

TUGAS AKHIR

**EVALUASI RASIO TULANGAN PADA ELEMEN
STRUKTUR BALOK GEDUNG EKSISTING EL
HOTEL ROYALE MENGACU SNI-2847-2019 DAN
SNI-1726-2019**

***(REINFORCEMENT RATIOS EVALUATION OF
STRUCTURAL BEAM ELEMENTS ON THE EXISTING
EL HOTEL ROYALE BUILDING REFERRING TO SNI-
2847-2019 AND SNI-1726-2019)***

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



Ridho Nian Priadi

16 511 016

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

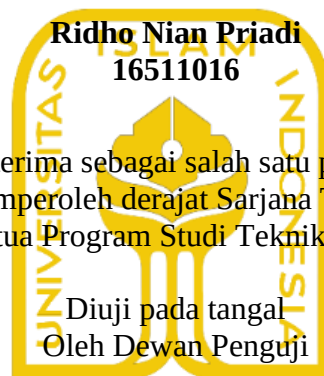
2022

TUGAS AKHIR

**EVALUASI RASIO TULANGAN PADA ELEMEN
STRUKTUR BALOK GEDUNG EKSISTING EL
HOTEL ROYALE MENGACU PADA SNI-2847-2019
DAN SNI-1726-2019**

**(REINFORCEMENT RATIOS EVALUATION OF
STRUCTURAL BEAM ELEMENTS ON THE EXISTING
EL HOTEL ROYALE BUILDING REFERRING TO SNI-
2847-2019 AND SNI-1726-2019)**

Disusun Oleh



Pembimbing

Mochamad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.
NIK: 855110201

Penguji I

Atika Ulfah Jamal, S.T., M.Eng., M.T.
NIK: 125110101

Penguji II

Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK: 205111302



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan 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 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, 24 Maret 2022

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SIKILAH ANDI RIPTAN', '10000', 'METERAI', 'STAMP', and 'DDCAJK75098594'.

Ridho Nian Priadi
(16511016)

KATA PENGANTAR

Puji syukur disampaikan kepada Allah SWT, sehingga bisa diselesaikan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Kebutuhan Rasio Tulangan Pada Elemen Struktur Kolom Gedung Eksisting El Hotel Royale Mengacu SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana (Strata Satu, S1) di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, ucapan terimakasih sedalam-dalamnya disampaikan kepada:

1. Prof.Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan banyak ilmu, arahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan laporan Tugas Akhir.
2. Ibu Atika Ulfah Jamal, S.T., M.Eng., M.T. dan Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku dosen penguji.
3. Orang tua, Bapak Suhadi S.T dan ibu Suwarti yang selalu memberikan doa dan memberikan bantuan secara moril serta materiil selama penyusunan naskah Tugas Akhir.
4. Kakak Rahma Deska Kusumati dan Aziz Prabantara yang selalu membantu dan mendukung dalam mengerjakan skripsi.
5. Bapak/Ibu dosen pengajar Program Teknik Sipil UII yang telah memberikan ilmu bermanfaat.
6. Keluarga besar Lawang Sewu yang telah menemani perjalanan penulis selama menempuh studi di prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII

7. Teman-teman Angkatan 2016 Teknik Sipil yang memberikan bantuan dan dukungan.

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

Yogyakarta, 24 Maret 2022
Penulis,



Ridho Nian Priadi

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 Penelitian Mengenai Analisis Kinerja Struktur Bangunan	5
2.1.2 Penelitian Mengenai Respons Struktur Bangunan	7
2.1.3 Penelitian Mengenai Evaluasi Desain Struktur	7
2.2 Keaslian Penelitian	13
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Struktur Portal Beton Bertulang	14
3.2 Pembebanan Struktur	15

3.2.1	Beban Mati	15
3.2.2	Beban Hidup	15
3.2.3	Beban Gempa	15
3.2.4	Beban Rencana dan Kombinasi Beban	16
3.3	Ketidakberaturan Struktur Gedung SNI 1726-2019	17
3.4	Analisis Struktur Bangunan Gedung Akibat Gempa SNI 1726-2019	21
3.4.1	Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	22
3.4.2	Klasifikasi Situs	24
3.4.3	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa	25
3.4.4	Parameter Percepatan Spektral Desain	28
3.4.5	Desain Respons Spektrum	28
3.4.6	Kategori Desain Seismik	29
3.4.7	Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik	30
3.4.8	Faktor Redundansi, ρ	30
3.4.9	Gaya Geser Seismik	31
3.4.10	Periode Fundamental Pendekatan	32
3.5	Simpangan Antar Lantai	33
3.6	Rasio Simpangan Antar Lantai (<i>Drift Ratio</i>)	35
3.7	Pengaruh P-Delta	36
3.8	Ketentuan Umum Perencanaan Beton SNI 2847-2019	37
3.8.1	Sifat Material Beton	37
3.8.2	Sifat Material Baja	38
3.8.3	Persyaratan Selimut Beton	38
3.8.4	Spasi Bersih Antar Tulangan	39
3.9	Kuat Lentur Balok Berdasarkan SNI 2847-2019	39
3.9.1	Tinggi Balok Minimum	40
3.9.2	Batasan Lendutan	40
3.9.3	Batasan Regangan Pada Tulangan Tarik Balok	41
3.9.4	Kekuatan Perlu (M_u)	41
3.10	Kuat Geser Balok Berdasarkan SNI 2847-2019	42

3.10.1	Parameter Desain Tulangan Geser Balok	42
3.10.2	Syarat Desain Tulangan Geser Balok	44
BAB IV METODE PENELITIAN		47
4.1	Lokasi Penelitian	47
4.2	Data Struktur	47
4.3	Metode Analisis	51
4.4	Peralatan Penelitian	51
4.5	Tahapan Penelitian	51
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		56
5.1	Pendahuluan	56
5.2	Data Struktur	56
5.3	Pembebanan Struktur	57
5.3.1	Beban mati	58
5.2.2	Beban Hidup	60
5.2.3	Beban Gempa	61
5.2.4	Beban Tanah	65
5.2.5	Beban Rangka Atap	66
5.4	Analisis Struktur	70
5.5	Ketidakberaturan Struktur Bangunan	76
5.5.1	Ketidakberaturan Horizontal	76
5.5.2	Ketidakberaturan Vertikal	80
5.5.3	Hasil Analisis Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal	86
5.6	<i>Displacement</i>	87
5.7	Rasio Simpangan Antar Lantai (<i>Drift Ratio</i>)	87
5.8	Simpangan Antar Lantai	88
5.9	Pengaruh P-Delta	90
5.10	Analisis Balok	92
5.10.1	Data Struktur Balok	93
5.10.2	Redistribusi Momen Balok	96
5.10.3	Perhitungan Tulangan Lentur Balok	98

5.10.4	Analisis Momen Kapasitas Balok	105
5.10.5	Pembahasan Perbandingan Tulangan Lentur Balok	110
5.10.6	Perhitungan Tulangan Geser Balok	114
5.10.7	Pembahasan Perbandingan Tulangan Geser Balok	119
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		124
6.1	Kesimpulan	124
6.2	Saran	125
DAFTAR PUSTAKA		126
LAMPIRAN		128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y	5
Gambar 2. 2	Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y	6
Gambar 3. 1	Ketidakteraturan 1a dan 1b	18
Gambar 3. 2	Ketidakteraturan 2	18
Gambar 3. 3	Ketidakteraturan 3	18
Gambar 3. 4	Ketidakteraturan 4	19
Gambar 3. 5	Ketidakteraturan 5	19
Gambar 3. 6	Ketidakteraturan 1a dan 1b	20
Gambar 3. 7	Ketidakteraturan 2	20
Gambar 3. 8	Ketidakteraturan 3	21
Gambar 3. 9	Ketidakteraturan 4	21
Gambar 3. 10	Ketidakteraturan 5	21
Gambar 3.11	Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spectrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)	26
Gambar 3. 12	Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5 %)	26
Gambar 3.13	Spektrum Respons Desain	29
Gambar 3.14	Penentuan Simpangan Antar Lantai	33
Gambar 4. 1	Lokasi Gedung El Royale Hotel	47
Gambar 4. 2	Denah Gedung El Hotel Royale Lantai 1	48
Gambar 4.3	Denah Gedung El Hotel Royale Lantai 2	48
Gambar 4.4	Denah Gedung El Hotel Royale lantai 3	49
Gambar 4.5	Denah Gedung El Hotel Royale lantai 4	49
Gambar 4. 6	Denah Gedung El Hotel Royale lantai 5 Sampai 9	50

Gambar 4. 7 Denah Gedung El Hotel Royale lantai 10	50
Gambar 4. 8 Bagan Alir Penelitian	55
Gambar 5. 1 Denah Balok Lift	60
Gambar 5. 2 Grafik Respon Spektrum	65
Gambar 5. 3 Pemodelan Rangka Atap Ballroom	67
Gambar 5. 4 Pemodelan Rangka Atap Ballroom	69
Gambar 5. 5 Pemodelan Gedung El Hotel Royale	70
Gambar 5. 6 Pemodelan Respons Spektrum	71
Gambar 5. 7 Acuan Ketidakberaturan 1 a dan 1 b	76
Gambar 5. 8 Cek ketidakberaturan Sudut Dalam	79
Gambar 5. 9 Displacement Arah X dan Arah Y	87
Gambar 5. 10 Simpangan Antar Lantai	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1	Kombinasi Beban	16
Tabel 3. 2	Ketidakteraturan Horizontal pada Struktur	17
Tabel 3. 3	Ketidakteraturan Vertikal pada Struktur	19
Tabel 3.4	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung	22
Tabel 3.5	Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 3.6	Klasifikasi Situs	24
Tabel 3.7	Koefisien Situs F_a	27
Tabel 3.8	Koefisien Situs F_v	27
Tabel 3.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	29
Tabel 3.10	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	29
Tabel 3.11	Faktor R , C_d dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	30
Tabel 3. 12	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	33
Tabel 3. 13	Simpangan Antar Tingkat Izin ($\Delta a a, b$)	34
Tabel 3.14	Batasan Nilai f_c'	37
Tabel 3. 15	Ketebalan Selimut Beton	38
Tabel 3.16	Tinggi Minimum Balok Prategang	40
Tabel 3.17	Perhitungan Lendutan Izin Maksimum	41
Tabel 5. 1	Dimensi Balok	57
Tabel 5. 2	Dimensi Kolom	57
Tabel 5. 3	Perhitungan Beban Mati Pelat Lantai	58
Tabel 5. 4	Perhitungan Beban Mati Pelat Atap	58
Tabel 5. 5	Perhitungan Beban Dinding	58
Tabel 5. 6	Perhitungan Beban Hidup Pelat Lantai	61
Tabel 5. 7	Perhitungan Beban Hidup Pelat Atap	61

Tabel 5. 8 Analisis Klasifikasi Situs	62
Tabel 5. 9 Data Tanah	66
Tabel 5. 10 Reaksi Gaya Atap Ballroom	68
Tabel 5. 11 Reaksi Gaya Atap Meetingroom	69
Tabel 5. 12 Partisipasi Massa	74
Tabel 5. 13 Nilai Gaya Geser Dasar	74
Tabel 5. 14 Skala Ulang Gaya Geser Dasar	75
Tabel 5. 15 Cek Bangunan Memikul 25% Gaya Seismik	75
Tabel 5. 16 Ketidakberaturan Horizontal Arah X Titik 1	77
Tabel 5. 17 Ketidakberaturan Horizontal Arah X Titik 2	77
Tabel 5. 18 Ketidakberaturan Horizontal Arah Y Titik 3	77
Tabel 5. 19 Ketidakberaturan Horizontal Arah Y Titik 4	78
Tabel 5. 20 Ketidakberaturan Sudut Dalam	79
Tabel 5. 21 Cek Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	80
Tabel 5. 22 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X	81
Tabel 5. 23 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y	81
Tabel 5. 24 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Arah X	82
Tabel 5. 25 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Arah Y	82
Tabel 5. 26 Ketidakberaturan Berat	83
Tabel 5. 27 Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah X	83
Tabel 5. 28 Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah Y	84
Tabel 5. 29 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	85
Tabel 5. 30 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	85
Tabel 5. 31 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal	86
Tabel 5. 32 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal	86
Tabel 5. 33 Drift Ratio	88
Tabel 5. 34 Simpangan Antar Lantai	89
Tabel 5. 35 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Arah X	91

Tabel 5. 36 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Arah Y	92
Tabel 5. 37 Data Struktur Tulangan Balok Eksisting	94
Tabel 5. 38 Rekapitulasi Momen Balok	97
Tabel 5. 39 Rekapitulasi Tulangan Lentur Baru	104
Tabel 5. 40 Momen Kapasitas Balok	110
Tabel 5. 41 Tulangan Lentur Balok Eksisting dan Hitungan Baru	111
Tabel 5. 42 Rekapitulasi Tulangan Geser Baru	118
Tabel 5. 43 Tulangan Geser Eksisting dan Perhitungan Baru	120

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah Bangunan	129
Lampiran 2 Gambar Balok dan Kolom	134
Lampiran 3 Data Tanah	138

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

C_{RS}	= nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada perioda pendek.
C_{R1}	= nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada perioda 1 detik.
C_s	= koefisien respons gempa.
f'_c	= mutu beton.
F_a	= koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik).
F_v	= koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik).
F_y	= mutu baja.
I_e	= faktor keutamaan.
K	= kekakuan.
PGA	= percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta.
PGA_M	= percepatan muka tanah puncak MCE_G yang sudah disesuaikan akibat pengaruh kelas situs.
q_d	= beban mati.
q_l	= beban hidup.
R	= koefisien modifikasi respons.
S	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.
S_a	= spektrum respons percepatan desain.
S_{D1}	= parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.
S_{DS}	= parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek.
S_{M1}	= parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
S_{MS}	= parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
SNI	= Standar Nasional Indonesia.
S_s	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek.

T	= perioda getar fundamentalstruktur.
Ta	= perioda fundamental pendekatan.
To	$= 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}},$
Ts	$= \frac{S_{D1}}{S_{DS}},$
Δ	= simpangan antar lantai tingkat desain.
Δa	= simpangan antar lantai yang diijinkan.
δ_{xe}	= defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis.
ρ	= faktor redundansi struktur.
θ	= koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta.
a	= tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, mm.
A_s	= luas tulangan tarik longitudinal nonprategang, mm ² .
A_s'	= luas tulangan tekan, mm ² .
A_v	= luas tulangan geser dalam spasi s , mm ² .
b	= lebar muka tekan komponen struktur, mm.
c	= jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral, mm.
d	= jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, mm.
d'	= jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal, mm.
E	= modulus elastisitas beton, MPa.
h	= tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm.
I	= momen inersia penampang terhadap sumbu pusat, mm ⁴ .
ℓ_n	= panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan, mm.
n	= jumlah data.
s	= spasi tulangan.
V_c	= kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, N.
V_s	= kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser, N.
V_u	= gaya geser terfaktor penampang, N.
ϵ_t	= regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal.

- λ = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi beton.
- ρ = rasio A_s .
- Φ = faktor reduksi kekuatan.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan tingkat aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Dampak gempa bumi yang terjadi telah menyebabkan berbagai kerusakan terutama pada bangunan gedung dan menimbulkan banyak korban jiwa. Kejadian gempa bumi tidak bisa diprediksi secara akurat berdasar waktu, lokasi, dan tingkat besarnya gempa. Dalam perencanaan Gedung tahan gempa direkomendasikan untuk menerapkan konsep kolom lebih kuat daripada balok (*Strong Column Weak Beam*). Hal penting lainnya adalah hubungan antara balok-kolom merupakan daerah rawan kerusakan geser akibat gaya lateral gempa. Salah satu upaya untuk mengantisipasi kerusakan struktur eksisting diakibatkan beban gempa, maka diperlukan evaluasi terhadap kinerja struktur tersebut dengan standar SNI baru. Dalam tugas akhir ini dipilih Gedung El Hotel Royale, yang terletak di Yogyakarta sebagai objek penelitian untuk menentukan respon struktur bangunan dan kebutuhan rasio tulangan pada elemen struktur balok saja, sedangkan untuk elemen struktur lainnya seperti pelat lantai, tangga, kolom, sambungan balok-kolom, dan fondasi tidak dicakup dalam penelitian ini karena keterbatasan waktu tugas akhir. Gedung El Hotel Royal merupakan bangunan bertingkat 10 dan terletak di Kota Yogyakarta. Evaluasi struktur gedung mengacu peraturan terbaru yaitu SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019 yang dianalisis menggunakan program bantu SAP 2000 dengan metode analisis yaitu respons spektrum.

Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan antar lantai akibat gempa arah X dan arah Y terdapat lantai yang tidak memenuhi SNI 1726-2019. Simpangan maksimum arah x sebesar 0,043 m dan arah y sebesar 0,084 m dengan nilai batas aman simpangan antar lantai yaitu 0,049 m. Pengecekan P-Delta menunjukkan nilai koefisien stabilitas (θ) maksimum arah x sebesar 0,028, sedangkan nilai koefisien stabilitas maksimum arah y sebesar 0,010 dengan nilai batas aman yaitu 0,091. Pengecekan rasio tulangan lentur dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan baru dan lama pada balok eksisting sebanyak dua puluh empat tipe balok. Perhitungan baru tulangan balok lentur berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2019 secara keseluruhan lebih banyak dibandingkan balok eksisting. Pengecekan pada As tulangan geser perhitungan baru dan lama pada balok eksisting menunjukkan bahwa dari dua puluh empat tipe balok, terdapat tujuh balok perhitungan baru lebih besar dibandingkan balok eksisting dan terdapat tujuh belas balok dengan As tulangan geser yang sama.

Kata kunci: Gempa, SNI, respons spektrum, rasio tulangan lentur, rasio tulangan geser

ABSTRACT

Indonesia is a country with a fairly high level of seismic activity. The impact of the earthquake that occurred has caused various damage, especially to buildings and caused many casualties. Earthquake events cannot be predicted accurately based on the time, location, and magnitude of the earthquake. In the design of earthquake-resistant buildings, it is recommended to apply the concept of a stronger column than a beam (Strong Column Weak Beam). Another important point is that the beam-column relationship is an area prone to shear damage due to earthquake lateral forces. One of the efforts to anticipate damage to existing structures caused by earthquake loads, it is necessary to evaluate the performance of the structure with the new SNI standard. In this final project, the El Hotel Royale Building, located in Yogyakarta, was chosen as the object of research to determine the response of the building structure and the need for reinforcement ratios for beam structural elements only, while for other structural elements such as floor slabs, stairs, columns, beam-column connections, and foundations are not covered in this study due to the limited time of the final project. The El Hotel Royal building is a 10-storey building and is located in the city of Yogyakarta. The evaluation of the building structure refers to the latest regulations, namely SNI-2847-2019 and SNI-1726-2019 which were analyzed using the SAP 2000 auxiliary program with the analysis method, namely response spectrum.

The results of the analysis show that the deviation between floors due to the X-direction and Y-direction earthquakes has floors that do not meet SNI 1726-2019. The maximum deviation in the x direction is 0,043 m and the y direction is 0,084 m with a safe limit value of the deviation between floors, which is 0,049 m. P-Delta checking shows the maximum stability coefficient (θ) in the x direction is 0,028, while the maximum stability coefficient value in the y direction is 0,01 with a safe limit value of 0,091. Checking the flexural reinforcement ratio is done by comparing the results of the new and old calculations on the existing beams of twenty-four types of beams. The new calculation of flexural beam reinforcement based on SNI 1726-2012 and SNI 2847-2019 is overall more than the existing beam. Checks on the new and old shear reinforcement beams on the existing beams show that of the twenty-four types of beams, there are seven new calculated beams that are larger than the existing beams and there are seventeen beams with the same shear reinforcement axles.

Keywords: Earthquake, SNI, response spectrum, flexural reinforcement ratio, shear stress ratio

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan tingkat aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Aktivitas kegempaan dikarenakan Indonesia terletak di antara empat lempeng utama dunia yang aktif, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik. Selain itu Indonesia juga berada pada jalur gunung berapi aktif yang disebut dengan kawasan cincin api (*ring of fire*) yang mengakibatkan sering terjadi aktivitas gempa bumi vulkanik. Dampak gempa bumi yang terjadi telah menyebabkan berbagai kerusakan terutama pada bangunan gedung dan menimbulkan banyak korban jiwa. Beberapa gempa bumi yang menimbulkan kerusakan dan korban jiwa seperti yang terjadi di Yogyakarta (2006), Padang (2009), Lombok (2018), dan Palu (2018).

Pada masa sekarang ini pembangunan berkembang dengan pesat, banyak infrastruktur yang sedang atau akan dibangun dan salah satunya yaitu bangunan gedung bertingkat. Kebutuhan manusia akan bangunan gedung bertingkat semakin besar, karena menjadi alternatif bagi masyarakat untuk memenuhi berbagai aktivitas. Faktor keamanan bangunan harus dijadikan pertimbangan dengan memperhatikan gaya gempa, sehingga bangunan akan mampu bertahan terhadap gempa yang terjadi.

Terjadinya gempa bumi tidak bisa diprediksi secara akurat berdasar waktu, lokasi, dan tingkat besarnya gempa. Gempa bumi merupakan salah satu beban dinamik, yaitu beban dengan arah yang berubah-ubah berdasarkan waktu. Hal ini mengakibatkan respon struktur gedung yang ditimbulkan juga akan berubah-ubah terhadap waktu. Beban dinamik menyebabkan adanya guncangan pada struktur bangunan gedung. Apabila guncangan telah melebihi terhadap syarat aman yang

telah ditentukan, seperti nilai simpangan antar lantai, maka gedung akan mengalami keruntuhan.

Salah satu solusi untuk mengurangi kerusakan struktur yang diakibatkan beban gempa yaitu melakukan identifikasi dan asesmen risiko bencana, sehingga diperlukan evaluasi terhadap struktur gedung. Kebutuhan evaluasi struktur gedung yang telah dibangun sangat diperlukan untuk mengetahui bagaimana kemampuan struktur ketika terjadi gempa bumi. Evaluasi struktur gedung terhadap beban gempa dapat menggunakan analisis linier dinamik. Analisis ini biasanya digunakan untuk bangunan gedung yang tinggi, ireguler atau tidak beraturan, dan bangunan bertingkat banyak. Bangunan ireguler adalah bangunan yang umumnya mempunyai lebih dari 1 massa/gatra/blok dengan denah tidak sederhana walaupun masih simetri baik simetri 2 arah maupun 1 arah (Pawirodikromo, 2012). Analisis linier dinamik bisa memakai metode respons spektrum yang akan menghasilkan respon struktur akibat adanya beban gempa.

Dalam melakukan perencanaan Gedung tahan gempa direkomendasikan untuk menerapkan konsep kolom lebih kuat daripada balok (*Strong Column Weak Beam*). Kinerja suatu struktur terhadap beban gempa mempunyai beberapa masalah yang harus diperhatikan supaya nilai keamanan lebih terjamin. Hubungan antara balok-kolom merupakan daerah rawan terhadap gaya lateral terutama dengan gempa. Pada tempat tersebut merupakan daerah yang mempunyai momen dan gaya geser besar yang bisa melelehkan struktur dan terjadi kegagalan. Ketika gempa yang terjadi melebihi gempa rencana, sendi plastis harus terjadi pada balok terlebih dahulu sebelum terjadi pada kolom.

Penelitian ini menggunakan model bangunan *real*, yaitu gedung El Hotel Royale yang berada di jalan Dagen No. 06, Sosromenduran, Gedong Tengen, Yogyakarta, dimana masih menggunakan standar perancangan SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012. Evaluasi struktur gedung mengacu peraturan terbaru yaitu SNI-2847-2019 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan” dan SNI-1726-2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”. Peraturan desain ketahanan gempa

selalu berubah karena untuk merespon kejadian gempa yang terjadi seperti Gempa Lombok tahun 2018, Gempa Palu 2018, yang menunjukkan intensitas gempa yang tinggi. Sehubungan dengan dikeluarkannya peraturan baru yaitu SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019, maka diperlukan evaluasi terhadap struktur gedung El Hotel Royale yang terletak di Yogyakarta untuk menghitung nilai gaya-gaya dalam, rasio simpangan antar lantai, simpangan antar lantai, dan rasio tulangan pada elemen struktur balok.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dapat diambil sebagai berikut.

1. Berapa gaya-gaya dalam, respon simpangan antar lantai, rasio simpangan antar lantai, dan P-Delta hasil analisis gedung El Hotel Royale terhadap beban gempa dengan metode respon spektrum berdasarkan peraturan SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019?
2. Bagaimana hasil perbandingan rasio tulangan lentur dan tulangan geser pada elemen struktur balok eksisting dan perhitungan baru berdasarkan peraturan SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung gaya-gaya dalam, nilai simpangan antar lantai, nilai rasio simpangan antar lantai, dan nilai P-Delta gedung El Hotel Royale terhadap beban gempa berdasarkan SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019.
2. Menghitung perbandingan rasio tulangan lentur dan tulangan geser pada elemen struktur balok mengacu SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini yaitu.

1. Sebagai bahan pertimbangan untuk pemeliharaan bangunan gedung hotel.

2. Menambah pengetahuan agar kualitas praktik konstruksi meningkat menjadi lebih baik dan bisa merencanakan bangunan yang aman sesuai dengan persyaratan SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019.
3. Sebagai upaya mitigasi dalam mengurangi kerusakan dan korban jiwa akibat terjadinya gempa bumi.

1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat batasan-batasan agar lebih terarah dan tidak meluas. Batasan penelitian sebagai berikut.

1. Asumsi untuk mengurangi kompleksitas gedung.
 - a. Struktur baja pada ruangan *Ballroom* tidak dimodelkan dalam sistem portal ganda tetapi, dimodelkan terpisah dan gaya-gaya yang dihasilkan dimasukkan sebagai input beban pada sistem portal ganda.
 - b. Struktur baja pada ruangan *meeting room* tidak dimodelkan dalam sistem portal ganda tetapi, dimodelkan terpisah dan gaya-gaya yang dihasilkan dimasukkan sebagai input beban pada sistem portal ganda.
2. Fungsi bangunan sebagai hotel.
3. *Software* yang digunakan untuk analisis yaitu SAP2000.
4. Pembebanan pada struktur gedung digunakan beban hidup, beban mati dan beban gempa tanpa memperhitungkan beban angin.
5. Struktur gedung yang digunakan adalah struktur beton bertulang.
6. Peraturan yang digunakan yaitu :
 - a. Perencanaan beban hidup dan beban mati menggunakan peraturan SNI 03-1727-2013.
 - b. Perencanaan beban gempa menggunakan peraturan SNI-1726-2019.
 - c. Perencanaan beton bertulang menggunakan peraturan SNI-2847-2019.
7. Tumpuan dimodelkan jepit.
8. Analisis yang dilakukan hanya menghitung gaya lentur dan gaya geser pada elemen struktur balok.
9. Evaluasi hanya mencakup pada struktur gedung.

BAB II

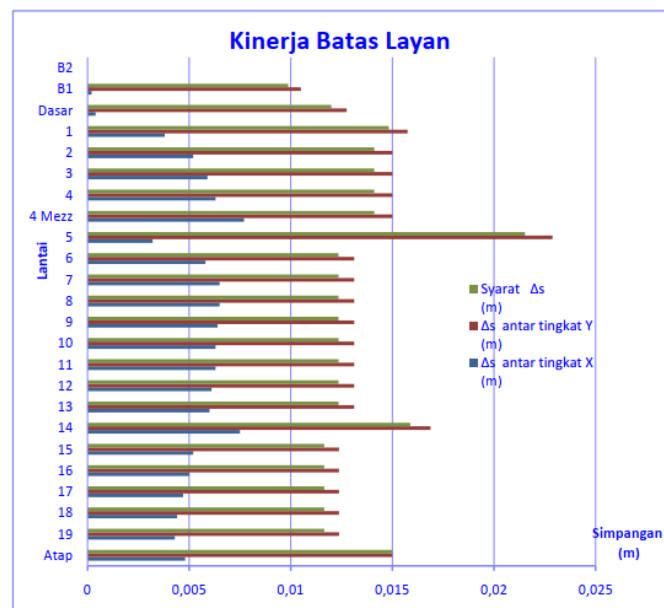
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

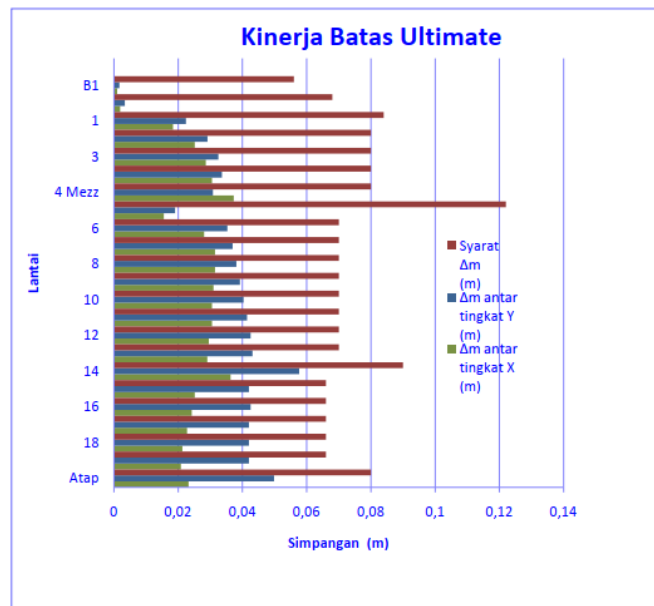
Sebelum melakukan penelitian, terdapat beberapa referensi penelitian terdahulu yang bisa dijadikan acuan untuk menjalankan penelitian yang akan dilaksanakan. Referensi yang digunakan berupa jurnal ilmiah atau tugas akhir. Berikut merupakan penelitian yang digunakan sebagai referensi.

2.1.1 Penelitian Mengenai Analisis Kinerja Struktur Bangunan

Penelitian yang dilakukan oleh Elliza (2013), bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung dilihat dari *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Hasil dari penelitian ini dianalisis dengan kinerja struktur batas layan dan kinerja struktur batas ultimit. Metode yang digunakan adalah analisis dinamik *respons spektrum* dengan menggunakan program ETABS V 9.50. Analisis dalam penelitian ini menghasilkan grafik kontrol kinerja batas layan dan batas ultimit seperti pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y



Gambar 2. 2 Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y

Hasil analisis gedung *Solo Center Point* menggunakan metode *respons spektrum* adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis ragam spektrum pada arah X dan Y menghasilkan nilai $V > 0,8 V_1$, maka dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2002 Pasal 7.1.3.
2. Berdasarkan tinjauan *displacement* pada arah X = 0,1185 m dan arah Y = 0,1442 m, gedung *Solo Center Point* dinyatakan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas *ultimate* sesuai SNI 03-1726-2002.
3. Berdasarkan hasil analisis ragam spektrum respons terhadap level kinerja struktur sesuai ATC-40, pada arah X maupun arah Y nilai maksimum total *drift* menunjukkan gedung yang dianalisis termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*. Nilai maksimum total inelastik *drift* pada arah X menunjukkan gedung yang dianalisis juga termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*.

2.1.2 Penelitian Mengenai Respons Struktur Bangunan

Penelitian yang dilakukan oleh Jannah (2018), membandingkan nilai *drift ratio*, nilai displacement dan pola goyangan terhadap variasi model struktur yang terjadi akibat adanya beban gempa repons spektrum pada bangunan. Metode yang digunakan adalah metode analisis dinamik respon spektrum dengan memodelkan 4 buah model struktur bangunan yaitu, 1 model struktur rangka dan 3 model struktur bangunan dengan variasi penempatan dinding geser menggunakan program bantu ETABS. Hasil analisis penelitian menunjukkan nilai *drift ratio* maksimum yaitu sebesar 8,39% pada arah x struktur dinding geser model 1 dan 29,5% pada arah y struktur dinding geser model 3 dan nilai displacement terkecil akibat beban respon spektrum pada penempatan dinding geser adalah model 1, maka model dinding geser yang direkomendasikan pada perencanaan struktur ini adalah model 1, pola goyangan ditunjukkan oleh struktur tanpa dinding geser mempunyai pola goyangan berupa shear mode sedangkan struktur dengan dinding geser baik model 1, 2 dan 3 berupa kombinasi.

2.1.3 Penelitian Mengenai Evaluasi Desain Struktur

Penelitian yang dilakukan oleh Anggraini (2016) dan Dewi (2016), menggunakan studi kasus gedung *Office* 5 lantai dan *basement* Pemuda *City Walk* Pekanbaru yang berlokasi di jalan Pemuda, Pekanbaru, Riau. Penelitian dilakukan dengan metode studi literatur yang menggunakan data-data sekunder berupa gambar perencanaan, terutama gambar detail struktur gedung *Office* 5 lantai dan *basement* Pemuda *City Walk*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi desain struktur berupa evaluasi *detailling* komponen struktur dan *Strong Column Weak Beam* (SCWB) gedung *Office* Pemuda *City Walk* yang meliputi persyaratan geometri, tulangan lentur, dan tulangan transversal pada kolom apakah sudah memenuhi persyaratan agar mampu menerima gaya dalam yang mengakibatkan oleh beban gempa berdasarkan standar peraturan terbaru SNI 1726 : 2012 dan SNI 03-2847-2002. Berdasarkan hasil analisa menggunakan SNI 1726 : 2012, didapatkan gayageser dasar gempa (V) yang dipikul oleh struktur gedung *Office*

Pemuda City Walk Pekanbaru sebesar 120,176 ton. Untuk gaya gempa lateral arah X berdasarkan hasil analisa menggunakan SNI 1726 : 2012 didapatkan pada lantai atap 2 sebesar 1,133 ton, lantai atap sebesar 6,701 ton, lantai R. Mesin sebesar 1,614 ton, lantai dag sebesar 36,992 ton, lantai 5 sebesar 26,692 ton, lantai 4 sebesar 20,866 ton, lantai 3 sebesar 13,983 ton, lantai 2 sebesar 8,983 ton dan lantai 1 sebesar 3,211 ton. Untuk gaya gempa lateral arah Y berdasarkan hasil analisa menggunakan SNI 1726 : 2012 didapatkan pada lantai atap 2 sebesar 1,194 ton, lantai atap 6,993 ton, lantai R. mesin sebesar 1,663 ton, lantai dag sebesar 37,959 ton, lantai 5 sebesar 26,966 ton, lantai 4 sebesar 20,677 ton, lantai 3 sebesar 13,522 ton, lantai 2 sebesar 8,404 ton dan lantai 2 sebesar 8,404. Berdasarkan hasil analisa menggunakan SNI 03-2847-2002, dengan sistem struktur dasar penahan beban lateral pada Gedung Office Pemuda City Walk Pekanbaru diasumsikan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), *detailing* komponen struktur kolom pada setiap portal yang ditinjau yang meliputi geometri kolom, tulangan lentur dan tulangan geser juga telah memenuhi persyaratan di mana gaya – gaya yang bekerja pada struktur lebih kecil dari gaya – gaya yang direncanakan. Berdasarkan hasil analisa menggunakan SNI 03-2847-2002, didapatkan nilai–nilai momen nominal maksimal kolom (M_e) lebih besar dari $6/5$ momen nominal balok ($6/5M_g$) pada setiap kolom dan balok yang saling bertemu disetiap portal yang ditinjau, sehingga telah memenuhi persyaratan *Strong Column Weak Beam* (SCWB).

Penelitian yang dilakukan oleh Crista (2019), Widorini (2019), dan Anggraini (2019), menggunakan Gedung Fakultas Psikologi Universitas Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung perbedaan tulangan lentur dan tulangan geser pada struktur bangunan apabila dikenakan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019. Metode yang digunakan yaitu analisis dinamik respon spektrum dengan *software* bantu SAP 2000 versi 14. Dari Analisa yang telah dilakukan didapatkan hasil pada bangunan Gedung fakultas psikologi USM dengan membandingkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 pada kebutuhan kolom longitudinal mengalami kenaikan sebesar 50% dan kebutuhan tulangan geser

mengalami kenaikan 12,04%, sedangkan perbandingan balok kebutuhan tulangan longitudinal mengalami kenaikan pada tulangan lapangan sebesar 25%, dan juga tulangan geser mengalami kenaikan 25%.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Uraian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Akan Dilakukan
		Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	
		Ismailah Nur Elliza 2013	Diandri Anggraini dan Sri Hartati Dewi 2016	Amalia Nur Jannah 2018	Ngudi Hari Crista, Trias Widorini, dan Lila Anggraini 2019	Ridho Nian Priadi 2021
1	Judul	Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan <i>Software Etabs V 9.50</i>	Evaluasi Desain Struktur Gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012	Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum	Perbandingan Tulangan Lentur Pada Gedung Fakultas Psikologi Universitas Semarang Dengan Membandingkan Peraturan SNI Gempa 2012 Dengan SNI Gempa 2019	Evaluasi Rasio Tulangan Pada Elemen Struktur Balok Gedung Eksisting El Hotel Royale Mengacu SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019
2	Objek	Gedung 19 Lantai	Gedung 5 Lantai	Gedung 10 Lantai	Gedung 4 Lantai	Gedung 10 Lantai

No	Uraian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Akan Dilakukan
		Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	
		Ismailah Nur Elliza 2013	Diandri Anggraini dan Sri Hartati Dewi 2016	Amalia Nur Jannah 2018	Ngudi Hari Crista, Trias Widorini, dan Lila Anggraini 2019	Ridho Nian Priadi 2021
3	Tujuan	mengetahui keamanan gedung dilihat dari <i>displacement, drift, dan base shear</i>	evaluasi desain struktur berupa evaluasi <i>detailing</i> komponen struktur dan <i>Strong Column Weak Beam</i> (SCWB)	Menghitung besar pengaruh variasi dinding geser terhadap nilai <i>drift ratio, displacement</i> , dan pola goyangan struktur.	Menghitung perbedaan tulangan lentur dan tulangan geser elemen balok pada struktur bangunan apabila dikenakan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019	Menghitung gaya-gaya dalam, nilai rasio simpangan antar lantai, dan nilai simpangan antar lantai gedung El Hotel Royale terhadap beban gempa serta menghitung perbandingan ratio tulangan lentur dan tulangan geser pada elemen struktur balok mengacu SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019.
4	Metode	Analisis dinamik <i>respons spektrum</i>	Analisis dinamik <i>respons spektrum</i>	Analisis dinamik <i>respons spektrum</i>	Analisis dinamik <i>respons spektrum</i>	Analisis dinamik <i>respons spektrum</i>

No	Uraian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Akan Dilakukan
		Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	
		Ismailah Nur Elliza 2013	Diandri Anggraini dan Sri Hartati Dewi 2016	Amalia Nur Jannah 2018	Ngudi Hari Crista, Trias Widorini, dan Lila Anggraini 2019	Ridho Nian Priadi 2021
5	Peraturan yang digunakan	SNI 03-1726-2002	SNI 03-1726-2012	SNI-2847-2013 dan SNI-1726-2012	SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019	SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019
6	Hasil	<p>Nilai <i>displacement</i> pada arah X adalah 0,1254 m dan pada arah Y adalah 0,15333 m.</p> <p>Maksimum total <i>drift</i> pada arah X adalah 0,0055 m dan pada arah Y adalah 0,0099 m, sehingga gedung aman terhadap kinerja batas <i>ultimate</i> (0,02h) dan kinerja batas layan ((0,03/R) x h). <i>Displacement</i> pada gedung <i>Solo Center Point</i> tidak melampaui <i>displacement</i> maksimal dan aman terhadap gempa rencana.</p>	<p>Desain struktur gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru yang meliputi komponen struktur balok dan kolom telah memenuhi persyaratan dan aman dalam menerima beban gempa yang terjadi berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-2847-2002.</p>	<p>mode sedngkan struktur dengan dinding geser baik model 1, 2 dan 3 berupa kombinasi.</p>	<p>Hasil analisis bangunan Gedung fakultas psikologi USM dengan membandingkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 pada kebutuhan kolom longitudinal mengalami kenaikan sebesar 50% dan kebutuhan tulangan geser mengalami kenaikan 12,04%, sedabgkan perbandingan balok kebutuhan tulangan longitudinal mengalami kenaikan pada tulangan lapangan sebesar 25%, dan juga tulangan geser mengalami kenaikan 25%.</p>	

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penyajian tentang penelitian terdahulu seperti pada Tabel 2.3 dapat dilihat perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah model bangunan yang dipakai, analisis respon struktur bangunan, serta analisis rasio tulangan lentur dan tulangan geser pada struktur elemen balok. Metode yang digunakan adalah analisis respon spektrum serta menggunakan standar SNI baru yaitu SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019. Fungsi bangunan sebagai gedung Hotel 10 lantai.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Struktur Portal Beton Bertulang

Sistem struktur adalah gabungan dari berbagai macam elemen yang saling berhubungan hingga menjadi suatu kesatuan yang utuh. Struktur menjadi rangka bangunan yang menopang bangunan terhadap beban-beban yang disalurkan merata ke dalam tanah oleh pondasi sehingga bangunan dapat mempertahankan posisinya. Komponen struktur yang termasuk dalam sistem struktur meliputi.

1. Konstruksi pelat lantai dan pelat atap
2. Balok dan pelat berusuk
3. Kolom
4. Dinding
5. Diafragma
6. Fondasi

Portal beton bertulang terdiri dari dua material berbeda yaitu beton yang diperkuat dengan tulangan pada suatu sistem komponen struktur yang terdiri dari elemen-elemen linier meliputi balok, kolom, sloof, dan fondasi, yang pada ujungnya dihubungkan oleh *joint* (titik hubung) yang mempunyai fungsi sebagai struktur utama pendukung beban bangunan dan memikul gaya dalam yang bekerja diantara elemen struktur yang dihubungkannya sebagai suatu kesatuan lengkap. Salah satu faktor yang berpengaruh pada perencanaan struktur portal suatu bangunan adalah kekuatan struktur. Faktor tersebut berkaitan dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menerima beban yang bekerja pada struktur portal. Selain itu perlu dipertimbangkan pula kekuatan struktur dalam menerima beban gempa.

3.2 Pembebanan Struktur

Beban adalah gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya akibat perubahan dimensi (SNI 1727-2013). Beban yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Penjelasan macam-macam beban yang akan digunakan adalah sebagai berikut.

3.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian gedung yang bersifat tetap. Beban mati terdiri dari dua jenis, yaitu berat struktur itu sendiri dan *superimposed deadload*. Beban *superimposed deadload* adalah beban mati tambahan yang diletakkan pada struktur, dimana dapat berupa lantai (ubin/keramik), peralatan mekanik elektrik, langit-langit, dan sebagainya. Perhitungan besarnya beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat material tersebut berdasarkan volume elemen.

3.2.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang diakibatkan oleh penghunian atau penggunaan suatu gedung yang bersifat berpindah-pindah atau bersifat sementara. Beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban hujan, beban angin, beban banjir, beban mati, atau beban gempa tidak termasuk dalam beban hidup. Besaran beban hidup dapat dilihat pada SNI 1727-2013 pasal 4.10 Tabel 4.1.

3.2.3 Beban Gempa

Analisis struktur terhadap beban gempa pada struktur bangunan penelitian ini mengacu pada peraturan SNI 1726-2019 yang memuat persyaratan minimum mengenai beban, tingkat bahaya, kriteria yang terkait, dan sasaran kinerja yang diperkirakan untuk bangunan gedung, struktur lain, dan komponen nonstrukturalnya yang memenuhi persyaratan peraturan bangunan. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode respon spektrum.

Berdasarkan SNI 1726-2019, terdapat kombinasi pembebanan untuk metode tegangan izin yang akan digunakan. Pengaruh beban seismik dikombinasikan dengan beban lainnya, dengan kombinasi sebagai berikut.

1. D
2. $D + L$
3. $D + (L_r \text{ atau } R)$
4. $D + 0,75 L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$
5. $D + 0,6 W$
6. $D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$
7. $0,6 D + 0,6 W$
8. $1,0 D + 0,7 E_v + 0,7 E_h$
9. $1,0 D + 0,525 E_v + 0,525 E_h + 0,75 L$
10. $0,6 D - 0,7 E_v + 0,7 E_h$

3.2.4 Beban Rencana dan Kombinasi Beban

Faktor beban dan kombinasi beban yang digunakan dalam proses desain struktur beton bertulang, tertuang dalam SNI 2847-2019, pasal 5.3.1. Adapun kombinasi bebannya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kombinasi Beban

Kombinasi beban	Beban utama
$U = 1,4D$	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	E
$U = 0,9D + 1,0W$	W
$U = 0,9D + 1,0E$	E

Sumber: SNI 2847-2019

Keterangan:

D = *Dead Load* (Beban mati).

L = *Live Load* (Beban hidup).

- W = *Wind load* (Beban angin).
 R = *Rain load* (Beban hujan).
 Lr = *Live load* (Beban hidup atap).
 E = *Earthquake* (Beban gempa).

3.3 Ketidakberaturan Struktur Gedung SNI 1726-2019

Struktur bangunan diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam SNI 1726-2019. Klasifikasi yang dilakukan harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.3.34, terdapat 2 jenis ketidakberaturan pada struktur bangunan gedung yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal seperti yang tersaji pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

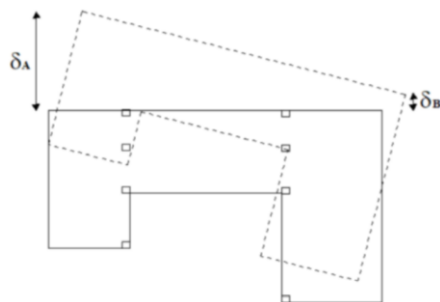
Tabel 3. 2 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai 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. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	Tabel 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
1b.	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. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Tabel 3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	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.	Tabel 3.4	D, E, dan F D, E, dan F

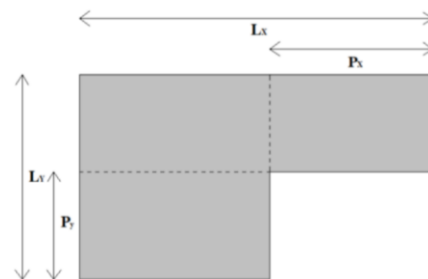
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
3.	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	Tabel 3.4	D, E, dan F D, E, dan F dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	Tabel 3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F 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 sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	Tabel 3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber SNI 1726-2019

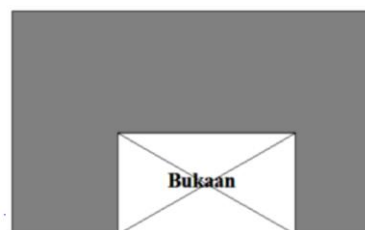
Ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 1 Ketidakberaturan 1a dan 1b
(Sumber : SNI 1726-2019)

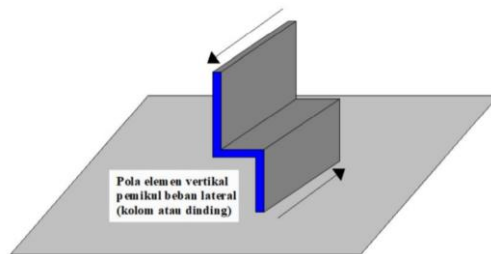


Gambar 3. 2 Ketidakberaturan 2
(Sumber : SNI 1726-2019)

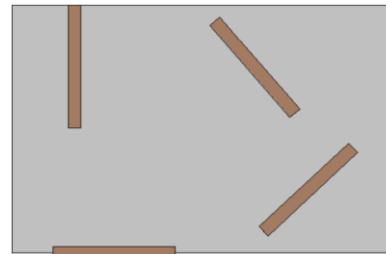


Gambar 3. 3 Ketidakberaturan 3

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3. 4 Ketidakberaturan 4
(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3. 5 Ketidakberaturan 5
(Sumber : SNI 1726-2019)

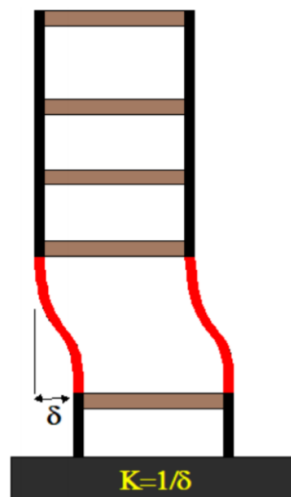
Tabel 3. 3 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	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 3.4	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada 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	Tabel 3.4	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 di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 3.4	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 3.4	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	Tabel 3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F

	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 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau	Tabel 3.4	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. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Tabel 3.4	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

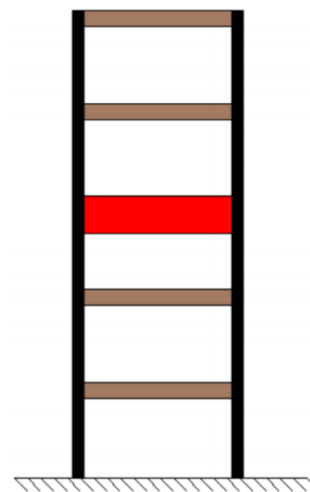
SNI 1726-2019

Ketidakberaturan vertikal dapat dilihat pada gambar berikut ini.



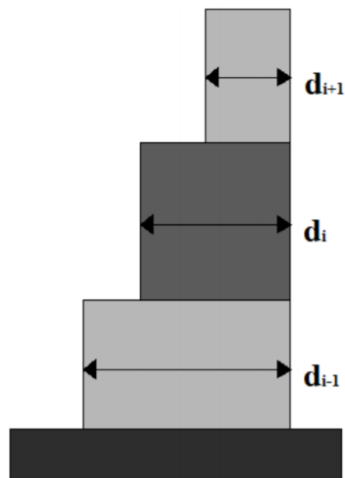
Gambar 3. 6 Ketidakberaturan 1a dan 1b

(Sumber : SNI 1726-2019)

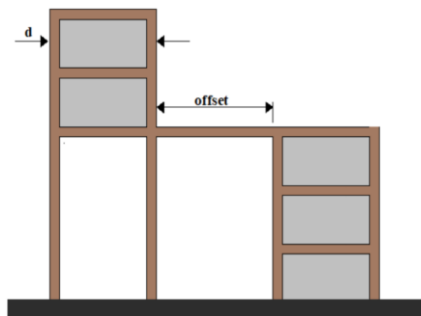


Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 2

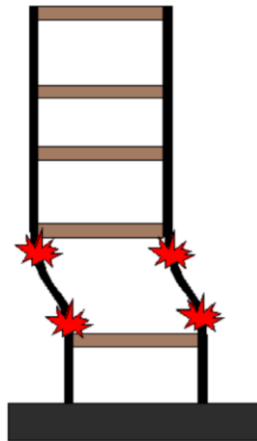
(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3. 8 Ketidakberaturan 3
(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3. 9 Ketidakberaturan 4
(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3. 10 Ketidakberaturan 5
(Sumber : SNI 1726-2019)

3.4 Analisis Struktur Bangunan Gedung Akibat Gempa SNI 1726-2019

Dalam SNI 1726-2019 dijelaskan tata cara dalam menentukan pengaruh gempa rencana yang ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi suatu struktur bangunan gedung dan non gedung. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

3.4.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada Tabel 3.4. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e terdapat dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung

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: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa 	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang 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 fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan 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 1726-2019

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs menjelaskan mengenai prosedur untuk melakukan perumusan kriteria design seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi yang telah dijelaskan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v (m/detik)	N atau N_{ch}	s (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
	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 niralin $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan		

Kelas Situs	v (m/detik)	N atau Nch	s (kPa)
	lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan su < 50 kPa		

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.3 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa

Penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dibutuhkan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi mencakup faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.2)$$

dengan:

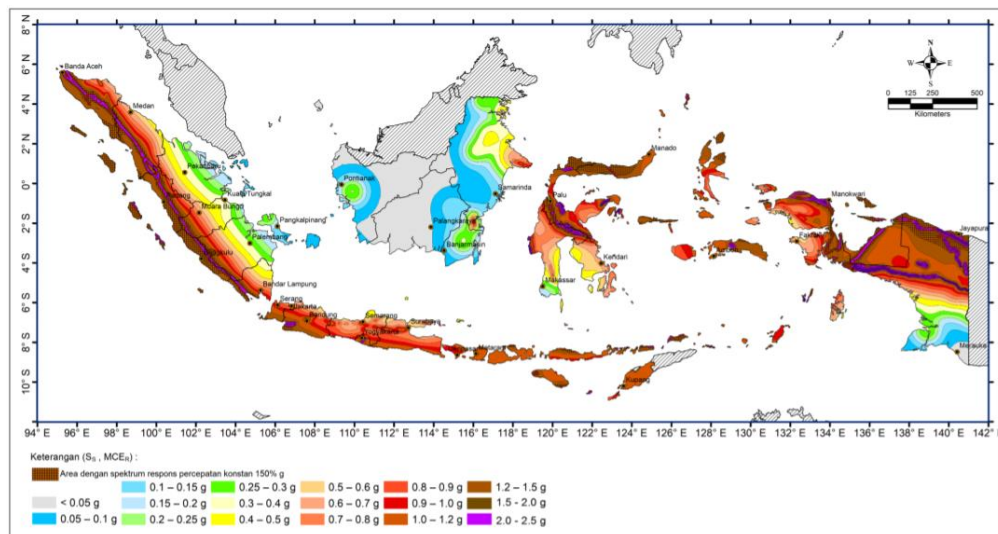
F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek,

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.

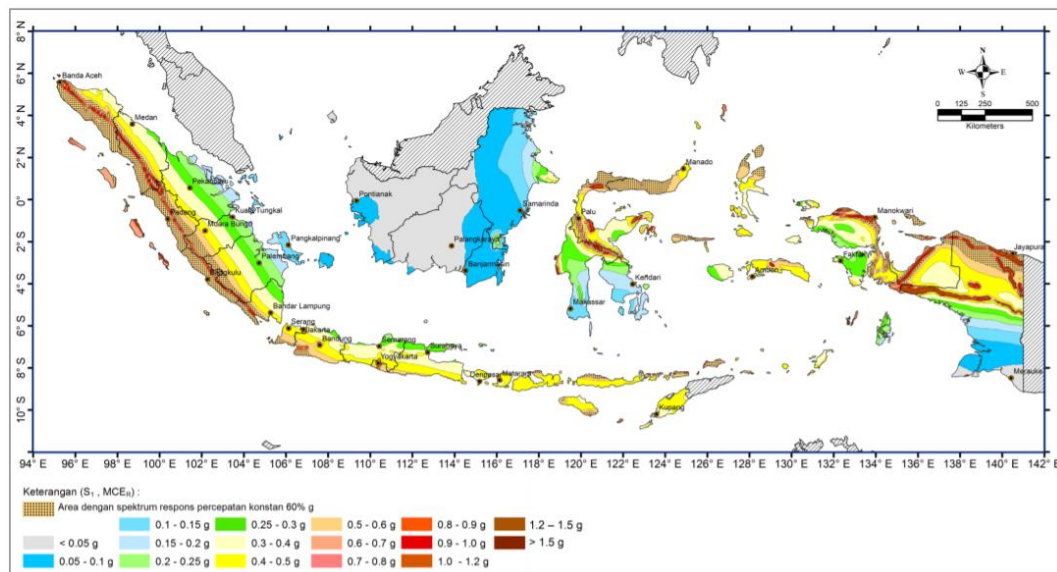
S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Nilai parameter S_s dan S_1 ditentukan dengan mengidentifikasi lokasi daerah bangunan dengan Gambar 3.11 dan Gambar 3.12.



Gambar 3.11 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)

Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3. 12 Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5 %)

(Sumber : SNI 1726-2019)

Sedangkan nilai koefisien F_a dan F_v dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

Tabel 3.7 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCER) 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 1726-2019

CATATAN:

- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.
- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.

Tabel 3.8 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	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 1726-2019

CATATAN:

- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.
- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.

3.4.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} , dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , ditentukan melalui persamaan dibawah ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.4)$$

3.4.5 Desain Respons Spektrum

Kurva spektrum respons desain pada Gambar 3.13 mengikuti ketentuan dibawah ini.

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diperoleh dengan persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (3.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diperoleh dari persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

keterangan:

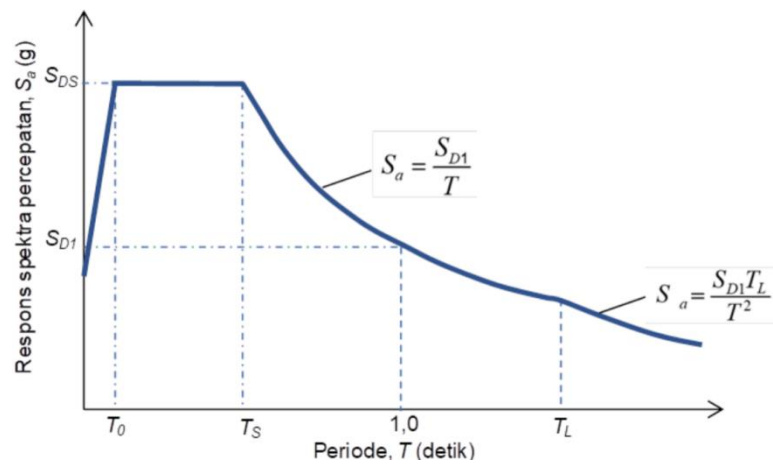
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

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

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad (3.7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad (3.8)$$



Gambar 3.13 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726-2019)

3.4.6 Kategori Desain Seismik

Struktur bangunan harus ditetapkan mempunyai suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desainnya serta nilai S_{D1} dan S_{DS} sesuai Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 3.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.7 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem struktur yang dipakai harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang diizinkan sesuai dengan faktor nilai R , C_d dan Ω_0 seperti Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Faktor R , C_d dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Penahan Beban Lateral		R	Ω_0	C_d	Kategori Desain Seismik				
					B	C	D	E	F
Sistem Ganda	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
	Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem Rangka Bangunan	Dinding geser beton bertulang biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
	Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
Sistem Rangka Pemikul Momen	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.8 Faktor Redundansi, ρ

Struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan, ρ harus sebesar 1,3. Untuk struktur dengan kategori seismik desain E dan F tidak diperbolehkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. Struktur yang tidak mempunyai ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, kecuali apabila satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diizinkan dipakai sebesar 1,0.

1. Masing-masing tingkat yang menentukan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau.

2. 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.

3.4.9 Gaya Geser Seismik

Gaya geser dasar seismik V , dalam arah yang telah ditetapkan ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V = C_s W \quad (3.9)$$

keterangan:

C_s = koefisien respons.

W = berat seismik efektif.

Untuk koefisien respons seismik C_s , dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.10)$$

keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral desain dalam rentang periode pendek.

R = koefisien modifikasi respons.

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Dengan nilai C_s yang dihitung melalui persamaan 3.8 tidak perlu melebihi persamaan berikut.

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.11)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.12)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.13)$$

keterangan:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1 detik.

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan.

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

3.4.10 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), ditentukan melalui persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.14)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t , dan x ditentukan pada Tabel 3.12.

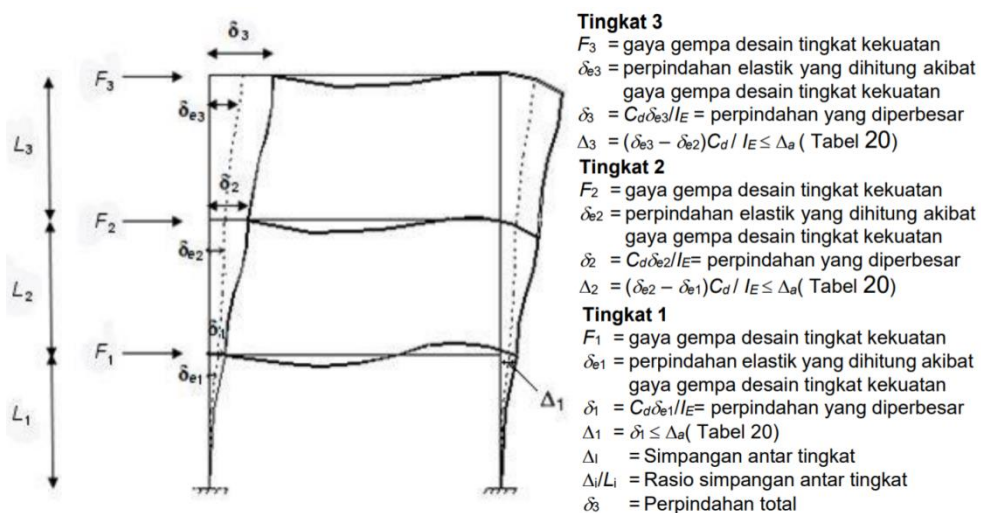
Tabel 3. 12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α

Tipe struktur	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik.		
· Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
· Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2019

3.5 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, maka diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Penentuan simpangan antar lantai bisa dilihat pada Gambar 3.14 dibawah ini.

**Gambar 3. 14 Penentuan Simpangan Antar Lantai**

(Sumber: SNI 1726-2019)

Struktur yang direncanakan masuk dalam kategori desain seismik C, D, E atau F yang mempunyai ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b (SNI 1726-2019 Tabel 13), simpangan antar tingkat desain, Δ , dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau

Simpangan pusat massa di tingkat - x (δ_x) (mm) ditentukan melalui persamaan 3.15 sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.15)$$

keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat -x yang ditentukan dengan analisis elastik,

I_e = faktor keutamaan gempa.

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Seperti pada Tabel 3.13 berikut.

Tabel 3. 13 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 ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

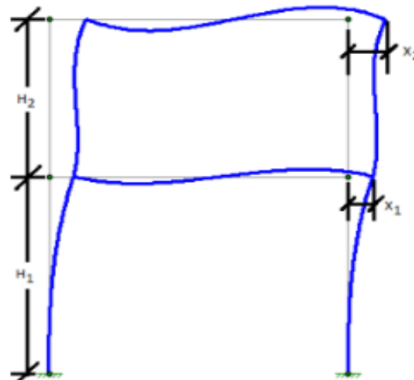
Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN

1. h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat -x.
2. 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.
3. Tidak diperbolehkan ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eskterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam tidak diabaikan.
4. 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.

3.6 Rasio Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*)

Rasio simpangan antar lantai tingkat desain (*drift ratio*) dihitung berdasarkan perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Namun, jika pusat massa tidak terletak segaris arah vertikal maka diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat atasnya. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, rasio simpangan antar lantai desain (*drift ratio*) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik di atas dan di bawah tingkat yang letaknya segaris vertikal. Berikut merupakan Gambar untuk menentukan nilai *drift ratio*.

Gambar 3.4 **Drift Ratio**

Drift ratio pada lantai 1 = $(\delta_1 C_d / I_e) / H$

Drift ratio pada lantai 2 = $((\delta_2 - \delta_1) C_d / I_e) / H$

keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ = simpangan di tingkat -x

I_e = faktor keutamaan gempa.

3.7 Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.7, pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak diperlukan perhitungan apabila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10. Persamaan perhitungan nilai stabilitas (θ) sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.16)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung P_x , 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.

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

Koefisien stabilitas (θ) tidak diizinkan melebihi θ_{max} yang ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.17)$$

dengan β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat dan $x - 1$. Rasio tersebut diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

3.8 Ketentuan Umum Perencanaan Beton SNI 2847-2019

3.8.1 Sifat Material Beton

Sifat desain beton diatur dalam SNI 2847-2019, dalam pasal 19.2 diatur batasan-batasan nilai f'_c . Disebutkan bahwa minimal mutu beton normal yang diizinkan dalam persyaratan struktur adalah $f'_c = 17$ Mpa. Adapun lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Batasan Nilai f'_c

Kegunaan	Jenis Beton	Nilai f'_c minimum (MPa)	Nilai f'_c maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35

Sumber: SNI 2847-2019

3.8.2 Sifat Material Baja

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 20, tulangan utama yang akan digunakan sebagai *reinforcement* pada struktur beton harus berulir. Elemen logam lain, seperti pelat ring, baut angkur atau baja polos untuk dowel pada isolasi atau *joint* konstruksi, umumnya tidak diperhitungkan sebagai tulangan. Modulus Elastisitas (Es) untuk tulangan diizinkan untuk diambil sebesar 200.000 MPa.

3.8.3 Persyaratan Selimut Beton

Selimut beton merupakan elemen penting dalam perencanaan struktur beton. Pada umumnya, selimut beton berfungsi sebagai pelindung tulangan terhadap cuaca atau efek lainnya yang diukur dari permukaan paling luar tulangan. Selain itu, selimut beton juga berperan dalam durabilitas baja tulangan khususnya melindungi kebakaran dan korosi. Semua elemen struktur beton non-prategang yang dicor ditempat, harus memiliki ketebalan selimut beton sesuai pada Tabel 3.15 berikut ini.

Tabel 3. 15 Ketebalan Selimut Beton

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut
			Mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dnding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut
			Mm
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

Sumber: SNI 2847-2019

3.8.4 Spasi Bersih Antar Tulangan

Batasan minimum antara tulangan diatur guna memastikan adonan beton dapat mengalir dengan mudah ke tiap sudut komponen yang dicor dalam bekisting tanpa membentuk celah kosong atau dikenal dengan istilah *honeycomb*. Dalam SNI 2847-2019, pasal 25.2, dinyatakan bahwa spasi bersih antara tulangan pada arah horizontal harus tidak kurang dari nilai sebesar 25 mm, d_b , dan $(4/3)d_{agg}$, yang mana d_{agg} adalah ukuran nominal maksimum agregat kasar. Sedangkan untuk jarak bersih arah vertikal (antar lapis horizontal) adalah paling sedikit 25 mm. Ketentuan sedikit berbeda diberlakukan untuk tulangan longitudinal pada kolom, pedestal, *strut*, dan *boundary element* pada *shear wall*, dengan spasi bersih antara tulangan tidak kurang dari nilai terbesar 40 mm, $1,5 d_b$, dan $(4/3) d_{agg}$.

3.9 Kuat Lentur Balok Berdasarkan SNI 2847-2019

Balok merupakan salah satu element utama penyusun struktur gedung yang umumnya terpasang secara horizontal/lateral. Balok-balok tersebut terhubung dengan kolom-kolom struktur sehingga terbentuk struktur rangka yang stabil dalam memikul beban, baik beban gravitasi maupun beban gempa. Fungsi utama dari balok adalah menyalurkan beban gravitasi yang berasal dari pelat lantai, kemudian menyalurkannya kedalam elemen kolom berupa gaya dan momen. Selain itu, balok juga bisa berperan sebagai elemen penahan gempa yang dimana saat gempa terjadi, balok berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya.

Ketentuan batas desain terdapat dalam SNI 2847-2019, ada beberapa peraturan penting yang terkait dengan desain lentur balok, seperti yang akan dijelaskan berikut.

3.9.1 Tinggi Balok Minimum

Penentuan tinggi balok minimum terdapat dalam SNI 2847-2019 pasal 9.3.1. Pembatasan tinggi balok minimum bertujuan untuk menjamin lendutan yang terjadi pada balok masih dalam batas yang diizinkan. Adapun estimasi tinggi minimum balok dapat dilihat pada Tabel 3.16 di bawah ini.

Tabel 3.16 Tinggi Minimum Balok Prategang

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

Sumber: SNI 2847-2019

Untuk balok yang menggunakan mutu tulangan $f_y = 420$ Mpa, maka persamaan yang terjadi pada Tabel 3.18 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$. Persamaan yang terdapat pada tabel di atas hanya digunakan dalam proses *preliminary design* yang berfungsi mempermudah perencanaan menentukan tinggi balok yang akan digunakan sesuai dengan bentang balok.

3.9.2 Batasan Lendutan

Balok yang direncanakan, selain diatur memiliki tinggi minimum, juga perlu diatur memiliki lendutan izin maksimum yang bisa terjadi saat memikul beban layan. Adapun perhitungan lendutan izin maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.17 berikut.

Tabel 3.17 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$\ell/180[1]$
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$\ell/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	$\ell/480$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$\ell/240$

Sumber: SNI 2847-2019

3.9.3 Batasan Regangan Pada Tulangan Tarik Balok

Untuk balok (nonprategang) dengan nilai $P_u < 0,10f_c'A_g$, maka batas regangan yang terjadi pada tulangan tarik adalah sekurang-kurangnya $\epsilon_t = 0,004$. Hal ini berarti, dalam perencanaan lentur balok, elemen balok diizinkan dalam kondisi transisi dan kondisi terkontrol tarik. Namun dengan catatan bahwa meski dalam kondisi transisi, batas regangan harus $\epsilon_t \geq 0,004$.

3.9.4 Kekuatan Perlu (M_u)

Kekuatan perlu dari perencanaan struktur balok terdapat dalam SNI 2847-2019, pasal 9.4. Momen yang digunakan dalam perencanaan dihitung berdasarkan kombinasi beban. Terkait momen terfaktor (M_u) yang digunakan dalam proses

desain, bahwa nilai M_u diperkenankan dihitung pada muka tumpuan. Hal ini menjadi penting karena pada umumnya nilai momen yang berasal dari *output* ETABS atau SAP2000 biasanya dari AS kolom.

3.10 Kuat Geser Balok Berdasarkan SNI 2847-2019

Gaya geser merupakan salah satu beban yang perlu diperhitungkan dalam mendesain balok beton bertulang dengan menyediakan tulangan geser (sengkang) sepanjang balok. Balok yang didesain kurang baik terhadap pengaruh geser, memungkinkan akan mengalami kegagalan/kerusakan permanen sehingga akan runtuh. Prinsip dasar dari desain geser pada balok adalah resultan tegangan geser yang bekerja pada balok (V_u). Bila kondisi tersebut tidak tercapai, maka akan terjadi keruntuhan yang biasanya dikenal dengan istilah *shear failures* (kegagalan geser).

3.10.1 Parameter Desain Tulangan Geser Balok

Dalam metode desain geser berdasarkan SNI 2847-2019, persyaratan gaya geser nominal sebagai berikut.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.18)$$

Dengan faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,75$ dan V_u merupakan gaya geser *ultimate* yang diperoleh dari analisa struktur.

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 22.5.1.1, perhitungan kuat geser nominal (V_n) merupakan penjumlahan dari kuat geser yang disumbang oleh beton (V_c) dan kuat geser yang disumbang oleh tulangan geser (V_s). Adapun persamaannya sebagai berikut.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.19)$$

Untuk nilai V_s tidak boleh lebih besar dari persamaan di bawah.

$$V_{s, \max} = 0,66\sqrt{f_c'}bwd \quad (3.20)$$

Sedangkan untuk nilai V_c , terdapat dalam SNI 2847-2019 pasal 22.5.5 dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}bwd \quad (3.21)$$

Namun terdapat rumus V_c yang lebih detail, nilai V_c diambil nilai terkecil dari tiga persamaan berikut.

$$V_c = \left(0,16\lambda\sqrt{f_c'} + 17\rho_w \frac{V_{ud}}{M_u}\right)bwd \quad (3.22)$$

$$V_c = (0,16\lambda\sqrt{f_c'} + 17\rho_w)bwd \quad (3.23)$$

$$V_c = 0,16\lambda\sqrt{f_c'}bwd \quad (3.24)$$

Keterangan:

λ = Faktor modifikasi.

ρ_w = Rasio tulangan tarik.

V_u = Gaya geser *ultimate* hasil analisa struktur.

M_u = Momen *ultimate* hasil analisa struktur.

bw = Lebar penampang balok.

d = Tinggi efektif balok.

Luasan tulangan geser (A_v) yang digunakan diharapkan tidak terlalu kecil atau terlalu besar, guna mencegah keruntuhan getas apabila terjadi retak pada balok. Selain itu pembatasan ini dimaksudkan untuk memastikan tulangan geser yang digunakan mengalami leleh saat terjadi retak. Dalam SNI 2847-2019 pasal 9.6.6.3, mengatur jumlah luasan minimum untuk tulangan geser. Nilai A_v yang diambil adalah nilai terbesar dari dua persamaan berikut.

$$A_{v, \min} = 0,062\sqrt{f_c'} \frac{bws}{f_{yt}} \quad (3.25)$$

$$A_{v, \min} = \frac{(0,35bws)}{f_{yt}} \quad (3.26)$$

Dengan diperoleh nilai A_{vmin} , maka V_{smin} ditentukan dari nilai terbesar diantara dua persamaan berikut.

$$V_{s, \min} = 0,35bwd \quad (3.27)$$

$$V_{s, \min} = 0,062\sqrt{f_c'}bwd \quad (3.28)$$

3.10.2 Syarat Desain Tulangan Geser Balok

Dalam proses desain terdapat beberapa kategori yang digunakan dalam menentukan kebutuhan tulangan geser balok berdasarkan gaya geser *ultimate* yang diperoleh dari analisa struktur.

1. Bila $V_u \leq 0,5\phi V_c$

Pada kategori ini, secara teoritis balok tidak memerlukan tulangan geser. Dengan kata lain, kekuatan yang dimiliki beton (V_c) sudah dianggap mampu untuk memikul beban geser ultimate (V_u) sehingga tulangan geser tidak perlu dipasang. Namun disarankan untuk balok dengan $h \geq 600 \text{ mm}$ tetap menggunakan tulangan sengkang dengan luasan min, $A_{v, \min}$.

2. Bila $0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$

Ketentuan yang digunakan kondisi ini sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 9.6.3.3 dan pasal 9.7.6.2.2. Sehingga nilai V_s , dan A_v , yang digunakan merupakan nilai minimal.

$$V_{s, \min} = 0,062\sqrt{f_c'}bwd \geq 0,35bwd \quad (3.29)$$

$$A_{v, \min} = 0,062\sqrt{f_c'} \frac{bws}{f_{yt}} \geq \frac{(0,35bws)}{f_{yt}} \quad (3.30)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

Ketentuan ini tidak berlaku untuk:

- a. Balok yang tinggi efektifnya lebih kecil dari 250 mm (10 in).
 - b. Balok yang tinggi efektifnya (d) kurang dari 2,5x tebal sayap dari T-beam, atau 1,5x lebar badan penampang. Namun dalam semua kasus tinggi efektif (d) tidak boleh melebihi 610 mm.
 - c. *One-way joist systems.*
 - d. *One-way slabs and footings.*
3. Bila $\phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s, \min})$

Kuat geser $V_{s, \min}$:

$$V_{s, \min} = 0,062\sqrt{f_c'} bwd \text{ atau } V_{s, \min} = 0,35bwd \quad (3.31)$$

Luasan tulangan geser:

$$A_v, \min = 0,062\sqrt{f_c'} \frac{bws}{f_{yt}} \text{ atau } A_v, \min = \frac{(0,35bws)}{f_{yt}} \quad (3.32)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (3.33)$$

4. Bila $\phi(V_c + V_{s, \min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}bwd)$

Kondisi ini sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 22.5.10.1, pasal 22.5.10.5.3, dan pasal 9.7.6.2.2. Nilai gaya geser dari tulangan sebagai berikut.

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (3.34)$$

Luasan tulangan geser:

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \quad (3.35)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (3.36)$$

5. Bila $\phi \left(Vc + \frac{1}{3} \sqrt{fc'} bwd \right) \leq Vu \leq \phi \left(Vc + \frac{2}{3} \sqrt{fc'} bwd \right)$

Nilai gaya geser dari tulangan:

$$Vs = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} \quad (3.37)$$

Luasan tulangan geser:

$$Av = \frac{Vs \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \quad (3.38)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{4} \leq 300 \text{ mm} \quad (3.39)$$

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

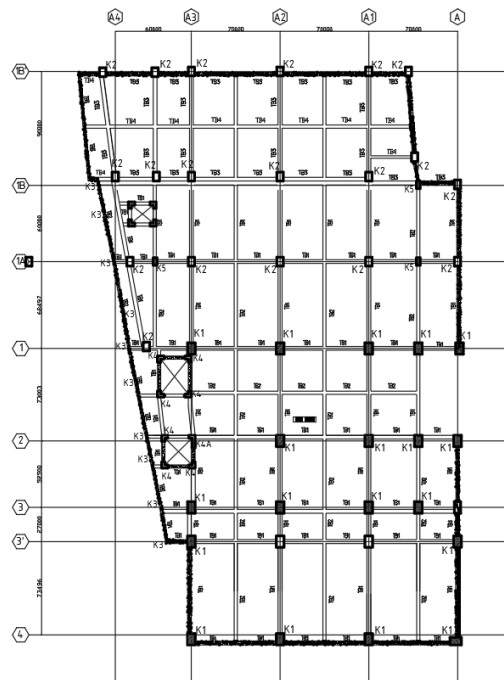
Gedung El Hotel Royale adalah gedung yang akan dianalisis dalam penelitian ini, dan terletak di Jalan Dagen No. 6 Sosromenduran, Gedong Tengen, Kota Yogyakarta. Lokasi gedung dapat dilihat pada Gambar 4.1.



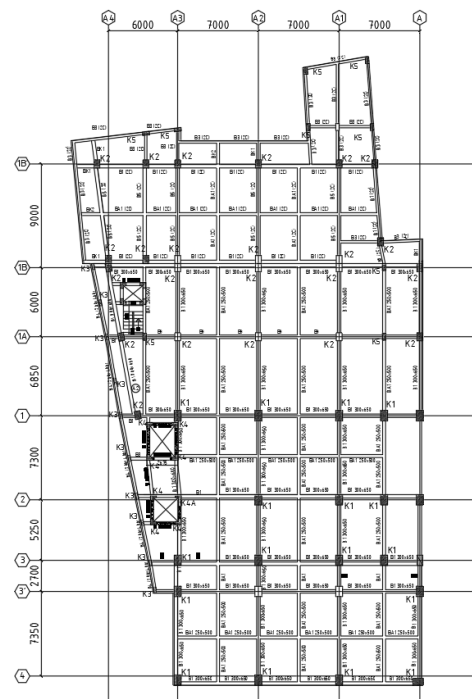
Gambar 4. 1 Lokasi Gedung El Royale Hotel
(Sumber: Google Earth)

4.2 Data Struktur

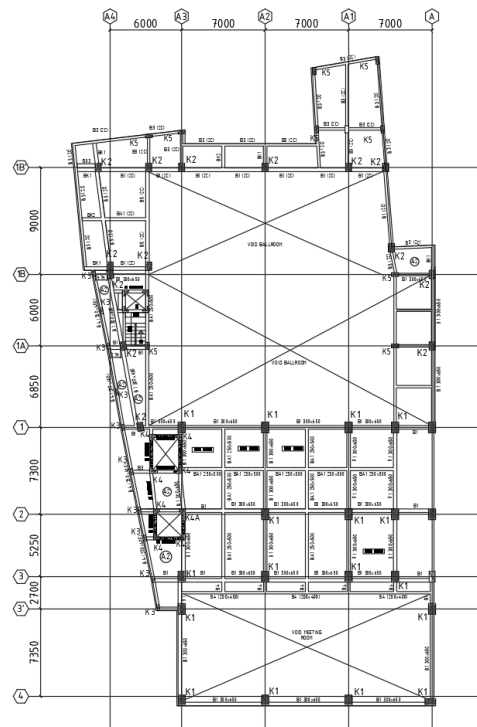
Pada penelitian ini dilakukan evaluasi kebutuhan rasio tulangan lentur dan geser pada struktur elemen balok gedung El Hotel Royale dengan ketinggian 10 lantai berdasarkan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019. Gedung tersebut berfungsi sebagai bangunan hotel dengan tinggi tiap lantainya 3,2 m. Denah gedung dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7.



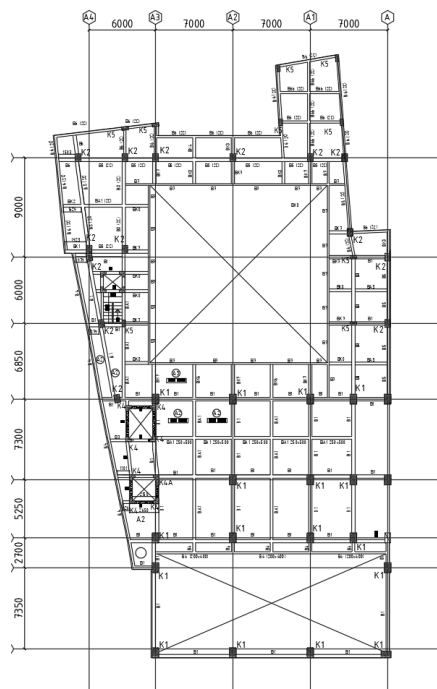
Gambar 4. 2 Denah Gedung El Hotel Royale Lantai 1
(Sumber: Gambar Shop Drawing)



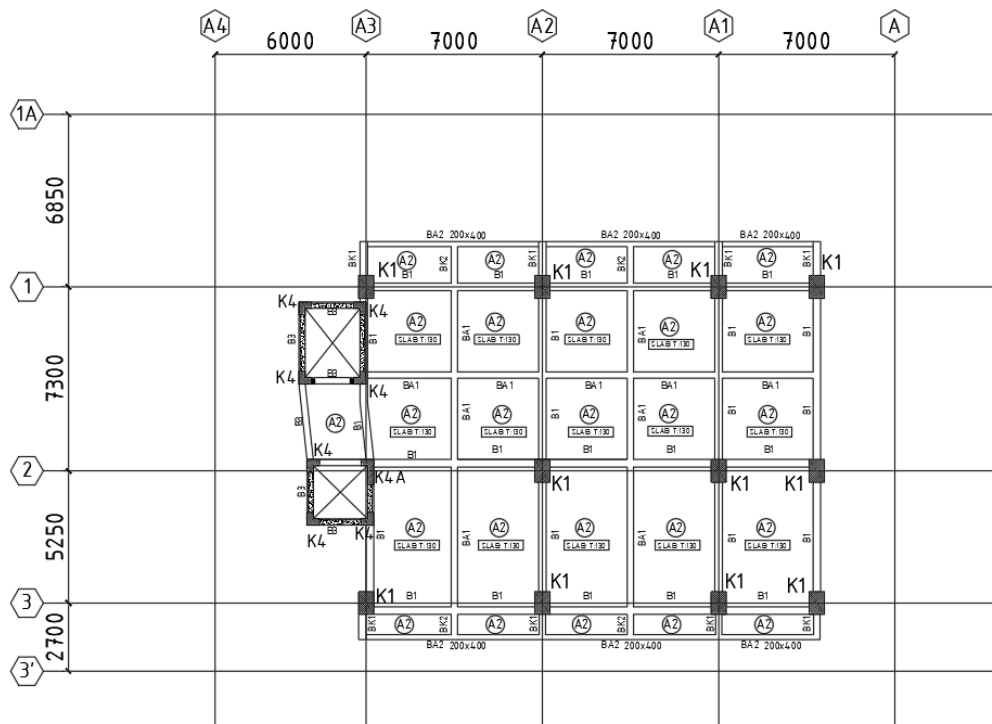
Gambar 4.3 Denah Gedung El Hotel Royale Lantai 2
(Sumber: Gambar Shop Drawing)



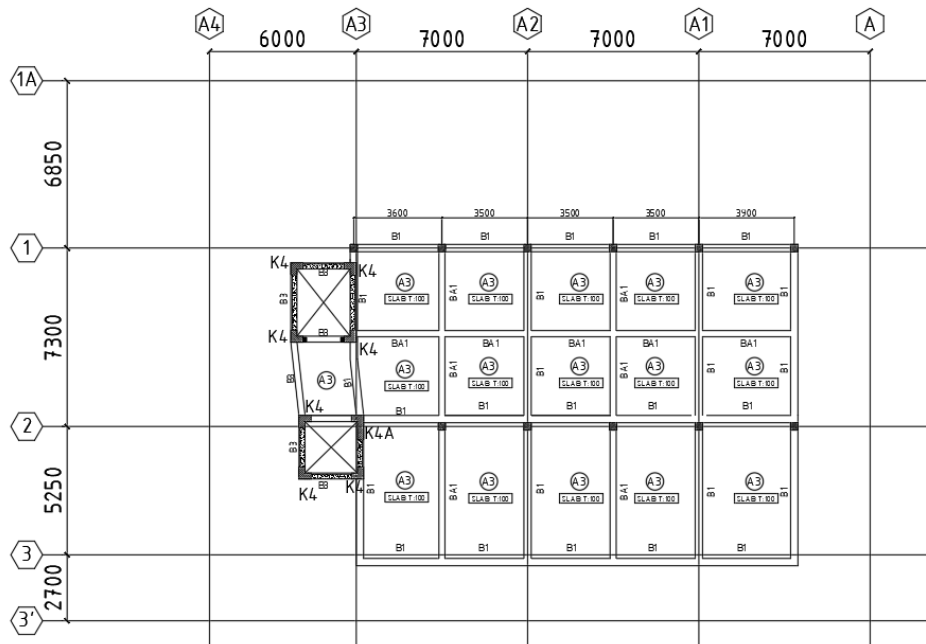
Gambar 4.4 Denah Gedung El Hotel Royale lantai 3
(Sumber: Gambar Shop Drawing)



Gambar 4.5 Denah Gedung El Hotel Royale lantai 4
(Sumber: Gambar Shop Drawing)



Gambar 4. 6 Denah Gedung El Hotel Royale lantai 5 Sampai 9
(Sumber: Gambar Shop Drawing)



Gambar 4. 7 Denah Gedung El Hotel Royale lantai 10
(Sumber: Gambar Shop Drawing)

Adapun data-data pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Fungsi gedung : Hotel
2. Jenis struktur : Beton bertulang
3. Jenis tanah : Tanah sedang
4. Mutu beton (f_c) : 30 MPa
5. Mutu baja (f_y) : 400MPa(Tulangan pokok)

4.3 Metode Analisis

Jenis penelitian dalam tugas akhir ini termasuk kategori penelitian kuantitatif, yaitu melakukan penelitian terkait dengan evaluasi kebutuhan rasio tulangan lentur dan geser pada elemen struktur balok Gedung eksisting El Hotel Royale mengacu SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019 dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum. Dalam penelitian ini digunakan standar SNI terbaru yaitu SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019. Dalam analisis struktur digunakan *software* SAP2000 versi22.

4.4 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan alat berupa program komputer, yaitu:

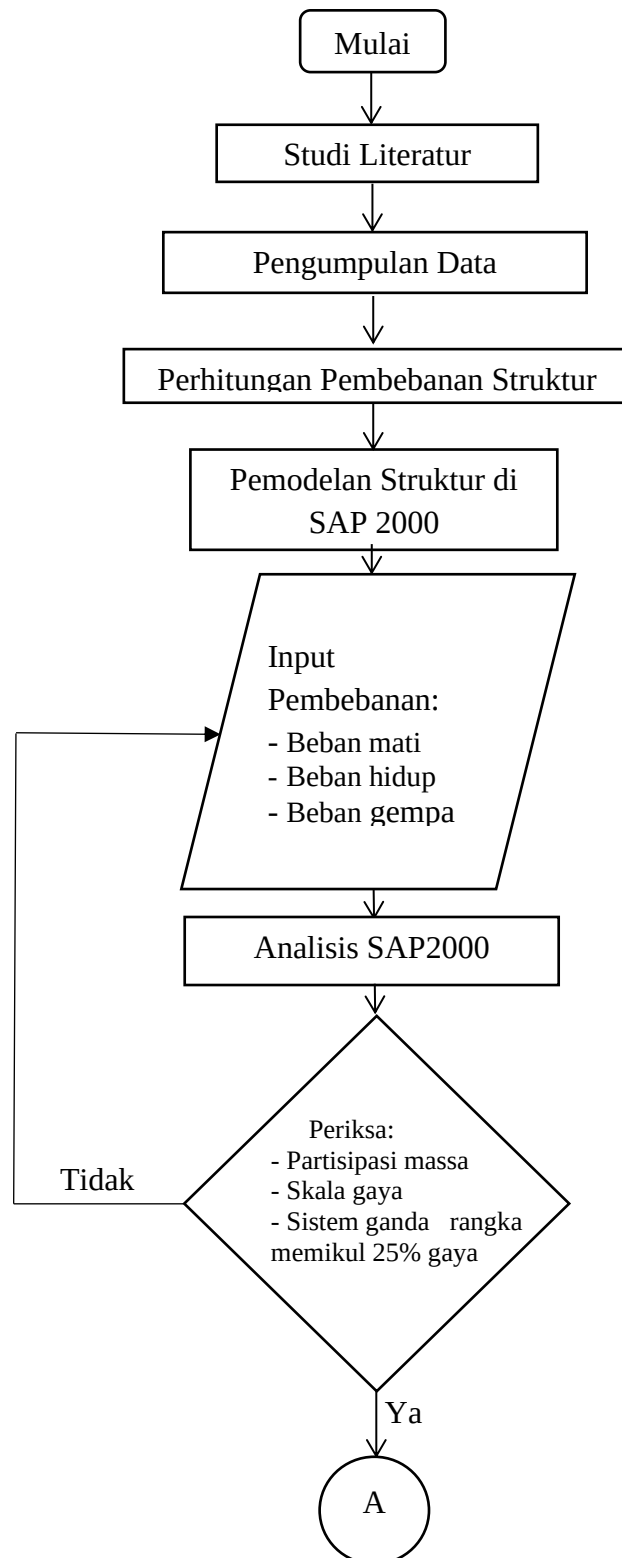
1. Program SAP 2000 untuk analisis struktur.
2. *Microsoft Excel* untuk analisis data.

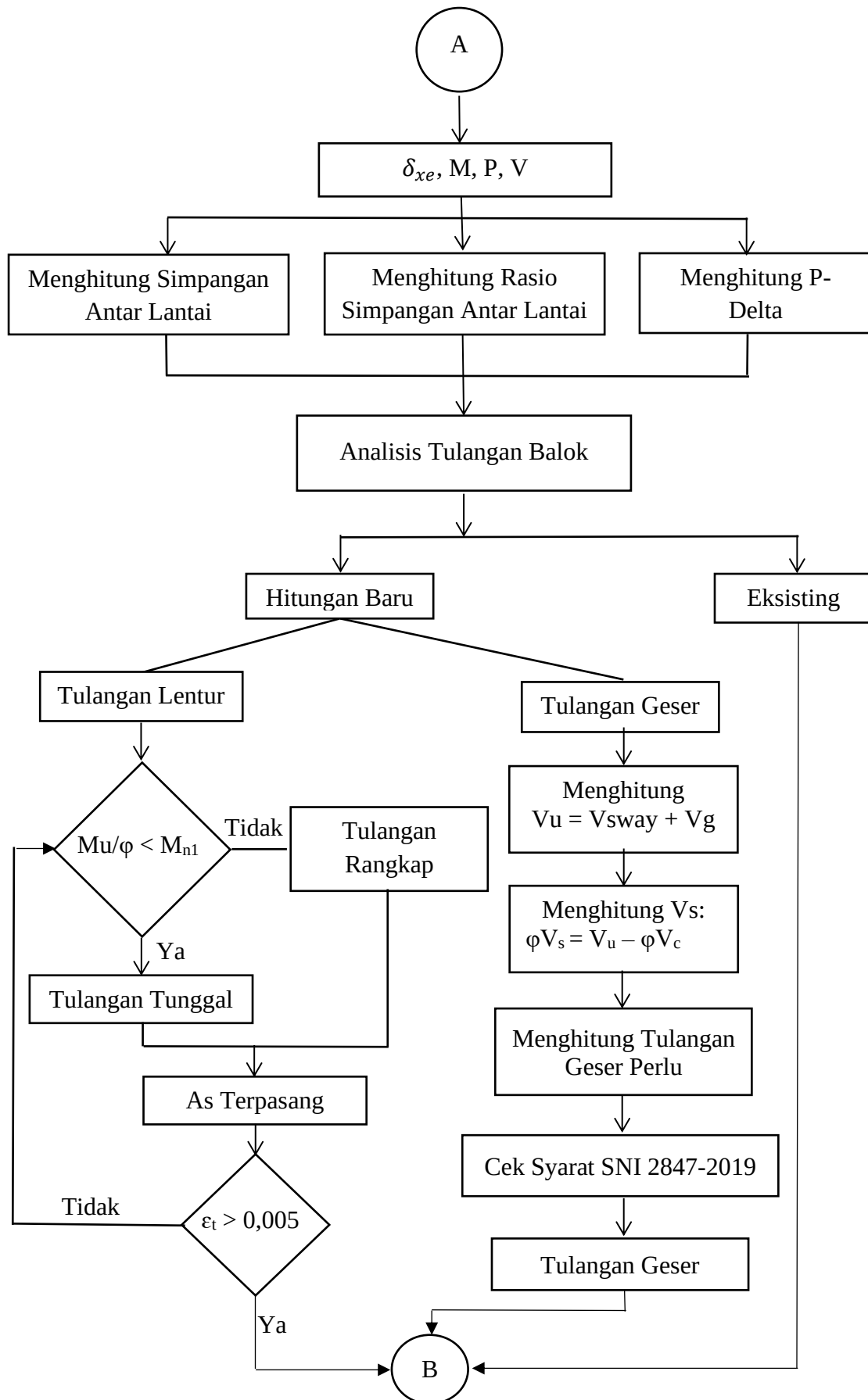
4.5 Tahapan Penelitian

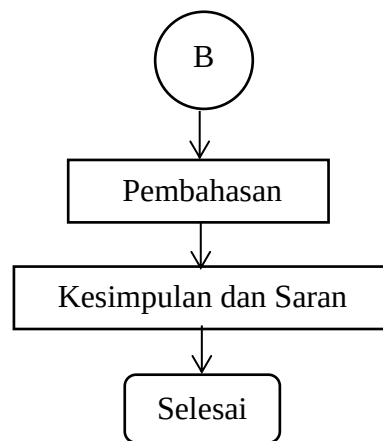
Berikut beberapa tahapan dalam melaksanakan penelitian ini.

1. Studi literatur.
2. Mengumpulkan data struktur Gedung El Hotel Royale.
3. Melakukan perhitungan pembebanan struktur yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
4. Pemodelan struktur gedung pada SAP 2000 dengan data struktur sesuai dengan Gedung eksisting.
5. Input pembebanan dari perhitungan sebelumnya.
6. Melakukan analisis struktur pada program SAP 2000.

7. Memperoleh gaya dalam berupa δ_{xe} , M , P , dan V dari program SAP 2000.
8. Melakukan analisis simpangan antar lantai, rasio simpangan antar lantai dan P-Delta.
9. Menghitung kebutuhan tulangan lentur dan geser pada elemen balok dengan material dan dimensi sama dengan gedung eksisting.
10. Mengidentifikasi semua rasio tulangan lentur dan geser pada elemen struktur yang telah ditentukan.
11. Melakukan analisis perbandingan rasio tulangan lentur dan geser berdasarkan hasil perhitungan tulangan dengan menggunakan standar SNI baru dan kondisi eksisting berdasarkan SNI lama.
12. Membuat kesimpulan dan saran.







Gambar 4. 8 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan Gedung El Hotel Royale Yogyakarta dengan fokus penelitian membandingkan rasio tulangan elemen balok yang didasarkan dari analisis struktur dengan metode respon spektrum mengacu SNI terbaru. Hasil dari analisis berupa kebutuhan tulangan tampang balok yaitu tulangan lentur dan tulangan geser dengan asumsi material f_c' , f_y , dimensi balok yang sama dengan Gedung eksisting, dan pembebanan tetap sama, namun pembebanan terkait gempa berbeda. Sedangkan elemen kolom, *beam column joint*, pelat lantai dan komponen struktur lainnya akan diteliti pada kesempatan yang lain.

5.2 Data Struktur

Data struktur pada penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Fungsi gedung : Hotel
2. Jenis struktur : Beton bertulang
3. Jenis tanah : Tanah sedang
4. Mutu beton (f_c) : 30 MPa
5. Mutu baja (f_y) : 400MPa(Tulangan pokok); $f_{ys} = 240$ MPa
6. Dimensi struktur :
 - a. Pelat lantai : 130 mm
 - b. Pelat atap : 100 mm
 - c. Balok

Dimensi balok yang digunakan dalam Gedung El Hotel Royale dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Dimensi Balok

Tipe	b(mm)	h(mm)	Tipe	b(mm)	h(mm)
B1	300	650	BA3	250	500
B2	350	700	BK1	300	600
B3	250	400	BK2	250	500
B4	200	400	BK3	300	600
B5	300	600	BK4	250	500
B6	200	400	BK6	250	600
B6B	200	400	BK7	300	750
B7	250	500	BK8	250	500
B8	300	700	TB1	300	600
B9	400	800	TB2	250	500
BA1	250	500	TB3	300	600
BA2	250	500	TB4	250	500

d. Kolom

Dimensi kolom yang digunakan dalam Gedung El Hotel Royale dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Dimensi Kolom

No	Kolom	Panjang (mm)	Lebar (mm)	
1	K1	600	900	
2	K2	500	700	
3	K3	200	500	
4	K4	250	500	500
5	K4A	250	500	1000
6	K5	300	600	
7	K5'	300	300	

Denah balok dan kolom struktur gedung dapat dilihat pada Lampiran 1.

5.3 Pembebanan Struktur

Beban-beban yang digunakan dalam perhitungan analisis adalah kombinasi dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

5.3.1 Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Berat sendiri pada elemen-elemen struktur sudah terhitung secara otomatis pada program analisa struktur SAP2000. Adapun perhitungan beban mati sebagai berikut. pada pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

1. Beban mati pelat lantai dan pelat atap

Adapun perhitungan beban mati pada pelat lantai dan pelat atap dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

Tabel 5. 3 Perhitungan Beban Mati Pelat Lantai

Material	Tebal (m)	Berat Volume (kg/m ³)	Beban	Satuan
Pelat	0,13	2400	312	kg/m ²
Pasir	0,03	1600	48	kg/m ²
Spesi	0,03	1700	51	kg/m ²
Keramik			21	kg/m ²
Mechanical/Electrical			12	kg/m ²
Plafon/langit langit			6	kg/m ²
Total			450	kg/m ²
Beban Mati Tambahan			138	kg/m ²

Tabel 5. 4 Perhitungan Beban Mati Pelat Atap

MATERIAL	Tebal (m)	Berat Volume (kg/m ³)	Beban	Satuan
Pelat	0,10	2400	240	kg/m ²
Spesi	0,03	1700	51	kg/m ²
Water proofing			5	kg/m ²
Total			296	kg/m ²
Beban Mati Tambahan			56	kg/m ²

2. Beban mati pada dinding

Tabel 5. 5 Perhitungan Beban Dinding

MATERIAL	Hasil	Satuan
Tinggi Lantai	3,20	m
Tebal Dinding	0,15	m
Bj Bata Ringan	750	kg/m ³
Asumsi Tinggi Dinding	2,9	m
Q dinding= t x bj x h dinding	326,25	kg/m

3. Beban mati tangga

Tangga tidak dimodelkan pada penelitian ini, tetapi dijadikan sebagai beban sendiri pada bangunan. Perhitungan beban mati tangga sebagai berikut.

Pelat tangga	= $0,15 \times 2,484 \times 0,85 \times 2400$	= 760,104 kg
Anak tangga	= $0,00375 \times 6 \times 0,85 \times 2400$	= 459 kg
Pasir	= $0,0165 \times 6 \times 0,85 \times 1600$	= 134,640 kg
Spesi	= $0,0165 \times 6 \times 0,85 \times 1700$	= 143,055 kg
Beban mati tangga		= 1496,799 kg

Perhitungan beban mati bordes sebagai berikut.

Pelat bordes	= $0,15 \times 0,9 \times 1,7 \times 2400$	= 550,800 kg
Pasir	= $0,03 \times 0,9 \times 1,7 \times 1600$	= 73,440 kg
Spesi	= $0,03 \times 0,9 \times 1,7 \times 1700$	= 78,030 kg
Beban mati bordes		= 702,270 kg

4. Beban mati lift

Tipe lift = Hyundai

Kapasitas = 8 orang

Lebar pintu = 800 mm

Car Size (CA x CB) = $1300 \times 1090 \text{ mm}^2$

Hoizway size = $2000 \times 1700 \text{ mm}^2$

Beban reaksi mesin = R1 = 4100 kg

R2 = 1950 kg

R3 = 700 kg

R4 = 1800 kg

Keterangan : R1 dan R2 = berat mesin penggerak + beban kereta + perlengkapan

R3 dan R4 = Berat bandul pemberat + perlengkapan

Penentuan Koefisien kejut dengan persamaan sebagaimana berikut ini.

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dengan :

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling

menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/det.

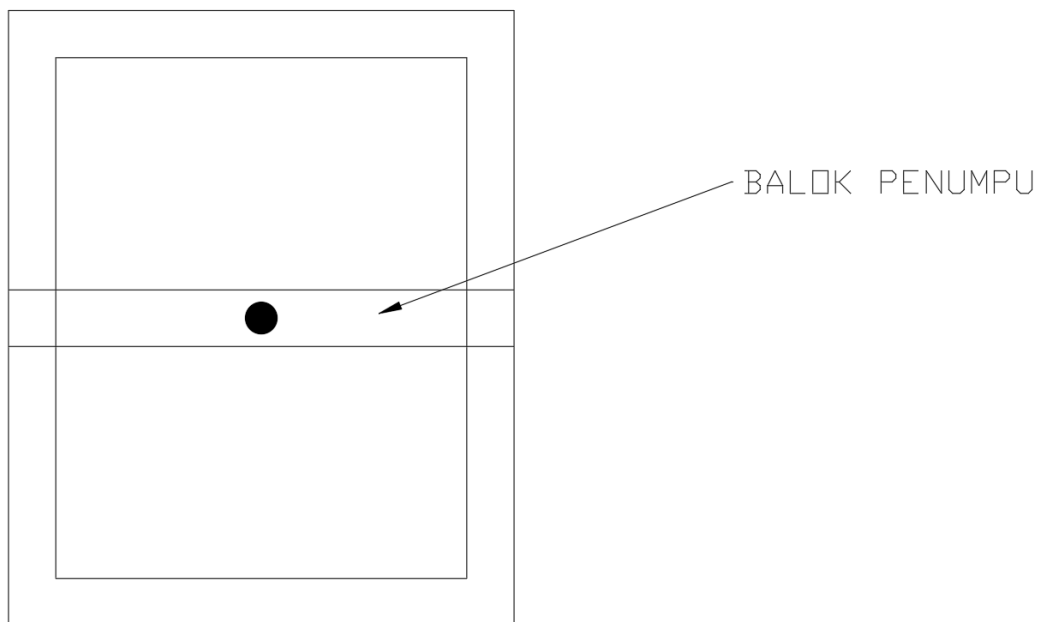
k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6.

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3.

Perhitungan beban yang bekerja pada balok sebagai berikut.

$$P = \sum R \cdot \Psi = (4100+1950+700+1800) (1+(1,3) (0,6) (1)) = 15219 \text{ kg.}$$

Beban P diletakkan pada balok lift seperti pada gambar berikut.



Gambar 5. 1 Denah Balok Lift

5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan pada analisis mengacu pada SNI 1727-2013 yang mempunyai besaran berbeda-beda sesuai dengan fungsi ruangan. Beban minimum pada tangga sebesar 1,33kN. Perhitungan beban hidup dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7

Tabel 5. 6 Perhitungan Beban Hidup Pelat Lantai

Ruangan	BEBAN Q				QL (kg/m ²)	0.4 Lo (kg/m ²)	QL Pakai (kg/m ²)
	Lo		Lo				
Kamar	1,92	KN/m ²	195,72	Kg/m ²	272,54	78,29	195,72
Koridor	4,79	KN/m ²	488,28	Kg/m ²	466,39	195,31	488,28
Ruang Pertemuan	4,79	KN/m ²	488,28	Kg/m ²	466,39	195,31	466,39

Tabel 5. 7 Perhitungan Beban Hidup Pelat Atap

Fungsi	Beban	Satuan
Hotel	97,89	kg/m ²
Air Hujan	30,00	kg/m ²

5.2.3 Beban Gempa

Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726-2019 dengan langkah-langkah perhitungan seperti berikut.

1. Penentuan klasifikasi situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 5.3, salah satu metode dalam menentukan klasifikasi situs bisa dilakukan dengan menghitung penetrasi rerata (N). Apabila diperoleh nilai $N < 15$, maka termasuk dalam klasifikasi situs tanah sedang dan jika diperoleh nilai $N > 50$, maka termasuk dalam klasifikasi situs tanah keras. Analisis klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Analisis Klasifikasi Situs

Kedalaman (d)	ketebalan lapis (di)	N-SPT	di/N
m	m		
2	2	6	0,333
4	2	8	0,250
6	2	22	0,091
8	2	22	0,091
10	2	24	0,083
12	2	33	0,061
14	2	33	0,061
16	2	34	0,059
18	2	42	0,048
20	2	42	0,048
22	2	56	0,036
24	2	56	0,036
26	2	58	0,034
28	2	60	0,033
30	2	60	0,033
Jumlah	30		1,296

$$N = 30/1,296 = 23,142$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai N sebesar 23,142 yang lebih besar dari 15 tetapi kurang dari 50. Sehingga pada Gedung El Hotel Royale klasifikasi situs termasuk dalam tanah sedang (SD).

2. Penentuan faktor keutamaan dan kategori Risiko Bangunan

Pada analisis ini digunakan bangunan yang berfungsi sebagai hotel. Berdasarkan Tabel 3 SNI 1726-2019 (Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa) bangunan hotel termasuk dalam kategori risiko II. Sehingga, nilai faktor keutamaan gempa, I_e , sebesar 1.

2. Penentuan Parameter Percepatan Gempa (S_s dan S_1)

Jenis tanah gedung El Hotel Royale memiliki jenis tanah sedang (SD). Parameter gerak tanah S_s , berdasarkan peta seismik SNI 1726-2019 Kota Yogyakarta mempunyai nilai 1,0-1,2 g, dengan bantuan *DesainSpektra Indonesia*(pu.go.id) di dapat nilai S_s sebesar 1,1313 g. Sedangkan parameter

gerak tanah S_I Kota Yogyakarta mempunyai nilai 0,5-0,6 g diperoleh nilai 0,5115g.

3. Penentuan Faktor Amplifikasi Getaran

Berdasarkan nilai S_s , S_I , dan kelas situs dapat ditentukan nilai faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v). Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726-2019 didapat nilai F_a sebesar 1,047 dan F_v sebesar 1,7.

4. Penentuan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (S_{MS} dan S_{M1})

Nilai S_{MS} dan S_{M1} dihitung berdasarkan persamaan 3.1 dan persamaan 3.2.

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,047 \times 1,1313 \\ &= 1,184 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_I \\ &= 1,7 \times 0,5115 \\ &= 0,870 \end{aligned}$$

5. Penentuan Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai S_{DS} dan S_{M1} dihitung berdasarkan persamaan 3.3 dan persamaan 3.4.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,184 \\ &= 0,790 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,870 \\ &= 0,580 \end{aligned}$$

6. Penentuan periode getar fundamental struktur (T_0 dan T_s)

Nilai T_0 dan T_s dihitung berdasarkan persamaan 3.7 dan persamaan 3.8.

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,580}{0,790} \end{aligned}$$

$$= 0,147$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{SD1}{SDS} \\ &= \frac{0,580}{0,790} \\ &= 0,734 \end{aligned}$$

$$T_l = 6 \text{ detik}$$

7. Respons spektral percepatan desain (S_a)

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain harus diambil sesuai dengan Persamaan 3.5.

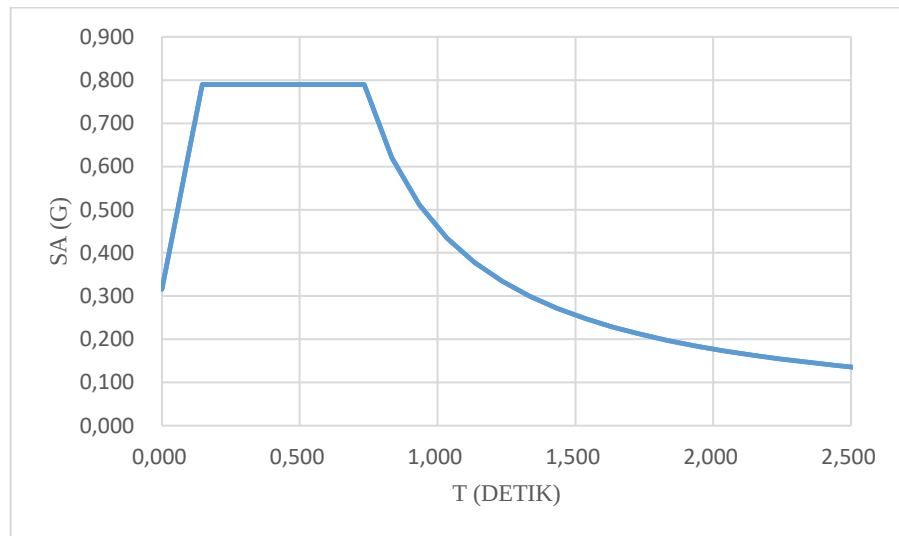
Berikut merupakan contoh perhitungan spektrum respons percepatan desain pada periode 0,05 detik.

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,790 \left(0,4 + 0,6 \frac{0,05}{0,147} \right) \\ &= 0,477 \end{aligned}$$

Pada periode $T_0 < T < T_s$, nilai S_a digunakan sebesar nilai S_{DS} . Kemudian pada periode $T > T_s$, nilai S_a digunakan berdasar Persamaan 3.6. berikut merupakan contoh perhitungan S_a periode 0,834 detik.

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\ &= \frac{0,580}{0,834} \\ &= 0,621 \end{aligned}$$

Tabel rekapitulasi perhitungan respon spektrum desain terdapat pada lampiran, dari rekapitulasi disajikan grafik respon spektrum seperti Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Grafik Respon Spektrum

8. Penentuan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik ditentukan dari Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726-2019. Penentuan kategori tersebut berdasarkan kategori risiko II serta nilai S_{Ds} dan S_{D1} . Nilai S_{Ds} lebih dari 0,5 dan nilai S_{D1} lebih dari 0,2 berdasarkan perhitungan sebelumnya dari tabel tersebut bangunan Hotel El Royale termasuk kategori desain seismik D.

9. Penentuan Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik berupa sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan, sehingga berdasarkan Tabel 12 SNI 1726-2019 nilai koefisien modifikasi respon (R), faktor pembesaran defleksi (C_d) dan faktor kuat lebih sistem (Ω_0) diperoleh nilai seperti berikut.

$$R = 7$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 2,5$$

5.2.4 Beban Tanah

Beban tanah dimasukkan dalam pembebanan pada *basement* dengan bentuk beban merata horizontal. Perhitungan beban tanah aktif sebagai berikut. Data tanah dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Data Tanah

Kedalaman	Jenis Tanah	
	Titik BH1	Titik BH2
0-2 m	Pasir Sedang	Pasir Kasar
2-4 m	Pasir Sedang	Pasir Kasar

$$\gamma_b = 21,7 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 18,40^\circ$$

1. Koefisien tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \\ &= \frac{1 - \sin 18,40}{1 + \sin 18,40} \\ &= 0,520 \end{aligned}$$

2. Tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_b \times H^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 0,520 \times 21,7 \times 2,7^2 \\ &= 41,130 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.2.5 Beban Rangka Atap

Rangka atap pada ruang *ballroom* dan *meeting room* menggunakan struktur baja yang dimodelkan secara terpisah menggunakan *software* SAP2000. Perhitungan beban rangka atap *ballroom* dan *meeting room* sebagai berikut.

1. Rangka atap *ballroom*

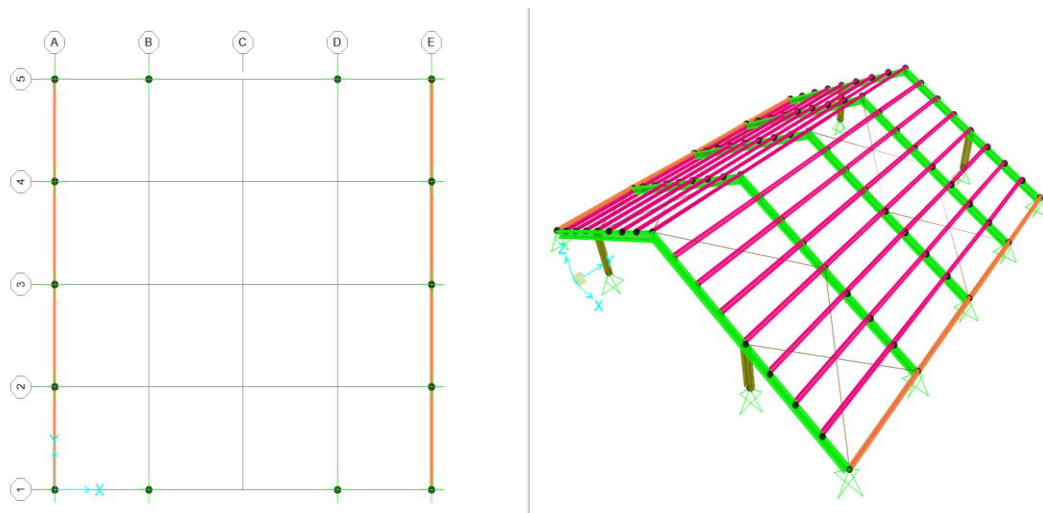
Fy	= 245 MPa
Fu	= 400 MPa
Berat volume	= 7850 kg/m ³
E	= 200000 MPa
Rafter	= IWF 300x150x6,5x9xr13
Regel	= IWF 300x150x6,5x9xr13
Purlin/Gording	= CNP 150x50x50x20x2,3
Ikatan angin	= D16
Jarak portal	= 4,075 m

Jarak Purlin	= 1,177 m	
Luas beban	= 4,796 m ²	
Beban	: Atap = 0,046 kN/m ²	= 0,054 kN/m
	Lr = 1 kN/m ²	= 1 kN
	R = 0,196 kN/m ²	= 0,231 kN/m

Kombinasi pembebanan pada pemodelan rangka atap *ballroom* yaitu kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban angin sebagai berikut.

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R
- 1,2 D + 1,6 (L atau R) + (L atau 0,5 W)
- 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr atau R)
- 0,9 D + 1,0 W

Pemodelan rangka atap *ballroom* dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5. 3 Pemodelan Rangka Atap *Ballroom*

Hasil reaksi gaya pada tumpuan dimasukkan pada struktur rangka Gedung El Hotel Royale. Berikut merupakan reaksi gaya rangka atap *ballroom* yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Reaksi Gaya Atap *Ballroom*

Joint	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)
1	7,657	1,43	5,747
2	0,153	0,011	8,831
3	-0,159	0,013	8,851
4	-7,681	1,465	5,758
5	-26,701	-0,432	20,579
6	-26,728	1,059	20,584
7	-31,952	-2,111	23,133
8	-5,182	0,013	4,523
9	-0,132	-0,0005	8,619
10	0,125	-0,0004	8,596
11	5,188	0,012	4,527
12	31,944	-2,121	23,116
13	26,736	1,126	20,574
14	26,73	-0,463	20,58

2. Rangka atap *meetingroom*

Fy = 245 MPa

Fu = 400 MPa

Berat volume = 7850 kg/m³

E = 200000 MPa

Rafter = IWF 150x75x5,7x7

Regel = IWF 150x75x5,7x7

Purlin/Gording = CNP 75x30x15x2,3

Ikatan angin = P12

Jarak portal = 3,5 m

Jarak Purlin = 0,94 m

Luas beban = 3,29 m²

Beban : Atap = 0,046 kN/m² = 0,043 kN/m

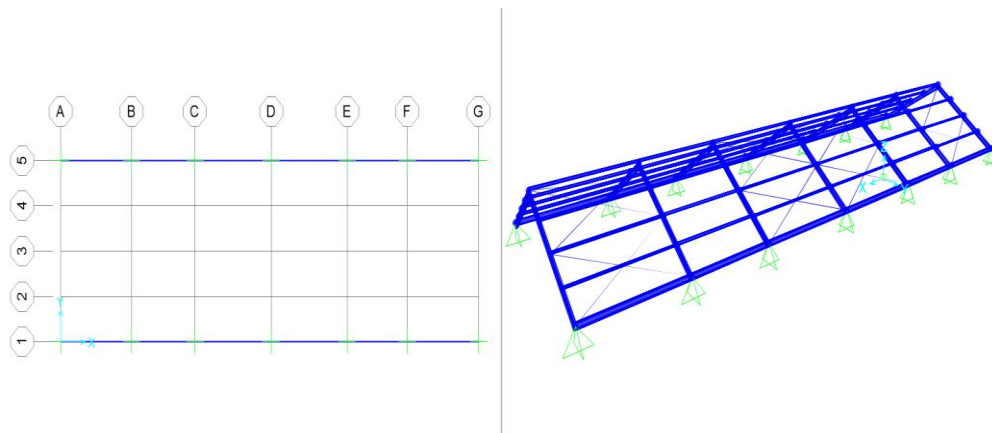
Lr = 1 kN/m² = 1 kN

R = 0,196 kN/m² = 0,184 kN/m

Kombinasi pembebanan pada pemodelan rangka atap *meeting room* yaitu kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban angin sebagai berikut.

- a. $1,4 D$
- b. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$
- c. $1,2 D + 1,6 (L \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- d. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- e. $0,9 D + 1,0 W$

Pemodelan rangka atap *meeting room* dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Pemodelan Rangka Atap Ballroom

Hasil reaksi gaya pada tumpuan dimasukkan pada struktur rangka Gedung El Royale. Berikut merupakan reaksi gaya rangka atap *meetingroom* yang dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Reaksi Gaya Atap Meetingroom

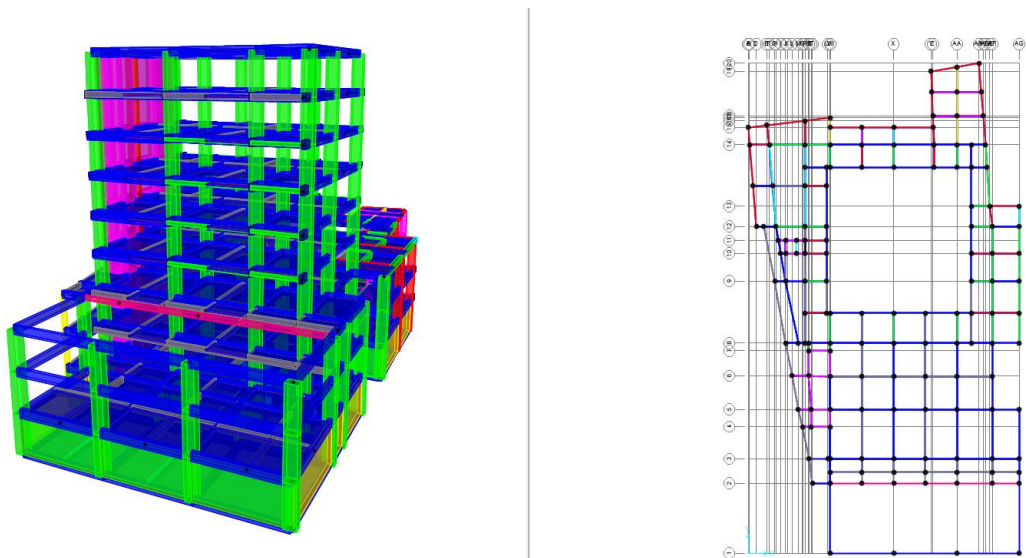
Joint	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)
1	0,49	5,291	4,429
2	-0,114	8,919	7,581
3	0,629	9,245	7,799
4	-0,113	9,35	7,999
5	-0,647	9,189	7,79
6	0,122	8,866	7,573
7	-0,508	5,279	4,421
8	-0,605	-5,276	4,413
9	0,104	-8,87	7,523
10	-0,635	-9,189	7,738
11	-0,043	-9,352	7,987
12	0,631	-9,242	7,784
13	-0,123	-8,923	7,569
14	0,514	-5,287	4,42

5.4 Analisis Struktur

Analisis struktur bangunan menggunakan *software* SAP2000 dan *Microsoft Excel*. Hasil analisis *software* SAP2000 diperoleh gaya dalam berupa δ_{xe} , M , P , dan V , yang kemudian dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* untuk menghitung nilai simpangan antar lantai, rasio simpangan antar lantai, P-Delta, kebutuhan tulangan lentur, dan geser pada elemen balok.

1. Pemodelan

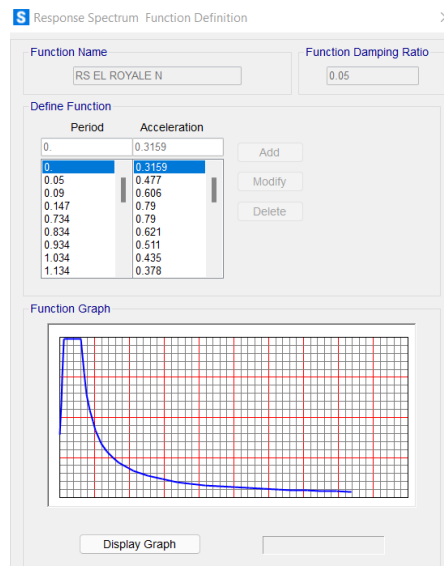
Pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5. 5 Pemodelan Gedung El Hotel Royale

2. Pemodelan gempa respons spektrum

Pemodelan respons spektrum dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Pemodelan Respons Spektrum

3. Perhitungan periode bangunan

Periode bangunan ditentukan dengan membandingkan periode berdasarkan hasil analisis program dan periode berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019. Dari hasil *software* SAP2000 diperoleh nilai periode bangunan (T_c) sebesar 0,739 detik. Perhitungan periode minimum (T_a), diketahui tinggi bangunan (h_n) 28,8 m dan parameter pendekatan C_t dan x digunakan nilai 0,0488 dan 0,75 dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t h_n^x \\
 &= 0,0488 \times 28,8^{0,75} \\
 &= 0,607 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung periode maksimum (T_a), dengan nilai C_u yaitu 1,4 menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 T_{maks} &= C_u \cdot T_a \\
 &= 1,4 \times 0,607 \\
 &= 0,849
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, periode fundamental ditentukan menggunakan persyaratan di bawah ini.

- Apabila $T_c > T_{a \text{ maks}}$, maka dipakai $T = T_{a \text{ maks}}$
- Jika $T_a < T_c < T_{a \text{ maks}}$ maka dipakai $T = T_c$

- c. Jika $T_c < T_a$ maka dipakai $T = T_a$

Berdasarkan hasil perhitungan dan persyaratan tersebut maka digunakan nilai periode bangunan (T_c) yaitu 0,739 detik.

4. Perhitungan nilai koefisien respons dinamik (C_s)

Nilai koefisien respons dinamik dapat dihitung melalui persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. } C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,790}{\left(\frac{7}{1}\right)} \\ &= 0,113 \end{aligned}$$

- b. Hasil C_s tidak melebihi nilai $C_{s \text{ maks}}$

$$\begin{aligned} C_{s \text{ maks}} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,580}{0,739 \times \left(\frac{7}{1}\right)} \\ &= 0,112 \end{aligned}$$

- c. Hasil C_s tidak kurang nilai $C_{s \text{ min}}$

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 S_{DS} I_e \\ &= 0,044 \times 0,790 \times 1 \\ &= 0,0347 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh nilai C_s lebih besar dari $C_{s \text{ maks}}$ dan $C_{s \text{ min}}$, sehingga digunakan nilai C_s sebesar 0,112.

5 Perhitungan gaya geser dasar

Nilai gaya geser dasar didapat melalui persamaan berikut.

$$V = C_s \times W_{\text{bangunan}}$$

Berat bangunan dilakukan perhitungan secara manual sebesar 50718,529 kN dan berat bangunan dari pemodelan *software* SAP2000 sebesar 51735,667 kN sehingga diperoleh presentase perbedaan berat bangunan sebesar 2,01%.

$$\begin{aligned} V &= 0,112 \times 50718,529 \\ &= 5680,475 \text{ kN} \end{aligned}$$

6 Kombinasi pembebanan

Terdapat 18 beban kombinasi yang dimasukkan dalam analisis seperti berikut.

- a. $1,4 D$
- b. $1,2 D + 1,6 L$
- c. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
- d. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
- e. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
- f. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
- g. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
- h. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
- i. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
- j. $(1,2 + 0,2 SDSr) D + L - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
- k. $(0,9 - 0,2 SDSr) D + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
- l. $(0,9 - 0,2 SDSr) D + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
- m. $(0,9 - 0,2 SDSr) D - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
- n. $(0,9 - 0,2 SDSr) D - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
- o. $(0,9 - 0,2 SDSr) D + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
- p. $(0,9 - 0,2 SDSr) D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
- q. $(0,9 - 0,2 SDSr) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
- r. $(0,9 - 0,2 SDSr) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$

7 Hasil analisis

Dari hasil *running software* SAP2000 diperoleh tinjauan sebagai berikut.

a. Partisipasi massa

Peninjauan partisipasi massa berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.1, dimana analisis dilakukan dengan menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk memperoleh partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Apabila hasil partisipasi massa belum mencukupi 100%, maka jumlah mode analisis perlu ditambahkan sampai syarat tersebut terpenuhi. Hasil partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Partisipasi Massa

Sum UX unitless	Sum UY unitless
0,99957	0,99953
0,99975	0,99954
0,99976	0,99979
0,99999	0,99979
1	1

Nilai partisipasi massa arah X dan arah Y dapat dilihat pada bagian kolom SumUX dan SumUY.

b. Skala gaya respon spektrum

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.2.5.2 syarat nilai gaya geser dinamik ($V_{dinamik}$) harus lebih besar sama dengan 100% gaya geser statik (V_{statik}), apabila tidak memenuhi maka dilakukan skala ulang. Dari analisis SAP2000, didapat nilai gaya geser dinamik dan gaya geser statik pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Nilai Gaya Geser Dasar

Keterangan	V Statik (kN)	V dinamik (kN)	Kontrol 100%
Arah X	5665,527	1772,452	Tidak Memenuhi
Arah Y	5174,847	1370,675	Tidak Memenuhi

Dari hasil yang didapat, diketahui nilai gaya geser dinamik kurang dari 100% gaya geser statik, maka perlu dilakukan skala ulang. Perhitungan skala ulang dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Skala ulang } V_{dinamik} \text{ arah } x = \frac{V_{statik} \text{ arah } x}{V_{dinamik} \text{ arah } x} = 3,196$$

$$\text{Skala ulang } V_{dinamik} \text{ arah } y = \frac{V_{statik} \text{ arah } y}{V_{dinamik} \text{ arah } y} = 3,775$$

Skala ulang tersebut menjadi faktor pengali beban gempa dalam program analisis struktur. Hasil dari gaya geser dasar dinamik dengan faktor pengali dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Skala Ulang Gaya Geser Dasar

Keterangan	V Statik (kN)	V dinamik (kN)	Kontrol 100%
Arah X	5665,527	5666,529	Memenuhi
Arah Y	5174,847	5175,667	Memenuhi

Gaya geser dinamik sudah memenuhi persyaratan karena gaya geser dasar dinamik telah melebihi syarat 100% dari gaya geser statik.

c. Sistem Rangka Memikul 25% Gaya Seismik

Mengacu pada SNI 1726-2019 sistem pemikul gaya seismik mempunyai izin yang berbeda-beda. Gedung El Hotel Royale termasuk sistem rangka ganda khusus yang minimal memikul gaya seismik sebesar 25%. Berikut merupakan hasil analisis menggunakan SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Cek Bangunan Memikul 25% Gaya Seismik

Keterangan	Nilai	Satuan
V _x	5665,53	kN
V _y	5174,85	kN
V _{swx}	1590,62	kN
V _{swy}	2894,82	kN
Presentase SW X	28,0755	%
Presentase SW Y	55,9401	%
Presentase Rangka X	71,9245	%
Presentase Rangka Y	44,0599	%

Berdasarkan Tabel 5.12 diperoleh presentase nilai gaya seismik *Shear Wall* arah X sebesar 28,0755% dan pada arah y sebesar 55,9401%. Pengecekan rangka pemikul momen khusus pada rangka X sebesar 71,9245 % dan pada rangka Y sebesar 44,0599%, sehingga telah memenuhi syarat minimal memikul gaya seismik yaitu sebesar 25%.

5.5 Ketidakberaturan Struktur Bangunan

Pada tugas akhir ini untuk mengetahui apakah bangunan yang digunakan dalam analisis termasuk bangunan *regular* atau *irregular* maka perlu dicek terlebih dahulu. Dimana bangunan *irregular* juga terdiri dari bangunan ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

5.5.1 Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal struktur Gedung El Hotel Royale mengacu pada Tabel 13 SNI 1726-2019 yang terdiri dari 6 tipe yaitu tipe 1a, 1b, 2, 3, 4, dan 5. Pengecekan setiap tipe ketidakberaturan horizontal dapat dilihat sebagaimana penjelasan sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan torsi 1 a dan 1 b

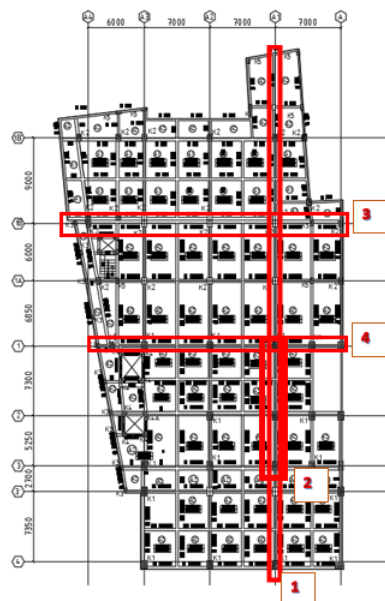
Pengecekan ketidakberaturan horizontal berdasarkan SNI 1726-2019, bahwa ketidakberaturan torsi 1 a dan 1 b terjadi apabila:

$\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$ Tanpa Ketidakberaturan torsi

$1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$ Ketidakberaturan torsi 1a

$\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$ Ketidakberaturan torsi 1b

Portal yang dijadikan sebagai acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Acuan Ketidakberaturan 1 a dan 1 b

Adapun hasil pengecakan ketidakberaturan horizontal torsi 1 a dan 1 b dapat dilihat pada Tabel 5.16, Tabel 5.17, Tabel 5.18, dan Tabel 5.19.

Tabel 5. 16 Ketidakberaturan Horizontal Arah X Titik 1

Lantai	$\delta_{\max}$	$\delta_{\text{rata-rata}}$	$1,2 \delta_{\text{rata-rata}}$	$1,4\delta_{\text{avg}}$	Apabila $\delta_{\max} < 1,2\delta_{\text{rata-rata}}$	Apabila $\delta_{\max} < 1,4\delta_{\text{rata-rata}}$
	mm	mm	mm	mm		
1	0,00	0	0	0	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
2	1,34	1,1385	1,3662	1,5939	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
3	18,50	16,29375	19,5525	22,8113	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
4	30,37	26,092	31,3104	36,5288	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

Tabel 5. 17 Ketidakberaturan Horizontal Arah X Titik 2

Lantai	$\delta_{\max}$	$\delta_{\text{rata-rata}}$	$1,2 \delta_{\text{rata-rata}}$	$1,4\delta_{\text{avg}}$	Apabila $\delta_{\max} < 1,2\delta_{\text{rata-rata}}$	Apabila $\delta_{\max} < 1,4\delta_{\text{rata-rata}}$
	mm	mm	mm	mm		
1	0,00	0	0	0	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
2	1,18	1,09725	1,3167	1,53615	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
3	14,73	13,11475	15,7377	18,3607	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
4	23,85	20,68	24,816	28,952	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
5	37,51	34,0285	40,8342	47,6399	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
6	43,38	40,29575	48,3549	56,4141	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
7	43,26	40,78525	48,9423	57,0994	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
8	40,17	38,456	46,1472	53,8384	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
9	35,43	34,46575	41,3589	48,2521	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
10	29,98	29,6395	35,5674	41,4953	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

Tabel 5. 18 Ketidakberaturan Horizontal Arah Y Titik 3

Lantai	$\delta_{\max}$	$\delta_{\text{rata-rata}}$	$1,2 \delta_{\text{rata-rata}}$	$1,4\delta_{\text{avg}}$	Apabila $\delta_{\max} < 1,2\delta_{\text{rata-rata}}$	Apabila $\delta_{\max} < 1,4\delta_{\text{rata-rata}}$
	mm	mm	mm	mm		
1	0,00	0	0	0	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
2	1,00	0,935	1,122	1,309	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
3	18,98	15,29275	18,3513	21,4099	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
4	30,13	23,6005	28,3206	33,0407	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

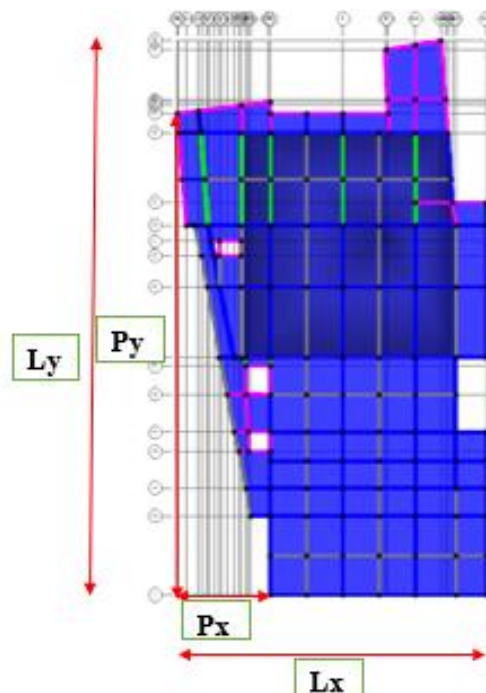
Tabel 5. 19 Ketidakberaturan Horizontal Arah Y Titik 4

Lantai	δ_{max}	$\delta_{rata-rata}$	$1,2 \delta_{rata-rata}$	$1,4\delta_{avg}$	Apabila $\delta_{max} < 1,2\delta_{rata-rata}$	Apabila $\delta_{max} < 1,4\delta_{rata-rata}$
	mm	mm	mm	mm		
1	0	0	0	0	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
2	0,89	0,866	1,039	1,212	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
3	18,69	17,410	20,892	24,374	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
4	29,6	27,449	32,938	38,428	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
5	74,22	66,506	79,807	93,108	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
6	90,66	80,845	97,015	113,184	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
7	86,68	77,276	92,731	108,186	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
8	74,29	66,260	79,512	92,765	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
9	57,59	51,430	61,716	72,002	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
10	40,24	36,067	43,280	50,493	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

Berdasarkan Tabel 5.16, Tabel 5.17, Tabel 5.18, dan Tabel 5.19 struktur Gedung El Hotel Royale tidak terjadi ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebih.

2. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan horizontal terdapat ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada apabila kedua proyeksi arah x dan arah y denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Ketidakberaturan ini ada jika $P_y > 0.15L_y$ dan $P_x > 0.15L_x$. Berikut dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Cek ketidakberaturan Sudut Dalam

Tabel 5. 20 Ketidakberaturan Sudut Dalam

Keterangan	L	P	15%L	$P > 15\%L$
Arah x	30,15	8,85	4,5225	Ketidakteraturan Sudut Dalam
Arah y	54,15	46,8	8,1225	Ketidakteraturan Sudut Dalam

Berdasarkan Tabel 5.20 terjadi ketidakberaturan sudut dalam baik pada arah X dan arah Y, sehingga pada analisis sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal, elemen kolektor dan sambungannya gaya desain ditingkatkan sebesar 25%.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakteraturan horizontal terdapat Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma diartikan ada apabila terdapat suatu diafragma yang mempunyai diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang memiliki daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup. Adapun hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal Diskontinuitas Diafragma dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5. 21 Cek Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Lantai	Luas (m ²)	Luas Diafragma (m ²)	Luas Buka (m ²)	Persentase Buka (%)	Persentase Buka > 50%
1	1108,7	1094,69	14	1,26	Reguler
2	1218,1 ₂	1204,11	14	1,15	Reguler
3	1218,1 ₂	589,91	628,21	51,57	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma
4	1218,1 ₂	756,89	461,23	37,86	Reguler
5	289,65	279,16	10,5	3,62	Reguler
6	289,65	279,16	10,5	3,62	Reguler
7	289,65	279,16	10,5	3,62	Reguler
8	289,65	279,16	10,5	3,62	Reguler
9	289,65	279,16	10,5	3,62	Reguler
10	260,88	0	0	0	Reguler

Berdasarkan Tabel 5.21 terjadi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada lantai 3, sehingga pada analisis sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal, elemen kolektor dan sambungannya gaya desain ditingkatkan sebesar 25%.

4. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang
Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang tidak terjadi pada bangunan gedung El Hotel Royale karena dinding geser yang terdapat pada bangunan tersebut menerus dari atas hingga bawah struktur.
5. Ketidakberaturan sistem nonparalel
Ketidakberaturan sistem nonparalel tidak terjadi pada bangunan El Hotel Royale karena semua dinding geser berada pada arah sumbu x dan y.

5.5.2 Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan tingkat lunak (1 a)

Ketidakteraturan vertikal kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada apabila terdapat suatu tingkat yang mempunyai kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Adapun hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal kekakuan tingkat lunak dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23.

Tabel 5. 22 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X

Lantai	Kekakuan X kN/mm	70%Kl+1	80%(Kl+3Tingkat)	K>70%Kl+1	K>80%(Kl+3Tingkat)
10	180,083	0	0	Regular	Regular
9	325,309	126,058	144,066	Regular	Regular
8	450,857	227,716	202,157	Regular	Regular
7	571,592	315,6	255	Regular	Regular
6	712,962	400,114	359,402	Regular	Regular
5	958,926	499,073	462,776	Regular	Regular
4	1655,629	671,248	598,261	Regular	Regular
3	2793,296	1158,94	887,338	Regular	Regular
2	34749,035	1955,307	1442,094	Regular	Regular
1	0	24324,324	10452,789	Regular	Regular

Tabel 5. 23 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y

Lantai	Kekakuan Y kN/mm	70%Kl+1	80%(Kl+3Tingkat)	K>70%Kl+1	K>80%(Kl+3Tingkat)
10	222,173	0	0	Regular	Regular
9	355,556	155,521	177,738	Regular	Regular
8	440,593	248,889	231,091	Regular	Regular
7	508,388	308,415	271,552	Regular	Regular
6	588,512	355,872	347,877	Regular	Regular
5	769,527	411,959	409,998	Regular	Regular
4	1448,076	538,669	497,714	Regular	Regular
3	2437,538	1013,653	748,297	Regular	Regular
2	39130,435	1706,277	1241,371	Regular	Regular
1	0	0	11470,946	Regular	Regular

Berdasarkan Tabel 5.22 dan Tabel 5.23 struktur Gedung El Hotel Royale tidak terjadi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak baik pada arah X maupun pada arah Y.

2. Ketidakberaturan tingkat lunak berlebihan (1b)

Ketidakberaturan vertikal Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada apabila terdapat suatu tingkat yang mempunyai kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Adapun hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal kekakuan tingkat lunak berlebihan dapat dilihat pada Tabel 24 dan 5.25.

Tabel 5. 24 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Arah X

Lantai	Kekakuan X	60%KI+1	70%(KI+3Tingkat)	K>60%KI+1	K>70%(KI+3Tingkat)
	kN/mm				
10	180,083	0	0	Regular	Regular
9	325,309	108,05	126,058	Regular	Regular
8	450,857	195,185	176,887	Regular	Regular
7	571,592	270,514	223,125	Regular	Regular
6	712,962	342,955	314,477	Regular	Regular
5	958,926	427,777	404,929	Regular	Regular
4	1655,629	575,356	523,479	Regular	Regular
3	2793,296	993,377	776,421	Regular	Regular
2	34749,035	1675,978	1261,832	Regular	Regular
1	0	20849,421	9146,191	Regular	Regular

Tabel 5. 25 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Arah Y

Lantai	Kekakuan Y	60%KI+1	70%(KI+3Tingkat)	K>60%KI+1	K>70%(KI+3Tingkat)
	kN/mm				
10	222,173	0	0	Regular	Regular
9	355,556	133,304	155,521	Regular	Regular
8	440,593	213,333	202,205	Regular	Regular
7	508,388	264,356	237,608	Regular	Regular
6	588,512	305,033	304,392	Regular	Regular
5	769,527	353,107	358,749	Regular	Regular
4	1448,076	461,716	435,5	Regular	Regular
3	2437,538	868,846	654,76	Regular	Regular
2	39130,435	1462,523	1086,2	Regular	Regular
1	0	23478,261	10037,078	Regular	Regular

Berdasarkan Tabel 5.24 dan Tabel 5.25 struktur Gedung El Hotel Royale tidak terjadi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan baik pada arah X maupun arah Y.

3. Ketidakberaturan berat (massa)

Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada apabila massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang beratnya lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Adapun hasil pengecekan ketidakberaturan berat (massa) dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 5. 26 Ketidakberaturan Berat

Lantai	W (KN)	150%Wi+1	Status
10	2618,74	2618,74	Regular
9	3056,98	3928,11	Regular
8	3056,98	4585,48	Regular
7	3056,98	4585,48	Regular
6	3056,98	4585,48	Regular
5	3056,98	4585,48	Regular
4	4933,54	4585,48	Irregular
3	6040,16	7400,31	Regular
2	10029,8	9060,25	Irregular
1	11811,3	15044,8	Regular

Berdasarkan Tabel 5.26 terjadi ketidakberaturan massa pada lantai 2 dan lantai 4, sehingga prosedur analisis struktur Gedung El Hotel Royale pada penelitian ini telah memenuhi ketentuan SNI 1726-2019, dengan begitu diizinkan melakukan analisis dengan spektrum respons ragam.

4. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan vertikal terdapat ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada apabila dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya. Adapun hasil pengecekan ketidakberaturan geometri vertikal dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan Tabel 5.28.

Tabel 5. 27 Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah X

Lantai	di (m)	130%di+1	di>130%di+1
1	30,150	39,195	Regular
2	30,150	39,195	Regular
3	30,150	39,195	Regular
4	30,150	26,943	Ketidakberaturan Geometri Vertikal
5	20,725	26,943	Regular
6	20,725	26,943	Regular
7	20,725	26,943	Regular
8	20,725	26,943	Regular
9	20,725	26,943	Regular
10	20,725	26,943	Regular

Tabel 5. 28 Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah Y

Lantai	di (m)	130%di+1	di>130%di+1
1	45,200	70,395	Regular
2	54,150	70,395	Regular
3	54,150	70,395	Regular
4	54,150	20,540	Ketidakberaturan Geometri Vertikal
5	15,800	20,540	Regular
6	15,800	20,540	Regular
7	15,800	20,540	Regular
8	15,800	20,540	Regular
9	15,800	17,095	Regular
10	13,150	20,540	Regular

Berdasarkan Tabel 5.27 dan Tabel 5.28 terjadi ketidakberaturan geometri vertikal pada lantai 4 pada arah X dan arah Y, sehingga prosedur analisis struktur Gedung El Hotel Royale pada penelitian ini telah memenuhi ketentuan SNI 1726-2019, dengan begitu diizinkan melakukan analisis dengan spektrum respons ragam.

5. Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Dinding geser pada Gedung El Hotel Royale menerus di sepanjang tinggi bangunan gedung, sehingga ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak ada.

6. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada apabila kekuatan lateral di suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral satu tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. Adapun hasil pengecekan dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5. 29 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

Lantai	V	V_i/V_{i+1}	Status
10	0,154	0	Regular
9	0,312	2,031	Regular
8	0,294	0,943	Regular
7	0,250	0,849	Regular
6	0,207	0,830	Regular
5	0,167	0,804	Regular
4	0,164	0,983	Regular
3	0,166	1,011	Regular
2	0,150	0,903	Regular
1	0,105	0,704	Irregular

Berdasarkan Tabel 5.29 terjadi ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat, tetapi tetap diizinkan atau tidak terlarang.

7. Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada apabila kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. Adapun hasil pengecekan dapat dilihat pada Tabel 5.30.

Tabel 5. 30 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

Lantai	V	V_i/V_{i+1}	Status
10	0,154	0	Regular
9	0,312	2,031	Regular
8	0,294	0,943	Regular
7	0,250	0,849	Regular
6	0,207	0,830	Regular
5	0,167	0,804	Regular
4	0,164	0,983	Regular
3	0,166	1,011	Regular
2	0,150	0,903	Regular
1	0,105	0,704	Regular

5.5.3 Hasil Analisis Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal

Analisis perhitungan ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur Gedung El Hotel Royale telah dilakukan pada subab 5.5.1 dan 5.5.2. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada subab 5.5.1 dan 5.5.2, didapatkan hasil analisis pengecekan ketidakberaturan horizontal dan vertikal yang dapat dilihat pada Tabel 31 dan Tabel 32.

Tabel 5. 31 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal

Ket	Jenis Keidakberaturan	Pengecekan
1a	Ketidakberaturan torsi	Tidak ada
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan	Tidak ada
2	Ketidakberaturan sudut dalam	Ada
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	Ada
4	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang	Tidak ada
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel	Tidak ada

Tabel 5. 32 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal

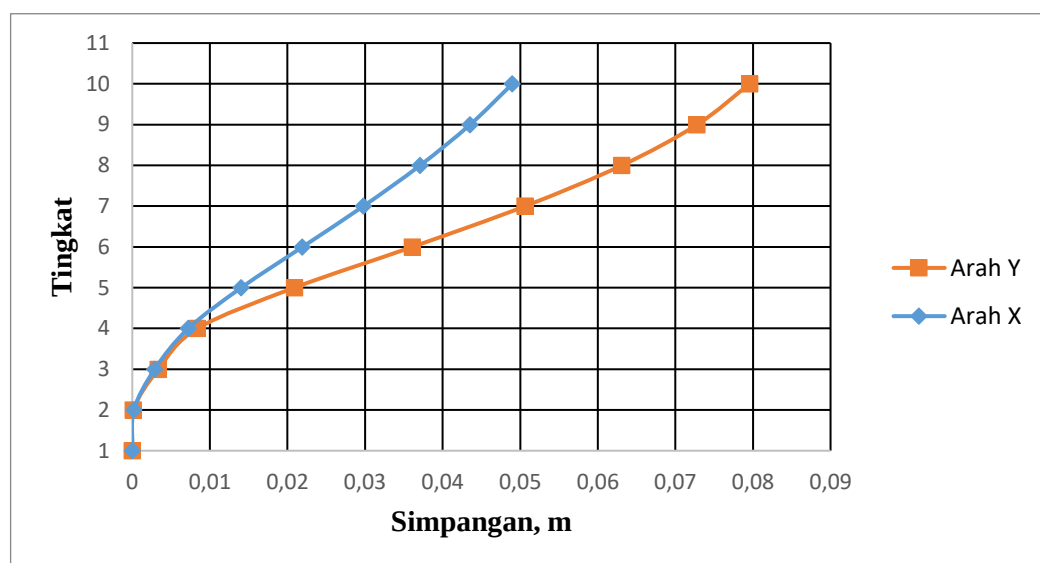
Ket	Jenis Keidakberaturan	Pengecekan
1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak	Tidak ada
1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan	Tidak ada
2	Ketidakberaturan berat (massa)	Ada
3	Ketidakberaturan geometri vertikal	Ada
4	Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral	Tidak ada
5	Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat	Ada
6	Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat	Tidak ada

Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal dan vertikal mengacu pada Tabel 13 SNI 1726-2019, pemodelan struktur Gedung El Hotel Royale mempunyai ketidakberaturan horizontal tipe 2, ketidakberaturan horizontal tipe 3, ketidakberaturan vertikal tipe 2, ketidakberaturan vertikal tipe 3, dan ketidakberaturan vertikal tipe 5. Karena itu, terdapat konsekuensi dengan merujuk

pasal referensi yang diperlu diperhatikan sesuai Tabel 13 SNI 1726-2019, yaitu pasal 7.3.3.1, pasal 7.3.3.4 dan Tabel 16. Berdasarkan pasal 7.3.31 dan pasal 7.3.3.4 maka, analisis sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal, elemen kolektor dan sambungannya, gaya desain ditingkatkan sebesar 25%. Merujuk konsekuensi pada Tabel 16 SNI 1726-2019 maka, prosedur analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrum respons ragam.

5.6 Displacement

Hasil perhitungan nilai *displacement* yang dihasilkan dari analisis SAP2000 menggunakan metode respons spektrum disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Displacement Arah X dan Arah Y

5.7 Rasio Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*)

Dalam menentukan rasio simpangan antar lantai tingkat desain (*drift ratio*) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat atas dan bawah yang ditinjau yang dibagi dengan tinggi tingkat. Berikut merupakan hasil *drift ratio* pada arah x dan arah y.

Arah X:

$$H = 3,2 \text{ m}$$

$$\delta_9 = 0,044 \text{ m}$$

$$\delta_{10} = 0,049 \text{ m}$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Drift ratio} &= ((\delta_{10} - \delta_9) C_d / I_e) / H \\ &= ((0,049 - 0,044) 5,5 / 1) / 3,2 \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

Adapun hasil perhitungan drift ratio secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.33.

Tabel 5. 33 Drift Ratio

Lantai	Arah X	Arah Y
1	0	0
2	0,00037	0,00027
3	0,005	0,005
4	0,007	0,009
5	0,012	0,021
6	0,014	0,026
7	0,014	0,025
8	0,013	0,021
9	0,011	0,017
10	0,009	0,012

Nilai *drift ratio* menunjukkan sifat dari bangunan yang dianalisis kaku atau fleksibel. Apabila nilai *drift ratio* semakin kecil maka semakin kaku bangunan yang dianalisis. Berdasarkan Tabel 5.33 diperoleh nilai *drift ratio* terkecil yaitu 0,00027 dan nilai *drift ratio* terbesar diperoleh nilai sebesar 0,026.

5.8 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar tingkat (Δ) dimana tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a), dengan Δ_a sebesar $0,02 h_{sx}$. Berikut perhitungan yang dilakukan pada arah X.

$$\delta_{10} = 0,049 \text{ m}$$

$$\delta_9 = 0,044 \text{ m}$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

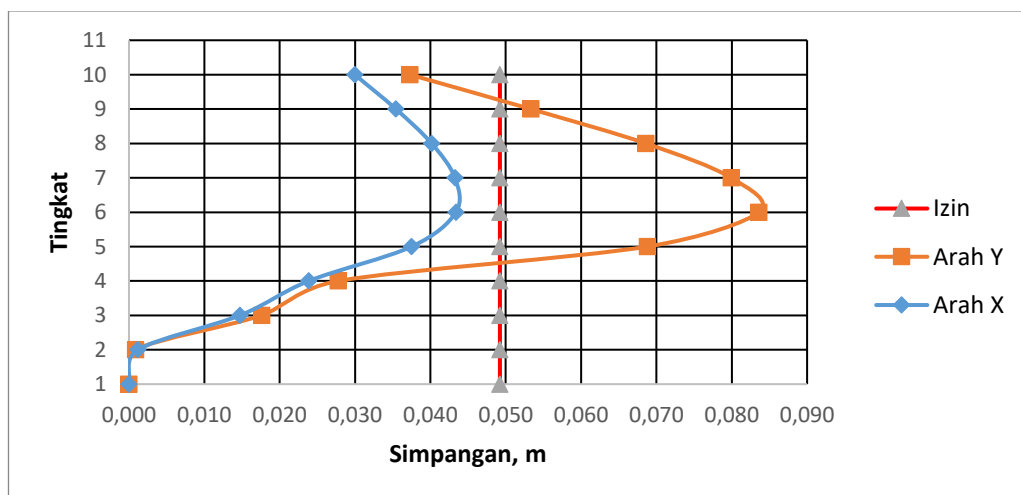
$$\Delta = \frac{\delta_{10} - \delta_9}{I_e} = \frac{(0,049 - 0,044) \times 5,5}{1} = 0,030 \text{ m}$$

$$\Delta a = 0,02 h_{sx} / \rho = 0,02 \times 3,2 \text{ m} / 1,3 = 0,049 \text{ m}$$

Dari perhitungan di atas, simpangan antar lantai arah X dengan nilai 0,030 tidak melebihi simpangan antar lantai izin sebesar 0,049, sehingga pada lantai tersebut memenuhi persyaratan simpangan izin. Hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 5.34 dan Gambar 5.10.

Tabel 5. 34 Simpangan Antar Lantai

Tingkat	Δ (m)		Δa m	$\Delta < \Delta a$ X	$\Delta < \Delta a$ Y
	X	Y			
1	0,000	0,000	0,049	Memenuhi	Memenuhi
2	0,001	0,001	0,049	Memenuhi	Memenuhi
3	0,015	0,018	0,049	Memenuhi	Memenuhi
4	0,024	0,028	0,049	Memenuhi	Memenuhi
5	0,038	0,069	0,049	Memenuhi	Tidak Memenuhi
6	0,043	0,084	0,049	Memenuhi	Tidak Memenuhi
7	0,043	0,080	0,049	Memenuhi	Tidak Memenuhi
8	0,040	0,069	0,049	Memenuhi	Tidak Memenuhi
9	0,035	0,053	0,049	Memenuhi	Tidak Memenuhi
10	0,030	0,037	0,049	Memenuhi	Memenuhi



Gambar 5. 10 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan analisis gempa menggunakan SNI terbaru yaitu SNI 1726-2019 menunjukkan bahwa dari Tabel 5.34 dan Gambar 5.10 terdapat nilai simpangan antar lantai yang tidak memenuhi syarat simpangan izin yaitu arah Y pada lantai 5-9. Dimensi denah gedung pada lantai 1 hingga lantai 4 memiliki perbedaan dimensi yang cukup signifikan dibandingkan lantai 5 hingga lantai 10, hal itu merupakan salah satu penyebab simpangan pada lantai 5-9 melebihi simpangan izin. Berdasarkan dimensi denah Gedung El Hotel Royale, sumbu X merupakan sumbu lemah dan sumbu Y merupakan sumbu kuat. Apabila terjadi guncangan akibat pembebanan pada sumbu Y, kombinasi beban mati, hidup, gempa akan dominan mengarah ke sumbu lemah yaitu ke arah X, sehingga simpangan pada sumbu Y akan lebih besar dibanding sumbu X yang mengakibatkan simpangan lantai 5-9 sumbu Y melebihi simpangan izin.

5.9 Pengaruh P-Delta

Koefisien stabilitas (θ) diperhitungkan mengacu peraturan pasal 7.8.7 SNI 1726-2019, yang menjelaskan bahwa struktur yang dianalisis perlu dilakukan pemeriksaan apakah struktur terdapat pengaruh P-Delta atau tidak. Koefisien stabilitas (θ) yang terjadi tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}) berdasarkan pasal 7.8.7 SNI 1726-2019. Apabila nilai koefisien stabilitas yang terjadi melebihi nilai stabilitas maksimum, maka struktur berpotensi tidak stabil dan harus dilakukan desain ulang. Perhitungan koefisien stabilitas (θ) diselesaikan dengan Persamaan 3.16. Berikut merupakan perhitungan koefisien stabilitas (θ) pada arah x.

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

$$\Delta = 0,030 \text{ m}$$

$$h_{sx} = 3,2 \text{ m}$$

$$P_x = 1992,07 \text{ kN}$$

$$V_x = 1579,12 \text{ kN}$$

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

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{1992,07 \times 0,030 \times 1}{1579,12 \times 3,2 \times 5,5} \\ &= 0,003\end{aligned}$$

Perhitungan $\theta_{\max}$ dilakukan dengan persamaan berikut ini.

$$B = 1 \text{ (SNI 1726-2019 pasal 7.8.7)}$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta c_d} \leq 0,25$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{1 \times 5,5} \leq 0,25$$

$$\theta_{\max} = 0,0909$$

$$\theta < \theta_{\max}$$

0,003 < 0,0909, koefisien stabilitas yang terjadi kurang dari koefisien stabilitas maksimum, maka struktur telah stabil. Adapun hasil perhitungan koefisien stabilitas (θ) dan $\theta_{\max}$ dapat dilihat pada Tabel 5.35 dan Tabel 5.36.

Tabel 5. 35 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Arah X

Lantai	Px (KN)	Vx (KN)	Δ (m)	Θ	$\Theta_{\max}$	$\Theta < \Theta_{\max}$
1	0	0	0,000	0,000	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
2	39633	1105,68	0,001	0,004	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
3	33269	4597,52	0,015	0,009	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
4	28100,5	4708,27	0,024	0,012	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
5	19832,5	2483,48	0,038	0,026	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
6	16267,6	2167,31	0,043	0,028	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
7	12697,2	2118,15	0,043	0,022	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
8	9127,38	1942,7	0,040	0,016	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
9	5556,85	1645,18	0,035	0,010	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
10	1992,07	1579,12	0,030	0,003	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan

Tabel 5. 36 Rekapitulasi Pengaruh Nilai P-Delta Arah Y

Lantai	Py (KN)	Vy (KN)	Δ (m)	Θ	Θ_{max}	$\Theta < \Theta_{max}$
1	0	0	0,000	0,000	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
2	39633	14919,1	0,001	0,00013	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
3	33269	14615,9	0,018	0,002	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
4	28100,5	13541,4	0,028	0,003	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
5	19832,5	10173,9	0,069	0,008	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
6	16267,6	8099,57	0,084	0,010	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
7	12697,2	6408,72	0,080	0,009	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
8	9127,38	4652,45	0,069	0,008	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
9	5556,85	2959,57	0,053	0,006	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan
10	1992,07	1318,51	0,037	0,003	0,091	Pengaruh P-delta Diabaikan

Berdasarkan analisis mengacu SNI terbaru yaitu pasal 7.8.7 SNI 1726-2019 menunjukkan bahwa dari Tabel 5.35 dan Tabel 5.36 nilai koefisien stabilitas tidak ada yang melebihi nilai koefisien stabilitas maksimum baik pada arah X maupun arah Y. Sehingga, pengaruh P-Delta dapat diabaikan pada arah X dan arah Y pada semua lantai.

5.10 Analisis Balok

Pada penelitian ini dilakukan analisis pada tulangan lentur dan geser balok. Balok yang dianalisis terdiri dari dua puluh empat tipe balok. Analisis menggunakan material dan dimensi yang sama dengan kondisi eksisting. Gaya dalam *output* SAP2000 yang dibutuhkan dalam perhitungan tulangan lentur dan geser elemen balok yaitu momen dan gaya geser. Detail gambar dimensi dan tulangan balok dapat dilihat pada Lampiran 2.

Balok beton memiliki fungsi untuk menyalurkan beban dari pelat ke kolom. Balok beton membutuhkan tulangan dalam menahan beban yang diampunya. Tulangan yang digunakan pada balok beton terdiri dari tulangan yang menahan momen/gaya lentur dan tulangan yang menahan gaya geser. Kebutuhan tulangan dihitung berdasarkan gaya lentur dan gaya geser yang terjadi pada balok. Kebutuhan tulangan ini perlu diperhitungkan sehingga didapatkan jumlah tulangan yang efektif dan efisien.

Dalam analisis perhitungan tulangan lentur balok, pertama melakukan rekapitulasi momen dari program analisis struktur SAP2000 pada setiap tipe balok yang kemudian dilakukan redistribusi apabila diperlukan. Hasil rekapitulasi momen dan data struktur yang sesuai eksisting, dilakukan analisis perhitungan kebutuhan luas tulangan (A_s) sehingga didapatkan A_s pakai. Pengecekan dilakukan untuk memeriksa jarak antar tulangan dan kapasitas tampang dari hasil perhitungan A_s pakai.

Analisis perhitungan tulangan geser dilakukan pada sendi plastis dan luar sendi plastis. Dalam perhitungan tulangan geser balok dilakukan rekapitulasi gaya geser dengan kombinasi beban $V_g = 1,2 D + 1 L$ dari program analisis struktur SAP2000 pada setiap tipe balok. Dalam desain tulangan geser balok harus memenuhi $\phi V_n \geq V_u$, dimana $V_n = V_c + V_s$. Langkah perhitungan secara berurutan yaitu dengan menghitung V_{sway} , menghitung V_u , menghitung V_c , menghitung V_s , menghitung luas tulangan, dan menghitung tulangan geser perlu. Jarak antar tulangan geser harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI 2847-2019.

5.10.1 Data Struktur Balok

Detail data tulangan lentur dan tulangan geser balok eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.37.

Tabel 5. 37 Data Struktur Tulangan Balok Eksisting

No	Tipe	b(mm)	h(mm)	Tulangan									
				Lentur								Geser	
				Tumpuan				Lapangan				Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
				Atas	Lapis	Bawah	Lapis	Atas	Lapis	Bawah	Lapis		
1	B1	300	650	10D19	3 Lapis	6D19	2 Lapis	6D19	2 Lapis	10D19	3 Lapis	1,5D10-75	1,5D10-100
2	B2	350	700	8D22	2 Lapis	4D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	8D22	2 Lapis	1,5D10-75	1,5D10-100
3	B3	250	400	5D16	2 Lapis	3D16	1 Lapis	3D16	1 Lapis	5D16	2 Lapis	D10-100	D10-150
4	B4	200	400	4D16	2 Lapis	2D16	1 Lapis	2D16	1 Lapis	4D16	2 Lapis	D10-100	D10-150
5	B5	300	600	5D22	2 Lapis	3D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	5D22	2 Lapis	D10-100	D10-150
6	B6	200	400	5D16	2 Lapis	3D16	1 Lapis	3D16	1 Lapis	5D16	2 Lapis	D10-100	D10-150
7	B6B	200	400	3D16	1 Lapis	2D16	1 Lapis	2D16	1 Lapis	3D16	1 Lapis	D10-100	D10-150
8	B7	250	500	4D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	D10-100	D10-150
9	B8	300	700	6D22	2 Lapis	4D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	6D22	2 Lapis	1,5D10-100	1,5D10-150
10	B9	400	800	10D22	2 Lapis	7D22	2 Lapis	7D22	2 Lapis	10D22	2 Lapis	2D10-100	2D10-100
11	BA1	250	500	4D19	2 Lapis	4D19	2 Lapis	4D19	1 Lapis	4D19	1 Lapis	1,5D10-100	1,5D10-150
12	BA2	250	500	4D22	2 Lapis	4D22	2 Lapis	4D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	1,5D10-100	1,5D10-150
13	BA3	250	500	4D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	D10-100	D10-150
14	BK1	300	600	8D19	2 Lapis	4D19	1 Lapis	4D19	1 Lapis	8D19	2 Lapis	1,5D10-75	1,5D10-100
15	BK2	250	500	4D19	2 Lapis	2D19	1 Lapis	2D19	1 Lapis	4D19	2 Lapis	D10-75	D10-100
16	BK3	300	600	6D22	2 Lapis	4D22	1 Lapis	6D22	2 Lapis	4D22	1 Lapis	1,5D10-100	1,5D10-100
17	BK4	250	500	5D22	2 Lapis	3D22	1 Lapis	5D22	1 Lapis	3D22	2 Lapis	D10-100	D10-150
18	BK6	250	600	6D25	2 Lapis	3D25	1 Lapis	6D25	1 Lapis	3D25	2 Lapis	1,5D10-100	1,5D10-100
19	BK7	300	750	8D22	2 Lapis	4D22	1 Lapis	8D22	1 Lapis	4D22	2 Lapis	1,5D10-100	1,5D10-150

No	Tipe	b(mm)	h(mm)	Tulangan									
				Lentur								Geser	
				Tumpuan				Lapangan				Sendi Plastik	Luar Sendi Plastik
				Atas	Lapis	Bawah	Lapis	Atas	Lapis	Bawah	Lapis		
20	BK8	250	500	5D22	2 Lapis	2D22	1 Lapis	5D22	1 Lapis	2D22	2 Lapis	D10-100 mm	D10-100 mm
21	TB1	300	600	4D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	4D22	1 Lapis	D13-100 mm	D13-150 mm
22	TB2	250	500	2D22	1 Lapis	2D22	1 Lapis	2D22	1 Lapis	2D22	1 Lapis	D10-150 mm	D10-200 mm
23	TB3	300	600	6D22	2 Lapis	6D22	2 Lapis	6D22	2 Lapis	6D22	2 Lapis	D13-100 mm	D13-150 mm
24	TB4	250	500	3D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	3D22	1 Lapis	D10-150 mm	D10-200 mm

5.10.2 Redistribusi Momen Balok

Redistribusi momen dilakukan dengan mereduksi momen negatif dan menaikkan nilai momen positif akibat beberapa kombinasi pembebanan. Untuk mengakomodir hasil analisis struktur (SAP2000) yang cenderung menghasilkan momen positif yang tidak mencapai nilai minimal 50 % momen negatif maka, redistribusi momen boleh dilakukan. Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan SAP2000 diperoleh beberapa balok yang perlu dilakukan redistribusi. Berikut merupakan contoh redistribusi momen balok.

Contoh perhitungan pada balok tipe B6B.

$$M_{u-} = 77,823 \text{ kNm}$$

$$M_{u+} = 25,628 \text{ kNm}$$

Syarat redistribusi adalah apabila 50% momen dari M_{u-} lebih besar dari momen M_{u+} .

$$\begin{aligned} M_{u-} &= 77,823 \times 50\% \\ &= 38,912 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$M_u > M_{u+}$ (25,628 kNm), maka perlu dilakukan redistribusi.

Diketahui besaran momen,

$$M_{u-1} = 42,207 \text{ kNm}$$

$$M_{u+1} = 21,601 \text{ kNm}$$

$$M_{u-2} = 77,823 \text{ kNm}$$

$$M_{u+2} = 25,628 \text{ kNm}$$

$$M_{u-3} = 220,001 \text{ kNm}$$

$$M_{u+3} = 7,843 \text{ kNm}$$

$$M_{u-4} = 41,329 \text{ kNm}$$

$$M_{u+4} = 13,928 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{total}} &= 42,207 + 21,601 + 77,823 + 25,628 + 220,001 + 7,843 + 41,329 + 13,928 \\ &= 450,357 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = 4 \text{ (jumlah balok)}$$

kemudian lakukan *trial and error*

misal, dilakukan redistribusi 5% = $5\% \times 77,828 = 3,891 \text{ kNm}$

$$M_- = 77,828 - 3,891 = 73,936 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_+ &= \frac{\Sigma M - (n \times M_{trial})}{n} \\ &= \frac{450,357 - (4 \times 73,936)}{4} \\ &= 38,653 \text{ kNm} > 50\% M_- = 36,968 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka:

$$M_- \text{ pakai} = 73,936 \text{ kNm}$$

$$M_+ \text{ pakai} = 36,968 \text{ kNm}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan redistribusi momen dan keseluruhan momen balok dapat dilihat pada Tabel 5.38.

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Momen Balok

No	BALOK	TUMPUAN (kN)		LAPANGAN (kN)	
		Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
1	B1	593.414	511.628	451.789	599.067
2	B2	690.027	415.279	483.510	690.450
3	B3	123.864	66.685	67.305	134.610
4	B4	88.108	44.054	25.603	39.212
5	B5	469.323	234.661	184.789	369.578
6	B6	82.572	50.054	50.020	74.234
7	B6B	73.936	38.968	25.680	30.303
8	B7	179.659	89.830	83.596	167.192
9	B8	376.666	228.940	98.708	197.416
10	B9	792.702	431.988	493.478	733.462
11	BA1	242.817	184.825	138.787	230.265
12	BA2	240.952	155.478	118.669	160.360
13	BA3	155.291	77.646	74.357	123.551
14	BK1	367.124	183.562	168.724	294.432
15	BK2	97.801	48.900	45.785	79.202
16	BK3	375.506	187.753	194.194	115.489
17	BK4	217.173	108.586	104.450	52.225
18	BK6	463.423	231.711	185.548	92.774
19	BK7	648.766	324.383	327.230	95.469
20	BK8	306.061	153.031	296.335	60.042
21	TB1	320.038	160.019	94.314	188.627
22	TB2	126.072	63.036	59.284	85.038

No	BALOK	TUMPUAN (kN)		LAPANGAN (kN)	
		Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
23	TB3	337.484	168.742	141.429	282.858
24	TB4	140.103	74.695	63.454	115.350

5.10.3 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Balok beton dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur dibedakan menjadi dua macam daerah balok yaitu daerah tumpuan dan daerah lapangan. Daerah tumpuan balok lebih dominan digunakan untuk menahan momen negatif sedangkan daerah lapangan balok lebih dominan digunakan untuk menahan momen positif. Perhitungan tulangan lentur balok pada daerah tumpuan menggunakan balok tipe B5. Dalam proses desain balok dilakukan rekapitulasi momen yang kemudian melakukan redistribusi apabila diperlukan. Pada desain penampang digunakan nilai momen nominal ($M_n = M_u/\phi$), kemudian dibandingkan dengan nilai M_{n1} untuk mengetahui analisis menggunakan tulangan tunggal atau tulangan rangkap. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari kebutuhan tulangan dengan menghitung A_{smin} , A_s perlu, dan A_{smaks} . Setelah diperoleh A_s pakai maka dilakukan pengecekan jarak antar tulangan.

$$M_{u-} = 469,323 \text{ kNm}$$

$$M_{u+} = 234.661 \text{ kNm}$$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - \frac{(f_c - 28)}{7} \times 0,05 \\ &= 0,85 - \frac{(30 - 28)}{7} \times 0,05 \\ &= 0,836\end{aligned}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

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

$$L = 9000 \text{ mm}$$

$$B \text{ kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan pokok} = 22 \text{ mm}$$

Diameter Sengkang = 10 mm

Selimut Beton (Sb) = 45 mm

1. Cek syarat berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1

a. $L_n > 4 h$ efektif

$$9000 - 900 > 4 \times (600 - 2 \times 45)$$

$$8100 > 2040 \text{ mm (OKE)}$$

b. $b_w \geq 0,3 h$ dan 250 mm

$$0,3 h = 0,3 \times 600$$

$$= 180 \text{ mm}$$

sehingga, 180 dan 250 mm (OKE)

2. Menghitung Tulangan Mu-

Asumsi ds 2 lapis

$$d_s = S_b + D_{\text{sengkang}} + D_{\text{pokok}} + D_{\text{pokok}}/2$$

$$= 45 + 10 + 22 + 22/2$$

$$= 88 \text{ mm}$$

$$d = H - d_s$$

$$= 600 - 88$$

$$= 512 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ maks} = \frac{3}{7} \times \beta \times b \times d \times \frac{f_c}{f_y}$$

$$= 0,3643 \times 0,836 \times 300 \times 600 \times \frac{30}{400}$$

$$= 3507,272 \text{ mm}^2$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$3507,272 \times 400 = 0,85 \times 30 \times a \times 300$$

$$a = 183,387 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times f_c' \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 183,387 \times 300 \times \left(512 - \frac{183,387}{2} \right)$$

$$= 589,652 \text{ kNm}$$

$$M_u/\phi = 469,323/0,9$$

$$= 521,470 \text{ kNm}$$

$$M_u/\phi < M_{n1} \text{ (Tulangan Tunggal)}$$

Cek leleh baja

$$c = a/\beta$$

$$= 183,387/0,836$$

$$= 219,362 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{(d-c)}{c} \times \varepsilon_{cu}$$

$$= \frac{(512-219,362)}{219,362} \times 0,003$$

$$= 0,004$$

$$\varepsilon_y = f_y/E_s$$

$$= 400/200000$$

$$= 0,002$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y \text{ (baja sudah leleh)}$$

Penampang dirancang mempunyai momen nominal 521,470 kNm.

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$521,470 \times 10^6 = 0,85 \times f_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$521,470 \times 10^6 = 0,85 \times 30 \times a \times 300 \times \left(512 - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = 157,30 \text{ mm}$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c \times a \times b$$

$$A_s \times 400 = 0,85 \times 30 \times 157,30 \times 300$$

$$A_s \text{ perlu} = 3008,36 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas 1 tulangan D22} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi 22^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 379,94 \text{ mm}^2 \\
 n \text{ (jumlah tulangan)} &= \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s D22} \\
 &= \frac{3008,36}{379,94} \\
 &= 7,914 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

sehingga diambil jumlah tulangan 8 dengan diameter 22 mm.

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ terpasang} &= 8 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= 8 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 \\
 &= 3039,52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min 1} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{400} \times 300 \times 512 \\
 &= 537,60 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min 2} &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 300 \times 512 \\
 &= 525,814 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min pakai} = 525,814 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} < A_s \text{ terpasang} < A_s \text{ maks}$$

$$525,814 < 3039,52 < 3507,272 \text{ (OKE)}$$

Cek jarak antar tulangan, misal 1 baris menggunakan 4 tulangan.

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - (2 \times S_b) - (2 \times D_{\text{senggang}}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 45) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1} \\
 &= 34 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

sehingga tulangan lentur dipasang 2 baris yaitu 4,4

Untuk tulangan terpasang 8D22

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c \times a \times b$$

$$3039,52 \times 400 = 0,85 \times 30 \times a \times 300$$

$$a = 159,009 \text{ mm}$$

Cek leleh baja

$$\begin{aligned} c &= a/\beta \\ &= 159,009/0,836 \\ &= 190,268 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_t &= 600 - (45 + 10 + 22/2) \\ &= 534 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d_t - c)}{c} \times \epsilon_{cu} \\ &= \frac{(534 - 190,268)}{190,268} \times 0,003 \\ &= 0,00542 \end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005$$

Berarti termasuk penampang terkendali tarik dan asumsi $\phi=0,9$ benar.

3. Menghitung Tulangan M_{u+}

$$\begin{aligned} M_{n1} &= C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \times 30 \times 183,387 \times 300 \times \left(512 - \frac{183,387}{2}\right) \\ &= 589,652 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u/\phi &= 234,661/0,9 \\ &= 260,735 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u/\phi < M_{n1} \text{ (Tulangan Tunggal)}$$

Penampang dirancang mempunyai momen nominal 260,735 kNm.

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ 260,735 \times 10^6 &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ 260,735 \times 10^6 &= 0,85 \times 30 \times a \times 300 \times \left(512 - \frac{a}{2}\right) \end{aligned}$$

$$a = 71,571 \text{ mm}$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$A_s \times 400 = 0,85 \times 30 \times 71,571 \times 300$$

$$As \text{ perlu} = 1368,79 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 tulangan D19} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (jumlah tulangan)} &= \frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ D22}} \\ &= \frac{1368,79}{379,94} \\ &= 3,6 \text{ buah} \end{aligned}$$

Sehingga diambil jumlah tulangan 4 dengan diameter 22 mm.

$$\begin{aligned} As \text{ terpasang} &= 4 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 \\ &= 1520,531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ min 1} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{400} \times 300 \times 512 \\ &= 537,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ min 2} &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 300 \times 512 \\ &= 525,814 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As \text{ min pakai} = 537,6 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min} < As \text{ terpasang} < As \text{ maks}$$

$$537,6 < 1520,531 < 3507,272 \text{ (OKE)}$$

Cek jarak antar tulangan, misal 1 baris menggunakan 4 tulangan.

$$\begin{aligned} S &= \frac{b - (2 \times Sb) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 45) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1} \\ &= 34 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OKE)} \end{aligned}$$

sehingga tulangan lentur dipasang 1 baris yaitu 4

untuk tulangan terpasang 4D22

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c \times a \times b$$

$$1520,531 \times 400 = 0,85 \times 30 \times a \times 300$$

$$a = 79,505 \text{ mm}$$

Cek leleh baja

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 79,505 / 0,836$$

$$= 95,102 \text{ mm}$$

$$d_t = 600 - (45 + 10 + 22/2)$$

$$= 534 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{(d_t - c)}{c} \times \epsilon_{cu}$$

$$= \frac{(534 - 95,102)}{95,102} \times 0,003$$

$$= 0,014$$

$$\epsilon_t > 0,005$$

Berarti termasuk penampang terkendali tarik dan asumsi $\phi=0,9$ benar.

Dengan cara yang sama maka didapat tulangan lentur baru pada seluruh tipe balok. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.39.

Tabel 5. 39 Rekapitulasi Tulangan Lentur Baru

No	Balok	B(mm)	H(mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	B1	300	650	13D19	11D19	9D19	13D19
2	B2	350	700	10D22	6D22	7D22	10D22
3	B3	250	400	7D16	4D16	4D16	7D16
4	B4	200	400	5D16	2D16	2D16	2D16
5	B5	300	600	8D22	4D22	3D22	6D22
6	B6	200	400	4D16	3D16	3D16	4D16
7	B6B	200	400	4D16	2D16	2D16	2D16
8	B7	250	500	4D22	2D22	2D22	4D22
9	B8	300	700	8D19	5D19	3D19	4D19
10	B9	400	800	12D19	7D19	8D19	11D19
11	BA1	250	500	7D19	5D19	4D19	7D19

No	Balok	B(mm)	H(mm)	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
12	BA2	250	500	5D22	4D22	3D22	4D22
13	BA3	250	500	4D22	2D22	2D22	3D22
14	BK1	300	600	8D19	4D19	4D19	7D19
15	BK2	250	500	3D19	2D19	2D19	2D19
16	BK3	300	600	7D22	3D22	3D22	2D22
17	BK4	250	500	5D22	3D22	2D22	2D22
18	BK6	250	600	7D25	3D25	3D25	2D25
19	BK7	300	750	9D22	4D22	4D22	2D22
20	BK8	250	500	7D22	3D22	7D22	2D22
21	TB1	300	600	6D22	3D22	2D22	3D22
22	TB2	250	500	3D22	2D22	2D22	2D22
23	TB3	300	600	6D22	3D22	3D22	5D22
24	TB4	250	500	3D22	2D22	2D22	3D22

5.10.4 Analisis Momen Kapasitas Balok

Perhitungan momen kapasitas balok diambil dari balok tipe B5.

1. Momen kapasitas negatif

Pada perhitungan momen kapasitas negatif baja desak diasumsikan belum leleh. Berikut perhitungan momen kapasitas negatif.

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{(f_c - 28)}{7} \times 0,05$$

$$= 0,85 - \frac{(30 - 28)}{7} \times 0,05$$

$$= 0,836$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

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

$$\text{Diameter tulangan pokok} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Vertikal Tulangan} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Overstrength factor } (\phi) = 1,25$$

$$\begin{aligned} l_1 &= sb + D_{\text{sengakang}} + D_{\text{pokok}}/2 \\ &= 45 + 10 + 22/2 \\ &= 66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_2 &= sb + D_{\text{sengakang}} + D_{\text{pokok}} + Spasi + D_{\text{pokok}}/2 \\ &= 45 + 10 + 22 + 50 + 22/2 \\ &= 138 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d^+ &= \frac{n_1 \times l_1}{n_1} \\ &= \frac{4 \times 66}{4} \\ &= 66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds &= \frac{n_1 \times l_1 + n_2 \times l_2}{n_1 + n_2} \\ &= \frac{4 \times 66 + 4 \times 138}{4 + 4} \\ &= 102 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d^- &= H - ds \\ &= 600 - 102 \\ &= 498 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= n \text{ pakai} \times A_1 \text{ tulangan} \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 3041,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= n \text{ pakai} \times A_1 \text{ tulangan} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Persamaan kesetimbangan gaya-gaya horizontal

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \times f_y \times \phi = (0,85 \times f_c \times a \times b) + (A_s' \times \epsilon_s \times E_s)$$

dengan,

$$\epsilon_s = 0,003 \times \frac{(c - d^+)}{c}$$

$$c = a/\beta$$

didapatkan nilai $a_1 = 130,70$ mm dan $a_2 = -51,19$ mm

sehingga, a pakai = 130,70 mm

$$c = 130,70 / 0,836 = 153,76 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \times \frac{(153,76 - 66)}{153,76}$$

$$= 0,00171$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 / 200000$$

$$= 0,002$$

$\varepsilon_s < \varepsilon_y$ (Asumsi benar baja belum leleh)

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 130,70 \times 300$$

$$= 999818,56 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times E_s \times \varepsilon_s$$

$$= 1520,53 \times 200000 \times 0,00171$$

$$= 520712,28 \text{ N}$$

$$M_{kap}^- = C_c \times (d^- - \frac{1}{2}a) + C_s \times (d^- - d^+)$$

$$= 999818,56 \times (498 - \frac{1}{2}130,70) + 520712,28 \times (498 - 66)$$

$$= 638775945,79 \text{ Nmm}$$

$$= 638,776 \text{ kNm}$$

2. Momen kapasitas positif

Pada perhitungan momen kapasitas positif baja desak diasumsikan belum leleh.

Berikut perhitungan momen kapasitas positif.

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{(f_c - 28)}{7} \times 0,05$$

$$= 0,85 - \frac{(30-28)}{7} \times 0,05$$

$$= 0,836$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

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

$$\text{Diameter tulangan pokok} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Vertikal Tulangan} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Overstrength factor } (\phi) = 1,25$$

$$l_1 = sb + D_{\text{sengkang}} + D_{\text{pokok}}/2$$

$$= 45 + 10 + 22/2$$

$$= 66 \text{ mm}$$

$$l_2 = sb + D_{\text{sengkang}} + D_{\text{pokok}} + Spasi + D_{\text{pokok}}/2$$

$$= 45 + 10 + 22 + 50 + 22/2$$

$$= 138 \text{ mm}$$

$$ds = \frac{n1 \times l1}{n1}$$

$$= \frac{4 \times 66}{4}$$

$$= 66 \text{ mm}$$

$$d^- = \frac{n1 \times l1 + n2 \times l2}{n1 + n2}$$

$$= \frac{4 \times 66 + 4 \times 138}{4 + 4}$$

$$= 102 \text{ mm}$$

$$d^+ = H - ds$$

$$= 600 - 66$$

$$= 534 \text{ mm}$$

$$As = n \text{ pakai } \times A_1 \text{ tulangan}$$

$$= 8 \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 8 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 3041,06 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = n \text{ pakai} \times A_1 \text{ tulangan}$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Persamaan kesetimbangan gaya-gaya horizontal

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s \times f_y \times \phi = (0,85 \times f_c' \times a \times b) + (A_s' \times \epsilon_s \times E_s)$$

dengan,

$$\epsilon_s = 0,003 \times \frac{(c-d')}{c}$$

$$c = a/\beta$$

didapatkan nilai $a_1 = 90,18 \text{ mm}$ dan $a_2 = -229,31 \text{ mm}$

sehingga, $a \text{ pakai} = 90,18 \text{ mm}$

$$c = 90,18 / 0,836 = 106,09 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = 0,003 \times \frac{(106,09-102)}{106,09}$$

$$= 0,00012$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 / 200000$$

$$= 0,002$$

$\epsilon_s < \epsilon_y$ (Asumsi benar baja belum leleh)

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 90,18 \times 300$$

$$= 689870,40 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times E_s \times \epsilon_s$$

$$= 3402,34 \times 200000 \times 0,00012$$

$$= 70395,02 \text{ N}$$

$$M_{kap}^+ = C_c \times (d^+ - \frac{1}{2}a) + C_s \times (d^+ - d')$$

$$= 689870,40 \times (534 - \frac{1}{2}90,18) + 70395,02 \times (534 - 102)$$

$$= 367695484,42 \text{ Nmm}$$

$$= 367,70 \text{ kNm}$$

Dengan cara yang sama maka didapat nilai $M_{kap(-)}$ dan $M_{kap(+)}$ pada seluruh tipe balok. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.40.

Tabel 5. 40 Momen Kapasitas Balok

BALOK	M_{kap-}	M_{kap+}
B1	755.790	669.840
B2	1030.126	646.339
B3	193.240	124.904
B4	140.293	67.020
B5	638.776	367.695
B6	117.773	94.194
B6B	122.594	65.317
B7	296.694	155.394
B8	830.868	554.265
B9	1465.192	907.192
BA1	357.919	263.782
BA2	343.511	293.321
BA3	296.694	155.394
BK1	687.587	373.590
BK2	173.321	118.908
BK3	601.046	285.811
BK4	342.696	225.012
BK6	739.400	356.376
BK7	1012.450	487.091
BK8	458.932	224.857
TB1	524.225	284.092
TB2	227.108	155.415
TB3	524.225	284.092
TB4	227.108	155.415

5.10.5 Pembahasan Perbandingan Tulangan Lentur Balok

Pada balok B1 diperoleh momen terbesar pada bentang terpanjang 7,35 m arah Y sebesar 593,414 kNm, sedangkan bentang arah X dengan bentang terpanjang 7 m diperoleh momen terbesar yaitu 535,579 kNm maka, diambil momen 593,414 kNm untuk melakukan perhitungan tulangan lentur. Selain balok induk terdapat balok anak seperti balok tipe BA1 yang mempunyai bentang terpanjang pada arah

Y 7,35 m diperoleh momen sebesar 242,817 kNm dan pada bentang arah X dengan bentang terpanjang 7 m diperoleh momen sebesar 208,206 kNm maka, diambil momen 242,817 kNm untuk perhitungan tulangan lentur. Hasil dari rekapitulasi momen dilakukan redistribusi dan kemudian dilakukan perhitungan tulangan lentur dengan dimensi balok dan diameter tulangan sama dengan balok eksisting. Hasil balok eksisting dan hitungan baru dapat dilihat pada Tabel 5.41.

Tabel 5. 41 Tulangan Lentur Balok Eksisting dan Hitungan Baru

NO	balok	Letak	Tulangan Lentur Eksisting		Tulangan Lentur Hitungan Baru		Diameter Tulangan
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
1	B1	ATAS	10	6	13	9	D19
		BAWAH	6	10	11	13	D19
2	B2	ATAS	8	4	10	7	D22
		BAWAH	4	8	6	10	D22
3	B3	ATAS	5	3	7	4	D16
		BAWAH	3	5	4	7	D16
4	B4	ATAS	4	2	5	2	D16
		BAWAH	2	4	2	2	D16
5	B5	ATAS	5	3	8	3	D22
		BAWAH	3	5	4	6	D22
6	B6	ATAS	5	3	4	3	D16
		BAWAH	3	5	3	4	D16
7	B6B	ATAS	3	2	4	2	D16
		BAWAH	2	3	2	2	D16
8	B7	ATAS	4	3	4	2	D22
		BAWAH	3	4	2	4	D22
9	B8	ATAS	6	4	8	3	D19
		BAWAH	4	6	5	4	D19
10	B9	ATAS	10	7	12	8	D19
		BAWAH	7	10	7	11	D19
11	BA1	ATAS	4	4	7	4	D19
		BAWAH	4	4	5	7	D19
12	BA2	ATAS	4	4	5	3	D22
		BAWAH	4	4	4	4	D22
13	BA3	ATAS	4	3	4	2	D22
		BAWAH	3	4	2	3	D22
14	BK1	ATAS	8	4	8	4	D19
		BAWAH	4	8	4	7	D19
15	BK2	ATAS	4	2	3	2	D19
		BAWAH	2	4	2	2	D19

NO	balok	Letak	Tulangan Lentur Eksisting		Tulangan Lentur Hitungan Baru		Diameter Tulangan
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
16	BK3	ATAS	6	6	7	3	D22
		BAWAH	4	4	3	2	D22
17	BK4	ATAS	5	5	5	2	D22
		BAWAH	3	3	3	2	D22
18	BK6	ATAS	6	6	7	3	D25
		BAWAH	3	3	3	2	D25
19	BK7	ATAS	8	8	9	4	D22
		BAWAH	4	4	4	2	D22
20	BK8	ATAS	5	5	7	7	D22
		BAWAH	2	2	3	2	D22
21	TB1	ATAS	4	4	6	2	D22
		BAWAH	4	4	3	3	D22
22	TB2	ATAS	2	2	3	2	D22
		BAWAH	2	2	2	2	D22
23	TB3	ATAS	6	6	6	3	D22
		BAWAH	6	6	3	5	D22
24	TB4	ATAS	3	3	3	2	D22
		BAWAH	3	3	2	3	D22

Pada tulangan lentur balok eksisting daerah tumpuan dan lapangan memiliki jumlah dan diameter tulangan yang sama, baik tulangan tarik maupun tulangan desak. Hal ini dikarenakan agar pada saat pelaksanaan pekerjaan pemasangan tulangan di lapangan lebih mudah dikerjakan. Berdasarkan Tabel 5.41 perbandingan tulangan tarik daerah tumpuan terdapat tiga kondisi berbeda, yaitu:

1. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru lebih banyak dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B1, B2, B3, B4, B5, B6B, B8, B9, BA1, BA2, BK3, BK6, BK7, BK8, TB1, dan TB2.
2. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru sama dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B7, BA3, BK1, BK4, TB3, dan TB4.
3. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru lebih sedikit dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B6 dan BK2.

Pada perbandingan tulangan desak daerah tumpuan terdapat tiga kondisi berbeda, yaitu:

1. Jumlah tulangan desak pada hitungan baru lebih banyak dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B1, B2, B3, B5, B8, BA1, dan BK8.
2. Jumlah tulangan desak pada hitungan baru sama dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B4, B6, B6B, B9, BA2, BK1, BK2, BK4, BK6, BK7, dan TB2.
3. Jumlah tulangan desak pada hitungan baru lebih sedikit dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B7, BA3, BK3, TB1, TB3, dan TB4.

Berdasarkan Tabel 5.39 perbandingan tulangan tarik daerah lapangan terdapat tiga kondisi berbeda, yaitu:

1. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru lebih banyak dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B1, B2, B3, B5, B9, dan BA1.
2. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru sama dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B7, BA2, BK8, TB2, dan TB4.
3. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru lebih sedikit dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B4, B6, B6B, B8, BA3, BK1, BK2, BK3, BK4, BK6, BK7, TB1, dan TB3.

Sedangkan perbandingan tulangan desak daerah lapangan terdapat dua kondisi berbeda, yaitu:

1. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru lebih banyak dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B1, B2, B3, B9, dan BK8.
2. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru sama dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B4, B5, B6, B6B, BA1, BK1, BK2, dan TB2.
3. Jumlah tulangan tarik pada hitungan baru lebih sedikit dibandingkan dengan tulangan balok eksisting seperti pada balok B7, B8, BA2, BA3, BK3, BK4, BK6, BK7, TB1, TB3, dan TB4.

Salah satu penyebab perbedaan hasil tulangan antara perhitungan baru dengan balok eksisting dikarenakan syarat skala gaya gempa yang berbeda dari SNI baru yaitu 1726-2019 dibanding SNI sebelumnya yaitu SNI 1726-2019. Hal yang menjadi perbedaan yaitu pada pengskalaan gaya pada SNI 1726-2019 mempunyai

syarat perbandingan $V_{dinamik}/v_{statik} > 1$, sedangkan pada SNI 1726-2012 perbandingan $V_{dinamik}/v_{statik} > 0,85$. Selain itu, penyebab perbedaan dikarenakan syarat partisipasi massa yang bekerja pada pemodelan dengan SNI 1726-2019 yaitu sebesar 100%, sedangkan SNI 1726-2012 mempunyai syarat minimal 90%. Dengan perbedaan peraturan tersebut mengakibatkan gaya gempa yang bekerja pada struktur Gedung berbeda, dimana dari hasil analisis menunjukkan hasil perhitungan baru secara umum mempunyai jumlah tulangan lentur yang lebih banyak dibanding tulangan lentur balok eksisting.

5.10.6 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Balok membutuhkan tulangan geser dalam menahan gaya geser yang terjadi. Tulangan geser dipasang disetiap tipe balok yang telah diperhitungkan jaraknya. Jarak tulangan geser tergantung dari besarnya gaya geser yang diampu oleh balok. Gaya geser dalam perhitungan jarak tulangan geser diambil dari nilai gaya geser akibat beban mati dan beban hidup serta nilai momen kapasitas sesuai dengan desain tulangan lentur pada balok. Ketentuan perhitungan gaya geser pada balok diatur dalam SNI 2847-2019. Analisis perhitungan tulangan geser dilakukan pada sendi plastis dan luar sendi plastis. Dalam desain tulangan geser balok harus memenuhi $\phi V_n \geq V_u$, dimana $V_n = V_c + V_s$. Contoh perhitungan jarak tulangan geser sesuai dengan peraturan SNI 2847-2019 diambil dari balok tipe B5 yang dijabarkan sebagaimana berikut ini.

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - \frac{(f_c' - 28)}{7} \times 0,05 \\ &= 0,85 - \frac{(30 - 28)}{7} \times 0,05 \\ &= 0,836 \end{aligned}$$

$$M_{kap}^- = 638,78 \text{ kNm}$$

$$M_{kap}^+ = 367,70 \text{ kNm}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$B \text{ balok} = 300 \text{ mm}$$

$$H \text{ balok} = 600 \text{ mm}$$

$$B \text{ kolom} = 500 \text{ mm}$$

$$H \text{ kolom} = 700 \text{ mm}$$

$$L \text{ balok} = 9000 \text{ mm}$$

$$d_s = 102 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 600 - 102 = 498 \text{ mm}$$

$$L_n \text{ (bentang bersih)} = L \text{ balok} - \frac{1}{2}H_{kolom} - \frac{1}{2}H_{kolom}$$

$$= 9000 - 350 - 350$$

$$= 8300 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan pokok} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 45 \text{ mm}$$

1. Daerah Sendi Plastis

$$V_{g-} = 189,44 \text{ kN}$$

$$V_{g+} = 203,38 \text{ kN}$$

$$V_{g \text{ pakai}} = 203,38 \text{ kN}$$

a. Menghitung V_{sway}

$$V_{sway} = \frac{M_{kap-} + M_{kap+}}{L_n}$$

$$= \frac{638,78 + 367,70}{8,3}$$

$$= 121,26 \text{ kN}$$

b. Mencari V_u

$$V_u = V_{sway} + V_g$$

$$= 121,26 + 203,38$$

$$= 324,64 \text{ kN}$$

c. Mencari nilai V_c

$$V_c = 0,17\lambda \sqrt{f'c'} bwd$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 498$$

$$= 139,11 \text{ kN}$$

Apabila $V_{\text{sway}} > 50\% V_u$ maka nilai $V_c = 0$

d. Mencari nilai V_s

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$\phi V_s = 324,64 - 139,11$$

$$V_s = \frac{324,64}{0,75}$$

$$= 247,373 \text{ kN}$$

e. Menghitung luas tulangan

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,50 \text{ mm}^2$$

$$n = 2$$

$$A_v = A \times n$$

$$= 78,50 \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

f. Perhitungan tulangan geser perlu

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 240 \times 498}{247,373}$$

$$= 109,86 \text{ mm}$$

s perlu diperoleh 109,86 mm

Pengambilan nilai s pakai harus sesuai persyaratan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.4.

a. $s \leq d/4, s \leq 124,5 \text{ mm}$

b. $s \leq 150 \text{ mm}$

c. $s \leq 6D_{\text{pokok}}, s \leq 132 \text{ mm}$

maka s pakai diambil sebesar 100 mm dengan 2 kaki sengkang, 2D10-100.

2. Daerah luar sendi plastis

$$V_{g-} = 175,34 \text{ kN}$$

$$V_{g+} = 177,34 \text{ kN}$$

$$V_g \text{ pakai} = 177,34 \text{ kN}$$

a. Menghitung V_{sway}

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{M_{kap}^- + M_{kap}^+}{Ln} \\ &= \frac{638,78 + 367,70}{8,3} \\ &= 121,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Mencari V_u

$$\begin{aligned} V_u &= V_{sway} + V_g \\ &= 121,26 + 177,34 \\ &= 298,60 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Mencari nilai V_c

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda \sqrt{f_c'} bwd \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 498 \\ &= 139,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Apabila $V_{sway} > 50\% V_u$ maka nilai $V_c = 0$

d. Mencari nilai V_s

$$\begin{aligned} \phi V_s &= V_u - \phi V_c \\ \phi V_s &= 298,60 - 139,11 \\ V_s &= \frac{298,60}{0,75} \\ &= 212,653 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Menghitung luas tulangan

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = 2$$

$$\begin{aligned} A_v &= A \times n \\ &= 78,50 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

f. Perhitungan tulangan geser perlu

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \times 240 \times 498}{212,653} \\
 &= 119,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

s perlu diperoleh 119,54 mm

Pengambilan nilai s pakai harus sesuai persyaratan SNI 2847-2019 pasal 9.7.6.2.2.

a. $s \leq d/2$ mm, $s \leq 249$ mm

b. $s \leq 600$ mm,

maka s pakai diambil sebesar 100 mm dengan 2 kaki sengkang, 2D10-100.

Dengan cara yang sama maka didapat tulangan geser baru pada seluruh tipe balok. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.42.

Tabel 5. 42 Rekapitulasi Tulangan Geser Baru

BALOK	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis	As Sendi Plastis	As Luar Sendi Plastis
B1	2P10-70	2P10-75	314.16	314.16
B2	2P10-70	2P10-75	314.16	314.16
B3	1.5P10-80	1.5P10-100	235.62	235.62
B4	P10-80	P10-150	157.08	157.08
B5	P10-100	P10-100	235.62	235.62
B6	P10-80	P10-150	157.08	157.08
B6B	P10-85	P10-150	157.08	157.08
B7	P10-100	P10-150	157.08	157.08
B8	1.5P10-80	1.5P10-85	235.62	235.62
B9	1.5P10-100	1.5P10-100	235.62	235.62
BA1	1.5P10-100	1.5P10-150	235.62	235.62
BA2	1.5P10-100	1.5P10-150	235.62	235.62
BA3	P10-100	P10-150	157.08	157.08
BK1	2P10-80	2P10-80	314.16	314.16
BK2	P10-100	P10-120	157.08	157.08
BK3	2P10-100	2P10-110	314.16	314.16
BK4	2P10-100	2P10-130	314.16	314.16
BK6	1.5P10-80	1.5P10-100	235.62	235.62
BK7	1.5P10-65	1.5P10-75	235.62	235.62
BK8	1.5P10-75	1.5P10-75	235.62	235.62

BALOK	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis	As Sendi Plastis	As Luar Sendi Plastis
TB1	D13-125	D13-200	265.46	265.46
TB2	P10-100	P10-200	157.08	157.08
TB3	D13-125	D13-200	265.46	265.46
TB4	P10-100	P10-150	157.08	157.08

5.10.7 Pembahasan Perbandingan Tulangan Geser Balok

Balok berperan sebagai elemen penahan gempa yang dimana saat terjadi gempa, balok berperan aktif dalam menjaga kestabilan struktur dengan menyerap energi gempa melalui sendi plastis pada ujung-ujungnya. Hal tersebut dimaksudkan untuk menghindari kegagalan struktur pada kolom. Perbandingan tulangan geser hitungan baru dengan tulangan geser eksisting dilakukan pada daerah sendi plastis dan daerah di luar sendi plastis. Perhitungan tulangan geser dilakukan dengan dimensi balok dan diameter tulangan geser sama dengan balok eksisting. Tulangan geser eksisting dan hitungan baru dapat dilihat pada Tabel 5.43.

Tabel 5. 43 Tulangan Geser Eksisting dan Perhitungan Baru

Balok	Tulangan Geser Eksisting				Tulangan Geser Baru			
	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis	As Sendi Plastis	As Luar Sendi Plastis	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis	As Sendi Plastis	As Luar Sendi Plastis
B1	1,5P10-75	1,5P10-100	235,619	235,619	2P10-70	2P10-75	314,16	314,16
B2	1,5P10-75	1,5P10-100	235,619	235,619	2P10-70	2P10-75	314,16	314,16
B3	P10-100	P10-150	157,08	157,08	1.5P10-80	1.5P10-100	235,62	235,62
B4	P10-100	P10-150	157,08	157,08	P10-80	1P10-150	157,08	157,08
B5	P10-100	P10-150	157,08	157,08	P10-100	P10-100	157,08	157,08
B6	P10-100	P10-150	157,08	157,08	P10-80	P10-150	157,08	157,08
B6B	P10-100	P10-150	157,08	157,08	P10-85	P10-150	157,08	157,08
B7	P10-100	P10-150	157,08	157,08	P10-100	P10-150	157,08	157,08
B8	1.5P10-100	1.5P10-150	235,619	235,619	1.5P10-80	1.5P10-85	235,62	235,62
B9	1,5P10-100	1,5P10-100	235,619	235,619	1.5P10-100	1.5P10-100	235,62	235,62
BA1	1,5P10-100	1,5P10-150	235,619	235,619	1.5P10-100	1.5P10-150	235,62	235,62
BA2	1,5P10-100	1,5P10-150	235,619	235,619	1.5P10-100	1.5P10-150	235,62	235,62
BA3	P10-100	P10-150	157,08	157,08	P10-100	P10-150	157,08	157,08
BK1	1.5P10-75	1.5P10-100	235,619	235,619	2P10-80	2P10-80	314,16	314,16
BK2	P10-75	P10-100	157,08	157,08	P10-100	P10-120	157,08	157,08
BK3	1.5P10-100	1.5P10-100	235,619	235,619	2P10-100	2P10-110	314,16	314,16
BK4	P10-100	P10-150	157,08	157,08	2P10-100	2P10-130	314,16	314,16
BK6	1.5P10-100	1.5P10-100	235,619	235,619	1.5P10-80	1.5P10-100	235,62	235,62
BK7	1.5P10-100	1.5P10-150	235,619	235,619	1.5P10-65	1.5P10-75	235,62	235,62
BK8	P10-100	P10-100	157,08	157,08	1.5P10-75	1.5P10-75	235,62	235,62
TB1	D13-100	D13-150	265,465	265,465	D13-125	D13-200	265,46	265,46
TB2	P10-150	P10-200	157,08	157,08	P10-100	P10-200	157,08	157,08

Balok	Tulangan Geser Eksisting				Tulangan Geser Baru			
	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis	As Sendi Plastis	As Luar Sendi Plastis	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis	As Sendi Plastis	As Luar Sendi Plastis
TB3	D13-100	D13-150	265,465	265,465	D13-125	D13-200	265,46	265,46
TB4	P10-150	P10-200	157,08	157,08	P10-100	P10-150	157,08	157,08

Berdasarkan Tabel 5.43, dikarenakan diameter tulangan geser yang sama pada tulangan geser baru dan tulangan geser eksisting maka, perbandingan As tulangan geser dipengaruhi oleh jumlah kaki tulangan geser (sengkang). Semakin banyak jumlah kaki tulangan geser (sengkang), menunjukkan bahwa gaya geser yang dialami penampang balok juga semakin besar. Terdapat tujuh tipe balok yang mempunyai jumlah kaki tulangan geser yang berbeda antara hitungan baru dan eksisting seperti pada balok B1, B2, B3, BK1, BK3, BK4, dan BK8, dimana hitungan baru menunjukkan kaki tulangan geser yang lebih banyak. Perbandingan As tulangan geser pada daerah sendi plastis dan luar sendi plastis terdapat dua kondisi berbeda, yaitu:

1. As tulangan geser pada hitungan baru lebih besar dibandingkan dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok B1, B2, B3, BK1, BK3, BK4, dan BK8.
2. As tulangan geser pada hitungan baru sama dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok B4, B5, B6, B6B, B7, B8, B9, BA1, BA2, BA3, BK2, BK6, BK7, TB1, TB2, TB3, dan TB4.

Selain perbedaan pada As tulangan geser, terdapat perbedaan pada jarak antar tulangan geser. Jarak antar tulangan geser dipengaruhi oleh jumlah kaki tulangan geser tersebut. Pada daerah sendi plastis berdasarkan tabel 5.40 dengan jumlah kaki tulangan geser yang sama antara hitungan baru dan eksisting terdapat tiga kondisi berbeda, yaitu:

1. Jarak tulangan geser hitungan baru sama dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok B5, B7, B9, BA1, BA2, BA3, dan TB2.
2. Jarak tulangan geser hitungan baru lebih kecil dibandingkan dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok B4, B6, B6B, B8, BK6, BK7, dan TB4.
3. Jarak tulangan geser hitungan baru lebih besar dibandingkan dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok BK2, TB1, dan TB3.

Pada daerah luar sendi plastis dengan jumlah kaki tulangan geser yang sama antara hitungan baru dan eksisting terdapat tiga kondisi berbeda, yaitu:

1. Jarak tulangan geser hitungan baru sama dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok B4, B6, B6B, B7, B9, BA1, BA2, BA3, BK6, dan TB2.

2. Jarak tulangan geser hitungan baru lebih kecil dibandingkan dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok B5, B8, BK7, dan TB4.
3. Jarak tulangan geser hitungan baru lebih besar dibandingkan dengan tulangan geser eksisting seperti pada balok BK2, TB1, dan TB3.

Dari hasil perhitungan baru tulangan geser balok menunjukkan bahwa secara keseluruhan pada daerah sendi plastis dan luar sendi plastis memiliki jarak antar tulangan yang lebih rapat dibandingkan tulangan geser eksisting.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur bangunan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil gaya dalam dan respon simpangan antar lantai sebagai berikut.
 - a. *Displacement* akibat gempa pada arah X didapatkan nilai terkecil sebesar 0,0002 m dan nilai terbesar sebesar 0,049 m, sedangkan pada arah Y didapatkan nilai terkecil sebesar 0,0002 m dan nilai terbesar sebesar 0,080m.
 - b. Rasio simpangan antar lantai (*drift ratio*) akibat beban gempa pada arah X didapatkan nilai terkecil 0,00037 dan nilai terbesar sebesar 0,014, sedangkan pada arah Y didapatkan nilai terkecil 0,00027 dan nilai terbesar 0,026.
 - c. Simpangan antar lantai akibat beban gempa diperoleh informasi bahwa simpangan antar lantai pada semua lantai arah X memenuhi persyaratan SNI 1726-2019, sedangkan pada arah Y terdapat lantai yang tidak memenuhi kriteria yang disyaratkan SNI 1726-2019. Simpangan lantai maksimum arah X sebesar 0,043 m, sedangkan simpangan lantai maksimum arah Y sebesar 0,084 m dengan nilai batas aman simpangan lantai yaitu 0,049 m.
 - d. Pengecekan pengaruh nilai P-Delta diperoleh informasi bahwa nilai P Delta arah X dan arah Y pada semua lantai memenuhi kriteria SNI 1726-2019. Dimana nilai koefisien stabilitas (θ) maksimum arah X sebesar 0,028, sedangkan nilai koefisien stabilitas (θ) maksimum arah Y sebesar 0,01 dengan nilai batas aman koefisien stabilitas (θ) yaitu 0,091.
2. Hasil analisis tulangan lentur dan tulangan geser pada elemen balok sebagai berikut.

- a. Perhitungan baru tulangan balok lentur berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2019 secara keseluruhan lebih banyak dibandingkan balok eksisting.
- b. Perhitungan As tulangan geser perhitungan baru dan lama pada balok eksisting menunjukkan bahwa dari dua puluh empat tipe balok, terdapat tujuh balok perhitungan baru lebih besar dibandingkan balok eksisting dan terdapat tujuh belas belas balok dengan As tulangan geser yang sama.
- c. Perhitungan baru tulangan geser balok menunjukkan bahwa secara keseluruhan jarak antar tulangan geser lebih rapat dibandingkan balok eksisting.

6.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut pada elemen kolom, dinding geser, tangga, pelat, dan pondasi dengan standar peraturan baru.
2. Perlu ketelitian saat pemodelan bangunan menggunakan *software*.
3. Pada penelitian selanjutnya pembebanan struktur gedung dapat menggunakan SNI 1727-2020.

DAFTAR PUSTAKA

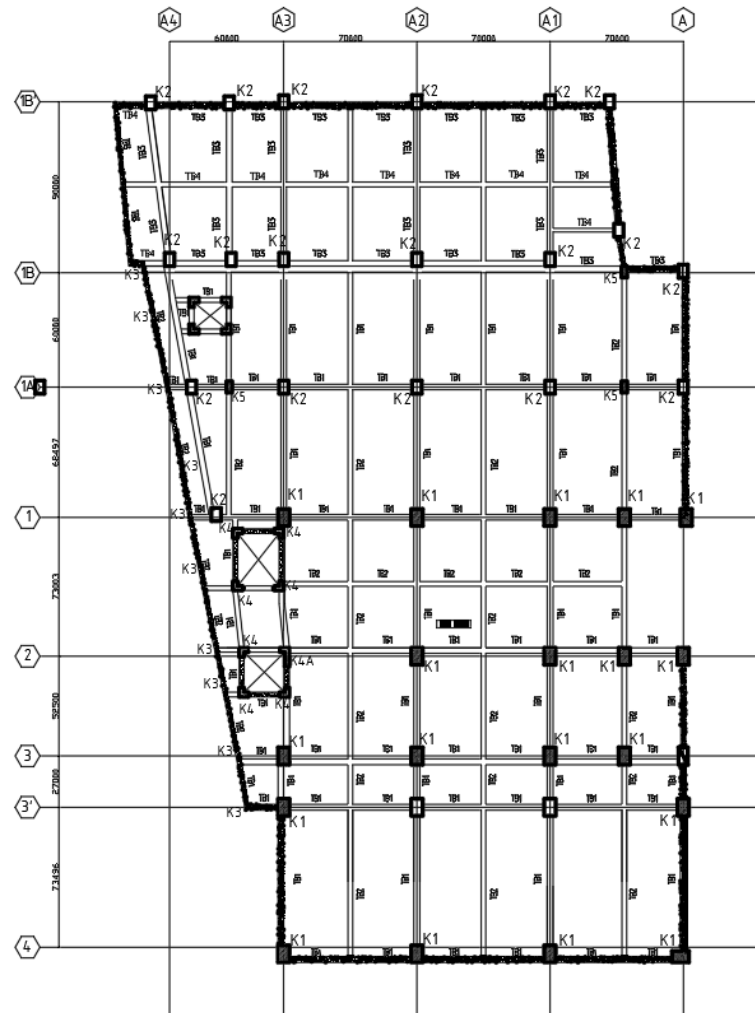
- Adam, B. 2017. Analisis Simpangan dan Kebutuhan Tulangan Berdasarkan PPIUG 1983 dibandingkan Dengan SNI 1727-2013. *skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- Anggraini,D dan Dewi,S.H. 2016. Evaluasi Desain Struktur Gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012. Vol 16(2). 99-110
- Crista, Widorini,danAnggraini. Perbandingan Tulangan Lentur Pada Gedung Fakultas Psikologi Universitas Semarang Dengan Membandingkan Peraturan SNI Gempa 2012 Dengan SNI Gempa 2019. Penelitian.
- Elliza,N.I.2013. Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan *Software Etabs V 9.50*. *skripsi*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Hariyanto, A.2011.Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis *Respons Spektrum*. *skripsi*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Jannah, A.N. 2018. Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum. *skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- Laksana, G.N. 2020. Perencanaan Elemen Kolektor dan Kord Pada Gedung Rumah Sakit dengan Menggunakan Metode SNI 1726-2012. *skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- Lesmana,Y. 2020. *Desain Struktur Beton Bertulang*. Nas Media Pustaka. Makasar.
- Nabhilla, R.F. 2020. Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Beton Bertulang Tahan Gempa 8 Lantai Menggunakan Metode *Pushover Analysis*. *Tugas Akhir*. Universitas Pertamina, Jakarta.
- Pawirodikromo, Widodo, 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. SNI 1726. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2013. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. SNI 1727. Jakarta.

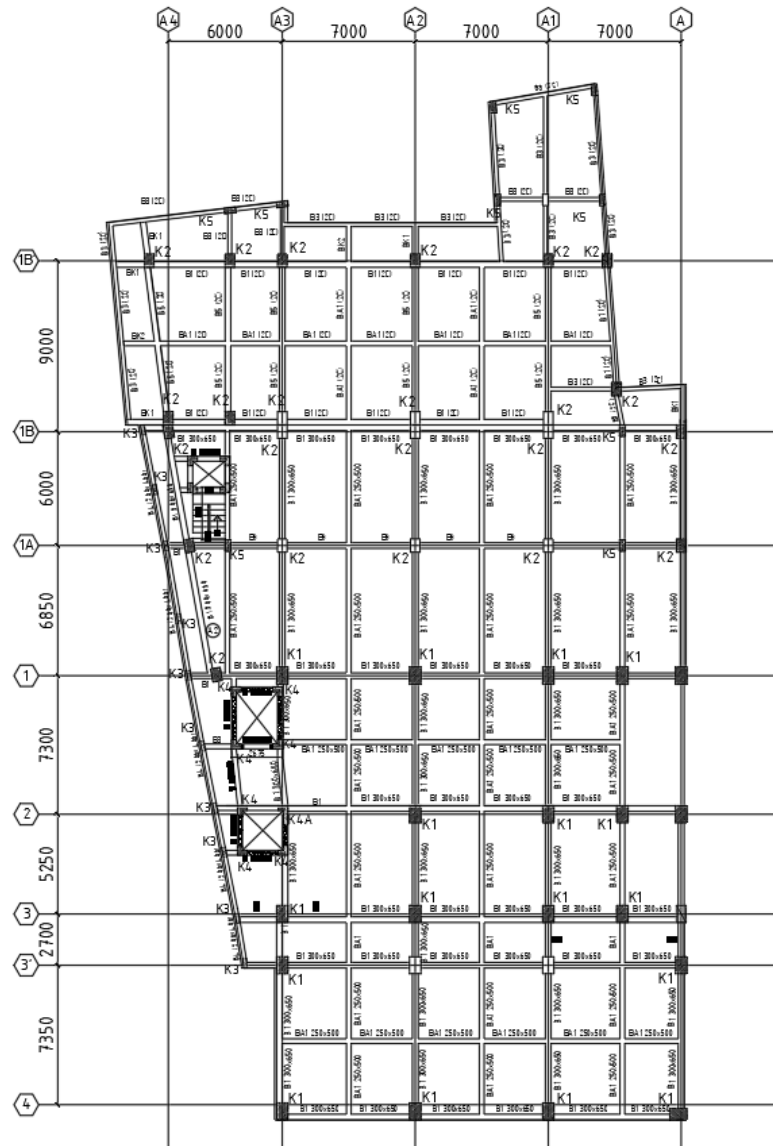
Standar Nasional Indonesia. 2019. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. SNI 2847. Jakarta.

LAMPIRAN

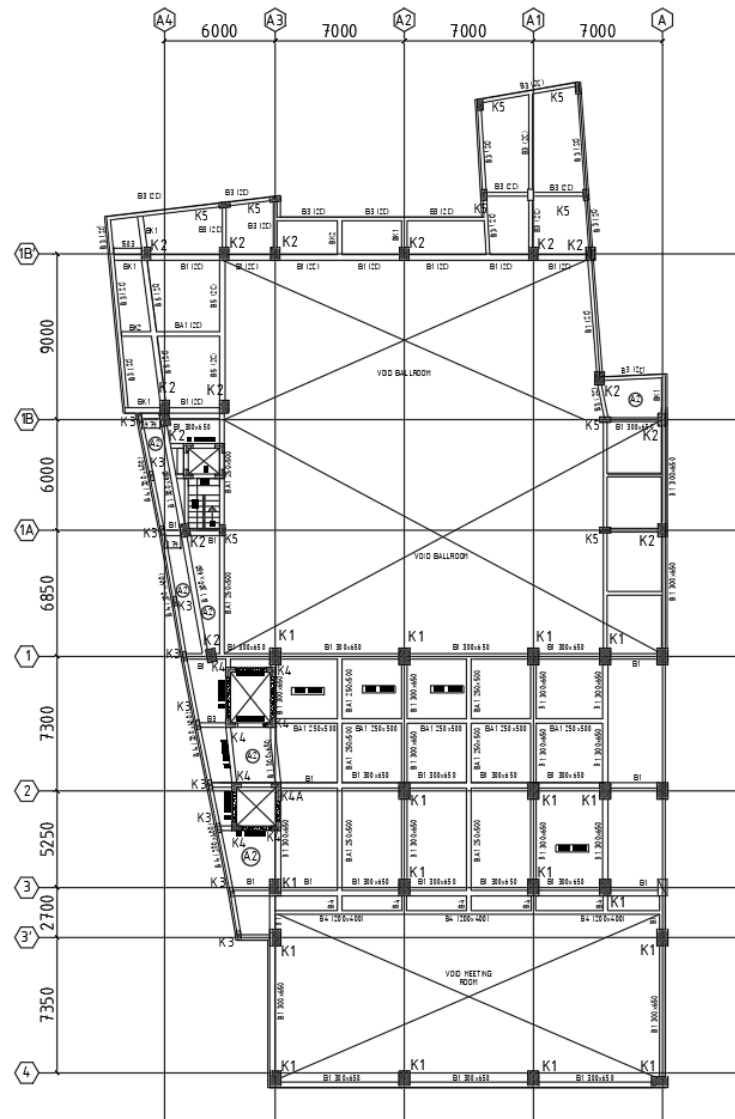
Lampiran 1 Denah Bangunan



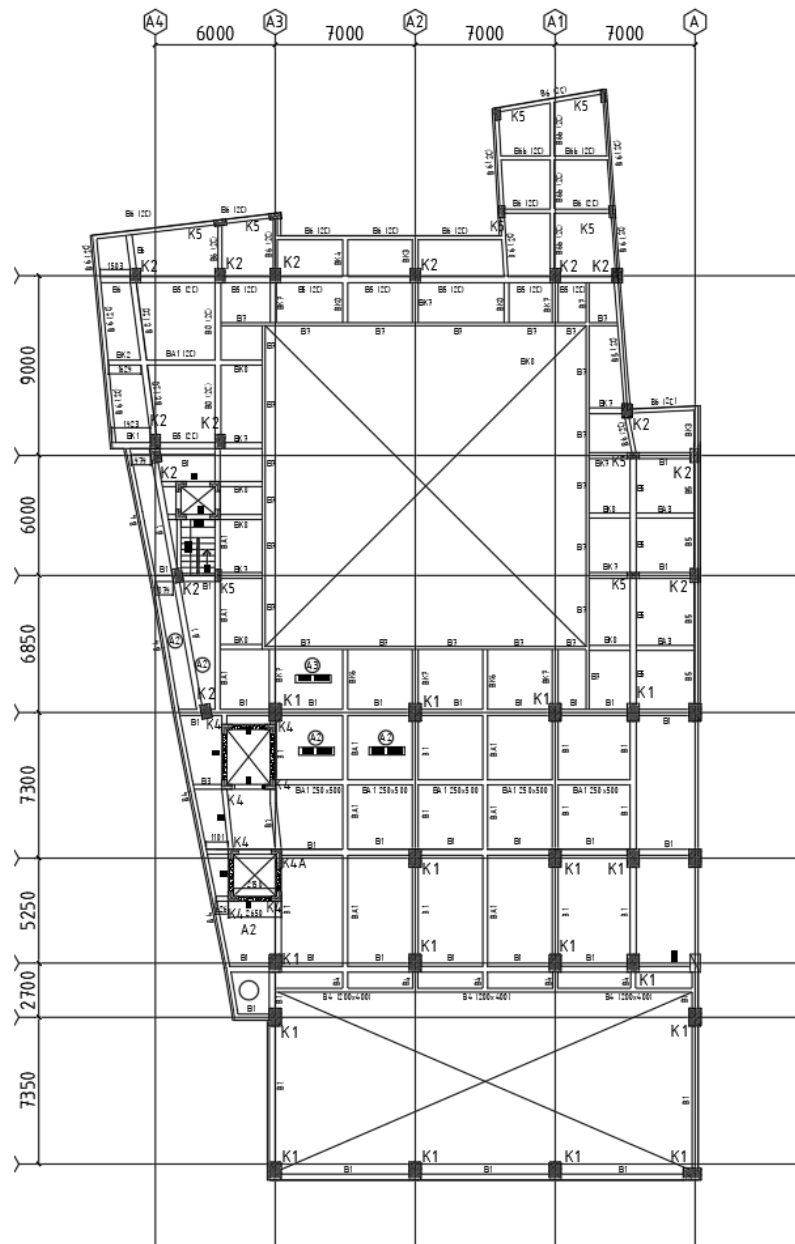
Gambar L-1.1 Denah Bangunan Lantai 1



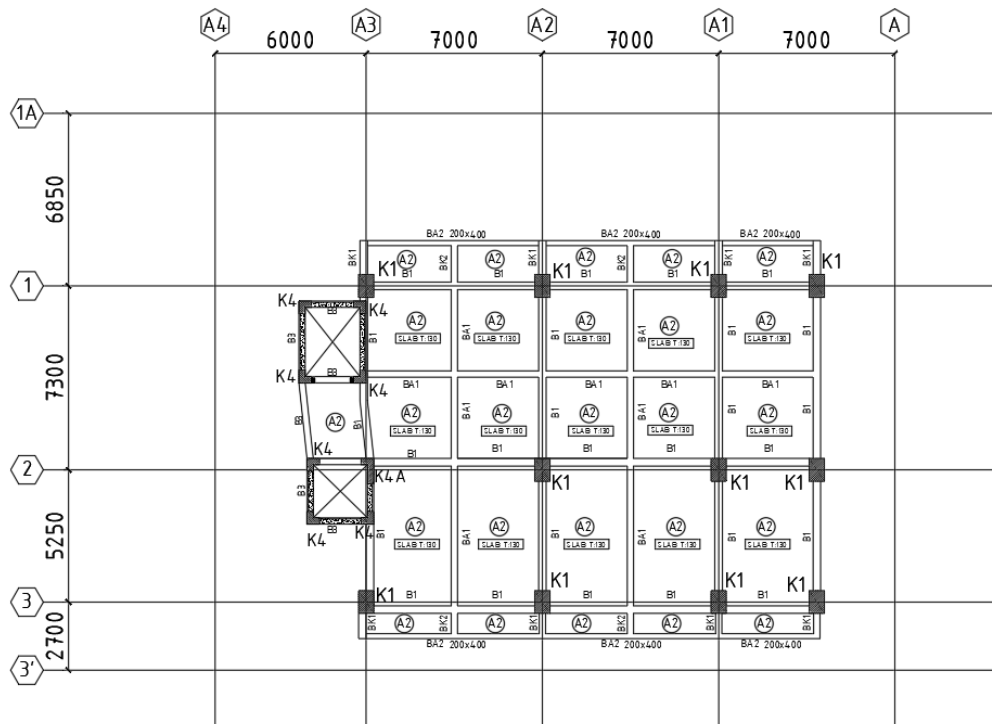
Gambar L-1.2 Denah Bangunan Lantai 2



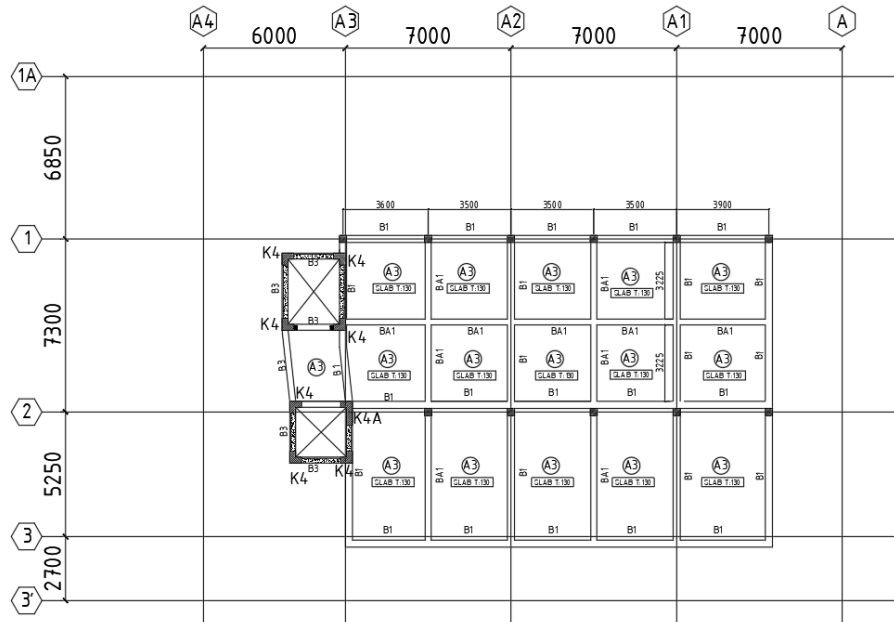
Gambar L-1.3 Denah Bangunan Lantai 3



Gambar L-1.4 Denah Bangunan Lantai 4

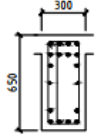
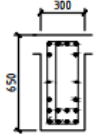
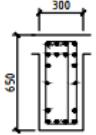
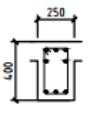
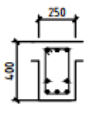
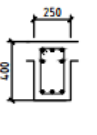
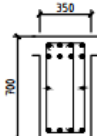
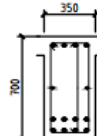
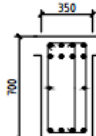
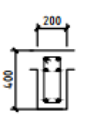
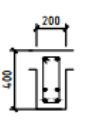
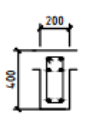


Gambar L-1.5 Denah Bangunan Lantai 5-9

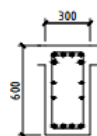
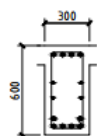
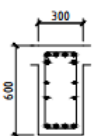
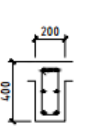
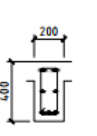
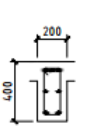
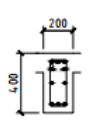
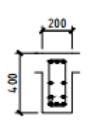
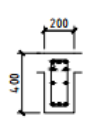
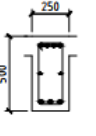
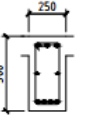
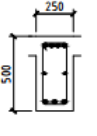


Gambar L-1.6 Denah Bangunan Lantai 10

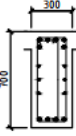
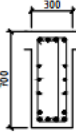
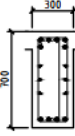
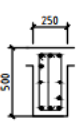
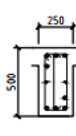
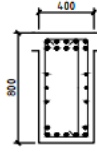
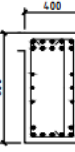
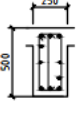
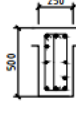
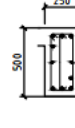
Lampiran 2 Gambar Balok dan Kolom

TYPE	BALOK B1 (300 X 650)			BALOK B3 (250 x 400)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	10D19	6D19	10D19	5D16	3D16	5D16
TUL. BAWAH	6D19	10D19	6D19	3D16	5D16	3D16
SENGKANG	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
TUL. PINGGANG	2D10			-		
TYPE	BALOK B2 (350 X 700)			BALOK B4 (200 x 400)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	8D22	4D22	8D22	4D16	2D16	4D16
TUL. BAWAH	4D22	8D22	4D22	2D16	4D16	2D16
SENGKANG	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
TUL. PINGGANG	2D13			-		

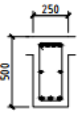
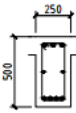
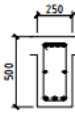
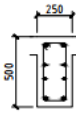
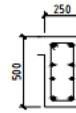
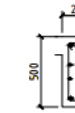
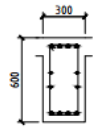
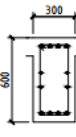
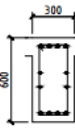
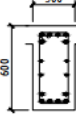
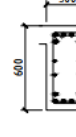
Gambar L-2.1 Detail Balok Tipe B1, B2, B3, B4

TYPE	BALOK B5 (300 X 600)			BALOK B6b (200 x 400)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	6D22	4D22	6D22	3D16	2D16	3D16
TUL. BAWAH	4D22	6D22	4D22	2D16	3D16	2D16
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
TUL. PINGGANG	4D13			2D13		
TYPE	BALOK B6 (200 x 400)			BALOK B7 (250 x 500)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	5D16	3D16	5D16	4D22	3D22	4D22
TUL. BAWAH	3D16	5D16	3D16	3D22	4D22	3D22
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100
TUL. PINGGANG	2D13			2D13		

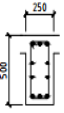
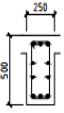
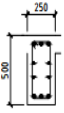
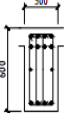
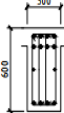
Gambar L-2.2 Detail Balok Tipe B5, B6, B6B, B7

TYPE	BALOK B8 (300 x 700)			BALOK BA1 (250 x 500)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	6D22	4D22	6D22	4D19	4D19	4D19
TUL. BAWAH	4D22	6D22	4D22	4D19	4D19	4D19
SENGKANG	3D10 - 100	3D10 - 150	3D10 - 100	2D10 - 100	2D10 - 150	2D10 - 100
TUL. PINGGANG	6D13			2D10		
TYPE	BALOK B9 (400 x 800)			BALOK BA2 (250 x 500)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	10D22	7D22	10D22	4D22	4D22	4D22
TUL. BAWAH	7D22	10D22	7D22	4D22	4D22	4D22
SENGKANG	3D10 - 100	3D10 - 100	3D10 - 100	2D10 - 100	2D10 - 150	2D10 - 100
TUL. PINGGANG	6D13					

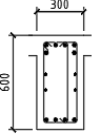
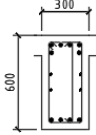
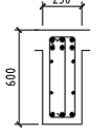
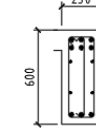
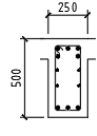
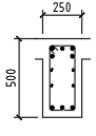
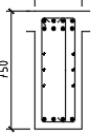
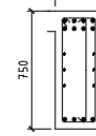
Gambar L-2.3 Detail Balok Tipe B8, B9, BA1, BA2

TYPE	BALOK BA3 (250 x 500)			TIE BEAM TB2 (250 x 500) 2C		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	4D22	3D22	4D22	2D22	2D22	2D22
TUL. BAWAH	3D22	4D22	3D22	2D22	2D22	2D22
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 200	D10 - 150
TUL. PINGGANG	2D13			4D13		
TYPE	TIE BEAM TB1 (300 x 600) 2C			TIE BEAM TB3 (300 x 600)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	4D22	4D22	4D22	6D22	6D22	6D22
TUL. BAWAH	4D22	4D22	4D22	6D22	6D22	6D22
SENGKANG	D13 - 100	D13 - 150	D13 - 100	D13 - 150		
TUL. PINGGANG	4D13			4D13		

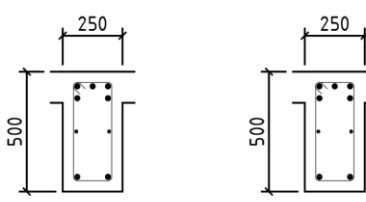
Gambar L-2.4 Detail Balok Tipe BA3, TB1, TB2, TB3

TYPE	TIE BEAM TB4 (250 x 500)			BALOK BK1 (300 x 600)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	3Ø22	3Ø22		8Ø19	4Ø19	8Ø19
TUL. BAWAH	3Ø22	3Ø22		4Ø19	8Ø19	4Ø19
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 75
TUL. PINGGANG	4Ø13			2Ø10		
TYPE	TIE BEAM TB5 (200 x 400)			BALOK BK2 (250 x 500)		
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
POTONGAN						
TUL. ATAS	3Ø16	3Ø16	3Ø16	4Ø19	2Ø19	4Ø19
TUL. BAWAH	3Ø16	3Ø16	3Ø16	2Ø19	4Ø19	2Ø19
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	D10 - 75	D10 - 100	D10 - 75
TUL. PINGGANG	2Ø13			2Ø10		

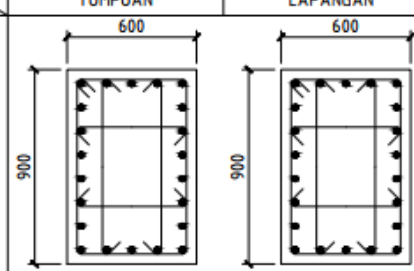
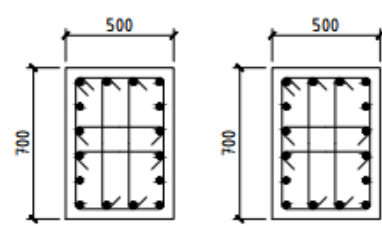
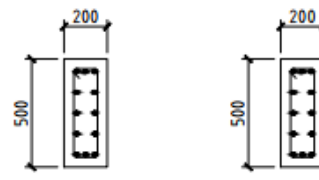
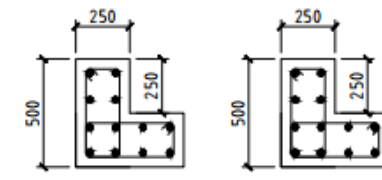
Gambar L-2.5 Detail Balok Tipe TB4, TB5, BK1, BK2

TYPE	BALOK BK3 (300 x 600)		BALOK BK6 (250 x 600)	
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. ATAS	6Ø22	6Ø22	6Ø25	6Ø25
TUL. BAWAH	4Ø22	4Ø22	3Ø25	3Ø25
SENGKANG	3D10 - 100	3D10 - 100	3D10 - 100	2D10 - 100
TUL. PINGGANG	4Ø13		4Ø13	
TYPE	BALOK BK4 (250 x 500)		BALOK BK7 (300 x 750)	
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. ATAS	5Ø22	5Ø22	8Ø22	8Ø22
TUL. BAWAH	3Ø22	3Ø22	4Ø22	4Ø22
SENGKANG	3D10 - 100	3D10 - 150	3D10 - 100	2D10 - 150
TUL. PINGGANG	4Ø13		6Ø13	

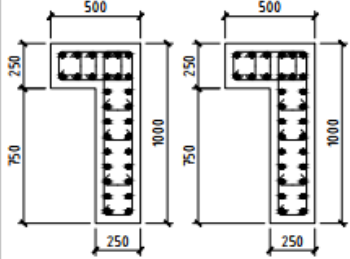
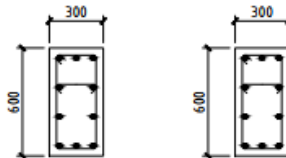
Gambar L-2.6 Detail Balok Tipe BK3, BK4, BK6, BK7

TYPE	BALOK BK8 (250 x 500)	
POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN
POTONGAN		
TUL. ATAS	5D22	5D22
TUL. BAWAH	2D22	2D22
SENGKANG	3D10 - 100	2D10 - 100
TUL. PINGGANG	2D13	

Gambar L-2.7 Detail Balok Tipe BK8

LANTAI	KOLOM K1		KOLOM K2	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI B55 S/D LANTAI 4				
TUL. UTAMA	22D25	22D25	16D25	16D25
SENGKANG	4D13 - 100	4D13 - 150	4D13 - 100	4D13 - 150
DIMENSI	600 x 900		500 x 700	
LANTAI	KOLOM K3		KOLOM K4	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI B55 S/D LANTAI 4				
TUL. UTAMA	12D16	12D16	12D25	12D25
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150	2D13 - 100	2D13 - 150
DIMENSI	200 x 500		250 x 500 x 500	

Gambar L-2.8 Detail Kolom Tipe K1,K2,K3,K4

KOLOM LANTAI	KOLOM K4A		KOLOM K5'	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. UTAMA	30D25	30D25	8D16	8D16
SENGKANG	D13 - 100	D13 - 150	D10 - 100	D10 - 150
DIMENSI	250 x 500 x 1000		300 x 300	
KOLOM LANTAI	KOLOM K5			
	TUMPUAN	LAPANGAN		
POTONGAN				
TUL. UTAMA	10D22	10D25		
SENGKANG	3D10 - 100	3D10 - 150		
DIMENSI	300 x 600			

Gambar L-2.9 Detail Kolom Tipe K4A,K5,K5'

Lampiran 3 Data Tanah

Tabel 6. Hasil Laboratorium BH1

Depth (m)	Titik BH1					
	Water Content (%)	Specific Gravity G	Moisture Unit Weight γ_b (gr/cm ³)	Dry Unit Weight γ_k (gr/cm ³)	Direct Shear Test	
					c (kg/cm ²)	θ°
-10.00	26.42	2.67	2.21	1.75	0.00	18.40
-20.00	25.36	2.70	2.14	1.71	0.00	19.94

Tabel 7. Hasil Laboratorium BH2

Depth (m)	Titik BH2					
	Water Content (%)	Specific Gravity G	Moisture Unit Weight γ_b (gr/cm ³)	Dry Unit Weight γ_k (gr/cm ³)	Direct Shear Test	
					c (kg/cm ²)	θ°
-10.00	28.42	2.59	2.12	1.65	0.00	17.30
-20.00	24.08	2.69	2.17	1.75	0.00	19.99

Gambar L-3.2 Data Tanah Hasil Laboratorium