)
Lantai 5	39,401	23,437	216,706	128,904
Lantai 4	31,249	19,000	171,870	104,500
Lantai 3	23,112	14,512	127,116	79,816
Lantai 2	16,137	10,086	88,754	55,473
Lantai 1A	10,603	5,423	58,317	29,827
Lantai 1	5,330	3,617	29,315	19,894
Lantai Dasar	2,665	1,172	14,658	6,446

3. Pengaruh P-delta

Pemeriksaan kestabilan struktur dilakukan dengan menghitung koefisien stabilitas (θ) seperti yang ditentukan pada pasal 7.8.7 SNI 1726:2019. Berikut contoh perhitungan koefisien stabilitas.

Arah X:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

$$\theta = \frac{35333,926 \times 38,36 \times 1}{2122,78 \times 3600 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,032$$

Arah Y:

$$\theta = \frac{P_y \Delta I_e}{V_y h_{sy} C_d}$$

$$\theta = \frac{35333,926 \times 24,34 \times 1}{2260,75 \times 3600 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,019$$

Menghitung θ_{maks} :

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta \times C_d}$$

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

$$\theta_{maks} = 0,091$$

Nilai P_x dan V_x dapat diperoleh dengan menggunakan bantuan analisis *SAP 2000* dengan menggunakan fitur *section cut* pada kolom disetiap lantai bangunan. Adapun nilai P_x dan V_x berdasarkan *output SAP 2000* dapat dilihat pada gambar 5.31, 5.32 dan 5.33 berikut.

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
K LT 0Dsr	D+L	Combination	-2.821E-09	-1.273E-10	61224.299	-232626.306	-28246.5435	-8.189E-08
K LT 1	D+L	Combination	-2.943E-09	-1.251E-10	52223.16	-273743.831	10314.187	-8.842E-08
K LT 1A	D+L	Combination	-323.79	-9.474	4266.662	-14945.6856	-1315.1214	-477.3718
K LT 2	D+L	Combination	265.684	71.468	38448.981	-108951.184	15732.6214	-1706.9033
K LT 3	D+L	Combination	-4.104E-09	-8.657E-11	35333.926	-68281.7744	-31199.9602	-8.571E-08
K LT 4	D+L	Combination	-3.375E-09	-7.247E-11	30262.139	-57770.1004	-26587.7915	-7.52E-08
K LT 5	D+L	Combination	-1.966E-09	-2.844E-11	25188.288	-47864.8568	-22284.6609	-4.937E-08
K LT 6	D+L	Combination	-2.01E-09	-3.085E-11	20251.729	-37772.1697	-18109.7889	-4.554E-08
K LT 7	D+L	Combination	-2.082E-09	-4.473E-11	15325.538	-27608.7378	-13892.0653	-4.469E-08
K LT 8	D+L	Combination	-1.407E-09	-1.431E-12	10416.627	-17714.4696	-9631.6071	-2.947E-08
K LT 9	D+L	Combination	1.229E-10	1.194E-11	2503.691	-506.0307	-1454.4013	1.448E-09

Gambar 5. 31 Nilai P_x Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
K LT 0Dsr	Ex RS	LinRespSpec	Max	2652.932	170.213	347.297	4427.9787	66569.7376	24087.7056
K LT 1	Ex RS	LinRespSpec	Max	2556.812	168.304	343.172	4049.1512	57801.4479	26016.0078
K LT 1A	Ex RS	LinRespSpec	Max	464.499	17.118	293.809	1445.925	3768.0031	1499.639
K LT 2	Ex RS	LinRespSpec	Max	2119.837	187.506	2295.461	37923.6462	32145.5417	17342.8197
K LT 3	Ex RS	LinRespSpec	Max	2122.781	139.591	292.86	2388.8102	36076.7573	14688.4704
K LT 4	Ex RS	LinRespSpec	Max	1952.187	130.15	263.376	1949.3956	29043.744	13520.8649
K LT 5	Ex RS	LinRespSpec	Max	1758.353	119.184	229.573	1544.1481	22539.0045	12162.3318
K LT 6	Ex RS	LinRespSpec	Max	1542.417	105.63	192.499	1176.5359	16615.6009	10587.7133
K LT 7	Ex RS	LinRespSpec	Max	1292.02	88.571	150.815	847.8803	11372.4494	8740.8472
K LT 8	Ex RS	LinRespSpec	Max	986.193	68.346	105.287	564.6416	6962.8118	6507.0574
K LT 9	Ex RS	LinRespSpec	Max	453.402	37.946	33.083	263.395	2740.8701	3698.5394

Gambar 5. 32 Nilai V_x Arah X Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
K LT 0Ds	Ey RS	LinRespSpec	Max	116.622	2678.425	21.17	71049.0787	2932.6096	4874.0489
K LT 1	Ey RS	LinRespSpec	Max	112.114	2623.236	20.825	61857.3568	2551.3052	6416.9399
K LT 1A	Ey RS	LinRespSpec	Max	96.679	598.702	1535.81	5768.3543	436.8506	326.1805
K LT 2	Ey RS	LinRespSpec	Max	118.561	2015.624	221.298	37409.5615	2914.6914	3869.5336
K LT 3	Ey RS	LinRespSpec	Max	92.663	2260.75	20.055	38236.5809	1612.6109	3351.6499
K LT 4	Ey RS	LinRespSpec	Max	85.089	2078.389	18.693	30463.6782	1311.6478	3025.7771
K LT 5	Ey RS	LinRespSpec	Max	76.633	1857.28	16.704	23298.3259	1033.9744	2653.3291
K LT 6	Ey RS	LinRespSpec	Max	68.039	1607.668	14.552	16854.0766	779.9489	2272.8881
K LT 7	Ey RS	LinRespSpec	Max	58.407	1322.424	12.153	11239.6084	551.3758	1846.3485
K LT 8	Ey RS	LinRespSpec	Max	46.707	978.842	8.982	6602.6075	354.6922	1341.5024
K LT 9	Ey RS	LinRespSpec	Max	26.321	389.776	3.793	2349.3892	157.0344	667.016

Gambar 5. 33 Nilai Vx Arah Y Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Setelah nilai parameter untuk perhitungan koefisien stabilitas (θ) telah diketahui, langkah berikutnya adalah menghitung nilai θ . Rekap perhitungan nilai θ dapat dilihat pada Tabel 5.29 dan pemeriksaan pengaruh P-Delta pada Tabel 5.30 berikut.

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Koefisien Stabilitas (θ) dan Pemeriksaan Kestabilan Struktur Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	P_x (kN)	$V_x Ex$ (kN)	$V_x Ey$ (kN)	$\delta_x Ex$ (mm)	$\delta_x Ey$ (mm)	ΔEx (mm)	ΔEy (mm)	hsx (mm)	θEx	θEy	θ_{maks}	Cek hasil
Lantai 9	2503,691	453,402	389,776	72,103	40,071	62,497	24,222	6100	0,010	0,005	0,091	Stabil
Lantai 8	10416,627	986,193	978,842	60,740	35,667	40,464	23,381	4600	0,017	0,010	0,091	Stabil
Lantai 7	15325,538	1292,02	1322,424	53,383	31,416	35,602	20,944	3600	0,021	0,012	0,091	Stabil
Lantai 6	20251,729	1542,417	1607,668	46,910	27,608	41,300	22,941	3600	0,027	0,015	0,091	Stabil
Lantai 5	25188,288	1758,353	1857,28	39,401	23,437	44,836	24,404	3600	0,032	0,017	0,091	Stabil
Lantai 4	30262,139	1952,187	2078,389	31,249	19,000	44,754	24,684	3600	0,035	0,018	0,091	Stabil
Lantai 3	35333,926	2122,781	2260,75	23,112	14,512	38,363	24,343	3600	0,032	0,019	0,091	Stabil
Lantai 2	38448,981	2119,837	2015,624	16,137	10,086	30,437	25,647	4400	0,023	0,020	0,091	Stabil
Lantai 1A	4266,662	464,499	598,702	10,603	5,423	29,002	9,933	2200	0,022	0,006	0,091	Stabil
Lantai 1	52223,160	2556,812	2623,236	5,330	3,617	14,658	13,448	3200	0,017	0,015	0,091	Stabil
Lantai Dasar	61224,299	2652,932	2678,425	2,665	1,172	14,658	6,446	3600	0,017	0,007	0,091	Stabil

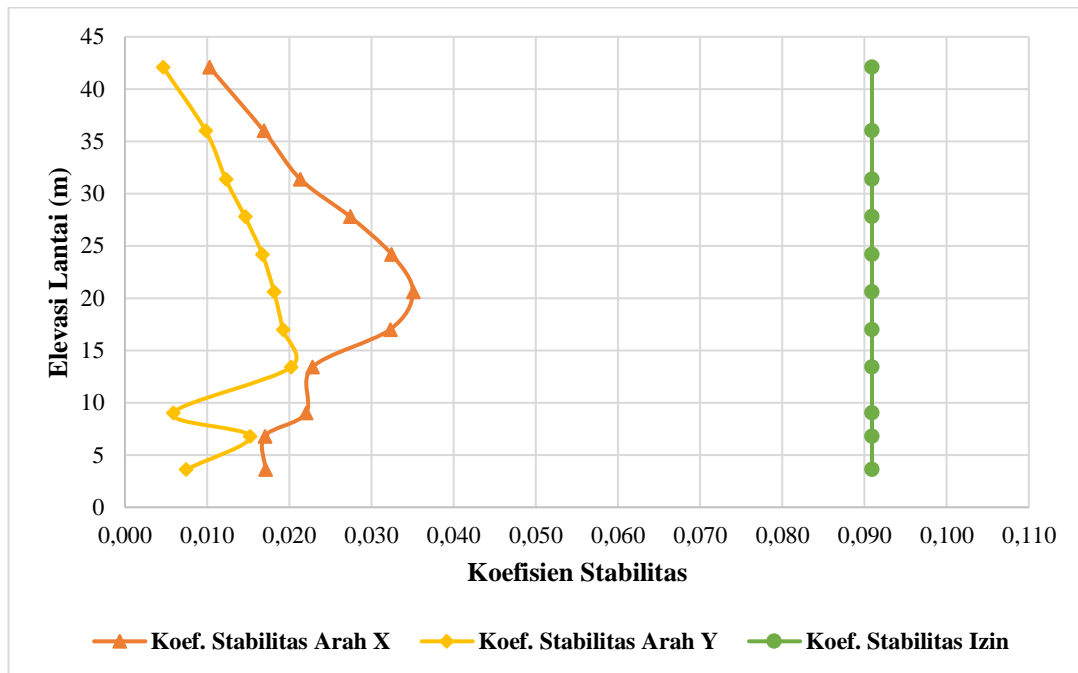
Tabel 5. 30 Pemeriksaan Pengaruh P-Delta Pada Model Struktur Gedung Hotel Rez

Keterangan	Elevasi (mm)	θ_{Ex}	θ_{Ey}	Status P-Delta		Faktor P-Delta	
				x	y	x	y
Lantai 9	42100	0,010	0,005	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 8	36000	0,017	0,010	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 7	31400	0,021	0,012	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 6	27800	0,027	0,015	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 5	24200	0,032	0,017	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 4	20600	0,035	0,018	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 3	17000	0,032	0,019	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 2	13400	0,023	0,020	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 1A	9000	0,022	0,006	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai 1	6800	0,017	0,015	Tidak	Tidak	1,00	1,00
Lantai Dasar	3600	0,017	0,007	Tidak	Tidak	1,00	1,00

Catatan:

Tidak = Tidak Terdapat Pengaruh P-Delta

Ya = Terdapat Pengaruh P-Delta



Gambar 5. 34 Grafik Koefisien Stabilitas Arah X, Arah Y, dan Batas Koefisien Stabilitas Gedung Hotel Rez

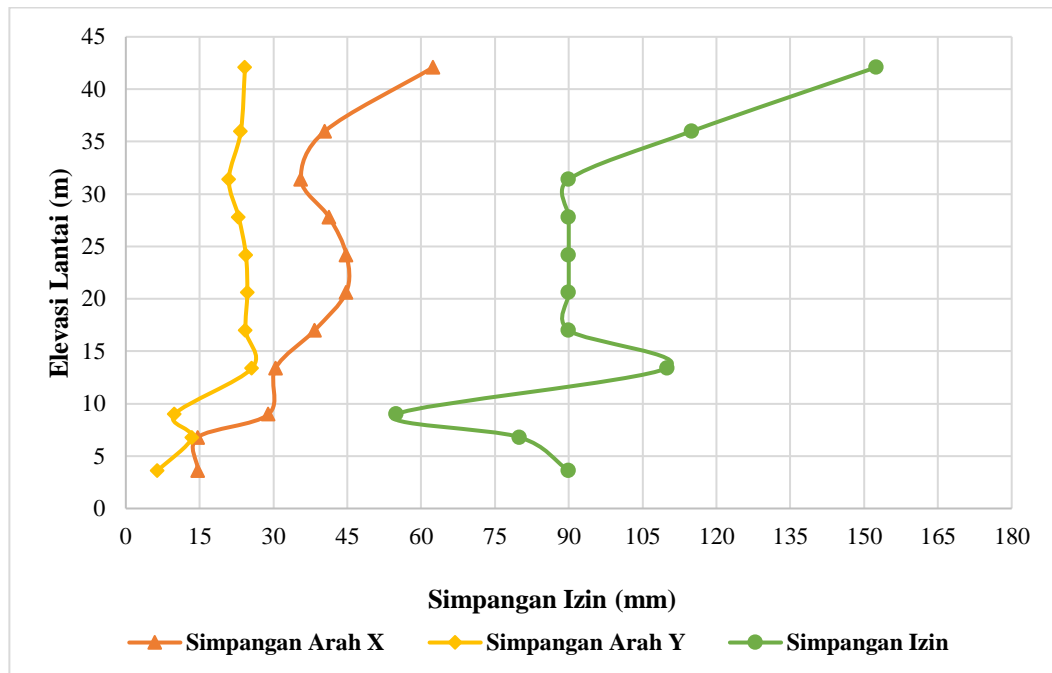
Berdasarkan grafik di atas pada Gambar 5.34 dapat disimpulkan bahwa koefisien stabilitas yang diperoleh baik arah X maupun arah Y telah memenuhi syarat yang ada yaitu tidak melebihi batas koefisien stabilitas.

4. Batasan Simpangan Antar Tingkat

Model struktur Gedung Hotel Rez dinyatakan telah memenuhi ketentuan sesuai dengan pasal 7.12.1 SNI 1726:2019. Perhitungan simpangan antar tingkat dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 5.43. Sedangkan untuk nilai simpang antar tingkat terdapat batasan yang telah dihitung dan direkapitulasi Pada Tabel 5.31 dan disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat sebagaimana Gambar 5.35.

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Perhitungan Simpangan Antar Tingkat dan Simpangan antar tingkat izin, Δa ^{a, b}

Keterangan	Elevasi (mm)	ΔEx (mm)	ΔEy (mm)	Δa Izin (mm)
Lantai 9	42100	62,497	24,222	153
Lantai 8	36000	40,464	23,381	115
Lantai 7	31400	35,602	20,944	90
Lantai 6	27800	41,300	22,941	90
Lantai 5	24200	44,836	24,404	90
Lantai 4	20600	44,754	24,684	90
Lantai 3	17000	38,363	24,343	90
Lantai 2	13400	30,437	25,647	110
Lantai 1A	9000	29,002	9,933	55
Lantai 1	6800	14,658	13,448	80
Lantai Dasar	3600	14,658	6,446	90



Gambar 5. 35 Grafik Simpangan Antar Tingkat Arax X, Arah Y dan Simpangan Izin

Berdasarkan grafik di atas pada Gambar 5.35 dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai yang diperoleh baik arah X maupun arah Y telah memenuhi syarat yang ada yaitu kurang dari simpangan antar lantai izin (Δa Izin).

5. 5 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Miring

Gaya dalam pada kolom miring merupakan hasil dari analisis struktur yang diperoleh berdasarkan kombinasi pembebanan yang diinputkan kedalam prosedur desain menggunakan *Software SAP2000*. Dalam analisis gedung Hotel Rez ini gaya dalam pada kolom miring yang digunakan adalah gaya aksial, gaya geser dan momen. Gaya dalam tersebut diperoleh berdasarkan *Output SAP 2000* yang dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut.

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Miring Gedung Hotel Rez

Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom (mm)	P	M2	M3	V2	V3
Lantai 1	K13	K13 (700 x 1100)	-2155,679	-156,339	1388,180	-508,512	46,256
	K14	K14 (700 x 1100)	-3456,623	-87,065	-1343,584	-494,642	-24,923
	K25	K25 (650 x 1000)	-3337,365	-95,995	-947,775	-354,596	-29,734
	K15	K15 (600 x 1000)	-3384,754	-117,528	746,301	-280,892	-36,330
	K16	K16 (600 x 1000)	-2608,696	-243,801	567,044	-209,343	-85,900
	K17	K17 (600 x 800)	-1862,705	142,028	673,234	-515,943	90,373
Lantai 2	K13	K13 (700 x 1100)	-1629,988	174,140	1210,021	-515,519	67,189
	K14	K14 (700 x 1100)	-2871,550	-41,287	1230,110	-506,126	10,738
	K25	K25 (650 x 1000)	-2866,545	17,818	1046,256	-431,090	-7,160
	K15	K15 (600 x 1000)	-2971,814	-29,794	1021,764	-425,750	-11,894
	K16	K16 (600 x 1000)	-2358,098	-172,117	799,124	-357,984	-64,839
	K17	K17 (600 x 800)	-1297,076	-35,919	1102,183	-438,596	-9,768

5.6 Pengecekan Stabilitas Kolom Miring

Pengecekan Stabilitas Arah y,

1. Menghitung Indeks Stabilitas

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} l_c} = \frac{115750,441 \times 17,387}{8754,419 \times 5522,6} = 0,0416 \leq 0,05 (\text{non-sway})$$

dimana:

$\sum P_u$ = Beban vertikal total (N).

Δ_0 = Simpangan relatif antar tingkat orde pertama di tingkat yang ditinjau karena V_{us} .

l_c = Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat joint.

V_{us} = gaya geser lantai total di tingkat yang diawasi.

2. Menghitung Parameter Material

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,575 \text{ Mpa}$$

3. Menghitung Inersia kolom dan balok

Dimensi Kolom Atas & Bawah:

b = 600 mm

h = 1000 mm

lk = 5400 mm atas, 3600 mm bawah

Dimensi Balok Atas & Bawah:

b = 400 mm kiri, 400 mm kanan

h = 700 mm kiri, 700 mm kanan

lb = 8000 mm kiri, 8000 mm kanan.

Pada penampang kolom, dilakukan perhitungan momen inersia sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 600 \times 1000^3 = 5,00 \times 10^{10}$$

Pada penampang balok, dilakukan perhitungan momen inersia sebagai berikut:

$$I_b = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 = 1,143 \times 10^{10}$$

4. Menghitung Radius Girasi

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_g}} = \sqrt{\frac{5,00 \times 10^{10}}{600 \times 1000}} = 288,675 \text{ mm}$$

5. Menghitung Panjang Efektif Kolom

$$l = 5522,6 \text{ mm}$$

$$l_u = 5522,6 - \frac{1}{2}h_{balok} - \frac{1}{2}h_{balok}$$

$$l_u = 5522,6 - \frac{1}{2} \times 700 - \frac{1}{2} \times 700 = 4822,6 \text{ mm}$$

6. Menghitung Nilai Rasio Kekakuan Kolom

Perhitungan rasio kekakuan pada bagian atas kolom:

$$\Psi_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Balok}}$$

$$\Psi_A = \frac{\left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{5400} \right) + \left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{5522,6} \right)}{\left(\frac{27805,575 \times 1,143 \times 10^{10}}{8000} \right) + \left(\frac{27805,575 \times 1,143 \times 10^{10}}{8000} \right)}$$

$$\Psi_A = \frac{2,575 \times 10^{11} + 2,517 \times 10^{11}}{3,974 \times 10^{10} + 3,974 \times 10^{10}}$$

$$\Psi_A = 6,407$$

Perhitungan rasio kekakuan pada bagian bawah kolom:

$$\Psi_B = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Balok}}$$

$$\Psi_B = \frac{\left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{3600}\right) + \left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{5522,6}\right)}{\left(\frac{27805,575 \times 1,143 \times 10^{10}}{8000}\right) + \left(\frac{27805,575 \times 1,143 \times 10^{10}}{8000}\right)}$$

$$\Psi_B = \frac{3,862 \times 10^{11} + 2,517 \times 10^{11}}{3,974 \times 10^{10} + 3,974 \times 10^{10}}$$

$$\Psi_B = 8,027$$

Pengecekan Stabilitas Arah x,

1. Menghitung Indeks Stabilitas

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} l_c} = \frac{115750,441 \times 16,613}{9365,921 \times 5522,6} = 0,0372 \leq 0,05 \text{ (non-sway)}$$

2. Menghitung Parameter Material

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,575 \text{ Mpa}$$

3. Menghitung Inersia kolom dan balok

Dimensi Kolom Atas & Bawah:

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$lk = 5400 \text{ mm atas, } 3600 \text{ mm bawah}$$

Dimensi Balok Atas:

$$b = 600 \text{ mm kiri, } 600 \text{ mm kanan}$$

$$h = 600 \text{ mm kiri, } 600 \text{ mm kanan}$$

$$lb = 5200 \text{ mm kiri, } 3950 \text{ mm kanan.}$$

Dimensi Balok Bawah:

$$b = 400 \text{ mm kiri, } 300 \text{ mm kanan}$$

$$h = 500 \text{ mm kiri, } 500 \text{ mm kanan}$$

$$lb = 4150 \text{ mm kiri, } 5000 \text{ mm kanan.}$$

Pada penampang kolom, dilakukan perhitungan momen inersia sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 600 \times 1000^3 = 5,00 \times 10^{10}$$

Pada penampang balok, dilakukan perhitungan momen inersia sebagai berikut:

$$I_{b1} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 600 \times 600^3 = 1,080 \times 10^{10}$$

$$I_{b2} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 400 \times 500^3 = 4,167 \times 10^9$$

$$I_{b3} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 = 3,125 \times 10^9$$

4. Menghitung Radius Girasi

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_g}} = \sqrt{\frac{5,00 \times 10^{10}}{600 \times 1000}} = 288,675 \text{ mm}$$

5. Menghitung Panjang Efektif Kolom

$$l = 5522,6 \text{ mm}$$

$$l_u = 5522,6 - \frac{1}{2}h_{balok} - \frac{1}{2}h_{balok}$$

$$l_u = 5522,6 - \frac{1}{2} \times 500 - \frac{1}{2} \times 600 = 4972,6 \text{ mm}$$

6. Menghitung Nilai Rasio Kekakuan Kolom

Perhitungan rasio kekakuan pada bagian atas kolom:

$$\Psi_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Balok}}$$

$$\Psi_A = \frac{\left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{5400} \right) + \left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{5522,6} \right)}{\left(\frac{27805,575 \times 1,080 \times 10^{10}}{5200} \right) + \left(\frac{27805,575 \times 1,080 \times 10^{10}}{3950} \right)}$$

$$\Psi_A = \frac{2,575 \times 10^{11} + 2,517 \times 10^{11}}{5,775 \times 10^{10} + 7,603 \times 10^{10}}$$

$$\Psi_A = 3,806$$

Perhitungan rasio kekakuan pada bagian bawah kolom:

$$\Psi_B = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l} \right)_{Balok}}$$

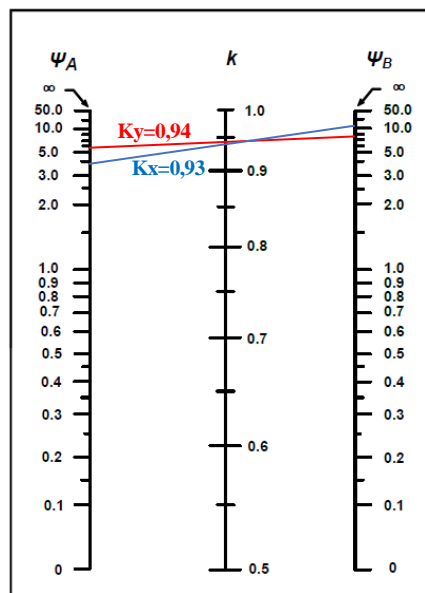
$$\Psi_B = \frac{\left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{3600} \right) + \left(\frac{27805,575 \times 5,00 \times 10^{10}}{5522,6} \right)}{\left(\frac{27805,575 \times 4,167 \times 10^9}{4150} \right) + \left(\frac{27805,575 \times 3,125 \times 10^9}{5000} \right)}$$

$$\Psi_B = \frac{3,862 \times 10^{11} + 2,517 \times 10^{11}}{2,792 \times 10^{10} + 1,738 \times 10^{10}}$$

$$\Psi_B = 14,084$$

5.6.1 Pengecekan Panjang Tekuk Kolom

Dengan memperoleh nilai Ψ_A & Ψ_B , maka nilai $K_y = 0,94$ & $K_x = 0,93$ dapat dilihat pada Gambar 5.36.



(a) Rangka tidak bergoyang

Gambar 5. 36 Nilai k berdasarkan *alignment chart*

(Sumber: SNI – 2847 – 2019)

Jadi, panjang tekuk kolom = $K_y \times l_u = 0,94 \times 4822,6 = 4533,244 \text{ mm}$
 & $K_x \times l_u = 0,93 \times 4972,6 = 4624,518 \text{ mm}$

5.6.2 Analisis Kelangsingan Kolom

Dalam menentukan parameter kelangsingan kolom yang ditinjau sebelumnya harus dilakukan pemeriksaan dahulu apakah kelangsingan kolom diabaikan atau tidak. Untuk kolom tak bergoyang, pengaruh kelangsingan bisa diabaikan bila memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5; Persamaan (6.2.5b); Hal-91, yaitu:

Untuk arah x:

$$\frac{K_x \cdot l_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$\frac{4624,518}{288,675} \leq 34 + 12 \left(\frac{-71,924}{64,016} \right)$$

$$16,020 \leq 20,517 \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

dan

$$\frac{K_x \cdot l_u}{r} \leq 40$$

$$\frac{4624,518}{288,675} \leq 40$$

$$16,020 \leq 40 \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Untuk arah y:

$$\frac{K_y \cdot l_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$\frac{4533,244}{288,675} \leq 34 + 12 \left(\frac{-14,016}{26,221} \right)$$

$$15,704 \leq 27,586 \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

dan

$$\frac{K_y \cdot l_u}{r} \leq 40$$

$$\frac{4533,244}{288,675} \leq 40$$

$$15,704 \leq 40 \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk kolom miring lainnya secara keseluruhan sehingga diperoleh hasil pemeriksaan kelangsingan kolom miring yang direkapitulasi secara keseluruhan pada Tabel 5.33 berikut.

Tabel 5. 33 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Miring Gedung Hotel Rez

Lantai	Kolom Miring	Output SAP 2000				(k.lu)/r		$\leq 34+12(M1/M2)$		≤ 40	
		Arah X		Arah Y		Arah X	Arah Y	Cek Arah X	Cek Arah Y	Cek Arah X	Cek Arah Y
		M1	M2	M1	M2						
Lantai 1	K13	26,532	16,329	-215,949	198,463	14,485	15,190	OKE	OKE	OKE	OKE
	K14	-12,171	37,554	-178,253	169,862	14,877	15,190	OKE	OKE	OKE	OKE
	K25	-15,091	29,849	-109,241	97,947	16,192	16,364	OKE	OKE	OKE	OKE
	K15	-71,924	64,015	-14,016	26,221	16,020	15,704	OKE	OKE	OKE	OKE
	K16	-19,971	26,528	-45,992	35,748	16,192	15,331	OKE	OKE	OKE	OKE
	K17	-11,517	10,580	-45,062	34,014	18,840	16,879	OKE	OKE	OKE	OKE
Lantai 2	K13	4,499	23,075	-192,279	196,534	11,360	13,817	OKE	OKE	OKE	OKE
	K14	-8,082	33,709	-151,060	148,934	11,360	12,128	OKE	OKE	OKE	OKE
	K25	-5,658	25,721	-104,044	100,612	12,496	12,862	OKE	OKE	OKE	OKE
	K15	-5,740	22,957	-83,926	77,409	12,429	13,067	OKE	OKE	OKE	OKE
	K16	0,550	26,457	-46,491	52,985	12,429	12,041	OKE	OKE	OKE	OKE
	K17	-7,649	14,377	-67,533	53,134	14,692	12,714	OKE	OKE	OKE	OKE

Berdasarkan hasil pemeriksaan kelangsingan kolom diatas, dikarenakan semua hasil perhitungan masih memenuhi syarat (kolom tidak langsing) sesuai SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5; Persamaan (6.2.5b); Hal-91, sehingga pengaruh kelangsingan bisa diabaikan.

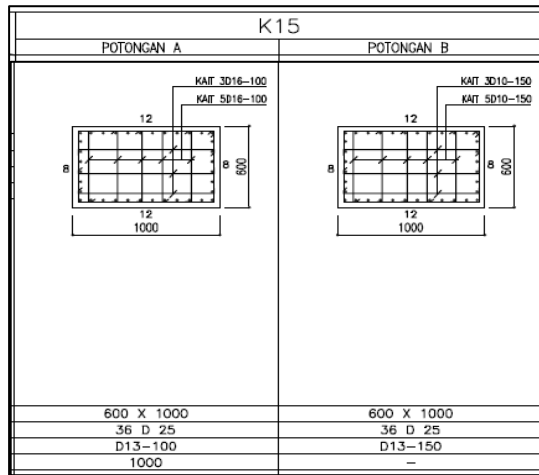
5.7 Pengecekan Kapasitas Kolom

Pengecekan kapasitas kolom miring dilakukan dengan perhitungan analisis kapasitas kolom secara biaksial dengan pendekatan ACI 318 dan Bresler serta perhitungan momen lentur dan gaya aksial menggunakan *software SpColumn*. Pengecekan ini bertujuan untuk mengetahui mengetahui kapasitas kolom miring mampu menahan beban-beban yang diberikan.

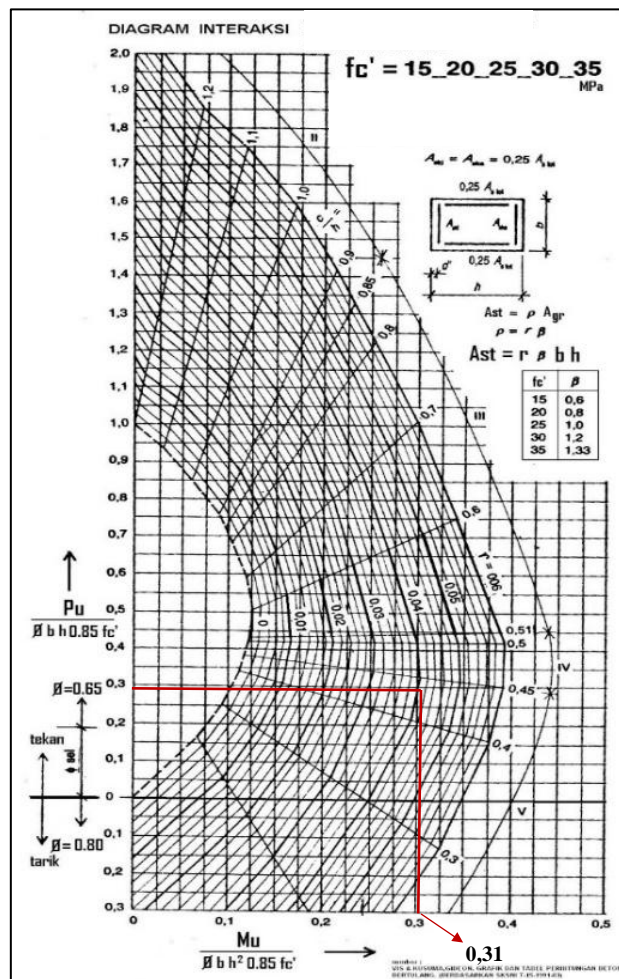
5.7.1 Pengecekan Kapasitas Kolom Miring

Pengecekan kapasitas kolom miring dengan perhitungan analisis kapasitas kolom secara biaksial dengan pendekatan ACI 318 dan Bresler serta mengambil beban aksial dan momen terbesar yaitu kolom miring K15 Lantai 1 yang ada pada struktur gedung dan momen arah X dan Y.

Beban Aksial (P_u)	= 3384,754 kN (<i>Output SAP 2000</i>)
Momen Arah Y (M_{uy})	= 746,301kNm (<i>Output SAP 2000</i>)
Momen Sumbu X (M_{ux})	= 117,528 kNm (<i>Output SAP 2000</i>)
Mutu tulangan (f_y)	= 420 MPa
Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
Lebar dimensi kolom	= 600 mm
Tinggi dimensi kolom	= 1000 mm
Diameter tulangan pokok	= 25 mm
Diameter tulangan sengkang	= 13 mm
Tebal brutto selimut beton	= 50 mm
Jumlah tulangan	= 36 buah



Gambar 5. 37 Dimensi penampang kolom miring



Gambar 5. 38 Diagram interaksi P – M untuk kolom miring

(Sumber: Vis & Gideon, 1993)

Dikarenakan mutu beton (f'_c) yang digunakan 35 MPa, maka nilai β sesuai ketentuan pada diagram interaksi pada Gambar 4.13 digunakan nilai $\beta=1,33$

Luas tulangan total (A_{st}) = $36 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 17671,459$ mm

$$\rho = \frac{A_{st}}{bh} = \frac{17671,459}{600 \times 1000} = 0,29 \rightarrow r = \frac{\rho}{\beta} = \frac{0,029}{1,33} = 0,044$$

Faktor Reduksi $\phi = 0,65$

$$\frac{P_u}{(\phi \times b \times h \times 0,8425 \times f'_c)} = \frac{3384,754 \times 1000}{(0,65 \times 600 \times 1000 \times 0,8425 \times 35)} = 0,294$$

Dari grafik diagram interaksi Vis & Gideon pada Gambar 4.13 untuk

$$\frac{P_u}{(\phi \times b \times h \times 0,8425 \times f'_c)} = 0,294 \text{ dan } r = 0,044, \text{ diperoleh } \frac{e}{h} \times \frac{P_u}{(\phi \times b \times h \times 0,8425 \times f'_c)} =$$

0,31, sehingga

$$\frac{e}{h} = \frac{0,31}{0,294} = 1,053$$

Pada arah sumbu-y

$$e_y = 1,053 \times 1000 = 1053,264 \text{ mm}$$

$$M_{oy} = P_u \times e_y = 3565,039 \text{ kNm}$$

Pada arah sumbu-x

$$e_x = 1,053 \times 1000 = 1053,264 \text{ mm}$$

$$M_{ox} = P_u \times e_x = 3565,039 \text{ kNm}$$

Pengecekan kapasitas kolom dengan tampang segiempat menurut ACI 318 dari persamaan:

$$\frac{M_{ux}}{M_{ox}} + \frac{M_{uy}}{M_{oy}} \leq 1$$

$$\frac{117,528}{3565,039} + \frac{746,301}{3565,039} \leq 1$$

0,242 \leq 1 (Memenuhi syarat aman)

Adapun cara lain dalam menentukan kolom biaksial yang dilakukan dengan membandingkan kemampuan gaya aksial ultimit dan gaya aksial terfaktornya sebagai berikut:

Menghitung P_{no} :

$$P_{no} = (0,85f'_c(bh - A_s)) + A_s \times f_y$$

$$P_{no} = (0,85 \times 35 \times (600 \times 1000 - 17671,459)) + 17671,459 \times 420$$

$$P_{no} = 24746,287 \text{ kN}$$

Asumsi kolom ini yaitu runtuh tekan, maka harus $Pn_x > Pb_x$ & $Pn_x > Pb_y$

Menghitung Pb_x & Pb_y :

$$C_c = 0,85f'_c(bh - A_s)$$

$$C_c = 0,85 \times 35 \times (600 \times 1000 - 17671,459) = 17324,274 \text{ kN}$$

$$C_s = A'_s(f_y - 0,85f'_c)$$

$$C_s = 17671,459 \times (420 - 0,85 \times 35) = 6896,287 \text{ kN}$$

$$T = A_s f_y = 17671,459 \times 420 = 7422,013 \text{ kN}$$

$$P_b = C_c + C_s - T$$

$$Pb_x \& Pb_y = 17324,274 + 6896,287 - 7422,013 = 16798,548 \text{ kN}$$

Adapun rumus Pn_x & Pn_y (Kamaludin, 2017) sebagai berikut:

Menghitung Pn_x :

$$Pn_x = \frac{b \times h \times f'_c}{\frac{a \times h \times e_y}{d^2} + 1,18} + \frac{A_s f_y}{\frac{e_y}{d \times d'} + 0,50}$$

$$Pn_x = \frac{600 \times 1000 \times 35}{\frac{3 \times 1000 \times 115,863}{934,5^2} + 1,18} + \frac{17671,459 \times 420}{\frac{115,863}{934,5 \times 40} + 0,50}$$

$$Pn_x = 28060,368 \text{ kN}$$

Menghitung Pn_y :

$$Pn_y = \frac{b \times h \times f'_c}{3 \times h \times e_x + 1,18} + \frac{A_s f_y}{\frac{e_x}{(b - 2d)} + 0,50}$$

$$Pn_y = \frac{600 \times 1000 \times 35}{3 \times 1000 \times 275,137 + 1,18} + \frac{17671,459 \times 420}{\frac{275,137}{(600 - 2 \times 934,5)} + 0,50}$$

$$Pn_y = 31717,816 \text{ kN}$$

Asumsi kolom runtuh tekan telah memenuhi karena $Pn_x = 28060,368 \text{ kN}$

& $Pn_y = 31717,816 \text{ kN} > Pb_x \& Pb_y = 16798,548 \text{ kN}$

Pengecekan kapasitas kolom menurut Bresler:

$$a) \left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}} \right)^a + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}} \right)^a \leq 1 \rightarrow \left(\frac{117,528}{3565,039} \right)^1 + \left(\frac{746,301}{3565,039} \right)^1 = 0,242 < 1$$

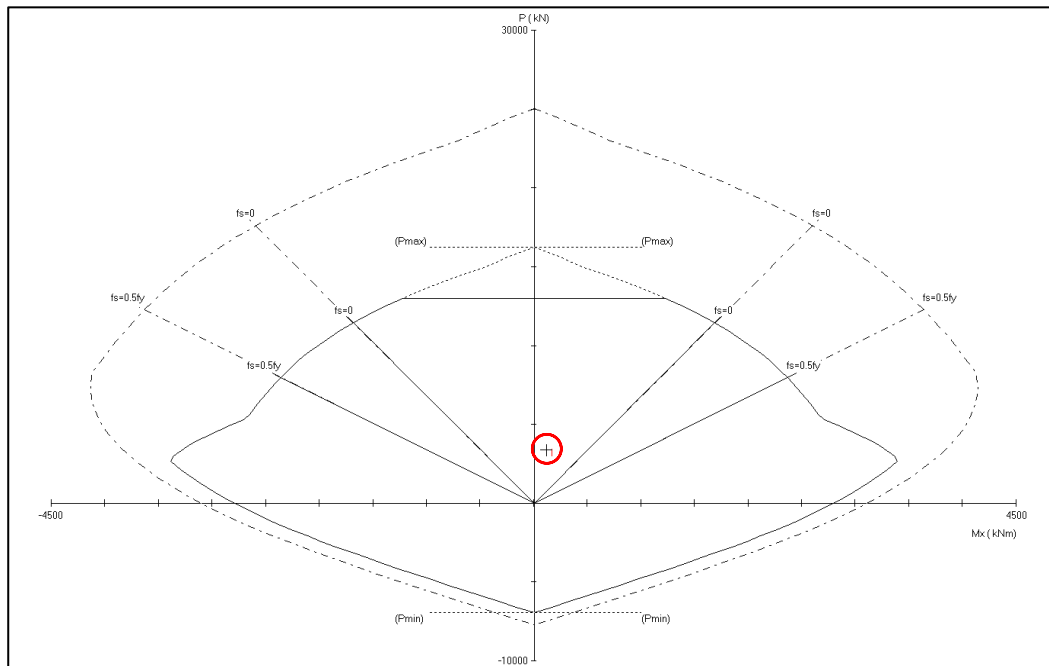
$$b) \frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} - \frac{1}{P_{no}} > P_u$$

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{28060,368} + \frac{1}{31717,816} - \frac{1}{24746,287}$$

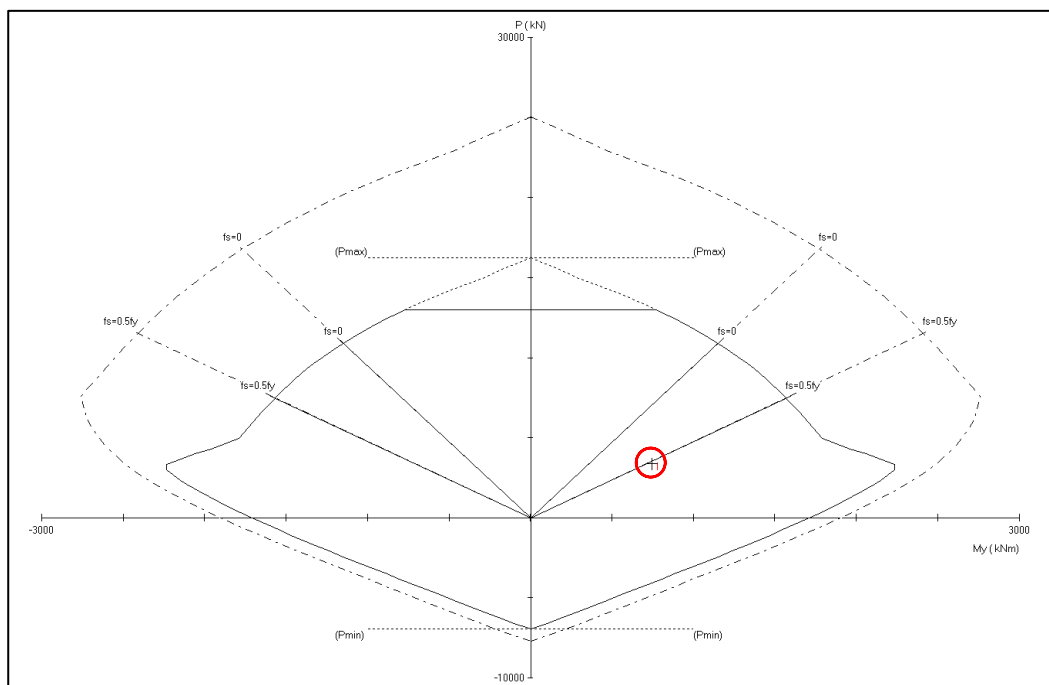
$$P_n = \frac{1}{4,03 \times 10^{-5}} = 24787,486 \text{ kN} > 3384,754 \text{ kN}$$

Hasil diatas menunjukkan bahwa pengecekan kapasitas kolom menurut ACI 318 dan Bresler memenuhi persyaratan keamanan (menghasilkan rasio kapasitas kolom $0,242 < 1$, $\frac{M_{ux}}{M_{ox}} + \frac{M_{uy}}{M_{oy}} \leq 1$; $0,242 \leq 1$, $P_n = 24787,486 \text{ kN} > P_u = 3384,745 \text{ kN}$).

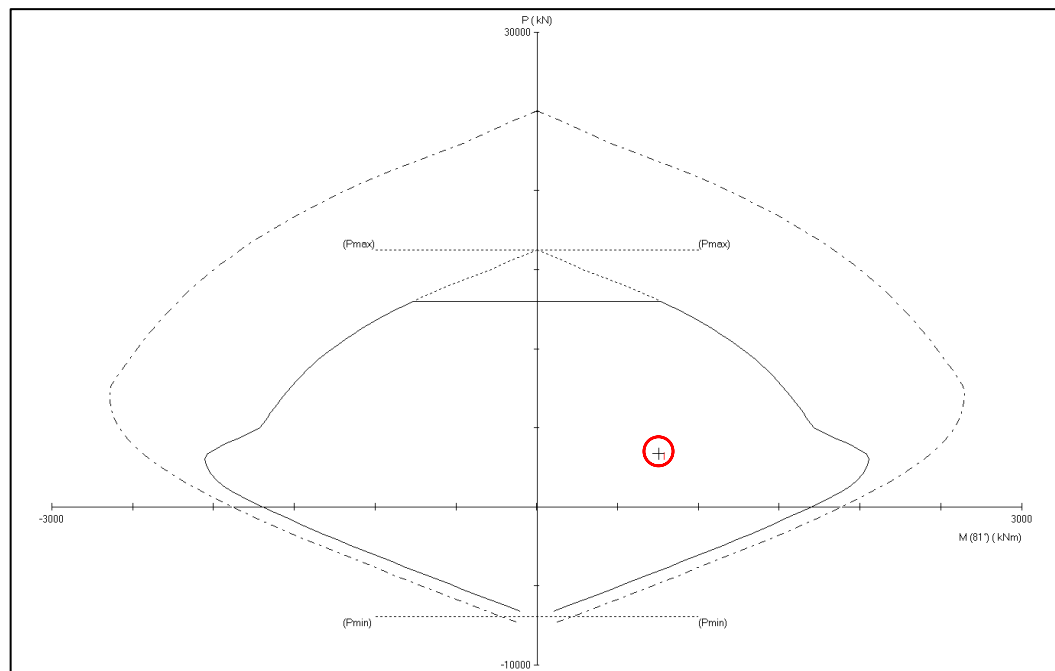
Kolom miring ini turut dianalisis oleh *software SpColumn*, dan diperoleh diagram interaksi kolom miring dengan memasukkan nilai beban terfaktor yang dapat dilihat pada Gambar 5.39, Gambar 5.40, dan Gambar 5.41.



Gambar 5. 39 Diagram interaksi P_u & M_{ux} untuk kolom miring



Gambar 5. 40 Diagram interaksi P_u & M_{uy} untuk kolom miring



Gambar 5. 41 Diagram interaksi P – M untuk kolom miring

Diagram interaksi kolom miring menghasilkan kondisi dimana bahwa titik oktaf (tanda "+") didalam lingkaran merah yang berada di dalam diagram menunjukkan bahwa kapasitas kolom mampu menahan beban terfaktor. Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk kolom miring lainnya secara keseluruhan sehingga diperoleh hasil pemeriksaan kapasitas kolom miring yang direkapitulasi secara keseluruhan pada Tabel 5.34 berikut.

Tabel 5. 34 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Kapasitas Kolom Miring Gedung Hotel Rez

Lantai	Kolom Miring	Dimensi Kolom (mm)	Metode ACI 318		Metode Bresler				
			$\frac{M_{ux}}{M_{ox}} + \frac{M_{uy}}{M_{oy}} \leq 1$	Cek	$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right)^a + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right)^a \leq 1$	Cek	$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} - \frac{1}{P_{no}} > P_u$	Pu (kN)	Cek
Lantai 1	K13	K13 (700 x 1100)	0,288	Aman	0,288	Aman	33271,578	2155,679	Aman
	K14	K14 (700 x 1100)	0,252	Aman	0,252	Aman	34302,048	3456,623	Aman
	K25	K25 (650 x 1000)	0,220	Aman	0,220	Aman	29176,828	3337,365	Aman
	K15	K15 (600 x 1000)	0,242	Aman	0,242	Aman	24787,486	3384,754	Aman
	K16	K16 (600 x 1000)	0,371	Aman	0,371	Aman	22109,276	2608,696	Aman
	K17	K17 (600 x 800)	0,396	Aman	0,396	Aman	18906,274	1862,705	Aman
Lantai 2	K13	K13 (700 x 1100)	0,322	Aman	0,322	Aman	30625,059	1629,988	Aman
	K14	K14 (700 x 1100)	0,253	Aman	0,253	Aman	31724,111	2871,550	Aman
	K25	K25 (650 x 1000)	0,276	Aman	0,276	Aman	26663,129	2866,545	Aman
	K15	K15 (600 x 1000)	0,339	Aman	0,339	Aman	23258,401	2971,814	Aman
	K16	K16 (600 x 1000)	0,402	Aman	0,402	Aman	21727,855	2358,098	Aman
	K17	K17 (600 x 800)	0,644	Aman	0,644	Aman	18526,871	1297,076	Aman

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Hasil pengecekan perilaku struktur (Periode getar bangunan, gaya geser dasar, *displacement* struktur, simpangan antar tingkat, dan pengaruh P-delta) telah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019.
2. Berdasarkan pengecekan stabilitas gedung nilai koefisien stabilitas akibat gempa arah X (θ_{Ex}) terbesar berada di lantai 4 sebesar 0,035 sedangkan nilai koefisien stabilitas akibat gempa arah Y (θ_{Ey}) terbesar berada di lantai 2 sebesar 0,020. Hasil tersebut sudah memenuhi syarat kurang dari nilai θ_{maks} sebesar 0,091 sehingga gedung Hotel Rez Semarang dikatakan stabil jika terjadi gempa, meskipun memiliki 12 kolom miring.
3. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua kapasitas kolom miring memenuhi standar keamanan. Perhitungan kapasitas kolom miring secara biaksial dengan beban aksial nominal dan momen nominal terbesar yaitu kolom K15 di lantai 1 memiliki rasio kapasitas kolom sebesar 0,242, yang masih dalam batas aman menurut pendekatan ACI 318 dan Bresler (≤ 1). Selain itu, beban aksial ultimit (P_n) sebesar 24787,486 kN jauh lebih besar dibandingkan beban aksial nominal (P_u) sebesar 3384,745 kN. Analisis diagram interaksi berdasarkan *SpColumn* menyatakan bahwa kapasitas kolom dikatakan mampu menahan beban yang diberikan.

6.2 Saran

Setelah melakukan analisis di atas, penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan pedoman dan metode terkini dalam proses analisis dan perhitungannya maka akan didapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi pada saat penelitian dilaksanakan.
2. Pada proses pemodelan 3D dan analisis struktur penelitian selanjutnya dapat menggunakan bantuan *software ETABS* karena cenderung lebih lengkap untuk melakukan perancangan gedung, lebih cepat dalam melakukan *running analysis* dibandingkan *SAP 2000*
3. Perbandingan kapasitas kolom miring dengan kolom vertikal dapat menjadi fokus penelitian lanjutan untuk mengetahui perbedaan kinerja struktur.
4. Studi lebih lanjut dapat menganalisis sambungan balok pada kolom miring dan meninjau kebutuhan volume kolom miring untuk optimasi desain struktur.

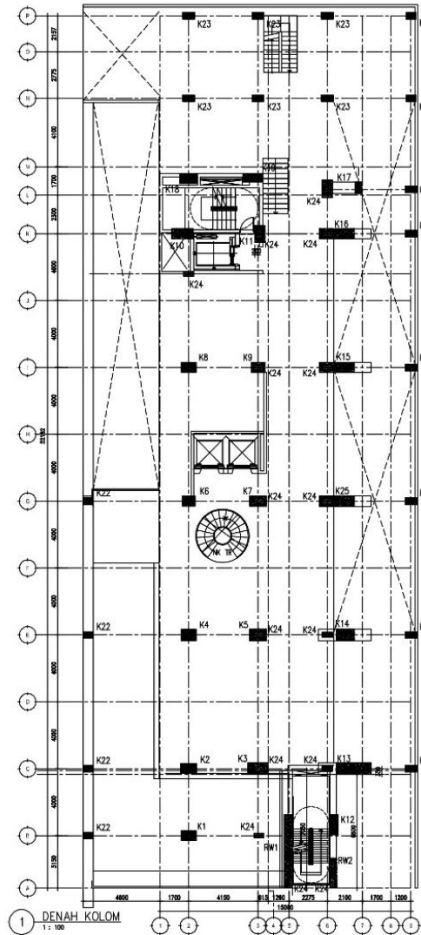
DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-14. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
- Blessler, B. (1960). Design Criteria for Reinforced Concrete Columns under Axial Load and Biaxial Bending. In *Journal of The American Concrete Institute* (pp. 481-490). Farmington Hills.
- Budur, K., Suwardja., A. (1994). *Studi Pustaka Analisa Kolom Biaksial*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Dipohusodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. cetakan ketiga. Jakarta: PT. SUN.
- Fitriansyah, R. H. (2021). Analisis Kolom Miring Pada Struktur Gedung DPRD Kabupaten Bandung Barat. *Digital Repository Institut Teknologi Nasional*.
- Kamaludin. (2017). Perhitungan Luas Penulangan Metode Bisection pada Kolom Biaxial Menggunakan Delphi dengan Rumus Bresler. *Jurnal Teknisia, Volume XXII, No. 2, 8*.
- Kresna, F. B. (2016). Evaluasi Penggunaan Kolom Miring Pada Struktur Bangunan C-Dast Universitas Jember. *Digital Repository Universitas Jember*.
- Lesmana, Y. (2019). *Desain Struktur Beton Bertulang*. Makassar: Nas Media Pustaka.
- Mc Cormac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, G.E., Tavio., & Kusuma, Benny. 2010. *Beton Bertulang*. Surabaya: ITS Press
- Nobel, A. (2012). *Studi Perilaku Struktur Gedung dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang Terhadap Beban Gempa*. Depok: Universitas Indonesia.

- Putri, V. D. (2017). Studi Perbandingan Penggunaan Kolom Tegak dan kolom Miring Pada UPT BSMKU Universitas Jember Dengan Menggunakan Program Analisis Struktur. *Digital Repository Universitas Jember*.
- Simatupang, A. D. U. A. (2019). Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang Pada Gedung Yang Memiliki Kolom Miring Dengan Sistem Pemikul Momen Biasa (SRPMB). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain*. SNI 1727. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sudarmoko. (2017). Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah III Denpasar. (<https://bbmkg3.bmkg.go.id/>. Diakses 21 November 2023).
- Wiranata, W. (2018). Studi Perbandingan Gedung Beton Bertulang dengan Kolom Miring dan Tanpa Kolom Miring di Keempat Sisi Gedung. *Digital Repository Universitas Katolik Parahyangan*.

LAMPIRAN

**Lampiran 1 *Detail Engineering Design* (DED) Bangunan Gedung Hotel Rez
Semarang**



LIST KOLOM

LANTAI	TYPE KOLOM	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
LANTAI 9 - LANTAI ADAP	-	-	-	-	-	-	□ 300x600	-	□ 300x600	-	□ 300x600
LANTAI 8 - LANTAI 9	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800
LANTAI 7 - LANTAI 8	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800
LANTAI 6 - LANTAI 7	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x1000	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x900
LANTAI 5 - LANTAI 6	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x1000	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x1000
LANTAI 4 - LANTAI 5	□ 400x800	□ 400x1000	□ 400x1200	□ 400x800	□ 400x1000	□ 400x800	□ 400x1000	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x1000	□ 400x1000
LANTAI 3 - LANTAI 4	□ 400x800	□ 400x1000	□ 400x1200	□ 400x800	□ 400x1000	□ 400x800	□ 400x1000	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x1000	□ 400x1000
LANTAI 2 - LANTAI 3	□ 600x800	□ 600x1000	□ 700x1200	□ 700x1000	□ 700x1000	□ 700x900	□ 600x800	□ 600x1000	□ 600x800	□ 600x800	□ 500x1200
LANTAI 1 - LANTAI 2	□ 600x800	□ 600x1000	□ 700x1200	□ 700x1000	□ 700x1000	□ 700x900	□ 600x800	□ 600x1000	□ 600x800	□ 600x800	□ 600x1300
LANTAI DASAR - LANTAI 1	□ 600x800	□ 600x1000	□ 700x1200	□ 700x900	□ 700x1000	□ 700x1000	□ 600x800	□ 600x1000	□ 600x800	□ 600x800	□ 600x1300
LT. BASEMENT-LT. DASAR	-	□ 600x1000	□ 700x1200	□ 700x900	□ 700x1000	□ 700x1000	□ 600x800	□ 600x1000	-	-	-

LIST KOLOM

LANTAI	TYPE KOLOM	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22
LANTAI 9 - LANTAI ADAP	-	□ 300x600	-	-	-	-	-	-	□ 300x600	□ 300x600	-	-	-
LANTAI 8 - LANTAI 9	□ 500x700	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x1200	-	-	-
LANTAI 7 - LANTAI 8	□ 500x700	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x1200	-	-	-
LANTAI 6 - LANTAI 7	□ 500x700	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x1200	-	-	-
LANTAI 5 - LANTAI 6	□ 500x700	□ 400x800	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x900	□ 400x800	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x700	□ 400x1200	-	-	-
LANTAI 4 - LANTAI 5	□ 500x800	□ 400x1000	□ 500x1100	□ 400x1000	□ 400x1000	□ 400x1000	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 500x1200	-	-	-
LANTAI 3 - LANTAI 4	□ 500x800	□ 400x1000	□ 500x1100	□ 400x1000	□ 400x1000	□ 400x1000	□ 400x700	□ 400x800	□ 400x800	□ 500x1200	-	-	-
LANTAI 2 - LANTAI 3	□ 500x900	□ 400x1000	□ 700x1100	□ 700x1100	□ 600x1000	□ 600x1000	□ 600x800	□ 600x800	□ 500x1200	□ 400x700	-	-	-
LANTAI 1 - LANTAI 2	□ 600x1000	□ 500x1200	□ 700x1100	□ 700x1100	□ 600x1000	□ 600x1000	□ 600x800	□ 600x1100	□ 500x1200	□ 400x700	□ 300x600	-	-
LANTAI DASAR - LANTAI 1	□ 600x1000	□ 500x1200	□ 700x1100	□ 700x1100	□ 600x1000	□ 600x1000	□ 600x800	□ 600x1100	□ 500x1200	□ 400x700	-	□ 400x800	-
LT. BASEMENT-LT. DASAR	-	□ 500x1200	□ 700x1100	□ 700x1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-

LIST KOLOM

LANTAI	TYPE KOLOM	K23	K24	K25	K26
LANTAI 9 - LANTAI ADAP	-	□ 300x600	-	-	-
LANTAI 8 - LANTAI 9	-	□ 400x800	-	-	-
LANTAI 7 - LANTAI 8	-	□ 400x800	-	-	-
LANTAI 6 - LANTAI 7	-	□ 400x800	-	-	-
LANTAI 5 - LANTAI 6	-	□ 400x800	-	-	-
LANTAI 4 - LANTAI 5	-	□ 400x1000	-	-	-
LANTAI 3 - LANTAI 4	-	□ 500x1000	-	-	-
LANTAI 2 - LANTAI 3	-	□ 600x1000	-	-	-
LANTAI 2 - LANTAI 2A	□ 400x700	-	-	-	-
LANTAI 1A - LANTAI 2	□ 400x700	-	□ 600x1000	□ 400x800	-
LANTAI 1 - LANTAI 1A	□ 400x700	-	□ 600x1000	□ 400x800	-
LANTAI DASAR - LANTAI 1	□ 400x700	-	□ 600x1000	□ 400x800	-
LT. BASEMENT-LT. DASAR	-	□ 600x1000	-	-	-

LIST KOLOM

LANTAI	TYPE KOLOM	RW1	RW2
LANTAI 9 - LANTAI ADAP	-	-	-
LANTAI 8 - LANTAI 9	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 7 - LANTAI 8	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 6 - LANTAI 7	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 5 - LANTAI 6	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 4 - LANTAI 5	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 3 - LANTAI 4	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 2 - LANTAI 3	□ 300x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI 1 - LANTAI 2	□ 400x400	□ 300x1800	□ 300x1800
LANTAI DASAR - LANTAI 1	□ 500x400	□ 400x1800	□ 400x1800
LT. BASEMENT-LT. DASAR	□ 750x750	□ 400x7050	-

NOTE :
MATRI BETON :
KOLOM & SHEAR WALL :
 LT. BASEMENT - LANTAI 5 : $f_c = 35 \text{ MPa}$
 LANTAI 5 - LANTAI ADAP : $f_c = 30 \text{ MPa}$
BLOK & PELAT :
 LT. BASEMENT - LT. ADAP : $f_c = 30 \text{ MPa}$
 TULANGAN : $D \geq 10 \text{ BSTS } 420\text{R}, \rho_y = 420\text{RPs}$

Demikian drawings dan buku ini yang telah saya buat dan saya serahkan kepada anda. Apabila ada perubahan atau kesalahan, mohon maaf dan segera hubungi saya. Terima kasih.

KEY PLAN

PROJECT : **REZ HOTEL SEMARANG-INDONESIA**

CLIENT :

ARCHITECT & INTERIOR CONSULTANT : **studio air putih**

STRUCTURAL CONSULTANT : **STEPHANUS S.P. MENG**

STEPHANUS S.P. MENG
 SKA NO : 1.2.201.1.025.09.1037150

MEP CONSULTANT :

SPECIALIST LIGHTING CONSULTANT :

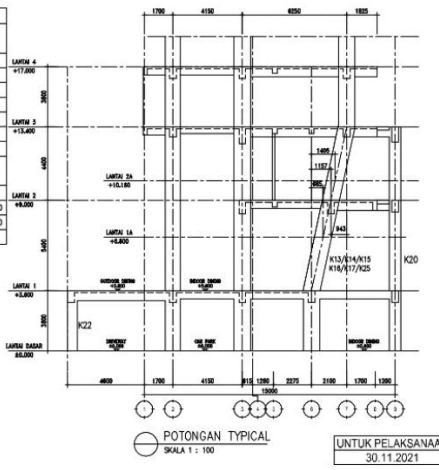
QUANTITY SURVEYOR :

REVISI :

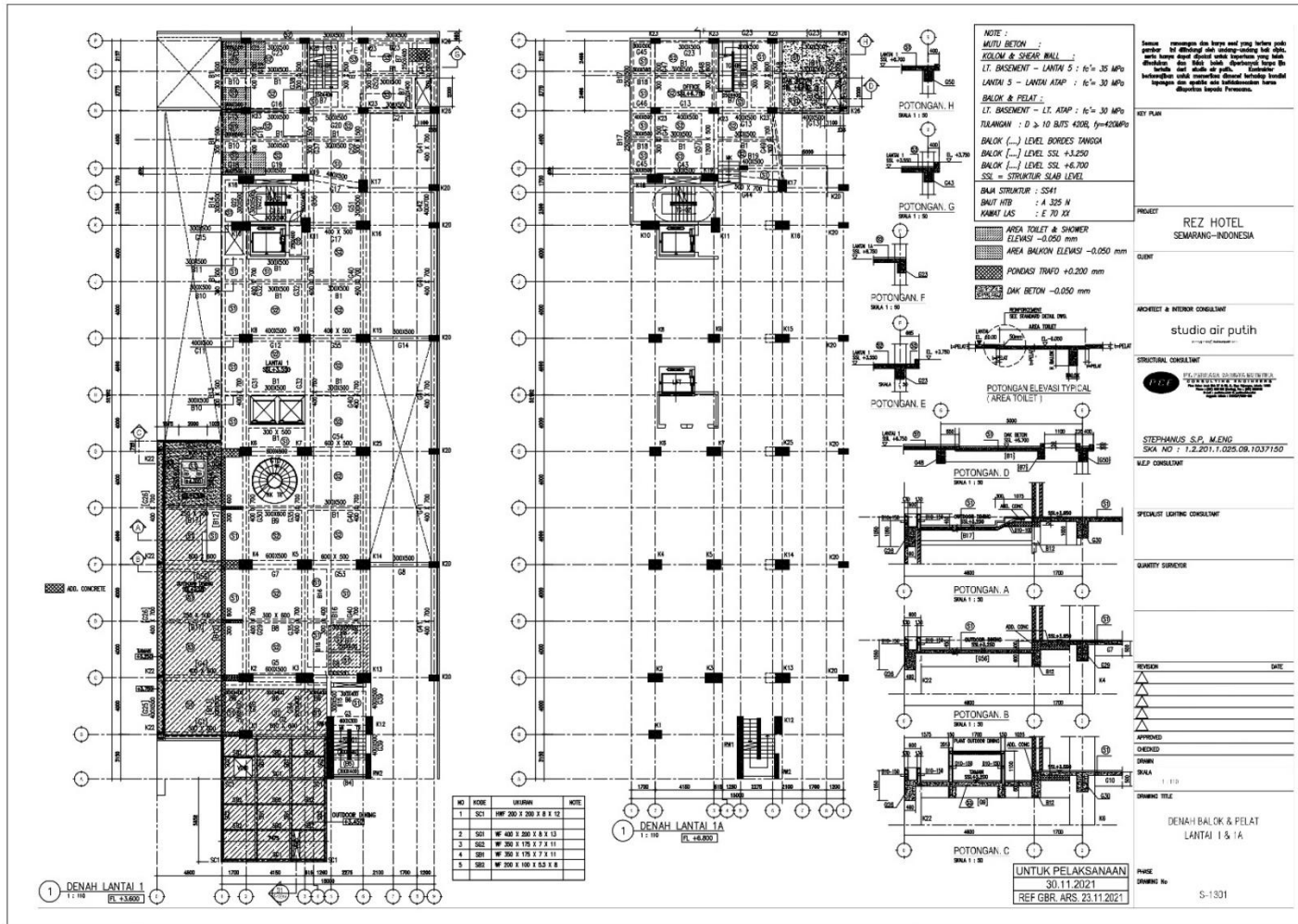
APPROVED
 CHECKED
 DRAWN
 SKALA : 1:100
 DRAWING TITLE :

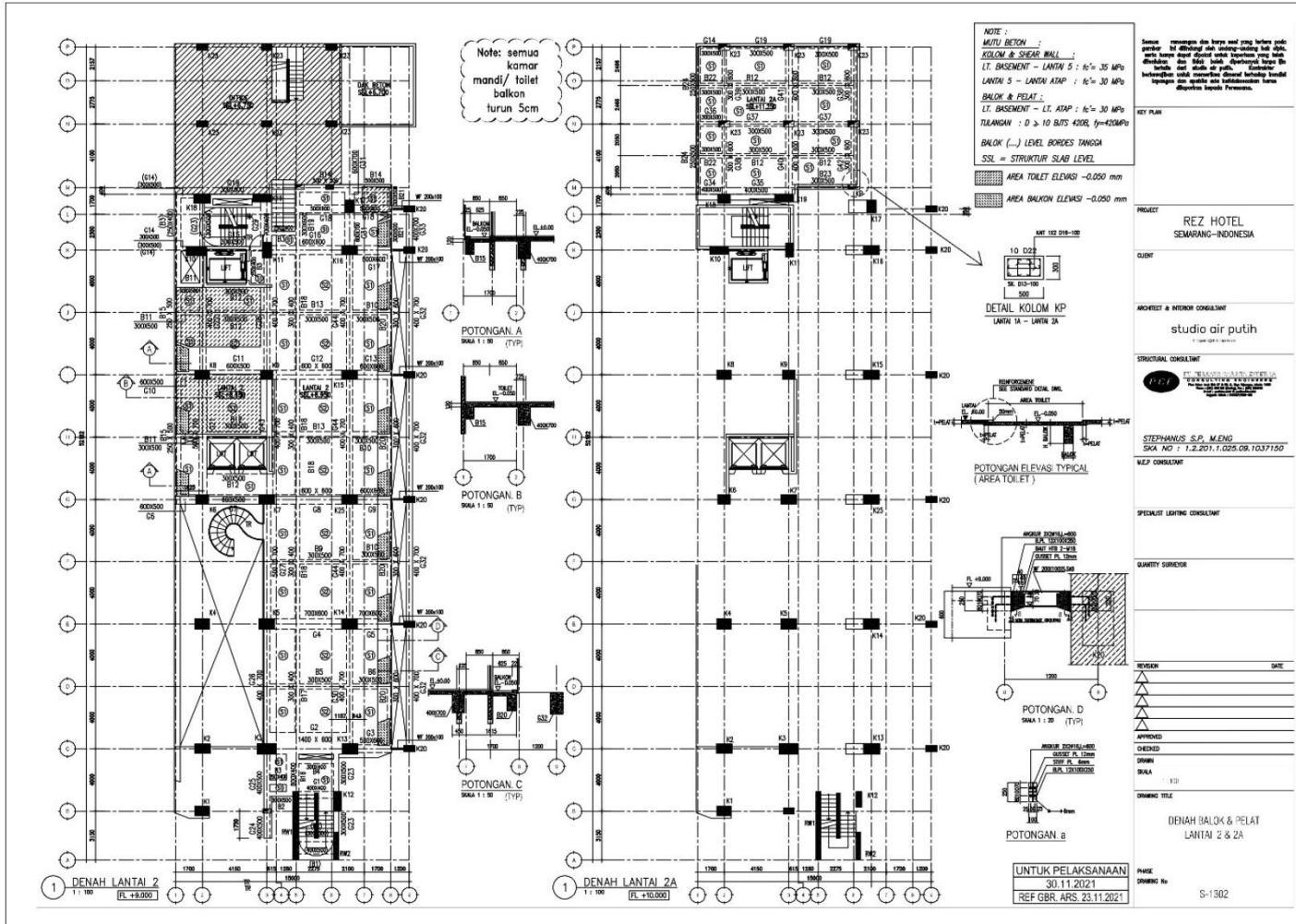
DENAH KOLOM

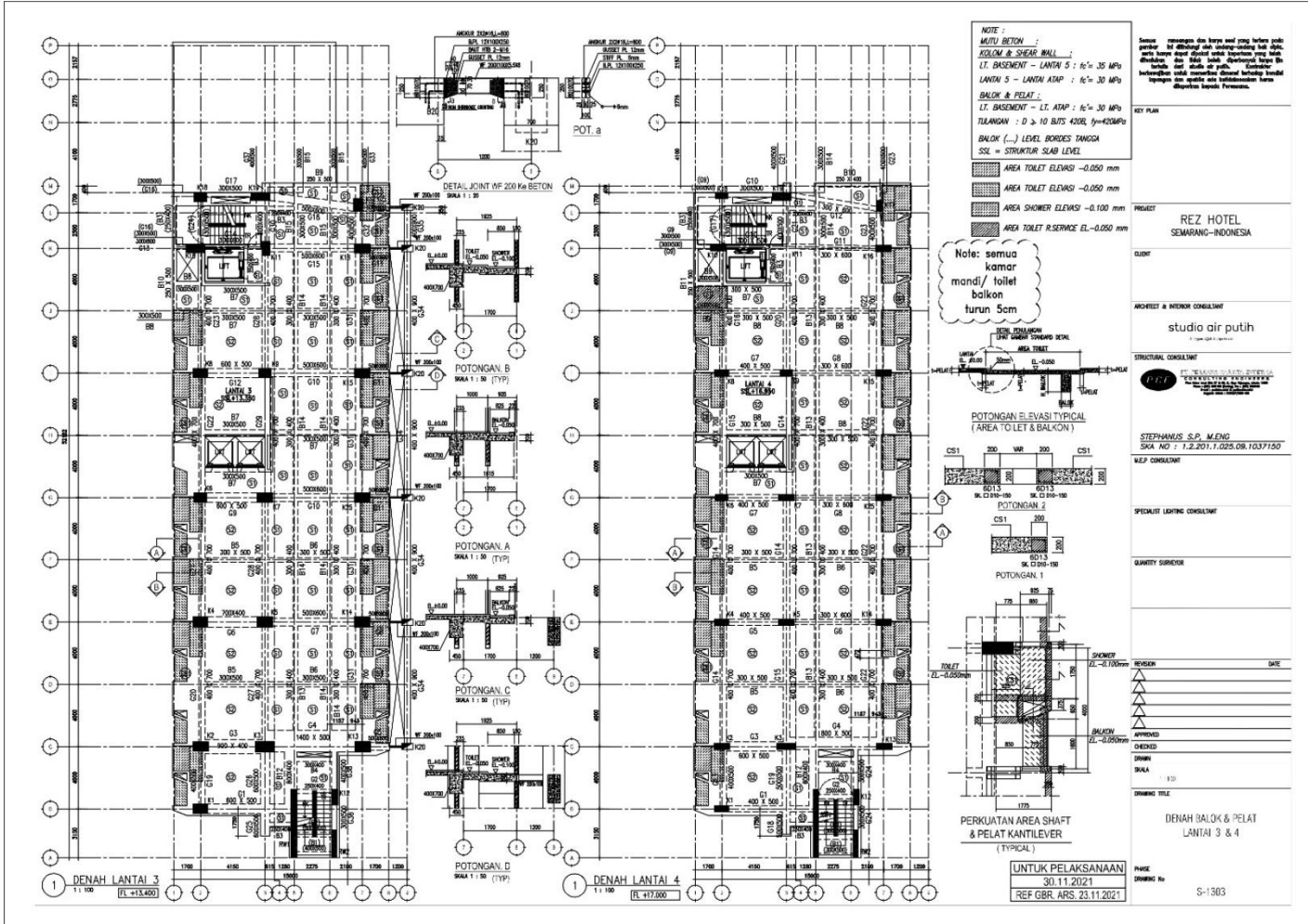
PHASE :
 DRAWING No : S-1501



UNTUK PELAKSANAAN
 30.11.2021







NOTE :
METU BETON :
KOLON & SHEAR WALL :
 LT. BASEMENT - LANTAI 5 : $f_c = 35$ MPa
 LANTAI 5 - LANTAI ATAP : $f_c = 30$ MPa
BALOK & PELAT :
 LT. BASEMENT - LT. ATAP : $f_c = 30$ MPa
 TULANGAN : $D \geq 10$ BUTS 420EL, $f_y = 420$ MPa
 BALOK (---) LEVEL BORDES TANGGA
 SSL = STRUKTUR SLAB LEVEL

- AREA TOILET ELEVASI -0.050 mm
- AREA TOILET ELEVASI -0.050 mm
- AREA SHOWER ELEVASI -0.100 mm
- AREA TOILET R SERVICE EL. -0.050 mm

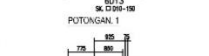
Note: semua kamar mandi/ toilet balkon turun 5cm



POTONGAN ELEVASI TYPICAL (AREA TOILET & BALKON)



POTONGAN 2



POTONGAN 1

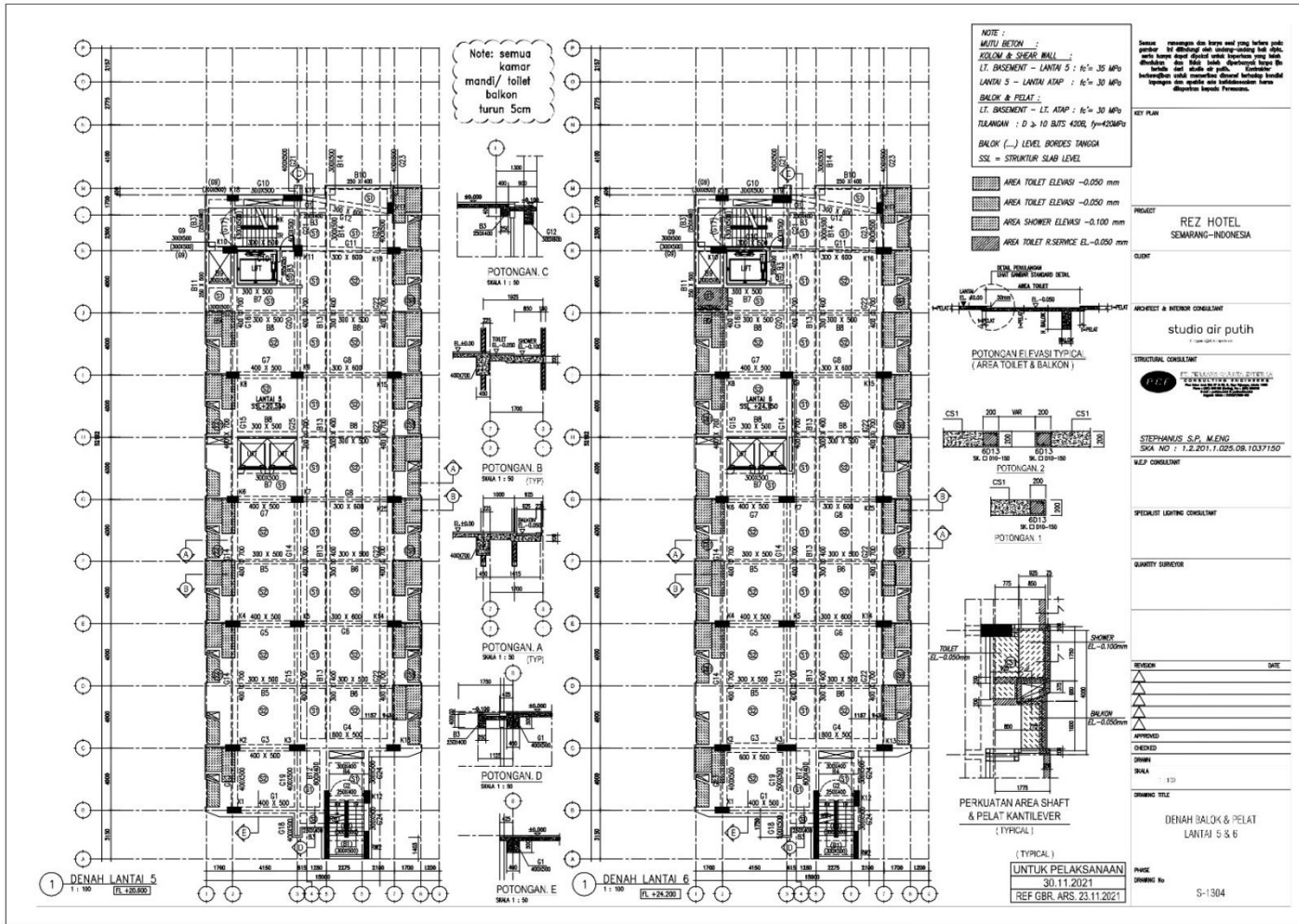


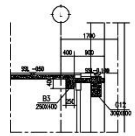
PERKUATAN AREA SHAFT & PELAT KANTILEVER (TYPICAL)

UNTUK PELAKSANAAN
 30.11.2021
 REF GBR. AFS. 23.11.2021

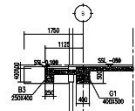
Sebelum menggunakan dan bawa ke yang before pada gambar ini adalah dan loading-unloading baik data, yang harus dapat diolah secara sistematis yang baik. Struktur dan BBS, baik. Diperhatikan juga di lokasi dan detail di pada. Konstruksi ketahanan akan merupakan detail tersebut sendiri terapan dan detail dan informasi lain. Siapkan layout Perencanaan.

KEY PLAN	
PROJECT	REZ HOTEL SEMARANG-INDONESIA
CLIENT	
ARCHITECT & INTERIOR CONSULTANT	studio air putih
STRUCTURAL CONSULTANT	PT. STEPHANUS S.P. MENG "STEPHANUS ENGINEERING & CONSULTING" STEPHANUS ENGINEERING & CONSULTING
DATE	30.11.2021
SKA NO :	1.2.201.1.025.08.1037150
W.E.P CONSULTANT	
SPECIALIST LISTING CONSULTANT	
QUANTITY SURVEYOR	
REVISI	DATE
1	
APPROVED	
CHECKED	
DRAWN	
SCALA	1:50
DRAWING TITLE	DENAH BALOK & PELAT LANTAI 3 & 4
DATE	30.11.2021
DRAWING No	S-1303

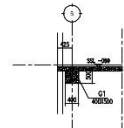




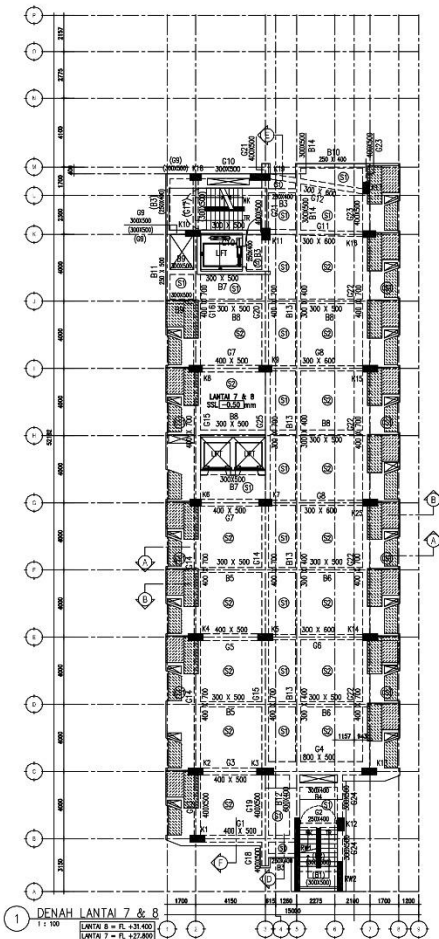
POTONGAN E
SKALA 1 : 50



POTONGAN D
SKALA 1 : 50



POTONGAN F
SKALA 1 : 50

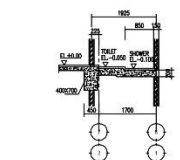


1 DENAH LANTAI 7 & 8
1 : 100
LANTAI 8 = FL. ±0.400
LANTAI 7 = FL. ±0.200

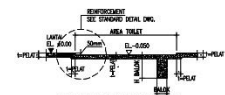
Note: semua kamar mandi/ toilet balkon turun 5cm

NOTE :
 MATTI BETON :
 KOLON & SHEAR WALL :
 LT. BASEMENT - LANTAI 5 : $f_c = 35$ MPa
 LANTAI 5 - LANTAI ATAP : $f_c = 30$ MPa
 BALOK & PELAT :
 LT. BASEMENT - LT. ATAP : $f_c = 30$ MPa
 TUKANGAN : D ≥ 10 BATS 420B, $f_y = 420$ MPa
 BALOK (...) LEVEL BORDES TANGGA
 BALOK (...) LEVEL SSL ±35.280
 BALOK (...) LEVEL SSL ±35.850
 SSL = STRUKTUR SLAB LEVEL

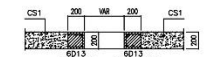
AREA TOILET ELEVASI -0.600 mm
 AREA TOILET ELEVASI -0.600 mm
 AREA SHOWER ELEVASI -0.100 mm



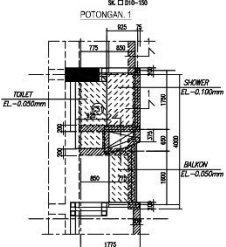
POTONGAN B
SKALA 1 : 50



POTONGAN ELEVASI TYPICAL
(AREA TOILET & BALKON)



POTONGAN 2
SKALA 1 : 50



POTONGAN 1
SKALA 1 : 50

PERKUATAN AREA SHAFT & PELAT KANTILEVER (TYPICAL)

UNTUK PELAKSANAAN
 30.11.2021
 REF GBR ARS. 23.11.2021

Semua penggunaan dan keray yang tertera pada gambar ini dianggap akan diadopsi untuk seluruh proyek, serta harus dapat diganti oleh ketentuan yang berlaku dan tidak boleh dipersempit tanpa izin penanggung jawab proyek. Konsultan bertanggung jawab atas kesalahan dan kelalaian yang dapat mengakibatkan kerugian. Untuk lebih jelasnya, silakan hubungi kami.

KEY PLAN

PROJECT
 REZ HOTEL
 SEMARANG-INDONESIA

CLIENT
 ARCHITECT & INTERIOR CONSULTANT
 studio air putih

STRUCTURAL CONSULTANT
 PT. REKREASI SCAFFOLD BATERAL
 JALAN ...

STEPHANUS S.P. M.ENG
 SKA NO : 1.2.201.1.025.09.1037150
 KEP. CONSULTANT

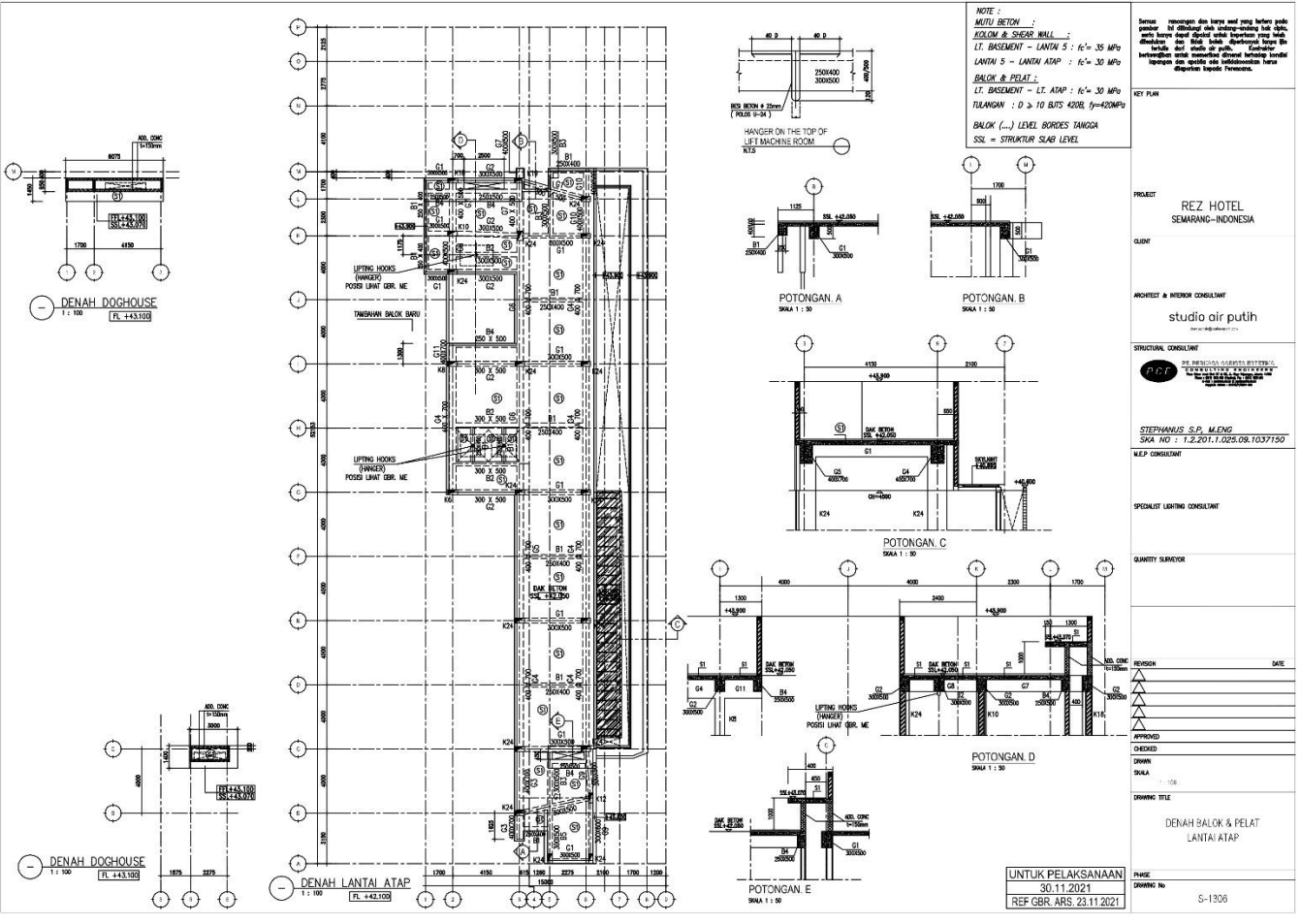
SPECIALIST LIGHTING CONSULTANT

QUANTITY SURVEYOR

REVISION	DATE

APPROVED
 CHECKED
 DRAWN
 SKALA
 1 : 100
 DRAWING TITLE

DENAH BALOK & PELAT
 LANTAI 7 & 8
 DWG NO : S-1905



Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom(mm)	Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom (mm)
Lantai 1	K1	600 x 900	Lantai 5	K1	400 x 900
	K2	600 x 1000		K2	400 x 900
	K3	700 x 1200		K3	400 x 1000
	K4	700 x 900		K4	400 x 900
	K5	700 x 1000		K5	400 x 900
	K6	600 x 800		K6	400 x 800
	K7	600 x 1000		K7	400 x 800
	K8	600 x 900		K8	400 x 900
	K9	600 x 800		K9	400 x 800
	K10	600 x 1300		K10	400 x 1000
	K11	600 x 1000		K11	500 x 700
	K12	500 x 1200		K12	400 x 800
	K13	700 x 1100		K13	400 x 900
	K14	700 x 1100		K14	400 x 900
	K15	600 x 1000		K15	400 x 900
	K16	600 x 1000		K16	400 x 800
	K17	600 x 800		K17	400 x 700
	K18	600 x 1100		K18	400 x 700
	K19	500 x 1200		K19	400 x 1200
	K20	400 x 700		K25	400 x 900
K23	400 x 700	RW1	300 x 4400		
K25	650 x 1000	RW2	300 x 1800		
K26	400 x 600	Lantai 6	K1	400 x 900	
RW1	400 x 4400		K2	400 x 900	
RW2	300 x 1800		K3	400 x 1000	
Lantai 1A	K17		600 x 800	K4	400 x 900
	K18		600 x 1100	K5	400 x 900
	K19		500 x 1200	K6	400 x 700
	K23		400 x 700	K7	400 x 800
	K26		400 x 600	K8	400 x 800
Lantai 2	K1		600 x 900	K9	400 x 800
	K2		600 x 1000	K10	400 x 900
	K3		700 x 1200	K11	500 x 700
	K4		700 x 900	K12	400 x 800
	K5		700 x 1000	K13	400 x 900
	K6		600 x 800	K14	400 x 900
	K7		600 x 1000	K15	400 x 900
	K8		600 x 900	K16	400 x 800
	K9		600 x 800	K17	400 x 700

Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom(mm)	Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom (mm)
	K10	500 x 1200		K18	400 x 700
	K11	500 x 900		K19	400 x 1200
	K12	400 x 1000		K25	400 x 900
	K13	700 x 1100		RW1	300 x 4400
	K14	700 x 1100		RW2	300 x 1800
	K15	600 x 1000		K1	400 x 900
	K16	600 x 1000		K2	400 x 700
	K17	600 x 800		K3	400 x 800
	K18	600 x 800		K4	400 x 800
	K19	500 x 1200		K5	400 x 900
	K20	400 x 700		K6	400 x 700
	K23	400 x 700		K7	400 x 800
	K25	650 x 1000		K8	400 x 800
	RW1	300 x 4400		K9	400 x 800
	RW2	300 x 1800		K10	400 x 900
Lantai 2A	K18	600 x 800	Lantai 7	K11	500 x 700
	K19	500 x 1200		K12	400 x 800
	K23	400 x 700		K13	400 x 900
	KP	300 x 500		K14	400 x 900
Lantai 3	K1	400 x 900	Lantai 8	K15	400 x 900
	K2	400 x 1000		K16	400 x 800
	K3	400 x 1200		K17	400 x 700
	K4	400 x 900		K18	400 x 700
	K5	400 x 1000		K19	400 x 1200
	K6	400 x 800		K25	400 x 900
	K7	400 x 1000		RW1	300 x 4400
	K8	400 x 900		RW2	300 x 1800
	K9	400 x 800		K1	400 x 900
	K10	400 x 1000		K2	400 x 700
	K11	500 x 800		K3	400 x 800
	K12	400 x 1000		K4	400 x 800
	K13	500 x 1100		K5	400 x 900
	K14	500 x 1100		K6	400 x 700
	K15	400 x 1000		K7	400 x 800
K16	400 x 1000	K8	400 x 800		
K17	400 x 700	K9	400 x 800		
K18	400 x 800	K10	400 x 900		
K19	500 x 1200	K11	500 x 700		
K25	500 x 1000	K12	400 x 800		

Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom(mm)	Lantai	Kelompok Kolom	Dimensi Kolom (mm)
Lantai 4	RW1	300 x 4400		K13	400 x 900
	RW2	300 x 1800		K14	400 x 900
	K1	400 x 900		K15	400 x 900
	K2	400 x 1000		K16	400 x 800
	K3	400 x 1200		K17	400 x 700
	K4	400 x 900		K18	400 x 700
	K5	400 x 1000		K19	400 x 1200
	K6	400 x 800		K25	400 x 900
	K7	400 x 1000		RW1	300 x 4400
	K8	400 x 900		RW2	300 x 1800
	K9	400 x 800	Lantai 9	K6	300 x 600
	K10	400 x 1000		K8	300 x 600
	K11	500 x 800		K10	300 x 600
	K12	400 x 1000		K12	300 x 600
	K13	400 x 1100		K18	300 x 600
	K14	400 x 1100		K19	300 x 600
	K15	400 x 1000		K24	300 x 600
	K16	400 x 1000			
	K17	400 x 700			
	K18	400 x 800			
	K19	500 x 1200			
	K25	400 x 1000			
	RW1	300 x 4400			
	RW2	300 x 1800			

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 1			
1	G1	300 x 600	Balok Induk
2	G2	600 x 500	Balok Induk
3	G3	600 x 300	Balok Induk
4	G4	400 x 600	Balok Induk
5	G5	600 x 500	Balok Induk
6	G6	1100 x 500	Balok Induk
7	G7	600 x 500	Balok Induk
8	G8	300 x 500	Balok Induk
9	G9	600 x 600	Balok Induk
10	G10	600 x 500	Balok Induk
11	G11	400 x 500	Balok Induk
12	G12	400 x 500	Balok Induk
13	G13	400 x 500	Balok Induk
14	G14	300 x 500	Balok Induk
15	G15	300 x 500	Balok Induk
16	G16	300 x 500	Balok Induk
17	G17	400 x 500	Balok Induk
18	G18	400 x 500	Balok Induk
19	G19	400 x 500	Balok Induk
20	G20	500 x 500	Balok Induk
21	G21	300 x 500	Balok Induk
22	G22	300 x 500	Balok Induk
23	G23	300 x 500	Balok Induk
24	G24	400 x 500	Balok Induk
25	G25	400 x 500	Balok Induk
26	G26	400 x 700	Balok Induk
27	G27	400 x 500	Balok Induk
28	G28	500 x 400	Balok Induk
29	G29	400 x 700	Balok Induk
30	G30	400 x 700	Balok Induk
31	G31	400 x 700	Balok Induk
32	G32	400 x 700	Balok Induk
33	G33	400 x 500	Balok Induk
34	G34	500 x 400	Balok Induk
35	G35	400 x 700	Balok Induk
36	G36	800 x 400	Balok Induk
37	G37	300 x 500	Balok Induk
38	G38	300 x 500	Balok Induk
39	G39	400 x 500	Balok Induk
40	G40	400 x 700	Balok Induk
41	G41	400 x 700	Balok Induk
42	G42	400 x 700	Balok Induk
43	G43	300 x 500	Balok Induk
44	G44	500 x 700	Balok Induk
45	G45	300 x 500	Balok Induk
46	G46	400 x 500	Balok Induk
47	G47	300 x 500	Balok Induk
48	G48	300 x 500	Balok Induk
49	G49	300 x 700	Balok Induk
50	G50	300 x 500	Balok Induk
51	G51	300 x 500	Balok Induk
52	G52	300 x 500	Balok Induk
53	G53	600 x 500	Balok Induk
54	G54	600 x 500	Balok Induk
55	G55	400 x 500	Balok Induk
56	G56	600 x 600	Balok Induk
57	G57	1200 x 500	Balok Induk
58	B1	300 x 500	Balok Anak
59	B2	300 x 500	Balok Anak
60	B3	300 x 400	Balok Anak
61	B4	300 x 400	Balok Anak
62	B5	300 x 500	Balok Anak
63	B6	300 x 400	Balok Anak
64	B7	250 x 400	Balok Anak
65	B8	300 x 600	Balok Anak
66	B9	300 x 600	Balok Anak
67	B10	300 x 500	Balok Anak
68	B11	300 x 500	Balok Anak
69	B12	300 x 600	Balok Anak
70	B13	300 x 600	Balok Anak
71	B14	300 x 500	Balok Anak
72	B15	300 x 500	Balok Anak
73	B16	300 x 400	Balok Anak
74	B17	250 x 500	Balok Anak
75	B18	300 x 500	Balok Anak
76	B19	400 x 500	Balok Anak

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 1A			
1	G13	400 x 500	Balok Induk
2	G43	300 x 500	Balok Induk
3	G44	500 x 700	Balok Induk
4	G45	300 x 500	Balok Induk
5	G46	400 x 500	Balok Induk
6	G47	300 x 500	Balok Induk
7	G48	300 x 600	Balok Induk
8	G49	300 x 700	Balok Induk
9	G50	300 x 500	Balok Induk
10	G57	1200 x 500	Balok Induk
11	B1	300 x 500	Balok Anak
12	B7	250 x 400	Balok Anak
13	B17	250 x 500	Balok Anak
14	B18	300 x 500	Balok Anak
15	B19	400 x 500	Balok Anak
No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 2			
1	G1	400 x 400	Balok Induk
2	G2	1400 x 600	Balok Induk
3	G3	500 x 600	Balok Induk
4	G4	700 x 600	Balok Induk
5	G5	700 x 600	Balok Induk
6	G6	600 x 500	Balok Induk
7	G7	600 x 500	Balok Induk
8	G8	600 x 600	Balok Induk
9	G9	600 x 600	Balok Induk
10	G10	600 x 500	Balok Induk
11	G11	600 x 500	Balok Induk
12	G12	600 x 600	Balok Induk
13	G13	600 x 600	Balok Induk
14	G14	300 x 500	Balok Induk
15	G15	300 x 500	Balok Induk
16	G16	600 x 600	Balok Induk
17	G17	600 x 600	Balok Induk
18	G18	500 x 600	Balok Induk
19	G19	300 x 500	Balok Induk
20	G20	300 x 500	Balok Induk
21	G21	500 x 700	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	300 x 500	Balok Induk
24	G24	400 x 500	Balok Induk
25	G25	400 x 500	Balok Induk
26	G26	400 x 700	Balok Induk
27	G27	500 x 700	Balok Induk
28	G28	400 x 700	Balok Induk
29	G29	700 x 400	Balok Induk
30	G30	400 x 700	Balok Induk
31	G31	600 x 700	Balok Induk
32	G32	400 x 700	Balok Induk
33	G33	400 x 700	Balok Induk
34	G34	400 x 500	Balok Induk
35	G35	400 x 500	Balok Induk
36	G36	300 x 500	Balok Induk
37	G37	300 x 500	Balok Induk
38	G38	300 x 600	Balok Induk
39	G39	300 x 600	Balok Induk
40	G40	400 x 600	Balok Induk
41	G41	400 x 600	Balok Induk
42	G42	300 x 600	Balok Induk
43	G43	400 x 700	Balok Induk
44	G44	400 x 700	Balok Induk
45	B1	400 x 500	Balok Anak
46	B2	300 x 500	Balok Anak
47	B3	250 x 400	Balok Anak
48	B4	300 x 400	Balok Anak
49	B5	300 x 500	Balok Anak
50	B6	300 x 500	Balok Anak
51	B7	300 x 500	Balok Anak
52	B8	300 x 500	Balok Anak
53	B9	300 x 500	Balok Anak
54	B10	300 x 500	Balok Anak
55	B11	300 x 500	Balok Anak
56	B12	300 x 500	Balok Anak
57	B13	300 x 500	Balok Anak
58	B14	300 x 500	Balok Anak
59	B15	250 x 500	Balok Anak
60	B16	800 x 400	Balok Anak
61	B17	300 x 400	Balok Anak
62	B18	300 x 400	Balok Anak
63	B19	300 x 600	Balok Anak
64	B20	300 x 600	Balok Anak
65	B21	300 x 500	Balok Anak
66	B22	300 x 500	Balok Anak
67	B23	300 x 500	Balok Anak
68	B24	250 x 500	Balok Anak

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 2A			
1	G14	300 X 500	Balok Induk
2	G19	300 X 500	Balok Induk
3	G34	400 X 500	Balok Induk
4	G35	400 X 500	Balok Induk
5	G36	300 X 500	Balok Induk
6	G37	300 X 500	Balok Induk
7	G38	300 X 600	Balok Induk
8	G39	300 X 600	Balok Induk
9	G40	400 x 600	Balok Induk
10	G41	400 x 600	Balok Induk
11	G42	300 X 600	Balok Induk
12	B12	300 X 500	Balok Anak
13	B22	300 X 500	Balok Anak
14	B23	300 X 500	Balok Anak
15	B24	250 x 500	Balok Anak
No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 3			
1	G1	600 x 500	Balok Induk
2	G2	250 x 400	Balok Induk
3	G3	900 x 400	Balok Induk
4	G4	500 x 600	Balok Induk
5	G5	1400 x 500	Balok Induk
6	G6	700 x 400	Balok Induk
7	G7	500 x 600	Balok Induk
8	G8	500 x 600	Balok Induk
9	G9	600 x 500	Balok Induk
10	G10	500 x 600	Balok Induk
11	G11	500 x 600	Balok Induk
12	G12	600 x 500	Balok Induk
13	G13	300 x 600	Balok Induk
14	G14	300 x 600	Balok Induk
15	G15	500 x 600	Balok Induk
16	G16	300 x 500	Balok Induk
17	G17	300 x 500	Balok Induk
18	G18	500 x 600	Balok Induk
19	G19	400 x 500	Balok Induk
20	G20	400 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 700	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	400 x 700	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	G25	600 x 500	Balok Induk
26	G26	600 x 500	Balok Induk
27	G27	400 x 700	Balok Induk
28	G28	400 x 700	Balok Induk
29	G29	400 x 700	Balok Induk
30	G30	800 x 400	Balok Induk
31	G31	400 x 700	Balok Induk
32	G32	400 x 500	Balok Induk
33	G33	400 x 500	Balok Induk
34	G34	400 x 900	Balok Induk
35	G35	400 x 900	Balok Induk
36	G36	300 x 500	Balok Induk
37	G37	400 x 500	Balok Induk
38	G38	400 x 500	Balok Induk
39	B1	400 x 500	Balok Anak
40	B2	400 x 500	Balok Anak
41	B3	250 x 400	Balok Anak
42	B4	300 x 400	Balok Anak
43	B5	300 x 500	Balok Anak
44	B6	300 x 500	Balok Anak
45	B7	300 x 500	Balok Anak
46	B8	300 x 500	Balok Anak
47	B9	250 x 500	Balok Anak
48	B10	250 x 500	Balok Anak
49	B11	250 x 400	Balok Anak
50	B12	800 x 400	Balok Anak
51	B13	300 x 400	Balok Anak
52	B14	300 x 400	Balok Anak
53	B15	300 x 500	Balok Anak

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 4			
1	G1	400 x 500	Balok Induk
2	G2	250 x 400	Balok Induk
3	G3	600 x 500	Balok Induk
4	G4	800 x 500	Balok Induk
5	G5	400 x 500	Balok Induk
6	G6	300 x 600	Balok Induk
7	G7	400 x 500	Balok Induk
8	G8	300 x 600	Balok Induk
9	G9	300 x 500	Balok Induk
10	G10	300 x 500	Balok Induk
11	G11	300 x 600	Balok Induk
12	G12	300 x 600	Balok Induk
13	G13	400 x 500	Balok Induk
14	G14	400 x 700	Balok Induk
15	G15	400 x 700	Balok Induk
16	G16	400 x 700	Balok Induk
17	G17	300 x 500	Balok Induk
18	G18	500 x 500	Balok Induk
19	G19	500 x 500	Balok Induk
20	G20	400 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 500	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	400 x 500	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	B1	300 x 500	Balok Anak
26	B2	300 x 500	Balok Anak
27	B3	250 x 400	Balok Anak
28	B4	300 x 400	Balok Anak
29	B5	300 x 500	Balok Anak
30	B6	300 x 500	Balok Anak
31	B7	300 x 500	Balok Anak
32	B8	300 x 500	Balok Anak
33	B9	300 x 500	Balok Anak
34	B10	250 x 400	Balok Anak
35	B11	250 x 500	Balok Anak
36	B12	600 x 400	Balok Anak
37	B13	300 x 400	Balok Anak
38	B14	300 x 500	Balok Anak
No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 5			
1	G1	400 x 500	Balok Induk
2	G2	250 x 400	Balok Induk
3	G3	600 x 500	Balok Induk
4	G4	800 x 500	Balok Induk
5	G5	400 x 500	Balok Induk
6	G6	300 x 600	Balok Induk
7	G7	400 x 500	Balok Induk
8	G8	300 x 600	Balok Induk
9	G9	300 x 500	Balok Induk
10	G10	300 x 500	Balok Induk
11	G11	300 x 600	Balok Induk
12	G12	300 x 600	Balok Induk
13	G13	400 x 500	Balok Induk
14	G14	400 x 700	Balok Induk
15	G15	400 x 700	Balok Induk
16	G16	400 x 700	Balok Induk
17	G17	300 x 500	Balok Induk
18	G18	500 x 500	Balok Induk
19	G19	500 x 500	Balok Induk
20	G20	400 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 500	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	400 x 500	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	B1	300 x 500	Balok Anak
26	B2	300 x 500	Balok Anak
27	B3	250 x 400	Balok Anak
28	B4	300 x 400	Balok Anak
29	B5	300 x 500	Balok Anak
30	B6	300 x 500	Balok Anak
31	B7	300 x 500	Balok Anak
32	B8	300 x 500	Balok Anak
33	B9	300 x 500	Balok Anak
34	B10	250 x 400	Balok Anak
35	B11	250 x 500	Balok Anak
36	B12	600 x 400	Balok Anak
37	B13	300 x 400	Balok Anak
38	B14	300 x 500	Balok Anak

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 6			
1	G1	400 x 500	Balok Induk
2	G2	250 x 400	Balok Induk
3	G3	600 x 500	Balok Induk
4	G4	800 x 500	Balok Induk
5	G5	400 x 500	Balok Induk
6	G6	300 x 600	Balok Induk
7	G7	400 x 500	Balok Induk
8	G8	300 x 600	Balok Induk
9	G9	300 x 500	Balok Induk
10	G10	300 x 500	Balok Induk
11	G11	300 x 600	Balok Induk
12	G12	300 x 600	Balok Induk
13	G13	400 x 500	Balok Induk
14	G14	400 x 700	Balok Induk
15	G15	400 x 700	Balok Induk
16	G16	400 x 700	Balok Induk
17	G17	300 x 500	Balok Induk
18	G18	400 x 500	Balok Induk
19	G19	400 x 500	Balok Induk
20	G20	400 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 500	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	400 x 500	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	G25	300 x 700	Balok Induk
26	B1	300 x 500	Balok Anak
27	B2	300 x 500	Balok Anak
28	B3	250 x 400	Balok Anak
29	B4	300 x 400	Balok Anak
30	B5	300 x 500	Balok Anak
31	B6	300 x 500	Balok Anak
32	B7	300 x 500	Balok Anak
33	B8	300 x 500	Balok Anak
34	B9	300 x 500	Balok Anak
35	B10	250 x 400	Balok Anak
36	B11	250 x 500	Balok Anak
37	B12	600 x 400	Balok Anak
38	B13	300 x 400	Balok Anak
39	B14	300 x 500	Balok Anak
No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 7			
1	G1	400 x 500	Balok Induk
2	G2	250 x 400	Balok Induk
3	G3	400 x 500	Balok Induk
4	G4	800 x 500	Balok Induk
5	G5	400 x 500	Balok Induk
6	G6	300 x 600	Balok Induk
7	G7	400 x 500	Balok Induk
8	G8	300 x 600	Balok Induk
9	G9	300 x 500	Balok Induk
10	G10	300 x 500	Balok Induk
11	G11	300 x 600	Balok Induk
12	G12	300 x 600	Balok Induk
13	G13	400 x 500	Balok Induk
14	G14	400 x 700	Balok Induk
15	G15	400 x 700	Balok Induk
16	G16	400 x 700	Balok Induk
17	G17	300 x 500	Balok Induk
18	G18	400 x 500	Balok Induk
19	G19	400 x 500	Balok Induk
20	G20	400 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 500	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	400 x 500	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	G25	300 x 700	Balok Induk
26	B1	300 x 500	Balok Anak
27	B2	300 x 500	Balok Anak
28	B3	250 x 400	Balok Anak
29	B4	300 x 400	Balok Anak
30	B5	300 x 500	Balok Anak
31	B6	300 x 500	Balok Anak
32	B7	300 x 500	Balok Anak
33	B8	300 x 500	Balok Anak
34	B9	300 x 500	Balok Anak
35	B10	250 x 400	Balok Anak
36	B11	250 x 500	Balok Anak
37	B12	600 x 400	Balok Anak
38	B13	300 x 400	Balok Anak
39	B14	300 x 500	Balok Anak

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 8			
1	G1	400 x 500	Balok Induk
2	G2	250 x 400	Balok Induk
3	G3	400 x 500	Balok Induk
4	G4	800 x 500	Balok Induk
5	G5	400 x 500	Balok Induk
6	G6	300 x 600	Balok Induk
7	G7	400 x 500	Balok Induk
8	G8	300 x 600	Balok Induk
9	G9	300 x 500	Balok Induk
10	G10	300 x 500	Balok Induk
11	G11	300 x 600	Balok Induk
12	G12	300 x 600	Balok Induk
13	G13	400 x 500	Balok Induk
14	G14	400 x 700	Balok Induk
15	G15	400 x 700	Balok Induk
16	G16	400 x 700	Balok Induk
17	G17	300 x 500	Balok Induk
18	G18	400 x 500	Balok Induk
19	G19	400 x 500	Balok Induk
20	G20	400 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 500	Balok Induk
22	G22	400 x 700	Balok Induk
23	G23	400 x 500	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	G25	300 x 700	Balok Induk
26	B1	300 x 500	Balok Anak
27	B2	300 x 500	Balok Anak
28	B3	250 x 400	Balok Anak
29	B4	300 x 400	Balok Anak
30	B5	300 x 500	Balok Anak
31	B6	300 x 500	Balok Anak
32	B7	300 x 500	Balok Anak
33	B8	300 x 500	Balok Anak
34	B9	300 x 500	Balok Anak
35	B10	250 x 400	Balok Anak
36	B11	250 x 500	Balok Anak
37	B12	600 x 400	Balok Anak
38	B13	300 x 400	Balok Anak
39	B14	300 x 500	Balok Anak
No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI 9			
1	G1	300 x 600	Balok Induk
2	G2	700 x 600	Balok Induk
3	G3	300 x 400	Balok Induk
4	G4	300 x 600	Balok Induk
5	G5	300 x 500	Balok Induk
6	G6	800 x 700	Balok Induk
7	G7	500 x 700	Balok Induk
8	G8	300 x 500	Balok Induk
9	G9	500 x 730	Balok Induk
10	G10	300 x 500	Balok Induk
11	G11	400 x 500	Balok Induk
12	G12	300 x 500	Balok Induk
13	G13	300 x 500	Balok Induk
14	G14	300 x 600	Balok Induk
15	G15	400 x 600	Balok Induk
16	G16	400 x 730	Balok Induk
17	G17	400 x 820	Balok Induk
18	G18	400 x 720	Balok Induk
19	G19	400 x 500	Balok Induk
20	G20	300 x 700	Balok Induk
21	G21	400 x 700	Balok Induk
22	G22	400 x 500	Balok Induk
23	G23	400 x 500	Balok Induk
24	G24	300 x 500	Balok Induk
25	G25	400 x 500	Balok Induk
26	G26	300 x 500	Balok Induk
27	G27	600 x 600	Balok Induk
28	G28	400 x 700	Balok Induk
29	G29	400 x 700	Balok Induk
30	G30	400 x 820	Balok Induk
31	G31	400 x 600	Balok Induk
32	G32	400 x 720	Balok Induk
33	G33	400 x 820	Balok Induk
34	B1	300 x 500	Balok Anak
35	B2	250 x 400	Balok Anak
36	B3	300 x 400	Balok Anak
37	B4	300 x 500	Balok Anak
38	B5	300 x 500	Balok Anak
39	B6	300 x 500	Balok Anak
40	B7	300 x 400	Balok Anak
41	B8	300 x 500	Balok Anak
42	B9	250 x 500	Balok Anak
43	B10	300 x 400	Balok Anak
44	B11	600 x 400	Balok Anak
45	B12	700 x 500	Balok Anak
46	B13	300 x 700	Balok Anak
47	B14	300 x 650	Balok Anak
48	B15	300 x 650	Balok Anak
49	B16	300 x 500	Balok Anak
50	B17	300 x 500	Balok Anak
51	B18	250 x 500	Balok Anak
52	B19	400 x 500	Balok Anak
53	B20	250 x 730	Balok Anak
54	B21	300 x 600	Balok Anak

No.	Kelompok Balok	Dimensi	Keterangan
LANTAI ATAP			
1	G1	300 x 500	Balok Induk
2	G2	300 x 500	Balok Induk
3	G3	400 x 700	Balok Induk
4	G4	400 x 700	Balok Induk
5	G5	400 x 700	Balok Induk
6	G6	400 x 700	Balok Induk
7	G7	400 x 500	Balok Induk
8	G8	400 x 500	Balok Induk
9	G9	300 x 600	Balok Induk
10	G10	400 x 500	Balok Induk
11	G11	400 x 700	Balok Induk
12	B1	250 x 400	Balok Anak
13	B2	300 x 500	Balok Anak
14	B3	300 x 500	Balok Anak
15	B4	250 x 300	Balok Anak
16	B5	300 x 500	Balok Anak