

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN SEKOLAH 10 LANTAI TAHAN
GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
DAN SNI 2847:2019**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang**

**Disusun Oleh :
MUAMMAR F. FAHREZA
NPM. 21310019**

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS IBA
PALEMBANG
2025**

HALAMAN PENGESAHAN
PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN SEKOLAH 10 LANTAI TAHAN
GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
DAN SNI 2847:2019



SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang

Disusun Oleh :

MUAMMAR F. FAHREZA

NPM. 21310019

Palembang, Juli 2025

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik


FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA
(Dr.Ir.Hardayana Haruno,S.T.,M.T)

Menyetujui
Ketua Program Studi
Teknik Sipil


(Robi Sahbar,S.T.,M.T)

HALAMAN PENGESAHAN
PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN SEKOLAH 10 LANTAI TAHAN GEMPA
BERDASARKAN SNI 1726:2019 DAN SNI 2847:2019



SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang

Disusun Oleh :

MUAMMAR F. FAHREZA

NPM. 21310019

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir.Sapta,S.T.,M.T.,IPU,Asean Eng)



(Amelia Rajela.,S.T.,M.T)

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini di ajukan :

Nama : Muammar F. Fahreza

NPM : 21310019

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Sekolah
10 Lantai Tahan Gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan
SNI 2847:2019

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan pengguji dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Uniersitas IBA

DEWAN PENGUJI :

1. Robi Sahbar, S.T.,M.T
2. Sari Farlianti, S.T.,M.T
3. Ir. Pujiono, M.T
4. Eka Wisnu Sumantri, S.T.,M.T
5. Amelia Rajela, S.T.,M.T



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muammar F. Fahreza

NPM : 21310019

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Sekolah
10 Lantai Tahan Gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan
SNI 2847:2019

Dengan menyatakan bahwa hasil analisis skripsi yang saya buat ini merupakan karya sendiri dan benar keasliannya, Apabila dikemudian hari ternyata penulisan skripsi ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, Maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib Universitas IBA Palembang.

Palembang, Juli 2025

Yang Membuat
Pernyataan,



Muammar F. Fahreza

ABSTRAK

PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN SEKOLAH 10 LANTAI
TAHAN GEMPA
BERDASARKAN SNI 1726:2019 DAN SNI 2847:2019

Muammar F. Fahreza **,Sapta*, Amelia Rajela*

*) *Dosen Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA*

**) *Alumni Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA*

Pendidikan menjadi fondasi utama pada pembangunan sumber daya manusia yang berkualitas. Pembangunan zaman yang semakin pesat menuntut adanya peningkatan kualitas pendidikan, baik dari sisi kurikulum, tenaga pelajar, maupun fasilitas. Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan 10 Lantai yang menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai standar SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019 untuk wilayah rawan gempa.. Analisis struktur menunjukkan performa yang memenuhi semua persyaratan, kapasitas geser balok-kolom yang memenuhi ketentuan SNI 2847:2019 . Didapatkan data dari desain bangunan ini menggunakan 7 jenis kolom yakni K1 (80x80 cm), K2 (75x75 cm), K3 (70x70 cm), K4 (75x75 cm), K4 (70x70 cm), K5 (65x65 cm), dan K7 (75x75 cm), 2 jenis balok yakni B1 (50x80 cm) dan B2 (25x40 cm) serta plat lantai dengan ketebalan 12 cm. Hasil penelitian membuktikan bahwa desain SRPMK ini mampu menjamin keamanan dan kinerja komponen struktur bangunan sekolah dalam menghadapi beban gempa.

Kata kunci: Sekolah, SRPMK, desain tahan gempa, SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, analisis

ABSTRACT

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF 10-STOREY SCHOOL AGAINST EARTHQUAKE LOADS BASED ON SNI 1726:2019 AND SNI 2847:2019

Muammar F. Fahreza **,Sapta*, Amelia Rajela*

**) Lecturer of Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Programme, IBA
University*

***) Alumni of Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Programme, IBA
University*

Education is the main foundation for the development of quality human resources. The rapid development of the times demands an increase in the quality of education, both in terms of curriculum, student personnel, and facilities. Design of Reinforced Concrete Structure of Floor School that applies Special Moment Bearing Frame System (SRPMK) according to SNI 2847:2019 and SNI 1726:2019 standards for earthquake prone areas. The structural analysis shows that the performance meets all the requirements, the capacity that meets the provisions of SNI 2847 2019, The data obtained from this building design uses 7 types of columns namely K1 (80x80 cm), K2 (75x75 cm), K3 (70x70 cm), K4 (75x75 cm), K4 (70x70 cm), K5 (65x65 cm), and K7 (75x75 cm), 2 types of beams namely B1 (50x80 cm) and B2 (25x40 cm) and floor plates with a thickness of 12 cm, The results prove that this SRPMK design is able to ensure the safety and performance of the Apartment building structural components in the face of earthquake loads.

Keywords: School, SRPMK, earthquake resistant design, SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, analysis

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

"3K menuju kesuksesan : Konsistensi dan Kerja Keras."

" Menjadi pribadi yang bermanfaat berarti mampu membawa perubahan positif dalam hidup orang lain."

" Kreativitas membuat hidup berguna bagi kita. Itu juga membuat kita berguna bagi kehidupan."

"Hidup merupakan kesempatan untuk selalu mencoba, terus lah mencoba apapun yang terjadi selagi ada kesempatan untuk mendapat '*More and more and more and more*' dan kegagalan merupakan hal yang biasa dan pasti ada masanya untuk '*And the comeback is complete*' (Peter Drury)."

Persembahan

Skripsi ini adalah hasil Upaya dari jeri payah yang saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT, atas segala rahmat, karunia, dan kekuatan yang diberikan dalam menyelesaikan tugas ini.
2. Kedua orang tua saya, yang selalu memberikan segala hal yang sangat membantu saya untuk menyelesaikan pendidikan saya dari awal hingga titik saat ini.
3. Sanak keluarga yang senantiasa mendukung segala hal positif yang saya lakukan.
4. Dosen pembimbing dan seluruh dosen di jurusan, atas ilmu, arahan, dan motivasi yang luar biasa selama proses perkuliahan.
5. Sahabat dan rekan teknik sipil khususnya Angkatan 21, yang senantiasa memberi dukungan, semangat, dan tawa di tengah lelahnya perjuangan.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat karunia – Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan, penyusunan skripsi ini dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi di Universitas IBA Palembang dengan judul **“Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Sekolah 10 Lantai Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1276:2019 Dan SNI 2847:2019”**.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan struktur bangunan terhadap gempa bumi dengan menerapkan analisis berbasis perangkat lunak *ETABS*, serta berpedoman pada standar SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Diharapkan, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam perancangan konstruksi bangunan yang lebih adaptif terhadap risiko seismik.

Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis memperoleh berbagai dukungan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar - besarnya kepada:

1. Ibu Dr.Ir.Hardayani Haruno,S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang .
2. Bapak Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU, Asean Eng dan Ibu Amelia Rajela, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, yang begitu banyak meluangkan waktu dan banyak membantu serta membimbing penulis dalam menyelesaikan proses penyusunan skripsi ini dengan baik dan benar.
3. Bapak Robi Sahbar,S.T.,M.T selaku ketua Program Studi Teknik Sipil.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan seluruh staff administrasi Fakultas Teknik Universitas IBA yang sudah membantu melancarkan penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Kedua Orang Tua atas semua yang telah diberikan yang pastinya sudah tak terhitung dan tak pernah henti mengiringi setiap langkah penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

6. Rekan – rekan perjuangan Teknik Sipil khusus nya angkatan 2021 yang selalu saling membantu dari awal perkuliahan hingga saat ini.
7. Teman – teman Ruko Crew yang merupakan para sahabat yang selalu mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. *Real Madrid Club de Fútbol* yang merupakan klub bola favorit penulis sejak tahun 2012 dan menjadi *mood booster* penulis dalam menjalani kehidupan sehari-hari.

Demikian laporan skripsi ini disusun agar dapat menambah ilmu dan pengetahuan bagi para pembaca serta banyak memberi manfaat bagi rekan – rekan mahasiswa lain khusus nya dalam Program studi Teknik sipil, Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan guna penyempurnaan di masa mendatang.

Palembang, Juli 2025

Penulis



Muammar F. Fahreza

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vi
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Landasan Dalam Perencanaan	4
2.2.1 Lingkup SNI 1927:2019	5
2.2.2 Lingkup SNI 2847:2019	6
2.3 Program Analisa Struktur	7
2.4 Pembebanan	7
2.4.1 Beban Statis	5
2.4.2 Beban Gempa	16
2.5 Konsep Struktur Tahan Gempa	16
2.5.1 Klasifikasi Situs (Jenis Tanah)	16
2.5.2 Percepatan Puncak (PGA) pada Permukaan Tanah	17

2.5.3	Respon Spektral Percepatan S_{MS} dan S_{MI} pada Permukaan Tanah.....	20
2.5.4	Parameter Respon Spektral Percepatan Desain.....	22
2.5.5	Penentuan Respon Spektral Desain.....	22
2.5.6	Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa ...	23
2.5.7	Kategori Desain Gempa (KDG).....	26
2.5.8	Resiko Kegempaan	27
2.5.9	Gaya Geser Dasar Seismik	28
2.5.10	Periode Fundamental Alami	29
2.5.11	Pembesaran Momen Torsi Tidak Terduga	31
2.5.12	Simpangan Antar Tingkat	31
2.5.13	Efek P-Delta dan <i>Soft Storey</i>	33
2.6	Stabilitas Struktur	34
2.7	Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa	35
2.7.1	Kekuatan Perlu	36
2.7.2	Kekuatan Desain.....	36
BAB III METODELOGI PENELITIAN		53
3.1	Kerangka Berpikir Penelitian	53
3.2	Metode Pelaksanaan	54
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		56
4.1	Data Rencana Struktur	56
4.2	Pembebanan Struktur	58
4.2.1	Beban Gravitasi	58
4.2.2	Beban Gempa	62
4.3	Data Percepatan Gempa	62
4.4	Penentuan Period Fundamental Struktur (T)	65
4.4.1	Model Respon Spektrum	67
4.4.2	Beban Geser Dasar Gempa.....	68
4.4.3	Simpangan (<i>Displacement</i>) Akibat Pengaruh Beban Gempa	69
4.4.4	Pemeriksaan Story Drift	69
4.4.5	Beban Geser Gempa	73
4.4.6	Stabilitas Guling	74

4.4.7 Pengaruh P Delta	75
4.4.8 Ketidakberaturan Struktur Vertikal	76
4.5 Kombinasi Beban.....	86
4.6 Desain Struktur Atas.....	86
4.6.1 Respon Struktur	86
4.6.2 Pelat Lantai	88
4.6.3 Balok.....	90
4.6.4 Kolom	101
4.7 Pembahasan	148
4.7.1 Pemodelan Struktur	148
4.7.2 Desain Komponen Struktur	150
BAB V PENUTUP	155
5.1 Kesimpulan	155
5.2 Saran	155
DAFTAR PUSTAKA	156
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban Mati Desain Minimum (kN/m^2).....	8
Tabel 2.2 Beban Hidup Merata dan Terpusat	13
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs	17
Tabel 2.4 Koefisien Periode Pendek (F_a).....	21
Tabel 2.5 Koefisien Periode 1,0 detik (F_v).....	21
Tabel 2.6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk beban gempa	23
Tabel 2.7 Faktor Keutamaan Gempa	26
Tabel 2.8 Kategori Desain Gempa (KDG)	26
Tabel 2.9 Kategori Desain Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode 1 detik (S_{D1}).....	27
Tabel 2.10 Tingkat Resiko Kegempaan	27
Tabel 2.11 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	27
Tabel 2.12 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	29
Tabel 2.13 Nilai Parameter Periode Pendekatan (C_i dan α)	30
Tabel 2.14 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_{izin})	32
Tabel 2.15 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ).....	37
Tabel 2.16 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial	37
Tabel 2.17 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) Untuk Seksi Akhir dari Prategang	38
Tabel 4.1 Dimensi Kolom.....	58
Tabel 4.2 Dimensi Balok.....	58
Tabel 4.3 Rekap Beban Gravitasi	64
Tabel 4.4 Periode Ragam Getar Frekuensi pada saat kondisi <i>Crack</i>	66
Tabel 4.5 Periode Ragam Getar Frekuensi pada saat kondisi <i>Crack</i>	67
Tabel 4.6 Rasio Model Partisipasi Massa dala Kondisi <i>Un-crack</i>	67
Tabel 4.7 Rangkuman Beban Mati dan Beban Hidup berdasarkan Pasal 7.7.2SNI 1726-2019	68
Tabel 4.8 Base Shear sebelum terkoreksi	68

Tabel 4.9 Base Shear setelah terkoreksi	69
Tabel 4.10 Data simpangan lantai akibat beban lateral	69
Tabel 4.11 Story Drift Arah Sumbu X	70
Tabel 4.12 Story Drift Arah Sumbu Y	71
Tabel 4.13 Rangkuman Berat Struktur per Lantai	72
Tabel 4.14 Distribusi Gaya Gempa per Lantai Arah Sumbu X	72
Tabel 4.15 Distribusi Gaya Gempa per Lantai Arah Sumbu Y	73
Tabel 4.16 Pemeriksaan P Delta Arah Sumbu X	74
Tabel 4.17 Pemeriksaan P Delta Arah Sumbu Y	75
Tabel 4.18 Iregularitas Vertikal Tipe 1a Arah X	76
Tabel 4.19 Iregularitas Vertikal Tipe 1a Arah Y	77
Tabel 4.20 Iregularitas Vertikal Tipe 1b (<i>Extreme Soft Story</i>) Arah X	78
Tabel 4.21 Iregularitas Vertikal Tipe 1b (<i>Extreme Soft Story</i>) Arah Y	79
Tabel 4.22 Iregularitas Vertikal Tipe 2	80
Tabel 4.23 Pemeriksaan <i>Story Drift Ratio (Exception 1)</i> Arah X	80
Tabel 4.24 Pemeriksaan <i>Story Drift Ratio (Exception 1)</i> Arah Y	81
Tabel 4.25 Faktor Pembesaran Torsi Tak Terduga	81
Tabel 4.26 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 1	99
Tabel 4.27 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 1	100
Tabel 4.28 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 2	102
Tabel 4.29 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 2	103
Tabel 4.30 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 3	106
Tabel 4.31 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 3	107
Tabel 4.32 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 4	109
Tabel 4.33 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 4	110
Tabel 4.34 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 5	113
Tabel 4.35 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 5	114
Tabel 4.36 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 6	118
Tabel 4.37 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 6	117
Tabel 4.38 Diagram Interaksi Kolom Arah-x Kolom 7	120
Tabel 4.39 Diagram Interaksi Kolom Arah-y Kolom 7	121

Tabel 4.40 Analisa Komponen Struktur Plat Lantai	147
Tabel 4.41 Analisa Komponen Struktur Lentur (Balok) 50x80.....	147
Tabel 4.42 Analisa Komponen Struktur Lentur (Balok) 25x40.....	148
Tabel 4.43 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K1 (80x80)	148
Tabel 4.44 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K2 (75x75)	149
Tabel 4.45 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K3 (70x70)	149
Tabel 4.46 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K4 (75x75)	150
Tabel 4.47 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K5 (70x70)	150
Tabel 4.48 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K6 (65x65)	151
Tabel 4.49 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K7 (75x75)	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ss gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertarget (MCER).....	18
Gambar 2.2 S1 gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertarget (MCER).....	18
Gambar 2.3 PGA gempa maksimum yang di pertimbangkan rata – rata geometrik Resiko tertarget (MCEG)	19
Gambar 2.4 CRS Koefisien risiko terpetakan ,periode respons spektral 0,2 detik	19
Gambar 2.5 CRS Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik ...	20
Gambar 2.6 Spektrum Respons Desain	23
Gambar 2.7 Faktor Pembesaran Torsi (A_x).....	31
Gambar 2.8 Penentuan simpangan antar Tingkat	32
Gambar 2.9 Gaya Geser Rencana SRPMM	41
Gambar 2.10 Senggang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimal Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal	44
Gambar 2.11 Gaya Geser Rencana SRPMK	45
Gambar 2.12 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom	48
Gambar 2.13 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom dengan Nilai Pu	48
Gambar 2.14 Perencanaan Geser Desain untuk Kolom	49
Gambar 2.15 Luas Efektif Hubungan Balok dan Kolom	51
Gambar 3.1 Flowchart Kerangka Berpikir Penelitian.....	54
Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Komponen Struktur	55
Gambar 4.1 Perspektif Struktur Bangunan Rencana	56
Gambar 4.2 Denah Struktur Bangunan Rencana	56
Gambar 4.3 Lokasi Pembangunan	57
Gambar 4.4 Denah Area Pembebanan Lantai 2	58
Gambar 4.5 Denah Area Pembebanan Lantai 3,5,7 dan 9.	59
Gambar 4.6 Denah Area Pembebanan Lantai 4	59

Gambar 4.7 Denah Area Pembebanan Lantai 6.	60
Gambar 4.8 Denah Area Pembebanan Lantai 8.	60
Gambar 4.9 Denah Area Pembebanan Lantai 10.	60
Gambar 4.10 Denah Area Pembebanan Dag Atap	61
Gambar 4.11 Kurva Respon Spektrum Gempa Rencana.	65
Gambar 4.12 Ketidakberaturan horizontal	82
Gambar 4.13 Diagram Momen Pelat Lantai Arah X	83
Gambar 4.14 Diagram Momen Pelat Lantai Arah Y	84
Gambar 4.15 Diagram Momen Balok dan Kolom	84
Gambar 4.16 Diagram Aksial Balok dan Kolom	85
Gambar 4.17 Dimensi Balok B1	92
Gambar 4.18 Dimensi Balok B2	96
Gambar 4.19 Detail Kolom K1	97
Gambar 4.20 Diagram Interaksi Kolom Arah X	99
Gambar 4.21 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	100
Gambar 4.22 Detail Kolom K2	101
Gambar 4.23 Diagram Interaksi Kolom Arah X	103
Gambar 4.24 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	104
Gambar 4.25 Detail Kolom K3	104
Gambar 4.26 Diagram Interaksi Kolom Arah X	106
Gambar 4.27 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	107
Gambar 4.28 Detail Kolom K4	108
Gambar 4.29 Diagram Interaksi Kolom Arah X	110
Gambar 4.30 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	111
Gambar 4.31 Detail Kolom K5	111
Gambar 4.32 Diagram Interaksi Kolom Arah X	113
Gambar 4.33 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	114
Gambar 4.34 Detail Kolom K6	115
Gambar 4.35 Diagram Interaksi Kolom Arah X	117
Gambar 4.36 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	118
Gambar 4.37 Detail Kolom K7	118

Gambar 4.38 Diagram Interaksi Kolom Arah X	120
Gambar 4.39 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	121
Gambar 4.40 <i>Grafik Displacement (mm)</i>	144
Gambar 4.41 Grafik <i>vertical irregularity type 1a</i> arah sumbu X dan sumbu Y ..	145
Gambar 4.42 Grafik <i>vertical irregularity type 1b</i> arah sumbu X dan sumbu Y ..	146

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendidikan menjadi fondasi utama pada pembangunan sumber daya manusia yang berkualitas. Pembangunan zaman yang semakin pesat menuntut adanya peningkatan kualitas pendidikan, baik dari sisi kurikulum, tenaga pelajar, maupun fasilitas. Proses penyebaran pengetahuan, keterampilan, dan nilai-nilai dari satu generasi ke generasi berikutnya, baik melalui cara resmi maupun tidak resmi. Secara umum, pendidikan bertujuan untuk mengembangkan kemampuan setiap individu, membentuk kepribadian mereka, serta membekali mereka agar dapat berperan dalam kehidupan masyarakat.

Di kawasan perkotaan yang padat dan memiliki keterbatasan lahan, pembangunan gedung sekolah bertingkat menjadi solusi efektif. Gedung sekolah berbasis internasional 10 lantai tidak hanya berfungsi sebagai ruang kelas, tetapi juga memuat berbagai fasilitas penunjang seperti laboratorium, perpustakaan, auditorium, dan area olahraga indoor. Kompleksitas fungsi ini menuntut perencanaan struktur yang efisien, aman terhadap beban gempa, dan sesuai dengan standar bangunan nasional seperti SNI (Standar Nasional Indonesia).

Salah satu perangkat lunak yang sering digunakan pada analisis struktur bangunan bertingkat adalah ETABS (*Extended Three-Dimension Analysis of Building Systems*), yang memungkinkan simulasi dan perhitungan elemen secara efisien dan terintegrasi. Dengan bantuan ETABS, perhitungan elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, dan dinding geser dapat dilakukan secara akurat, sekaligus memungkinkan simulasi terhadap beban gempa dan gravitasi berdasarkan berbagai kode desain internasional.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur gedung sekolah internasional 10 lantai menggunakan program ETABS, mengacu pada standar nasional (SNI) guna menghasilkan desain struktur yang optimal dari segi kekuatan, efisiensi material, dan ketahanan terhadap gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didasari latar belakang sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur bangunan sekolah 10 lantai.
2. Desain struktur beton bertulang seperti balok, kolom dan pelat lantai yang sesuai berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ditujukan sebagai penunjang penelitian agar pembahasan lebih terarah, maka diperlukan batasan sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur bangunan menggunakan program ETABS 2019.
2. Analisis struktur terhadap beban gempa menggunakan SNI 1726:2019 yang berisi tata cara perencanaan ketahanan gempa pada bangunan dan SNI 2847:2019 sebagai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
3. Lokasi yang akan digunakan sebagai tempat berdirinya bangunan sekolah 10 lantai dalam penelitian ini ialah sebidang tanah kosong yang berada di Jalan RW. Mongosidi, Kelurahan 3 Ilir, Kecamatan Ilir Timur II, Kota Palembang, Sumatera Selatan, 30118.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Membuat desain dan merancang pemodelan struktur bangunan 10 lantai yang memenuhi syarat-syarat dari SNI 1726:2019.
2. Mendesain struktur beton bertulang seperti balok, kolom dan pelat lantai yang memenuhi syarat-syarat dari SNI 2847:2019.

1.5 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, penulisan laporan penelitian ini terdiri dari lima bab, yang dapat dideskripsikan sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Mengemukakan gambaran umum dan khusus sehubungan dengan judul yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori-teori dasar yang relevan dengan perencanaan struktur gedung bertingkat, seperti pengertian beton bertulang, beban kerja pada struktur, konsep struktur bangunan bertingkat, teori perencanaan beton bertulang, serta penjelasan mengenai standar desain nasional (SNI). Bab ini juga mencakup ulasan tentang program ETABS.

BAB III : Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan dan analisis struktur, mulai dari pengumpulan data, pemodelan struktur menggunakan program ETABS, hingga proses analisis dan verifikasi hasil. Bab ini juga menjelaskan pendekatan desain yang digunakan, serta kode dan standar yang dijadikan acuan.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab ini memuat hasil perencanaan dan analisis struktur bangunan, termasuk data – data output dari ETABS.

BAB V : Penutup

Menyimpulkan hasil berdasarkan Analisa dan pembahasan yang menjawab permasalahan dan tujuan.

Lampiran-lampiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Perancangan struktur merupakan proses merancang dan merencanakan elemen struktural yang akan membentuk dasar kestabilan dan keamanan bangunan. Alasan pentingnya perancangan struktur ialah sebagai berikut :

1. Menjaga kestabilan bangunan, perancangan struktur yang baik akan memastikan bahwa bangunan tersebut mampu menahan beban yang diberikan kepadanya. Oleh sebab itu, perancangan struktur yang memadai sangat penting untuk menjaga kestabilan dan menghindari risiko runtuhnya bangunan.
2. Menjamin keamanan bangunan, perancangan struktur yang baik juga akan mempertimbangkan faktor keamanan. Perancangan struktur harus memperhatikan bahwa bangunan tersebut mampu menahan guncangan, beban angin, dan faktor lain yang dapat mempengaruhi integritas struktural.
3. Mengoptimalkan ruang, perancangan struktur yang efektif dapat membantu mengoptimalkan penggunaan ruang. Dengan mempertimbangkan gaya dan beban yang bekerja pada bangunan, perancang dapat menyusun rencana yang efisien untuk memaksimalkan penggunaan ruang yang tersedia.
4. Meningkatkan efisiensi konstruksi, perancangan struktur yang baik juga dapat mempercepat proses konstruksi. Rencana yang jelas dan terperinci akan membantu para kontraktor dalam melaksanakan pekerjaan dengan efisien, menghemat waktu dan mengurangi resiko kesalahan.

2.2 Landasan Dalam Perencanaan

Perencanaan struktur harus berpedoman pada syarat-syarat dan ketentuan yang berlaku, seperti pada perencanaan kali ini yang berlokasi di Indonesia maka harus berpedoman pada Standar Nasional Indonesia. Adapun Standar Nasional Indonesia yang digunakan pada perencanaan struktur ini ialah SNI 1726:2019 yang berisi tata cara perencanaan ketahanan gempa pada bangunan dan SNI 2847:2019 sebagai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.

2.2.1 Lingkup SNI 1726:2019

SNI 1726:2019 yang berjudul “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung” yang mengatur ketentuan wajib dalam merancang struktur agar tahan terhadap gempa bumi di seluruh wilayah di Indonesia. Standar ini memberikan pedoman mengenai:

1. Spektrum Respons Gempa

SNI 1726:2019 mengacu pada spektrum respons desain yang bergantung pada parameter percepatan spektral berdasarkan zona gempa di Indonesia. – Faktor percepatan gempa mencakup S_s (percepatan spektral periode pendek) dan S_1 (percepatan spektral untuk periode 1 detik), yang diperoleh dari peta gempa nasional.

2. Kategori Resiko dan Klasifikasi Struktur

Struktur dikategorikan berdasarkan tingkat risiko (risk category), yang mempengaruhi persyaratan perencanaan gempa. Struktur dengan kepentingan tinggi (misalnya rumah sakit, jembatan vital) harus dirancang dengan ketahanan gempa yang lebih besar.

3. Sistem Struktur dan Faktor Reduksi Gempa (R)

Sistem struktur bangunan harus memenuhi persyaratan ductility dan kapasitas disipasi energi. Nilai faktor reduksi gempa (R) berbeda untuk setiap sistem struktur, seperti Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), Sistem Dinding Struktural, dan Sistem Ganda.

4. Metode Analisis Gempa

Analisis Statik Ekuivalen digunakan untuk bangunan rendah hingga menengah dengan ketinggian terbatas, sedangkan Analisis Dinamik (Response Spectrum dan Time History) diperlukan untuk bangunan tinggi atau yang terletak di daerah dengan risiko seismik tinggi.

5. Reduksi Beban Gempa Berdasarkan Faktor Modifikasi Respon (R)

Faktor R digunakan untuk mempertimbangkan perilaku non-linear struktur saat terjadi gempa. Bangunan dengan sistem rangka pemikul momen memiliki nilai

R yang lebih tinggi dibandingkan sistem lainnya karena memiliki kemampuan deformasi yang lebih besar.

6. Persyaratan Kinerja Bangunan terhadap Gempa

Bangunan harus dirancang untuk menghindari kegagalan struktur total dan tetap berdiri meskipun mengalami kerusakan parsial. – Tiga tingkat kinerja struktur yang dipertimbangkan operasional (IO), perlindungan jiwa (LS), dan pencegahan runtuh (CP). Standar ini mengacu pada data terbaru mengenai potensi gempa di Indonesia, sehingga setiap perencanaan bangunan harus mempertimbangkan faktor-faktor di atas agar memenuhi persyaratan keselamatan struktural.

2.2.2 Lingkup SNI 2847:2019

SNI 2847:2019 yang berjudul “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung” merupakan standar teknis utama untuk desain dan konstruksi struktur beton bertulang di Indonesia. Secara umum, SNI 2847:2019 mencakup berbagai hal yang memandu desain serta pelaksanaan struktur beton bertulang dan beton prategang yang digunakan pada bangunan gedung serta struktur terkait lainnya. Standar ini memberikan pedoman mengenai:

1. Jenis dan kualitas bahan yang digunakan dalam campuran beton, seperti semen, agregat, dan air.
2. Cara pencampuran dan pengadukan beton secara standar agar menghasilkan beton yang konsisten dan berkualitas.
3. Persyaratan mengenai kekuatan beton yang harus dicapai pada usia tertentu serta jenis pengujian yang dilakukan untuk memastikan beton memenuhi standar kekuatan yang ditetapkan.
4. Langkah-langkah pengujian untuk mengevaluasi sifat fisik dan mekanik beton, seperti uji kuat tekan, uji slump, dan pengujian lainnya.
5. Cara perancangan struktur beton bertulang, seperti balok, kolom, pelat, dan dinding geser, sesuai dengan aturan perhitungan yang berlaku.
6. Menjamin dukungan terhadap kekuatan, kemampuan untuk berubah bentuk, serta kemampuan tahan terhadap beban yang timbul akibat gempa.

2.3 Program Analisa Struktur

ETABS (*Extended Three-Dimension Analysis of Building Systems*) merupakan perangkat lunak rekayasa yang dirancang untuk analisis dan desain struktur bangunan, terutama bangunan bertingkat. ETABS membantu dalam pemodelan, analisis, dan desain struktur bangunan dengan cepat dan akurat, termasuk perhitungan gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk perencanaan struktur. Aplikasi ini memiliki fungsi utama yang biasa digunakan untuk menganalisis respons struktur terhadap berbagai jenis beban, seperti beban gravitasi, beban lateral (angin dan gempa) dan beban lainnya.

2.4 Pembebanan

Dalam perencanaan struktur, *pembebanan* adalah proses menentukan gaya-gaya atau beban yang harus dipikul oleh suatu struktur selama umur layanannya. Beban ini berasal dari berat sendiri, aktivitas manusia, alam, atau kondisi lingkungan.

2.4.1 Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bersifat tetap sepanjang masa selama bangunan masih tetap ada, bekerja secara terus-menerus pada struktur. Beban statis pada umumnya dapat dibagi menjadi beban mati, beban hidup dan beban khusus. Beban Khusus adalah beban yang terjadi akibat penurunan pondasi atau efek temperatur. Beban statis juga diasosiasikan dengan beban-beban yang secara perlahan-lahan timbul serta mempunyai variabel besaran yang bersifat tetap (*steady states*).

A. Beban Mati

Beban mati (*dead load*) adalah berat sendiri dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap. Beban mati pada struktur bangunan ditentukan oleh berat jenis bahan bangunan. Berat ini terdiri atas berat struktur dan beban lain yang ada pada struktur secara permanen. Beban mati terdiri atas berat rangka, dinding, lantai, atap, plumbing (Hilmi, 2014). Beban gravitasi dalam evaluasi bangunan ini meliputi beban mati berat sendiri (Dead Load/DL), beban mati tambahan (Superimposed Dead Load/SDL). Beban akibat berat sendiri struktur (Dead Load)

adalah berat seluruh komponen elemen struktural bangunan yang terdiri atas pelat lantai, balok, kolom, dinding geser.

Berdasarkan SNI 1727-2020 pada Tabel C3.1.1 mengenai beban mati desain minimum terdapat komponen dari beban mati beserta nilai bebannya.

Tabel 2.1 Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen	Beban (kN/m²)
<i>CEILINGS</i>	
<i>Acoustical fiberboard</i>	0,05
<i>Gypsum board (per mm thickness)</i>	0,008
<i>Mechanical duct allowance</i>	0,19
<i>Plaster on tile or concrete</i>	0,24
<i>Plaster on wood lath</i>	0,38
<i>Suspended steel channel system</i>	0,10
<i>Suspended metal lath and cement plaster</i>	0,72
<i>Suspended metal lath and gypsum plaster</i>	0,48
<i>Wood furring suspension system</i>	0,12
<i>COVERING, ROOF AND WALL</i>	
<i>Asbestos-cement shingles</i>	0,19
<i>Asphalt shingles</i>	0,10
<i>Cement tile</i>	0,77
<i>Clay tile (for mortar add 0,48 kN/m²)</i>	
<i>Book tile, 51 mm</i>	0,57
<i>Book tile, 76 mm</i>	0,96
<i>Ludowici</i>	0,48
<i>Roman</i>	0,57
<i>Spanish</i>	0,91
<i>Composition</i>	
<i>Three-ply ready roofing</i>	0,05
<i>Four-ply felt and gravel</i>	0,26

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen	Beban (kN/m²)
<i>Five-ply felt and gravel</i>	0,29
<i>Copper or tin</i>	0,05
<i>Corrugated asbestos-cement roofing</i>	0,19
<i>Deck, metal, 20 gauge</i>	0,12
<i>Deck, metal, 18 gauge</i>	0,14
<i>Decking, 51-mm wood (Douglas fir)</i>	0,24
<i>Decking, 76-mm wood (Douglas fir)</i>	0,48
<i>Fiberboard, 13 mm</i>	0,04
<i>Gypsum sheathing, 13 mm</i>	0,10
<i>Insulation, roof board (per mm thickness)</i>	
<i>Cellular glass</i>	0,0013
<i>Fibrous glass</i>	0,0021
<i>Fiberboard</i>	0,0028
<i>Perlite</i>	0,0015
<i>Polystyrene foam</i>	0,0004
<i>Urethane foam with skin</i>	0,0009
<i>Plywood (per mm thickness)</i>	0,006
<i>Rigid insulation, 13 mm</i>	0,04
<i>Skylight, metal frame, 10-mm wire glass</i>	0,38
<i>Slate, 5 mm</i>	0,34
<i>Slate, 6 mm</i>	0,48
<i>Waterproofing membranes :</i>	
<i>Bituminous, gravel-covered</i>	0,26
<i>Bituminous, smooth surface</i>	0,07
<i>Liquid applied</i>	0,05
<i>Single-ply, sheet</i>	0,03
<i>Wood sheathing (per mm thickness)</i>	
<i>Plywood</i>	0,0057
<i>Oriented strand board</i>	0,0062
<i>Wood shingles</i>	0,14

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen					Beban (kN/m²)
FLOOR FILL					
<i>Cinder concrete, per mm</i>					0,0017
<i>Lightweight concrete, per mm</i>					0,0015
<i>Sand, per mm</i>					0,0015
<i>Stone concrete, per mm</i>					0,023
FLOORS AND FLOOR FINISHES					
<i>Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar</i>					1,44
<i>Cement Finish (25 mm) on stone-concrete fill</i>					1,53
<i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed</i>					0,77
<i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed</i>					1,10
<i>Concrete fill finish (per mm thickness)</i>					0,0023
<i>Hardwood flooring, 22 mm</i>					0,19
<i>Linoleum or asphalt tile, 6 mm</i>					0,05
<i>Marble and mortar on stone-concrete fill</i>					1,58
<i>Slate (per mm thickness)</i>					0,0028
<i>Solid flat tile on 25-mm mortar base</i>					1,10
<i>Subflooring, 19 mm</i>					0,14
<i>Terrazzo (38 mm) directly on slab</i>					0,91
<i>Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill</i>					1,53
<i>Terrazzo (25 mm) 51-mm stone concrete</i>					1,53
<i>Wood block (76 mm) on mastic, no fill</i>					0,48
<i>Wood block (76 mm) on 13-mm nirtar base</i>					0,77
FLOOR, WOOD JOIST (NO PLASTER)					
DOUBLE WOOD FLOOR					
<i>Joint size (mm)</i>	<i>305-mm spacing (kN/m²)</i>	<i>406-mm spacing (kN/m²)</i>	<i>610-mm spacing (kN/m²)</i>		
51x152	0,29	0,24	0,24		
51x203	0,29	0,29	0,24		
51x254	0,34	0,29	0,29		

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen					Beban (kN/m ²)
FRAME PARTITIONS					
<i>Movable steel partitions</i>					0,19
<i>Wood or steel studs 13-mm gypsum board each side</i>					0,38
<i>Wood studs, 51x102, unplastered</i>					0,19
<i>Wood studs, 51x102, plastered one side</i>					0,57
<i>Wood studs, 51x102, plastered two sides</i>					0,96
FRAME WALLS					
<i>Exterior stud walls:</i>					
<i>51 mm x 102 mm @406mm, 16mm gypsum, insulated, 10-mm siding</i>					0,53
<i>51 mm x 152 mm @406mm, 16mm gypsum, insulated, 10-mm siding</i>					0,57
<i>Exterior stud walls with brick veneer</i>					2,30
<i>Windows, glass, frame, and sash</i>					0,38
<i>Clay brick wythes:</i>					
<i>102 mm</i>					1,87
<i>203 mm</i>					3,78
<i>305 mm</i>					5,51
<i>406 mm</i>					7,42
<i>Hollow concrete masonry wythes:</i>					
<i>Whyte thickness (in mm)</i>	<i>102 mm</i>	<i>152</i>	<i>203</i>	<i>254</i>	<i>305</i>
<i>Density of unit (16,49 kN/m³) with grout spacing as follows :</i>					
<i>No grout</i>	<i>1,05</i>	<i>1,29</i>	<i>1,68</i>	<i>2,01</i>	<i>2,35</i>
<i>1,219 mm</i>		<i>1,48</i>	<i>1,92</i>	<i>2,35</i>	<i>2,78</i>
<i>1,016 mm</i>		<i>1,58</i>	<i>2,06</i>	<i>2,54</i>	<i>3,02</i>
<i>813 mm</i>		<i>1,63</i>	<i>2,15</i>	<i>2,68</i>	<i>3,16</i>
<i>610 mm</i>		<i>1,77</i>	<i>2,35</i>	<i>2,92</i>	<i>3,45</i>
<i>406 mm</i>		<i>2,01</i>	<i>2,68</i>	<i>3,35</i>	<i>4,02</i>
<i>Full grout</i>		<i>2,73</i>	<i>3,69</i>	<i>4,69</i>	<i>5,70</i>
<i>Density of unit (16,64 kN/m³) with grout spacing as follows :</i>					

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen					Beban (kN/m²)
<i>No grout</i>	<i>1,25</i>	<i>1,34</i>	<i>1,72</i>	<i>2,11</i>	<i>2,39</i>
<i>1,219 mm</i>		<i>1,58</i>	<i>2,11</i>	<i>2,59</i>	<i>2,97</i>
<i>1,016 mm</i>		<i>1,63</i>	<i>2,15</i>	<i>2,68</i>	<i>3,11</i>
<i>813 mm</i>		<i>1,77</i>	<i>2,25</i>	<i>2,78</i>	<i>3,26</i>
<i>610 mm</i>		<i>1,87</i>	<i>2,44</i>	<i>3,02</i>	<i>3,59</i>
<i>406 mm</i>		<i>2,11</i>	<i>2,78</i>	<i>3,50</i>	<i>4,17</i>
<i>Full grout</i>		<i>2,82</i>	<i>3,88</i>	<i>4,88</i>	<i>5,89</i>
<i>Density of unit (21,21 kN/m³) with grout spacing as follows :</i>					
<i>No grout</i>	<i>1,39</i>	<i>1,68</i>	<i>2,15</i>	<i>2,59</i>	<i>3,02</i>
<i>1,219 mm</i>		<i>1,70</i>	<i>2,39</i>	<i>2,92</i>	<i>3,45</i>
<i>1,016 mm</i>		<i>1,72</i>	<i>2,54</i>	<i>3,11</i>	<i>3,69</i>
<i>813 mm</i>		<i>1,82</i>	<i>2,63</i>	<i>3,26</i>	<i>3,83</i>
<i>610 mm</i>		<i>1,96</i>	<i>2,82</i>	<i>3,50</i>	<i>4,12</i>
<i>406 mm</i>		<i>2,25</i>	<i>3,16</i>	<i>3,93</i>	<i>4,69</i>
<i>Full grout</i>		<i>3,06</i>	<i>4,17</i>	<i>5,27</i>	<i>6,37</i>
<i>Solid concrete masonry unit :</i>					
<i>Whyte thickness (in mm)</i>	<i>102</i>	<i>152</i>	<i>203</i>	<i>254</i>	<i>305</i>
<i>Density of unit (16,49 kN/m³)</i>	<i>1,53</i>	<i>1,35</i>	<i>3,21</i>	<i>4,02</i>	<i>4,88</i>
<i>Density of unit (16,64 kN/m³)</i>	<i>1,82</i>	<i>2,82</i>	<i>3,78</i>	<i>4,79</i>	<i>5,79</i>
<i>Density of unit (21,21 kN/m³)</i>	<i>1,96</i>	<i>3,02</i>	<i>4,12</i>	<i>5,17</i>	<i>6,27</i>

Sumber : SNI 1727-2020, Tabel C3 1-1.

B. Beban Hidup

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat fungsi pemakaian gedung seperti benda-benda pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak dapat diganti (Hilmi, 2014). Beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup.

Untuk Reduksi beban dapat dilakukan dengan mengalikan beban hidup dengan suatu koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada penggunaan bangunan. Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perencanaan portal, ditentukan sebagai berikut : Beban Hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung yang berasal dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai.

Tabel 2.2 Beban Hidup Merata dan Terpusat

Hunian atau penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	2,4	8,9
Ruang Komputer	4,79	8,9
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	2,87	
Lobi	4,79	
Hunian atau penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)
Kursi dapat dipindahkan	4,79	
Panggung pertemuan	4,79	
Lantai podium	7,18	
	4,79	

Tabel 2.2 (Lanjutan) - Beban hidup Merata dan Terpusat

Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	2,87	
Ruang pertemuan lainnya	4,79	
Jalur untuk akses pemeliharaan	1,92	1,33
Koridor		
Lantai pertama	4,79	
Tabel ruang makan dan restoran	4,79	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Dudukan mesin elevator		
Pada area (50 x 50) mm		1,33
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan		
Pada aera (25x25)mm		0,89
Jalur penyelamatan saat kebakaran	4,79	
Hunian satu keluarga saja	1,92	
Garasi		
Mobil penumpang saja	1,92	
Helipad		
Helicopter dengan berat lepas landas sebesar 13,35 kN atau kurang	1,92	
Helicopter dengan berat lepas landas lebih dari 13,35 kN	2,87	
Rumah sakit		
Ruang operasi, laboratorium	2,87	4,45
Ruang Pasien	1,92	4,45
Koridor diatas lantai pertama	3,83	4,45
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	2,87	4,45
Ruang penyimpanan	7,18	4,45
Koridor di atas lantai pertama	3,83	4,45

Tabel 2.2 (Lanjutan) - Beban hidup Merata dan Terpusat

Pabrik		
Ringan	6,00	8,90
Berat	11,97	13,35
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan computer harus di rancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	4,79	
Kantor	2,40	
Koridor di atas lantai pertama	3,83	
Lembaga hukum		
Blok sel	1,92	
Koridor	4,79	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	3,59	
ruang dansa dan <i>ballroom</i>	4,79	
Gymnasium	4,79	
Rumah Tinggal		
Semua ruangan kecuali tangga	0,96	
Ruang pribadi dan koridornya	1,92	
Atap		
Hunian atau penggunaan	Merata (kN/m²)	Terpusat (kN)
Atap datar, berbubung, dan lengkung	0,96	
<i>Awning</i> atau kanopi	0,24	
Sekolah		
Ruang kelas	1,92	4,45
Koridor diatas lantai pertama	3,83	4,45
Koridor lantai pertama	4,79	4,45

Sumber : SNI 1727-2020, Pasal 4.3.1 Tabel 4.3.1

C. Beban Mati Tambahan atau *Super Imposed Dead Load* (SIDL)

Beban SIDL atau beban mati tambahan merupakan beban yang bersifat tetap dan permanen pada struktur. Namun, berasal dari komponen non-struktural. Contohnya seperti keramik, granit, penutup atap, instalasi mekanikal dan elektrikal, plesteran, partisi ringan, dll.

2.4.2 Beban Gempa

Beban gempa (*seismic load*) merepresentasikan gaya inersia yang timbul pada struktur sebagai respons dinamis terhadap eksitasi gerakan tanah (*ground motion*) selama kejadian gempa bumi. Secara fundamental, beban ini bersifat lateral dan siklik, yang dapat menginduksi respons struktur dalam mode getar dominan (*fundamental mode*), sehingga berpotensi menyebabkan mekanisme kerusakan progresif mulai dari retak lokal hingga kegagalan struktural global. Fenomena ini menjelaskan mengapa beban seismik menjadi salah satu penyebab utama kerusakan bangunan, terutama pada struktur yang tidak dirancang dengan prinsip ketahanan gempa (*seismic-resistant design*). Dalam konteks rekayasa struktur, pertimbangan beban gempa bersifat imperatif untuk menjamin tiga aspek performa utama: (1) kekuatan (*strength*) melalui kapasitas elemen struktur dalam menahan gaya geser dasar (*base shear*), (2) kekakuan (*stiffness*) untuk mengontrol simpangan antar lantai (*interstory drift*), dan (3) stabilitas (*stability*) sistem melalui mekanisme pelelehan terkendali (*controlled yielding*). Implementasi standar desain seismik seperti SNI 1726:2019 dan prinsip *capacity design* bertujuan untuk memastikan struktur memiliki redundansi (*redundancy*), dan daktilitas (*ductility*), sehingga mampu memitigasi risiko keruntuhan.

2.5 Konsep Struktur Bangunan Tahan Gempa

2.5.1 Klasifikasi Situs (Jenis Tanah)

Penentuan nilai percepatan maksimum dan respon spektra pada permukaan tanah dilokasi yang ditinjau perlu terlebih dahulu di klasifikasikan jenis tanah. Hal ini diperlukan karna klasifikasi tanah mempengaruhi amplikasi gelombang seismic. Klasifikasi site dilakukan untuk lapisan dengan tebal 30 m sesuai dengan yang tertuang di dalam Tabel 2.3

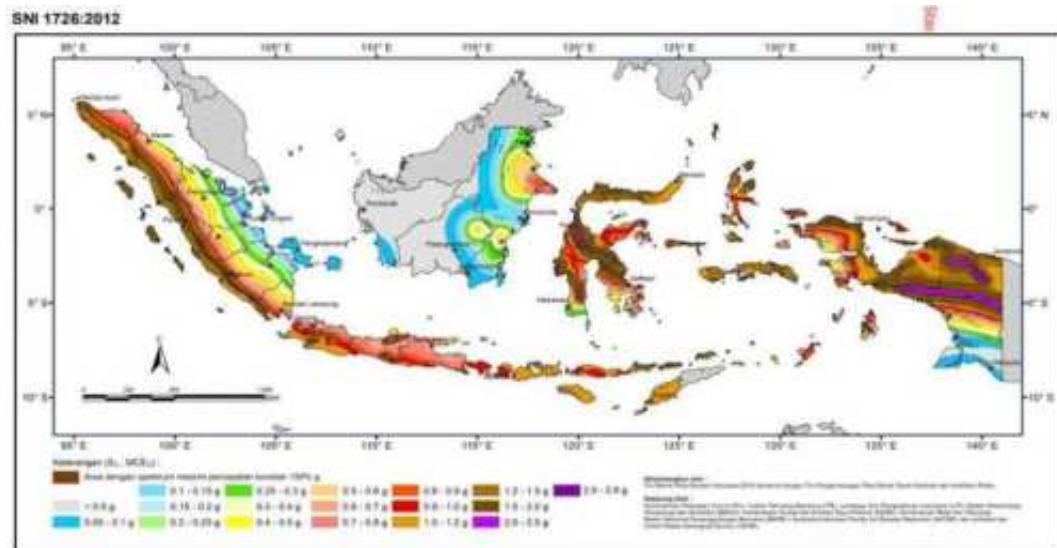
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

	Klasifikasi Situs	$\overline{V_s}$ (m/dt)	$\overline{N}$ atau $\overline{N_{ch}}$	$\overline{S_u}$ (kPa)
A	SA (Batuan Keras)	≥ 1.500	N/A	N/A
B	SB (Batuan)	350 sampai 750	N/A	N/A
C	SC (Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
D	SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
E	SE (Tanah Lunak)	< 175	< 15	< 50
		Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakterisrik sebagai berikut : 1. Indeks plasitisitas $PI > 20$. 2. Kadar air $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\overline{S_u} < 25$ kPa		
F	SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang menngikti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive,, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut dengan (ketebalan $H > 3m$)		
Keterangan : N/A = tidak dapat di pakai				

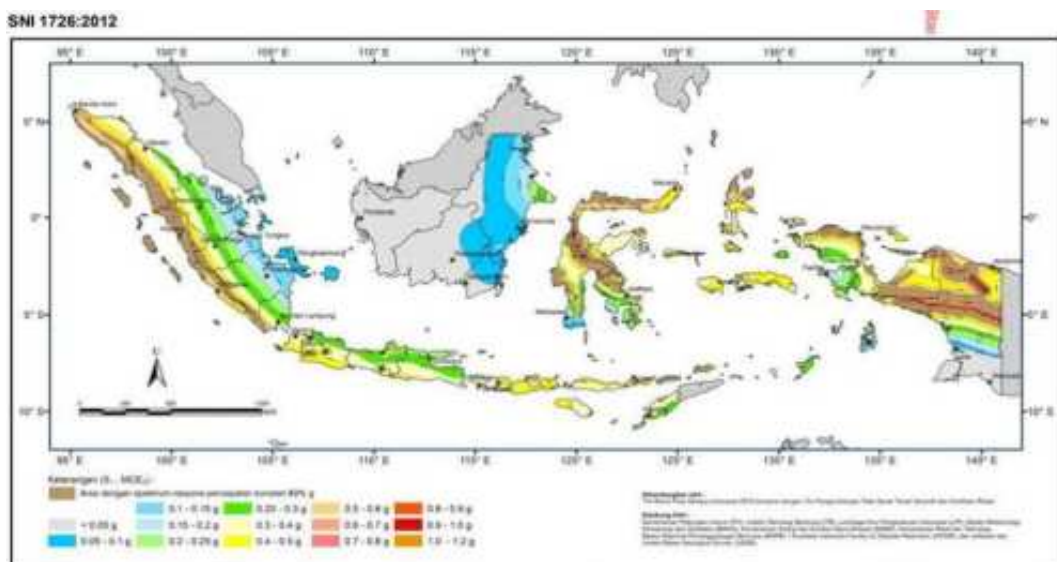
Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 5.3 Tabel 5

2.5.2 Percepatan Puncak (PGA) pada Permukaan Tanah

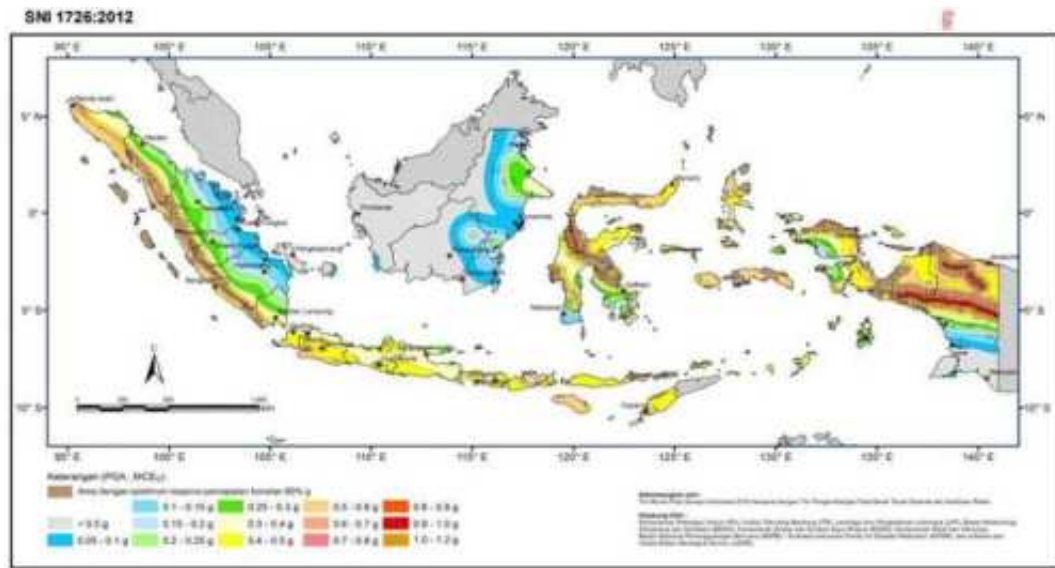
Besarnya Nilai Percepatan puncak pada permukaan tanah didapatkan dengan mengalikan faktor amplikasi untuk PGA (F_{PGA}) dengan Nilai PGA yang didapatkan dari gambar peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_B). Besarnya pada F_{PGA} didasarkan pada klasifikasi site pada tabel 2.1 dan nilainya ditentukan sesuai pada Tabel 2.4



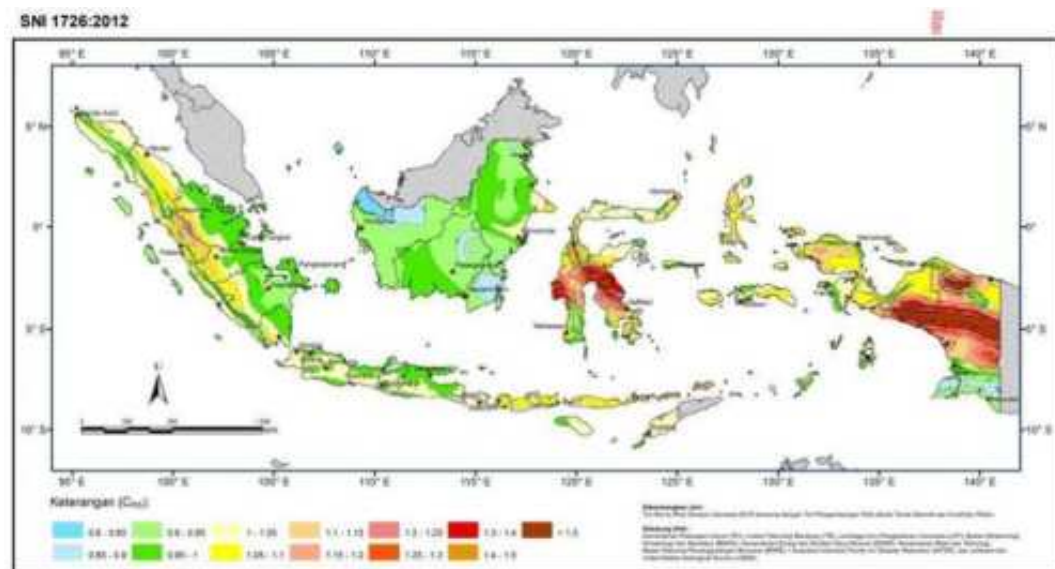
Gambar 2.1 Ss gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertarget (MCER).



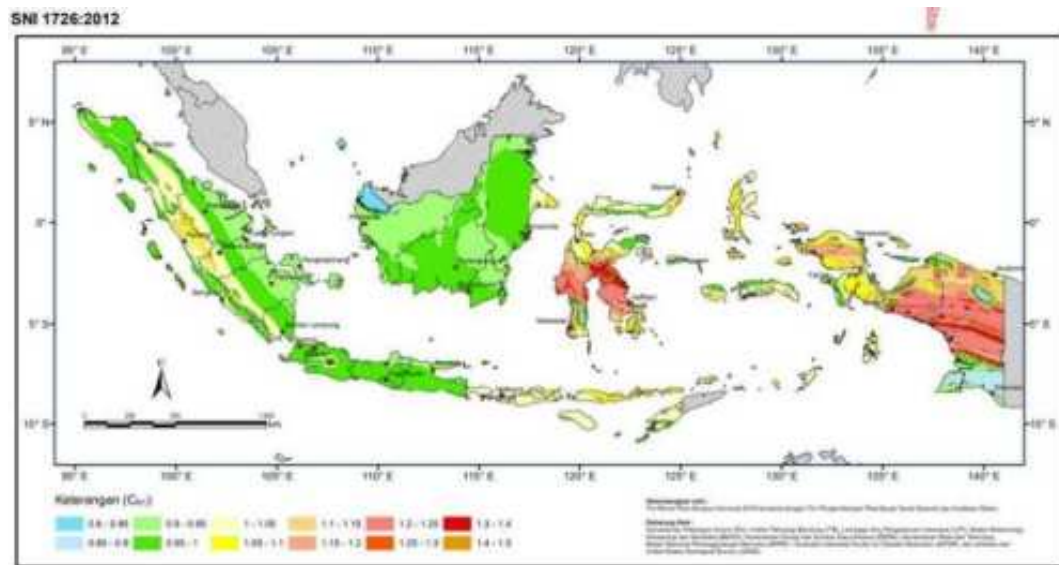
Gambar 2.2 S1 gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertarget (MCER).



Gambar 2.3 PGA gempa maksimum yang di pertimbangkan rata – rata geometrik Resiko tertarget (MCEG).



Gambar 2.4 CRS Koefisien risiko terpetakan ,perioda respons spektral 0,2 detik.



Gambar 2.5 CRS Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik.

2.5.3 Respon Spektral Percepatan S_{MS} dan S_{M1} pada Permukaan Tanah

Respon spektral (*spectral response*) yaitu nilai yang menggambarkan respon maksimum dari system struktur derajat kebebasan tunggal (*Single Degree Of Freedom/SDOF*) terhadap berbagai frekuensi alami atau periode alami yang diredam oleh getaran tanah. Penentuan respon spektral percepatan (*spectral acceleration*) dipermukaan tanah mempertimbangkan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi mencakup faktor amplifikasi mengenai percepatan pada getaran periode pendek (F_a), faktor amplifikasi mengenai percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respon spektral pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat dihitung dengan mengalikan Faktor amplifikasi F_a dan F_v dengan spectral percepatan untuk periode pendek (S_s) dan Periode 1,0 detik (S_1) pada batuan dasar sesuai seperti pada persamaan berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.2})$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (\text{Persamaan (2.3)})$$

Keterangan :

F_a = Koefisien periode pendek dapat dilihat pada Tabel 2.3

F_v = Koefisien periode 1,0 detik dapat dilihat pada Tabel 2.4

S_s = Nilai spektra percepatan untuk periode pendek 0,2 detik dibatuan dasar (S_B)

S_1 = Nilai spektra percepatan untuk periode 1,0 detik dibatuan dasar (S_B) berdasarkan pada Peta Gempa Indonesia 2010 lihat Gambar 2.6, 2.7, dan 2.8

Tabel 2.4 Koefisien Periode Pendek (F_a)

Kelas situs	Parameter respon spectral percepatan gempa pada periode pendek 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	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 6

Tabel 2.5 Koefisien Periode 1,0 detik (F_v)

Kelas situs	Parameter respon spectral percepatan gempa pada periode pendek 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	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 7

2.5.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Desain

Parameter respon percepatan gempa pada periode pendek (SDS), dan pada periode 1,0 detik (SD1), dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.4})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.5})$$

2.5.5 Penentuan Respon Spektral Desain

Apabila Respon spectral desain diperlukan oleh prosedur gerak tanah dari spesifik situs yang tidak digunakan, maka kurva spektrum respon desain harus meninjau dan mengikuti persyaratan dibawah ini.

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($T < T_0$), nilai respon spectral desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.6})$$

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$), nilai respon spectral desain sama dengan S_{DS} .

- Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil atau sama dengan T_L , Respon spectral percepatan desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.7})$$

- Untuk periode lebih besar dari T_s , nilai respon spectral desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.8})$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

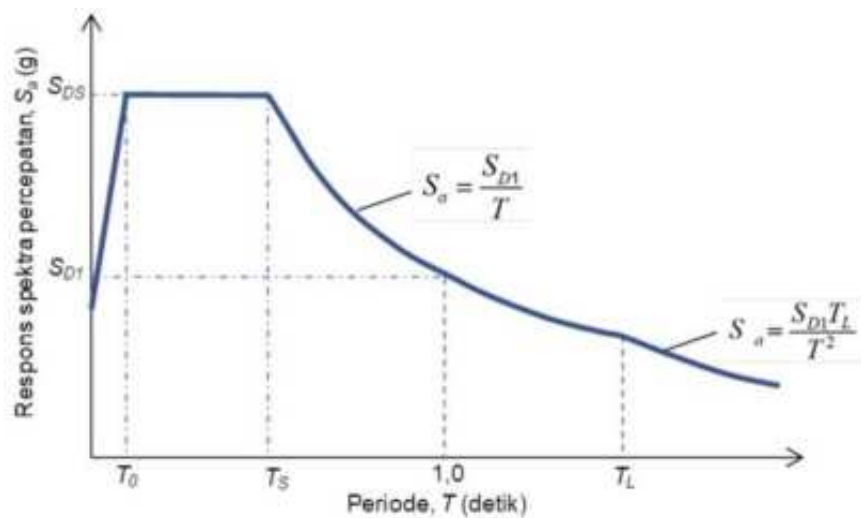
S_{D1} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1,0 detik

T = Periode getar fundamental struktur

T_L = Periode Panjang dapat dilihat pada Gambar 2.4

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.9})$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.10})$$



Gambar 2.6 Spektrum Respons Desain

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.4

2.5.6 Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko struktur bangunan terdiri dari kategori I, II, III, dan IV yang dapat di lihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non-gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : • Fasilitas pertanian, Perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I

Tabel 2.6 (Lanjutan) - Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori I,II,IV, tetapi tidak dibatasi untuk : • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/ deparment store • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik	II
Gedung dan non-gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, tetapi tidak dibatasi untuk : • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Panti jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar atau gangguan massal terhadap kehidupan Masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, tetaoi tidak dibatasi untuk : • Pusat pembangkit Listrik biasa	III

Tabel 2.6 (Lanjutan) - Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
• Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang teidak termasuk dalam kategori resiko IV, (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.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • 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	IV

Tabel 2.6 (Lanjutan) - Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber : SNI 2726-2019, Pasal 4.1.2 Tabel 3

Tabel 2.7 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber : SNI 2726-2019, Pasal 4.1.2 Tabel 4

2.5.7 Kategori Desain Gempa (KDG)

Kategori desain gempa (KDG) ditentukan berdasarkan Tabel 2.9 dan Tabel 2.10. Nilai yang paling berat diantara keduanya menentukan Kategori desain gempa

Tabel 2.8 Kategori Dasin Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	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, Pasal 6.5 Tabel 8

Tabel 2.9 Kategori Desain Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode 1 detik (S_{D1})

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

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.5 Tabel 8

2.5.8 Resiko Kegempaan

Berdasarkan SNI 1726-201X tingkat resiko gempa ditentukan oleh KGD seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.10 Tingkat Resiko Kegempaan

Kode	Tingkat Resiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
RSNI 1726-201X	KDG	KDG	KDG
	A,B	C	D,E,F

Sumber : Konsep SNI Gempa 1726-201X

Berdasarkan Tingkat resiko kegempaan pada Tabel 2.8, sistem struktur rangka pemikul momen yang berkaitan dengan parameter sistem struktur (R , Ω_0 , dan C_d) dapat ditentukan dari Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respon (R) ^a	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) ^b	Faktor pembesaran defleksi (C_d) ^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) ^d				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Tabel 2.11 (Lanjutan) - Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respon (R) ^a	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) ^b	Faktor pembesaran defleksi (C_d) ^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) ^d				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber : 1726-2019, Pasal 7.2.2 Tabel 12

Keterangan

TB = Tidak ada Batasan

TI = Tidak di izinkan

a = koefisien modifikasi respon (R) untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin

b = Jika nilai pada tabel faktor kuat lebih (Ω_0), lebih besar atau sama dengan 2,5, maka Ω_0 di izinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

c = Faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), untuk penggunaan dalam 0,0, dan 0

e = untuk penjelasan sistem pemikul gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.

m = untuk sistem pemikul gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

2.5.9 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismic (V), dalam arah yang ditentukan harus diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.11)}$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{I_e} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.12)}$$

Nilai C_s mengikuti ketentuan sebagai berikut

- Untuk $T \leq T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.13)}$$

- Untuk $T > T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.14)}$$

- Untuk $S_1 \geq 0,6 g$

$$C_S = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.15)}$$

- Nilai minimum C_s

$$C_S = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.16)}$$

Keterangan :

- C_S = Koefisien respon seismic
 W = Berat seismic efektif
 S_{D1} = Parameter percepatan respon spectral
 I_e = Faktor keutamaan gempa
 T = Periode fundamental respon spectral

2.5.10 Periode Fundamental Alami

Berdasarkan SNI 1726-2019 periode fundamental struktur (T) harus dihitung menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul. T tidak boleh melewati hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada priode yang dihitung (C_U) dari Tabel 2.13 dan periode fundamental pendekatan T_a yang ditentukan sesuai 0.

Tabel 2.12 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respon spectral desain pada 1 detik (S_{D1})	Koefisien (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 7.8.2 Tabel 17

Pada SNI 1727-2019 terdapat beberapa pendekatan untuk menentukan perioda natural suatu struktur, dan pembatasan pada perioda maksimum, yaitu :

- Metode pendekatan umum

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.17})$$

Batasan atas perioda struktur :

$$T < C_u \times T_a \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.18})$$

Keterangan :

T_a	=	Perioda dasar perkiraan
h_n		Tinggi permukaan diatas permukaan tanah
C_u		Koefisien yang diambil di Tabel 2.13
C_t dan x		Koefisien yang diambil di Tabel 2.14

Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan (C_t dan x)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismic : • Rangka baja pemikul momen • Rangka beton pemikul momen	0,072	0,8
	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 1727-2019, Pasal 7.8.2.1 Tabel 18

- Untuk struktur yang tidak melampaui 12 tingkat dengan tinggi Tingkat tidak kurang dari 3 meter, digunakan persamaan :

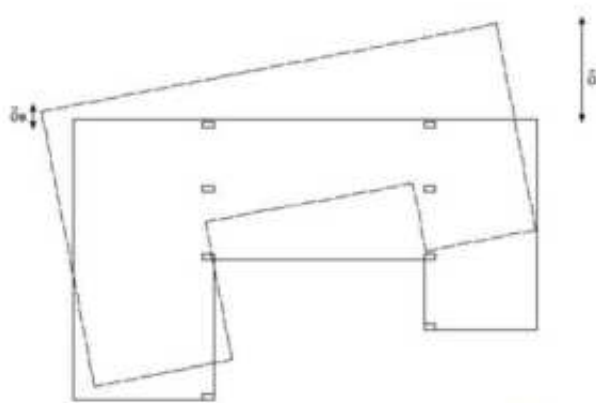
$$T_a = 0,1 \times N \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.19})$$

2.5.11 Pembesaran Momen Torsi Tidak Terduga

Berdasarkan pasal 7.8.4.3 SNI 1726-2019 struktur yang di desain untuk KDG C, D, E, atau F apabila terjadi ketidak beraturan torsi tipe 1a atau 1b, maka harus diperhitungkan dengan mengalikan momen dan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti pada Gambar 2.5 dan persamaan berikut.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \cdot \delta_{avg}} \right)^2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.20)}$$

$$\delta_{avg} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.21)}$$

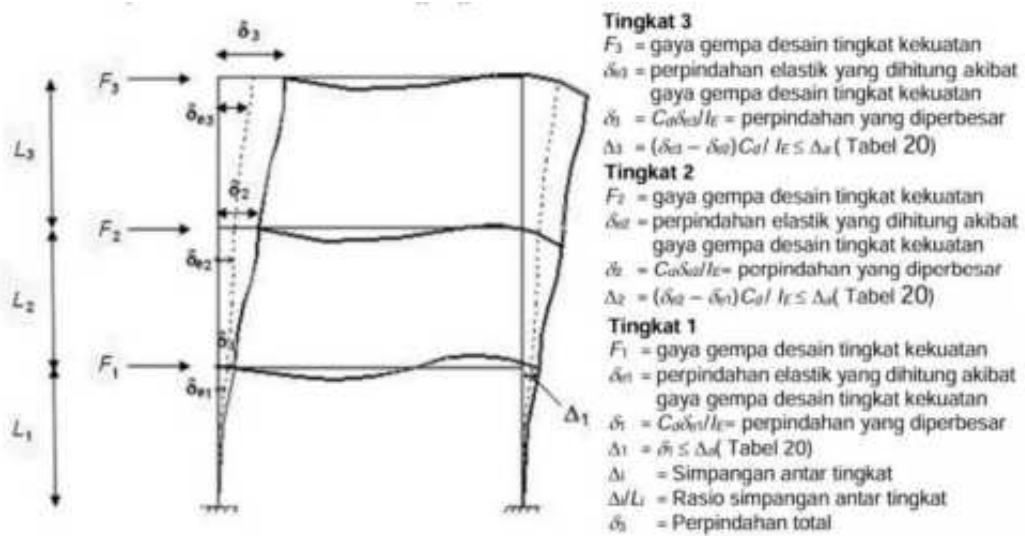


Gambar 2.7 Faktor Pembesaran Torsi (A_x)

Sumber : SNI 1727-2019, Pasal 7.8.4.3

2.5.12 Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan pasal 7.8.6 pada SNI 1726-2019 penentuan simpangan antar Tingkat (Δ) harus diperhitungkan sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan dibawah Tingkat yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. jika pusat massa tidak selurus dalam arah Z, maka di izinkan untuk menghitung simpangan di dasar Tingkat berdasarkan proyeksi vertical dari pusat massa Tingkat yang ada di atasnya.



Gambar 2.8 Penentuan simpangan antar Tingkat

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 7.8.6

Simpangan antar Tingkat tidak boleh melewati simpangan antar tingkat izin (Δ_{izin}) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.14 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_{izin})

Struktur	Kategori Resiko		
	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	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber : SNI 1727-2019, Pasal 7.8.6

Berdasarkan Gambar 2.2 didapatkan persamaan sebagai berikut

$$\text{Rasio Simpangan} = \frac{\Delta_{xe}}{L} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.22})$$

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.23})$$

Keterangan :

- C_d = Faktor pembesar defleksi
 δ_{xe} = Lendutan hasil Analisa struktur kondisi elastis
 I_e = Faktor keutamaan bangunan
 h_{sx} = Tinggi Tingkat dibawah Tingkat X

2.3.13 Efek P-Delta dan *Soft Storey*

Kekuatan struktur yaitu kemampuan suatu struktur bangunan dalam menahan berbagai jenis beban yang bekerja. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terdapat konsep yang dinamakan mekanisme goyangan balok (*beam sway mekanisme*) dimana bagian yang rusak (sendi plastis) seharusnya terjadi di ujung-ujung balok dan bagian bawah kolom. Hal ini membuat kolom harus direncanakan lebih kuat dari balok (Strong column weak beam). Untuk pemeriksaan kekuatan struktur dapat dilakukan dengan menghitung efek P-Delta dan mengecek *soft story*.

1) Efek P-Delta

Pada setiap Tingkat dihitung dengan persamaan :

$$\theta = \frac{P_x \delta_x}{V_x h_x C_d} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.23)}$$

Keterangan :

- P_x = Jumlah seluruh beban tak terfaktor desain di atas level x
 δ_x = Inter storydrift level x
 V_x = Geser Tingkat antara level x dan level (x – 1)
 h_x = Tinggi Tingkat dibawah level x
 C_d = Faktor pembesar defleksi
 θ = Koefisien stabilitas
 θ_{min} = 0,1
 $\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$
 β = Rasio geser perlu terhadap kapasitas geser untuk Tingkat yang ditinjau, boleh di ambil nilai 1,0
- Jika $\theta < \theta_{min}$, maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

- Jika $\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$, maka pengaruh P-Delta perlu di hitung
- Jika Jika $\theta > \theta_{max}$, maka struktur tidak stabil dan perlu di desain ulang

2) *Soft Storey (column sway mechanism)*

Soft Storey (column sway mechanism) yaitu kondisi keruntuhan pada struktur bangunan bertingkat, khususnya pada lantai yang memiliki kekakuan relative rendah (*soft strorey*) akibat beban gempa dimana kolom mengalami leleh sebelum balok. Kondisi ini disebabkan oleh ketidak beraturan vertical pada struktur, khususnya ketidakberaturan kekakuan yang dikenal sebagai “Tingkat Lunak.” Berdasarkan SNI 1726-2019 tingkat lunak di jelaskan sebagai berikut :

- Ketidakberaturan (1a) terjadi apabila terdapat suatu Tingkat kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan diatasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga Tingkat diatasnya
- Ketidakberaturan yang berlebihan (1b) terjadi apabila kekakuan sembarang Tingkat kurang dari 60% kekakuan Tingkat diatasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata Tingkat diatasnya. Ketidak beraturan ini tidak diizinkan untuk koefisien desain gempa (KDG) E dan F

Catatan :

Apabila struktur termasuk dalam ketidakberaturan (1a) atau ketidak beraturan yang berlebihan (1b) gunakan Analisa modal spektrum (*respon spectrum method*) dan ketidakberaturan dianggap tidak berlaku apabila seluruh rasio drift antar Tingkat memiliki nilai yang melebihi 1,3 kali rasio drift Tingkat diatasnya.

2.6 Stabilitas Struktur

Stabilitas pada suatu struktur mencakup tiga aspek, yaitu stabilitas terhadap geser, penurunan fondasi, dan *overturning* (guling). Namun, dalam penelitian ini, analisis terfokus pada stabilitas guling saja. Hal ini dikarenakan pada struktur atas gedung bangunan, resiko ketidakstabilan yang paling kritis adalah *overturning* (guling) akibat beban lateral. Untuk meminimalisir efek *overturning* (geser)

struktur atas mengandalkan penyeimbang yang berupa berat sendiri, sebagaimana yang telah diatur dalam persamaan berikut.

$$0,9 M_{ST} > \frac{M_{OT}}{C_1 C_2 C_3 R_{OT}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.18)}$$

Keterangan :

- M_{OT} = Jumlah gaya overturning akibat gaya lateral
- M_{ST} = Momen stabilitas yang dihasilkan oleh beban mati struktur
- C_1 = Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan elastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastic linear
 - = 1,0 untuk $T \geq T_s$
 - = 1,5 untuk $T < 0,01 \text{ sec.}$
- C_2 = Koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” yang berasal dari hubungan beban deformasi akibat penurunan kekakuan dan kekuatan
- C_3 = Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran beban lateral akibat efek P-Delta
- R_{OT} = 10 untuk collapse prevention
 - = 8,0 untuk life safety
 - = 4,0 untuk immediate occupancy

2.7 Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa

Beton bertulang merupakan komposit antara beton dan baja dimana baja menjadi tulangan yang memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki oleh beton polos (Jack C. Mc Cormac, 2017). Kedua material tersebut sangat mempengaruhi tingkat daktilitas struktur yang dihasilkan. Dalam SNI 2847-2019, analisis struktur pada struktur beton bertulang tahan gempa harus memenuhi persyaratan kekuatan yang dimana kekuatan pada Struktur dan komponen struktur yang didesain harus lebih kuat dari kekuatan yang diperlukan.

$$\textbf{KEKUATAN DESAIN} \geq \textbf{KEKUATAN PERLU}$$

$$\phi S_n \geq U$$

2.7.1 Kekuatan Perlu

Kekuatan perlu dinyatakan dalam momen-momen, gaya dalam yang berkaitan, dan beban-beban terfaktor yang merupakan beban yang ditentukan oleh tata cara umum pembebanan yang berlaku dan dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai. Berdasarkan SNI 2847-2019 kuat perlu diberi notasi (U) yang merupakan besaran beban dari hasil kombinasi sebagai berikut :

- 1) $U = 1,4D$
- 2) $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R)$
- 3) $U = 1,2D + 1,0L \pm 1,6W + 0,5(A \text{ atau } R)$
- 4) $U = 0,9D \pm 1,6 W$
- 5) $U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E$
- 6) $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan

- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- Lr = Beban atap
- R = Beban hujan
- W = Beban angin datang dan angin pergi
- E = Beban gempa ($E_x + E_y$)
- E_y = Beban gempa vertical ($0,2.SDS.D$)
- E_x = Beban gempa horizontal

2.7.2 Kekuatan Desain

Dalam tahapan desain kekuatan, Tingkat keamanan didasarkan pada kombinasi faktor beban dan faktor reduksi beban (ϕ). Berdasarkan pada SNI 2847-2019, kekuatan desain merupakan kekuatan yang berasal dari komponen struktur yang mengacu pada kuat nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Tujuan dari adanya faktor reduksi beban (ϕ) adalah untuk mengkalkulasikan probabilitas dari terjadinya penurunan kekuatan akibat adanya variasi pada

kekuatan material dan dimensi saat terjadi pelaksanaan konstruksi, menutup kekurangan ketelitian terhadap persamaan-persamaan desain, dan berkaitan dengan tingkat daktilitas, kebutuhan keandalan, serta adanya kemungkinan beban alternatif yang terletak pada komponen struktur. Nilai pada faktor reduksi beban (ϕ) dapat dilihat pada Tabel 2.16 dan Tabel 2.17.

Tabel 2.15 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya		ϕ	Pengecualian
(a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65-0,90 Sesuai dengan Tabel 2.2	Didekat ujung komponen pratarik (retension) dimana strand belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan Tabel 2.15
(b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa
(c)	Torsi	0,75	-

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 21 Tabel 21.2.1

Tabel 2.16 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

Regangan Tarik Netto (ε_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		spiral		Tulangan lainnya	
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	(a)	0,65	(b)
$\varepsilon_t < \varepsilon_{ty} < 0,005$	Transisi ^[1]	$0,75 + 0,15 \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_y)}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	(c)	-	
Untuk penampang transisi, diizinkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan					

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 21 Tabel 21.2.2

Tabel 2.17 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Seksi Akhir dari Prategang

Kondisi di dekat ujung komponen	Tegangan beton akibat beban layan[1]	Jarak dari ujung komponen ke penampang yang ditinjau	(ϕ)	
Semua strand terlekat	Tidak berlaku	$\leq \ell_{tr}$	0,75	(a)
		$\ell_{tr} \text{ hingga } \ell_d$	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90 [2]	(b)
Satu atau lebih dari strand tanpa lekatan	Tarik tidak terhitung	$\leq (\ell_{db} + \ell_{tr})$	0.75	(c)

Sumber : Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 21 Tabel 21.2.3

Untuk kompemen struktur Sistem rangka pemikul moemn khusus (SRPMK) yang disesain untuk menahan beban gempa rencana, nilai Faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Faktor reduksi untuk geser pada komponen struktur penahan beban gempa rencana yang nilai kuat gesernya lebih kecil dari pada gaya geser yang timbul sehubungan dengan peningkatan kuat lentur nominalnya ($\phi = 0,55$)
- Faktor reduksi untuk geser pada diafragma tidak boleh melebihi faktor reduksi minimum untuk geser yang digunakan pada komponen vertical dari sistem pemikul beban lateral
- Geser pada hubungan balok-kolom san pada balok perangkai (coupling beam) yang diberi tulangan diagonal ($\phi = 0,80$)

Berdasarkan SNI 2847-2019 perencanaan struktur tahan gempa ditentukan berdasarkan Kategori desain Seismik (KDS) yang diperoleh dengan koordinat Lokasi bangunan tersebut dibangun.

- Sistem struktur rangka pemikul momen biasa (SRPMB) berlaku untuk rangka momen biasa yang dikenakan KDS B (resiko gempa rendah).

- Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) berlaku untuk rangka momen menengah yang dikenakan KDS C (resiko gempa menengah)
- Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) berlaku untuk rangka momen khusus yang dikenakan KDS F (resiko gempa tinggi)

A. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) tidak terdapat persyaratan khusus pada elemen balok, kolom, dan sambungan balok-kolom sebagaimana yang diwajibkan untuk sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Namun, perencanaan desainnya harus tetap mengikuti ketentuan yang tertuang didalam SNI 2847-2019 Pasal 3 hingga pasal 18.

B. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) memiliki persyaratan untuk penulangan atas dan bawah menerus serta persyaratan untuk kekuatan geser khusus dan pendetailan khusus untuk daerah kritis.

Kegagalan struktur pada saat terkena gempa pada umumnya diakibatkan oleh kegagalan geser pada balok ataupun kolom. Berdasarkan SNI 1727-2019 terdapat dua pilihan dalam menentukan gaya geser terfaktor guna untuk meminimalisir kegagalan terhadap geser saat terjadi gempa.

- 1) Gaya geser terfaktor ditentukan oleh kuat momen nomina dari komponen struktur dan beban gravitasi di atasnya dengan nilai ϕ sama dengan 1,0. Beban aksial rencana terfaktor (P_u) harus dipilih dari yang memiliki nilai kuat momen terbesar pada kolom.
- 2) Mendasarkan gaya geser ultimate (V_u) dari kombinasi beban termasuk beban gempa (E), yang harus dihitung dengan kombinasi ($U=1,2D+1,0L\pm 2,0E$).

Selain dari persyaratan diatas untuk lebih meminimalisir kegagalan geser agar tidak terjadi pada komponen struktur SNI 1729-2019 mensyaratkan pendetailan pada balok, kolom, dan pada hubungan balok dan kolom sebagai berikut :

1) Persyaratan pendetailan balok

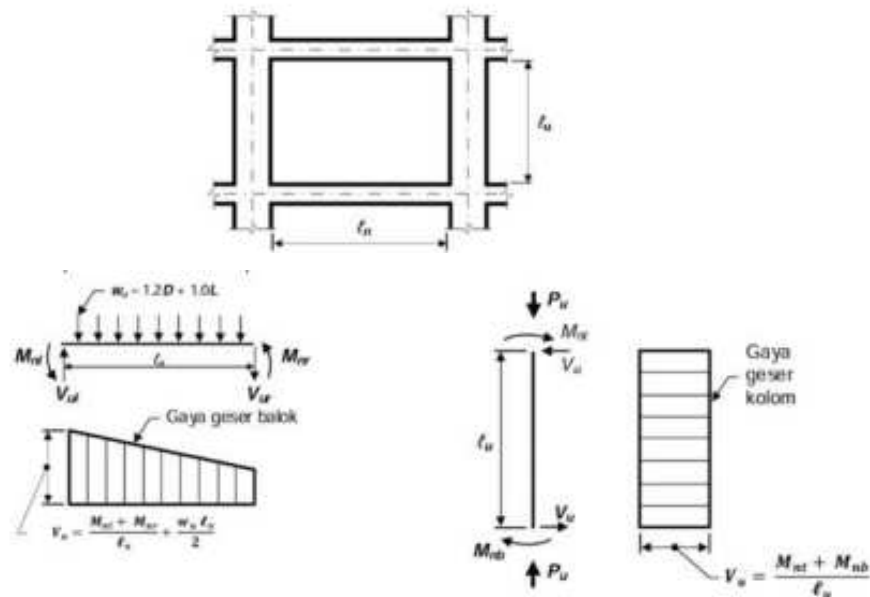
Balok yang memiliki tekan aksial terfaktor melebihi $0,1 A_g \times f'_c$ Penulangan komponen SPRMM harus memenuhi detailing balok pada pasal 25.7.2.2 dan salah satu di antara pasal 25.7.2.3 atau 25.7.2.4.

Penulangan Lentur

- a) Kekuatan momen positif pada pertemuan kolom dan balok tidak boleh kurang dari $1/3$ kuat momen negative pada pertemuan kolom dan balok
- b) Baik kekuatan momen positif ataupun momen negative pada sepanjang bentang penampang tidak boleh kurang dari $1/5$ kuat momen maksimum.

Penulangan Geser

- a) Pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang Sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen ($2h$) yang diukur dari muka perletakan ke arah Tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan (kolom). Serta spasi maksimum Sengkang tidak boleh melebihi :
 - $d/4$
 - delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - 24 kali diameter Sengkang, dan
 - 300 mm
- b) Sengkang yang berada diluar daerah ujung balok harus dipasang dengan jarak maksimum $d/2$



Gambar 2.9 Gaya Geser Rencana SRPMM

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.4.2

2) Persyaratan pendetailan kolom

Balok yang memiliki tekan aksial terfaktor melebihi $0,1 A_g \times f'_c$ Penulangan komponen SPRMM harus memenuhi detailing kolom pada pasal 18.5 pada SNI 2847-2019, kecuali bila komponen kolom ditulangi dengan tulangan sirip dengan persamaan :

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.19)}$$

Keterangan :

ρ_s = Rasio Tulangan sirip

A_g = Luas brutto penampang (mm^2)

A_c = Luas inti komponen tekan yang ditulangi tulangan sirip (mm^2)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

f_y = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang (Mpa)

Namun, jika komponen kolom tidak ditulangi tulangan sirip maka, detailing kolom dan joint sebagai berikut :

- Spasi maksimal sengkang ikat yang dipasang pada “Io” dari muka pertemuan balok-kolom adalah “So”. Jarak So tidak boleh melebihi :

- Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - 24 kali diameter Sengkang ikat
 - Setengah dimensi penampang terkecil kolom, dan
 - 300 mm
- b) Panjang pada L_o tidak boleh kurang dari nilai maksimal berikut :
- $1/6$ tinggi bersih kolom
 - Dimensi terbesar kolom, dan
 - 500 mm
- c) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak lebih dari 0,5. So dari muka pertemuan balok-kolom

3) Persyaratan pendetailan kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.5, spasi pada ikatan Sengkang pada sembarang penampang kolom tidak boleh melebihi 2. So dan Tulangan Sengkang pada titik pertemuan balok dan kolom harus memenuhi ketentuan tulangan geser minimum dengan persamaan berikut :

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.20)}$$

Keterangan :

- A_v = Luas tulangan geser (mm^2) tidak boleh melebihi $(1/3) \cdot b_w \cdot s / f_y$
- b_w = Lebar badan balok (mm)
- s = Jarak tualngan geser (mm)

C. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) memiliki persyaratan pembatasan mutu baja tulangan, penulangan atas dan bawah menerus, mensyaratkan kekuatan geser pada joint, *strong coloumn-weak beam* (SCWB), menggunakan kekuatan maksimum yang terjadi, dan pendekatan area pengekanan pada daerah kritis (sendi plastis).

1) Persyaratan pendetailan balok

Pada SNI 2847-2019 Pasal 18.6 terdapat persyaratan pendetailan komponen struktur lentur pada SRPMK sebagai berikut :

- **Persyaratan Gaya dan Geometri pada Pasal 18.6.2**

- a) Gaya aksial terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1 A_g x f'_c$
- b) Bentang bersih komponen struktur (L_n) tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya ($4d$), $\frac{L_n}{d} \geq 4$.
- c) Perbandingan antar lebar balok (b) dan tingginya (h) tidak boleh kurang dari 0,3 dan 250 mm, $\frac{b}{h} \geq 0,3$ dan 250 mm.
- d) Lebar balok tidak boleh kurang dari 250 mm, dan lebarnya tidak boleh melebihi dari lebar dari kolom ditambah jarak pada sisi kolom yang tidak boleh melebihi $\frac{3}{4}$ tinggi balok, $250 \text{ mm} < b \leq c + 2 \left(\frac{3}{4} h \right)$

- **Tulangan Longitudinal (Lentur) pada Pasal 18.6.3**

- a) Kuat lentur positif balok pada pertemuan kolom harus lebih besar sama dengan $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya dan kuat lentur positif maupun negative pada setiap penampang disepanjang bentang harus lebih besar sama dengan $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar pada bentang tersebut
- b) Sambungan lewatan pada tukanan lentur harus diberi tulangan pengikat yang berupa Sengkang tertutup atau spiral yang membungkus seluruh Panjang sambungan. Jarak antar pengikat ini tidak boleh melebihi seperempat tinggi efektif penampang ($d/4$) atau 100 mm. sambunga lewatan tidak boleh digunakan pada :

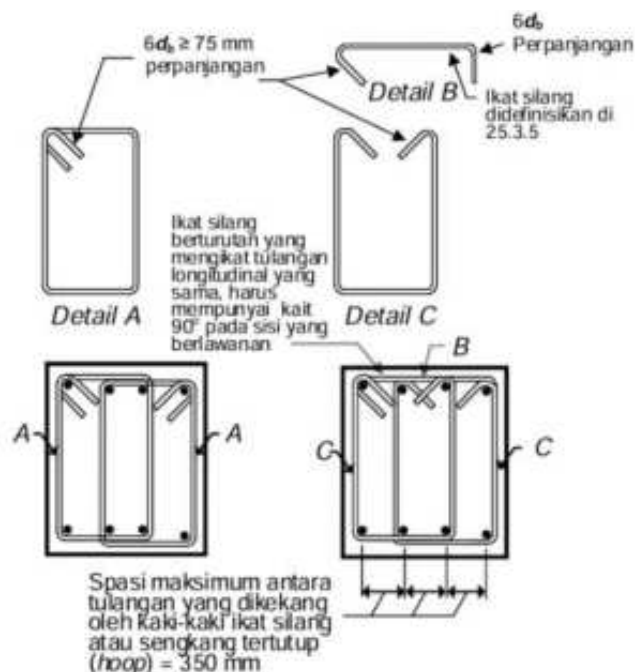
- Daerah hubungan balok dan kolom (*joint*)
- daerah dengan jarak dua kali tinggi balok dari muka *joint*, dan
- pada tempat yang berdasarkan hasil analisis, menunjukkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastic struktur rangka

- **Tulangan Transversal pada Pasal 18.6.4**

Tulangan transversal atau Sengkang tertutup yaitu tulangan pada kompenen lentur yang memiliki fungsi untuk mengekang beton agar terhindar dari pengelupasan (spalling) pada selimut beton pada saat terjadi gempa kuat yang

menimbulkan gaya lateral pada struktur, terutama pada daerah sendi plastis. Berikut ini persyaratan penggunaan Sengkang tertutup.

- a) Sengkang tertutup harus terpasang pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah Tengah bentang, dikedua ujung komponen struktur lentur dan disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua dari suatu penampang dimana leleh lentur diharapkan dapat terjadi sehubungan dengan terjadinya deformasi inelastic struktur rangka
- b) Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak antar Sengkang tertutup tidak boleh melebihi
 - $d/4$
 - enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
 - 150 mm

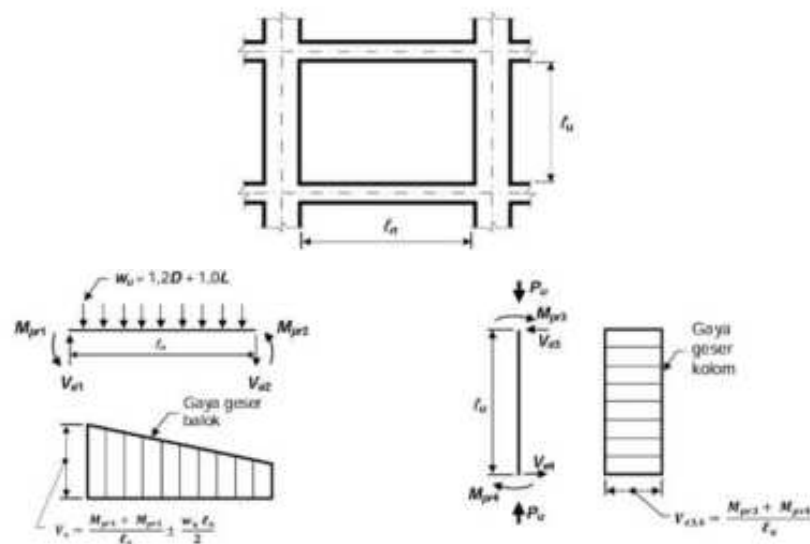


Gambar 2.10 Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimal Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

Sumber : SNI 2847-2019 Pasal 18.6.4

- **Persyaratan Kuat Geser**

- Gaya geser rencana (V_e) tergantung pada besaran relatif beba gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen ujung.
- Momen-momen ujung (M_{pr}) berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25f_y$.
- Momen-momen ujung (M_{pr}) untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh M_{pr} . Balok-balok yang menyambung ke dalam sambungan balok dan kolom. V_e tidak boleh kurang dari hasil analisis struktur.



Gambar 2.11 Gaya Geser Rencana SRPMK

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.6.5

- **Perencanaan Geser untuk Balok**

Perencanaan geser untuk balok pada SRPMK, seperti terlihat pada Gambar 2.12 didasarkan atas persamaan berikut :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \pm \frac{W_u + L}{2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.20)}$$

Keterangan :

V_e = Gaya geser ultimate balok akibat gempa

M_{pr1} = Kemungkinan momen diperletakan 1 akibat goyangan kekiri atau kekanan

M_{pr1} = Kemungkinan momen diperletakan 2 akibat goyangan kekiri atau ke kanan

W_u = Beban terfaktor akibat gravitasi

L = Panjang bentang bersih balok

2) Persyaratan pendetailan kolom

Pada SNI 2847-2019 Pasal 18.7 terdapat persyaratan pendetailan komponen struktur kolom pada SRPMK sebagai berikut :

- **Persyaratan Gaya dan Geometri pada Pasal 18.7.2.**

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1, kolom-kolom harus memenuhi persyaratan berikut :

- a) Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus dari titik pusat dan tidak kurang dari 300 mm
- b) Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

- **Perencanaan Lentur pada Pasal 18.7.3.2**

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan persamaan berikut ini.

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \dots\dots\dots \text{(Persamaa 2.21)}$$

Keterangan :

ΣM_{nc} = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang menyambung kedalam joint, yang di analisis di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang senilai dengan gaya-gaya lateral untuk menghasilkan nilai kuat lentur terkecil

ΣM_{nb} = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang menyambung kedalam joint, yang dianalisis di muka-muka joint. Pada balok-T, dimana pelat dalam kondisi Tarik akibat momen-momen di muka joint, tulangan pelat dalam lebar efektif di asumsikan berkontribusi terhadap ΣM_{nb} jika tulangan pelat tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritisnya.

Apabila persamaan tidak terpenuhi, maka kuat lateral dan kekakuan kolom tersebut harus diabaikan dalam perhitungan kekuatan dan kekakuan struktur.

- **Tulangan Longitudinal pada Pasal 18.7.4**

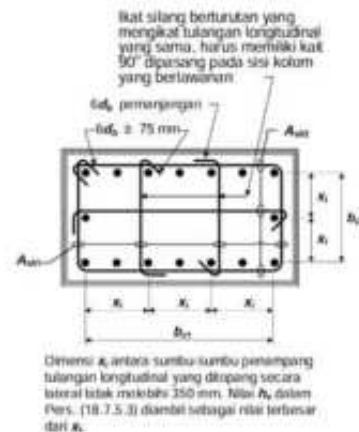
- a) Luas pada tulangan longitudinal (A_{st}) tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak melebihi $0,06 A_g$.
- b) Pada kolom-kolom dengan Sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 6.
- c) Sambungan las untuk menyambungkan tulangan lentur tidak boleh di tempatkan di daerah sendi plastis

- **Tulangan Transversal pada Pasal 18.7.5.2**

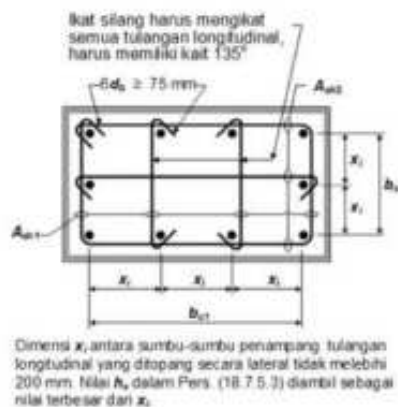
Tulangan transversal pada kolom berfungsi sebagai pengekang daerah inti kolom sehingga kolom memiliki perilaku duktail. Dalam SNI 2847-2019 pada pasal 18.7.5.2 tulangan tranversal harus sesuai dengan persyaratan berikut ini.

- a) Tulangan transversal harus terdiri dari spiral Tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), Sengkang pengekang persegi dengan atau tanpa ikat silang
- b) Setiap tekukan ujung Sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal
- c) Ikat silang dengan ukuran batang tulangan senilai atau lebih kecil dari diameter sengkang pengekang dizinkan sesuai dengan batasan D10 yang melingkari tulangan longitudinal D32 atau yang lebih kecil dan D13 yang melingkari tulangan longitudinal D36 atau yang lebih besar.
- d) Jika digunakan Sengkang pengekang persegi maupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal
- e) Jarak antar tulangan longitudinal di sepanjang penampang kolom yang bertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki Sengkang pengekang tidak boleh melewati 350 mm
- f) Ketika nilai $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$ pada kolom dengan Sengkang pengekang, setiap batang disekeliling inti kolom harus

memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari Senggang pengeang, dan jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 200 mm.



Gambar 2.12 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom
Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.7.5.2



Gambar 2.13 Contoh penulangan transversal pada Kolom dengan
Nilai $P_u > 0,3A_gf'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$
Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.7.5.2

- **Perencanaan Geser untuk Kolom pada Pasal 18.7.6**

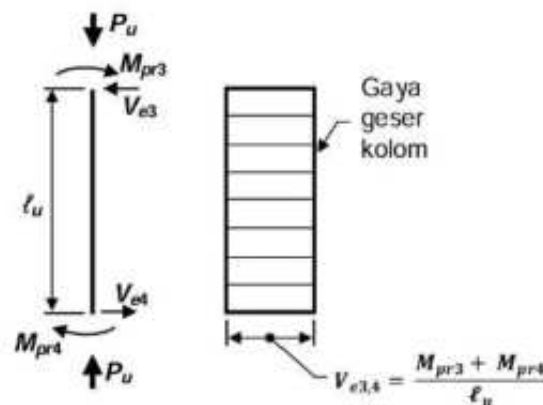
Gaya geser Desain (V_e) harus perhitungkan dengan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok dan kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya maksimum harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum (M_{pr}) dari komponen struktur yang terkait dengan rentang

beban-beban aksil terfaktor yang bekerja. Gaya geser desain dapat dihitung dengan persamaan berikut yang berdasarkan Gambar 2.12

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{\ell_u} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.22)}$$

Keterangan

ℓ_u = Tinggi bersih kolom



Gambar 2.14 Perencanaan Geser Desain untuk Kolom

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.6.5

3) Perencanaan Hubungan Balok-Kolom pada SRPMK

Sambungan antara balok dan kolom merupakan salah satu komponen terpenting dalam sistem struktur rangka pemikul momen. Ketika struktur mengalami beban lateral akibat gempa, balok yang terhubung dengan kolom akan cenderung berotasi ke arah yang sama. Hal ini akan menimbulkan akumulasi gaya geser yang besar pada sambungan tersebut dan membuat hubungan balok dan kolom menjadi komponen paling kritis dalam merespons beban lateral.

- **Persyaratan Gaya dan Geometri**

Pada perencanaan tulangan longitudinal di muka sambungan balok dan kolom, perhitungan gaya yang bekerja harus memperhitungkan tegangan dan kapasitas sambungan. Tegangan pada tulangan Tarik lentur diasumsikan sebesar 1,25 kali kuat leleh tulangan ($1,25f_y$). Asumsi ini berfungsi untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya peningkatan tegangan melebihi kuat leleh akibat efek regangan tinggi saat terjadi gempa. Selanjutnya, perhitungan kapasitas sambungan yang menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar 0,8. Faktor reduksi ini

berfungsi untuk memberikan keamanan tambahan untuk ketidakpastian dalam perilaku sambungan selama pembebanan gempa. Berikut ini adalah persyaratan geometri untuk hubungan balok dan kolom SRPMK.

- a) Untuk beton normal, dimensi kolom pada hubungan balok dan kolom dalam arah paralel tulangan longitudinal; balok harus lebih besar dari atau sama dengan 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar.
- b) Untuk beton ringan, dimensi minimumnya 26 kali diameter.

- **Tulangan Transversal**

Tulangan transversal sebagai Sengkang tertutup harus dipasang tidak hanya pada daerah sendi plastis, tetapi juga harus di pasang diperpanjang hingga mencakup seluruh daerah sambungan balok dan kolom. Persyaratan ini berlaku untuk memastikan kekangan yang memadai terhadap beton inti pada daerah kritis. Apabila terdapat kondisi balok-balok dengan lebar minimal $\frac{3}{4}$ lebar kolom menyambung pada keempat sisi hubungan balok dan kolom, maka tulangan transversal cukup dipasang sebanyak $\frac{1}{2}$ dari jumlah yang dipasang pada sendi plastis kolom. Pemasangan tulangan transversal dimulai dari sisi terbawah balok yang menyambung ke hubungan tersebut. Jarak antar tulangan transversal untuk kondisi ini dapat diperbesar menjadi 150 mm.

Pada hubungan balok dan kolom dengan lebar balok lebih besar dari pada lebar kolom, tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom harus dipasang pada hubungan tersebut guna untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada diluar inti kolom.

Gaya geser horizontal pada daerah hubungan balok dan kolom dapat dihitung dengan asumsi bahwa elemen lentur yang menyambung pada hubungan balok dan kolom tersebut telah mencapai kapasitasnya, dengan menetapkan gaya Tarik tulangan lentur balok sebesar $A_s \cdot 1,25 \cdot f_y$.

Kuat geser dapat diberikan hubungan balok dan kolom tergantung pada kondisi kekangan yang bekerja pada hubungan balok dan kolom. Nilai kuat geser hubungan balok dan kolom dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Hubungan balok dan kolom yang terkekang pada keempat sisinya :

$$V_{jnt} = 1,7\sqrt{f'_c A_{jnt}} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.23})$$

Hubungan balok dan kolom yang terkekang pada ketiga sisinya :

$$V_{jnt} = 1,25\sqrt{f'_c A_{jnt}} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.24})$$

Hubungan yang lain :

$$V_{jnt} = 1,0\sqrt{f'_c A_{jnt}} \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.25})$$

Luas efektif (A_{jnt}), dapat dihitung dengan mengalikan lebar efektif joint dengan tinggi (h). luas efektif hubungan balok dan kolom dapat dilihat pada Gambar Gambar 2.13.



Gambar 2.15 Luas Efektif Hubungan Balok dan Kolom

Sumber : SNI 2847-2019, pasal 18.8.4

- **Perencanaan Geser untuk Balok**

Panjang penyaluran tulangan Tarik untuk tulangan diameter 10 hingga diameter 36 yang ujungnya diberikan kaitan standar, panjang penyaluran

(ℓ_{dh}) harus dihitung dengan persamaan berikut :

$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.26})$$

Untuk beton normal :

$$\lambda = 0,75$$

Untuk beton ringan :

$$\lambda = 1,0$$

Untuk beton normal, Panjang penyaluran (ℓ_{dh}) yang dihitung tidak boleh kurang dari nilai maksimum antara $8d_b$ dan 150 mm , dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai maksimum $10d_b$ dan 190 mm . Namun, untuk tulangan diameter 10 (D10) hingga diameter 36 (D36) Panjang penyaluran tulangan Tarik (ℓ_d) untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari :

- a) 2,5 kali Panjang penyaluran dengan kait (ℓ_{dh}) , apabila tebal pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm, dan
- b) 3,5 kali Panjang penyaluran dengan kait (ℓ_{dh}) , apabila tebal pengecoran beton dibawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.

Tulangan lurus yang tidak menyambung pada joint harus melewati inti terkekang kolom atau komponen batas. Setiap bagian dari tulangan lurus ini yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah kerangka kerja yang disusun secara sistematis untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara ilmiah agar tujuan penelitian tercapai (Sugiyono, 2020). Dalam penelitian ini, pendekatan campuran (mixed methods) digunakan, yaitu menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan hasil yang lebih menyeluruh. Kombinasi kedua metode ini bertujuan untuk saling melengkapi dan memvalidasi hasil, terutama dalam mengevaluasi kinerja struktur menggunakan pendekatan linear dan non-linear sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku. Dalam pendekatan kualitatif, penelitian dilakukan dengan menganalisis teori dan regulasi teknis, khususnya berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) serta referensi ilmiah seperti jurnal dan buku teknis. Hal ini bertujuan memastikan desain struktur memenuhi persyaratan keamanan dan kinerja yang dibutuhkan. Di sisi lain, analisis kuantitatif dilakukan dengan memproses data perencanaan menggunakan metode linear. Dengan menggabungkan kedua pendekatan tersebut, penelitian ini tidak hanya meningkatkan keandalan hasil, tetapi juga memastikan desain struktur sesuai dengan standar teknis, mampu menahan beban dinamis, serta memenuhi seluruh aturan yang berlaku.

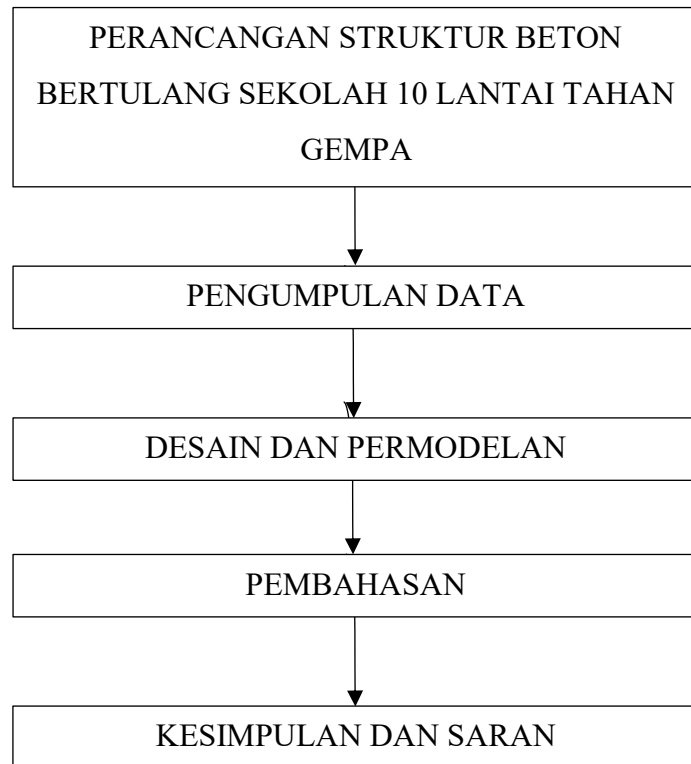
3.1 Kerangka Berpikir Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur bangunan sekolah dengan menggunakan sistem beton bertulang. Analisis yang dilakukan membantu mengidentifikasi titik-titik lemah dalam desain struktur tersebut serta mengukur respons struktur ketika menerima beban gempa yang cukup besar.

Penelitian dimulai dengan mempelajari berbagai informasi terkait aturan perencanaan struktur, khususnya SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.

Selanjutnya, desain struktur bangunan dibuat menggunakan perangkat lunak ETABS. Setelah itu, dilakukan analisis terhadap gaya gempa, pemberian beban, serta pemeriksaan daya tahan elemen struktur. Hasil analisis ini digunakan sebagai

dasar dalam mengevaluasi seberapa baik bangunan mampu menahan beban gempa. Untuk lebih jelasnya, alur kerja penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. 1.



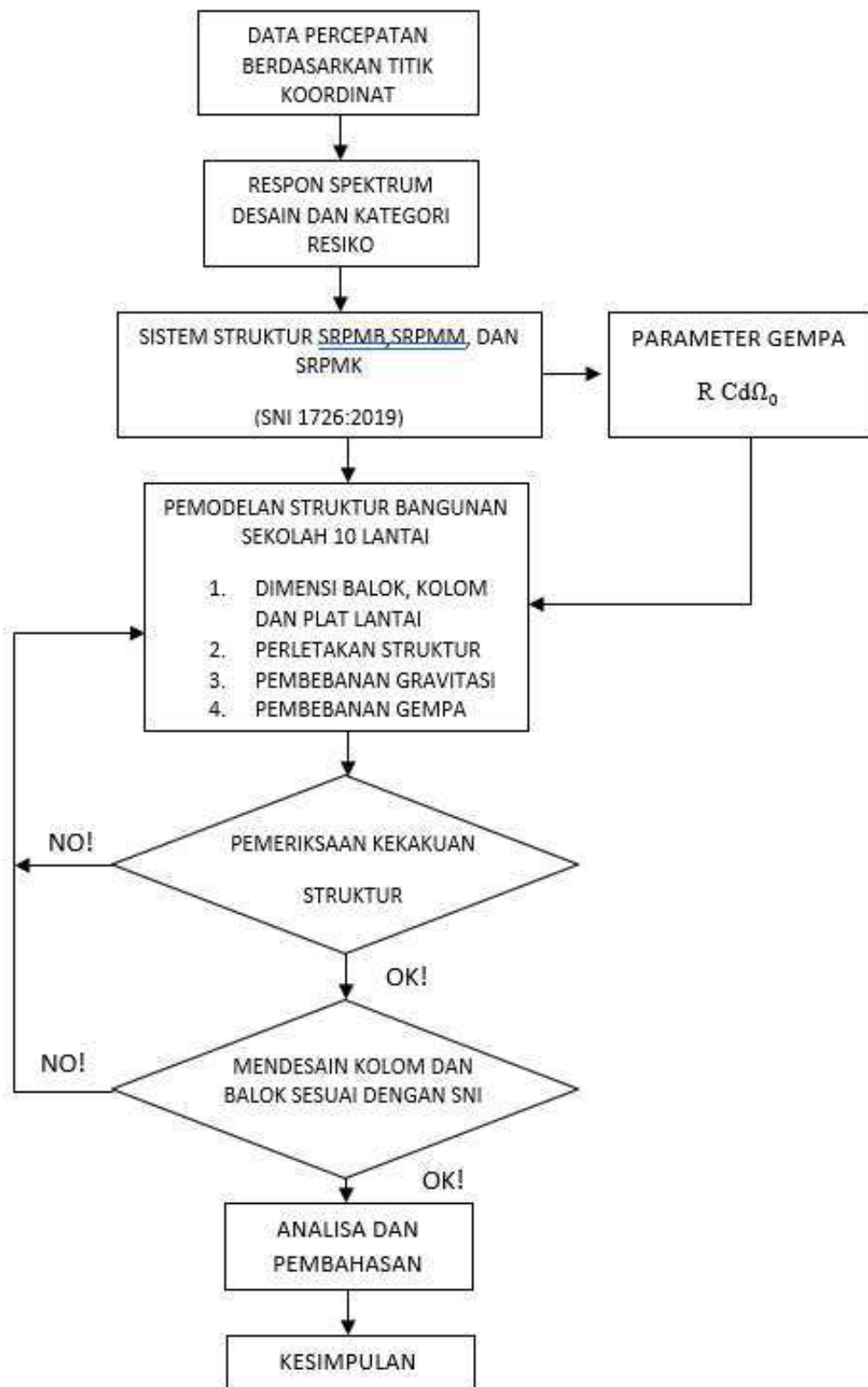
Gambar 3.1 Flowchart Kerangka Berpikir Penelitian

Sumber : Penulis, 2025

3.2 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan merupakan uraian sistematis mengenai tahapan, cara, alat, bahan, tenaga kerja, dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan konstruksi secara efektif, efisien, dan sesuai standar teknis yang berlaku. Proses implementasi penelitian mencakup serangkaian langkah terstruktur yang dilakukan peneliti untuk mencapai tujuan studi.

Alur kerja dimulai dari pengumpulan data desain struktur hingga penyelesaian analisis, yang dirancang untuk memastikan keandalan hasil penelitian. Secara rinci, tahapan metodologis ini divisualisasikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.2.



Gambar. 3.2 Flowchart Perancangan Komponen Struktur

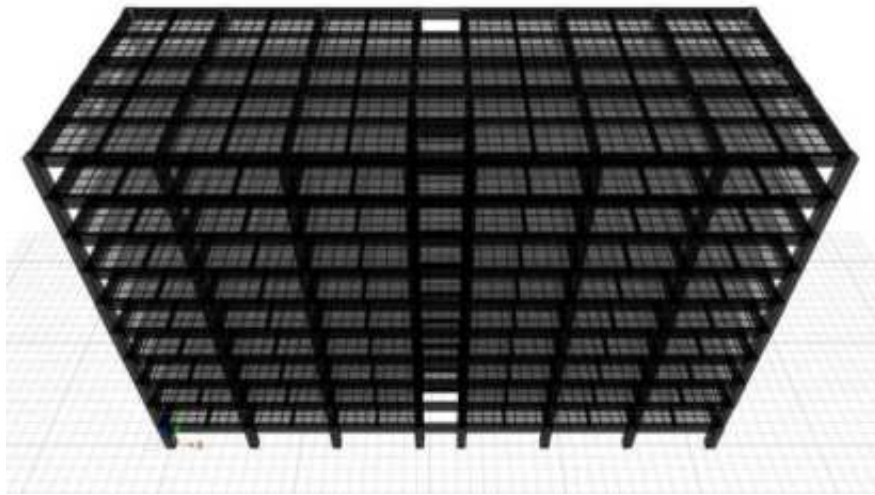
Sumber : Penulis, 2025

BAB IV

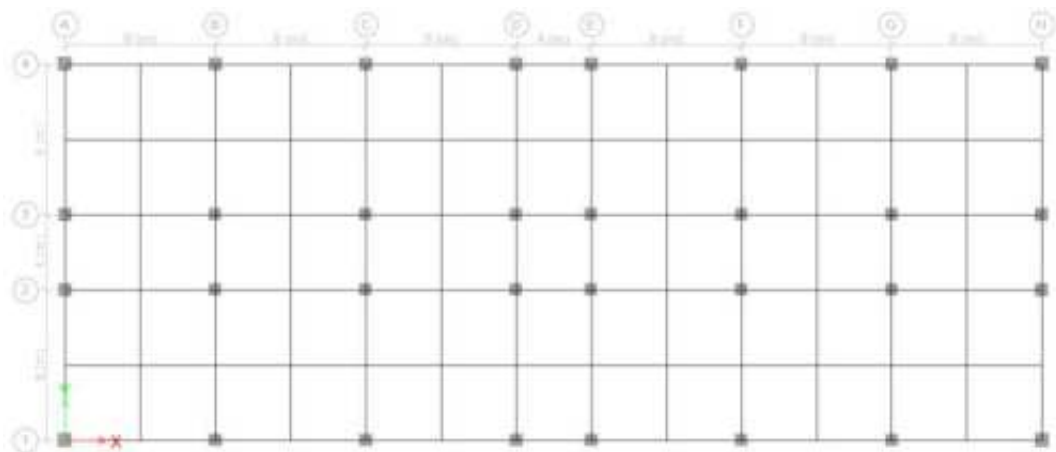
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Rencana Struktur

Perencanaan bangunan hotel dimodelkan sebagai bangunan struktur beton bertulang 10 lantai. Perletakan struktur dimodelkan dengan tumpuan jepit, tinggi per lantai 3,5 m. Permodelan struktur bangunan dapat dilihat pada gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 4.1 Perspektif Struktur Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisa, 2025



Gambar 4.2 Denah Struktur Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisa, 2025

- **Lokasi Pembangunan**

Lokasi rencana pembangunan sekolah terletak di Jl. RW. Mongosidi , Kel. 2 Ilir, Kec. Ilir Tim. II, Kota Palembang, Sumatera Selatan, dengan koordinat $2^{\circ}57'45.4''\text{S } 104^{\circ}47'33.7''\text{E}$ (-2.96261620707, 104.792685449).



Gambar 4.3 Lokasi Pembangunan Titik koordinat $2^{\circ}57'45.4''\text{S } 104^{\circ}47'33.7''\text{E}$

Sumber : [https://earth.google.com/web/@-2.96261620707, 104.792685449](https://earth.google.com/web/@-2.96261620707,104.792685449).

- **Data Material**

- Mutu Beton

$$B_j = 23,536 \text{ kN/m}^3$$

- Kuat tekan beton dan modulus elastisitas

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$E_c = 23.500 \text{ MPa}$$

- Tegangan leleh baja tulangan dan modulus elastisitas

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

- Tebal Plat Lantai = 120 mm

- **Dimensi Struktur**

Tabel 4.1 Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	
	Lebar (b)	Tinggi (h)
Kolom 1 Lt. 1-6	800	800
Kolom 2 Lt. 1-6	750	750
Kolom 3 Lt. 1-6	700	700
Kolom 4 Lt. 1-2	750	750
Kolom 5 Lt. 6-10	750	750
Kolom 6 Lt. 6-10	700	700
Kolom 7 Lt. 6-10	650	650

Sumber : Data Perencanaan, 2025

Tabel 4.2 Dimensi Balok

Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)	
	Lebar (b)	Tinggi (h)
Balok Induk	500	800
Balok Anak	250	400

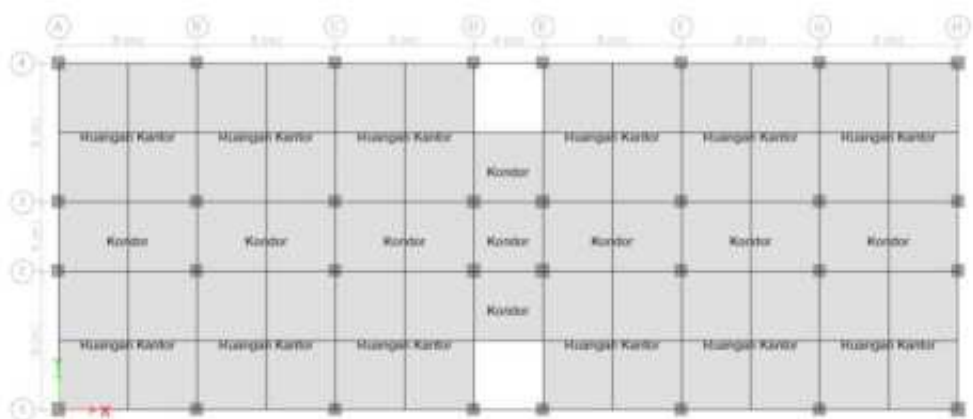
Sumber : Data Perencanaan, 2025

4.2 Pembebanan Stuktur

Struktur direncanakan untuk menahan beban gravitasi akibat dari berat dari komponen-komponen struktur tersebut beserta beban tambahan dan beban hidup.

4.2.1 Beban Gravitasi

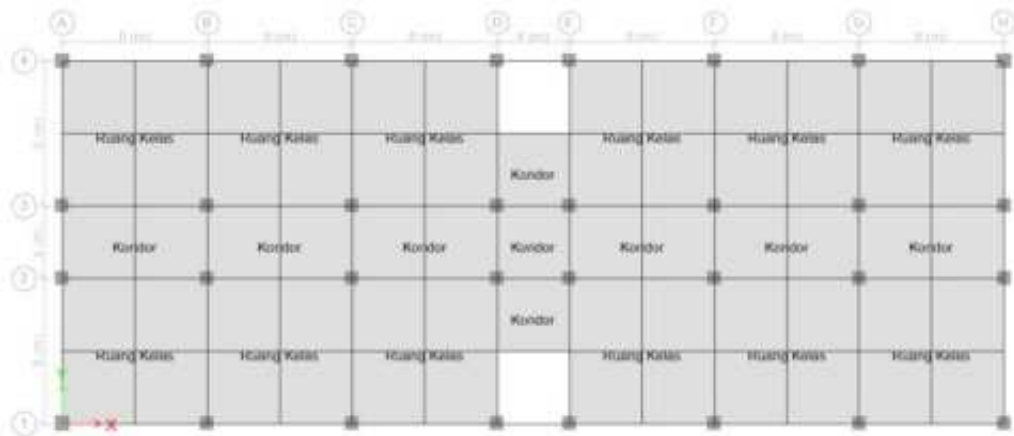
- **Beban Hidup lantai:**



Gambar 4.4 Denah Area Pembebanan Lantai 2

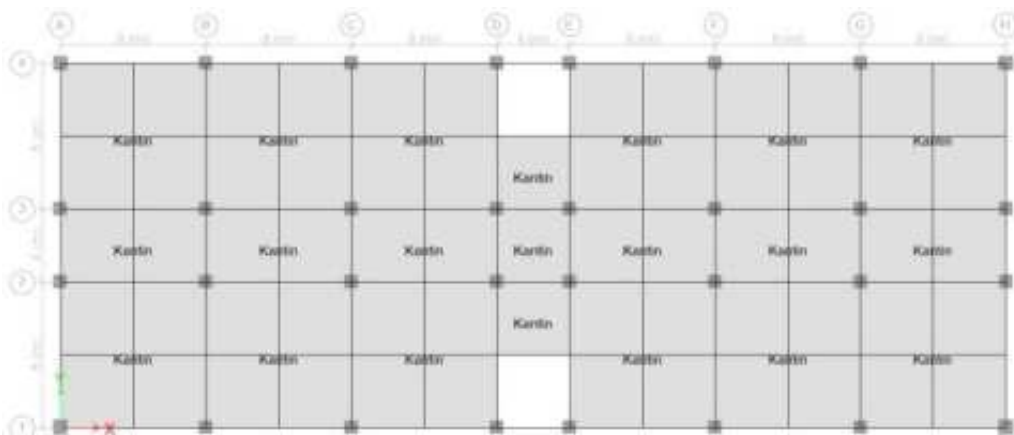
Sumber : Hasil Analisa

Ruang Kelas	=	1,92	kN/m ²
Ruangan Kantor	=	2,40	kN/m ²
Ruang Komputer	=	4,79	kN/m ²
Ruang Baca	=	4,79	kN/m ²
Laboratorium	=	2,87	kN/m ²
Kantin	=	4,79	kN/m ²
Gimnasium	=	4,79	kN/m ²
Koridor	=	3,83	kN/m ²



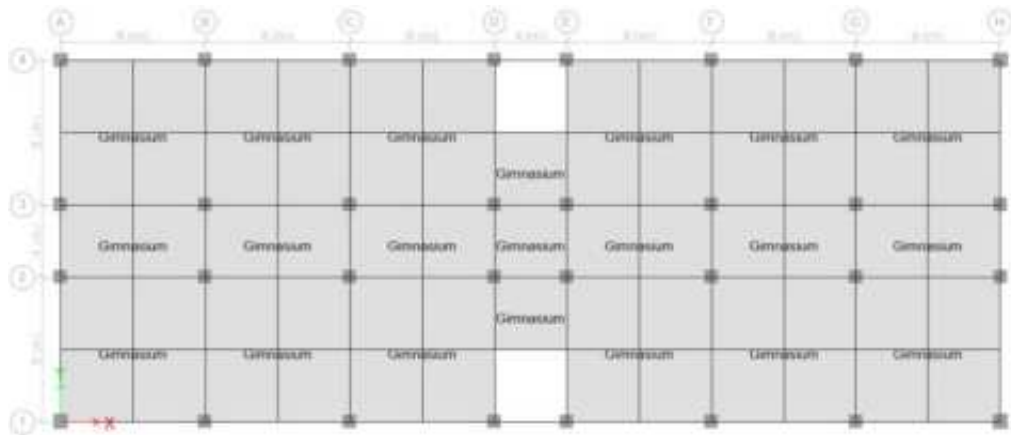
Gambar 4.5 Denah Area Pembebanan Lantai 3,5,7 dan 9.

Sumber : Hasil Analisa



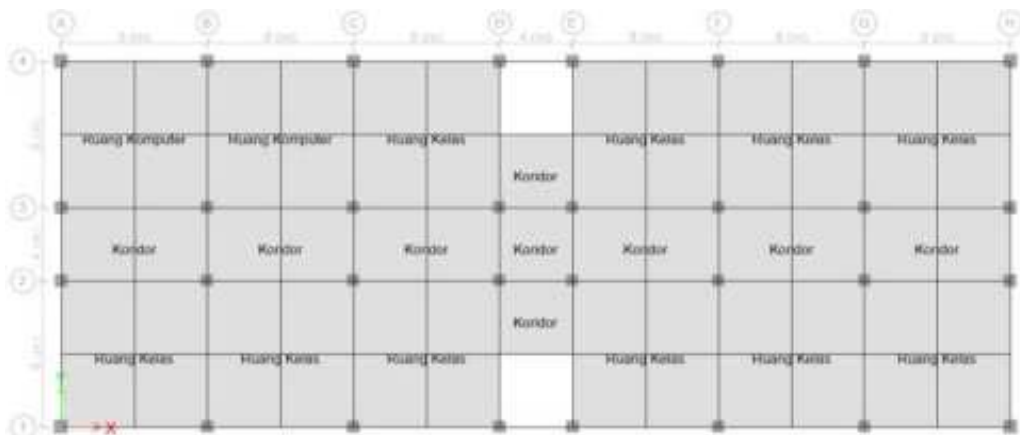
Gambar 4.6 Denah Area Pembebanan Lantai 4.

Sumber : Hasil Analisa



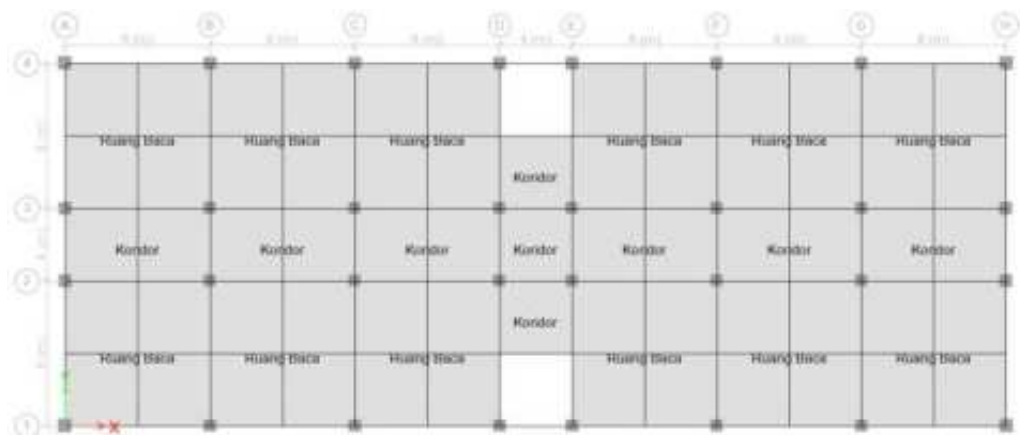
Gambar 4.7 Denah Area Pembebanan Lantai 6.

Sumber : Hasil Analisa



Gambar 4.8 Denah Area Pembebanan Lantai 8.

Sumber : Hasil Analisa

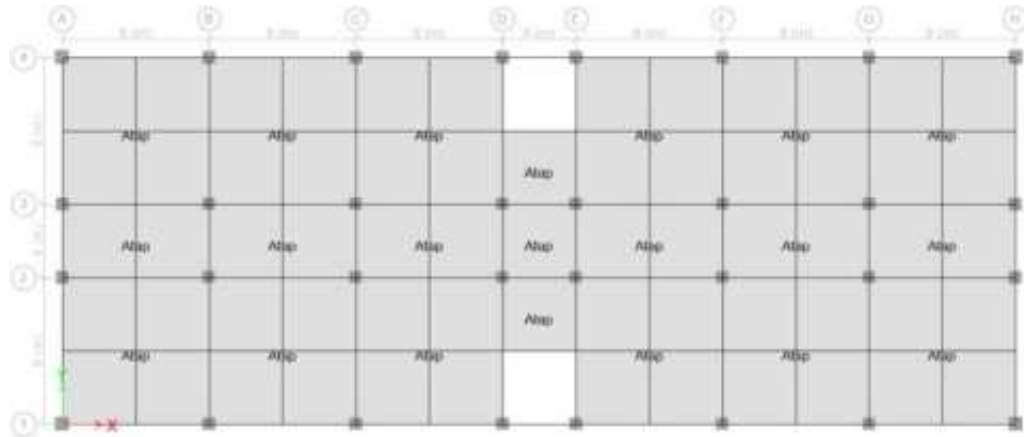


Gambar 4.9 Denah Area Pembebanan Lantai 10.

Sumber : Hasil Analisa

- **Beban Hidup Atap :**

$$\text{Dag Atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4.10 Denah Area Pembebanan Dag Atap.

Sumber : Hasil Analisa

- **Beban Mati Tambahan (SIDL):**

Berdasarkan pada Tabel 2.1 mengenai beban mati tambahan, maka dapat di rencanakan nilai beban mati tambahan yang akan di input ke dalam permodelan struktur.

SIDL Lantai

$$\text{Finishing lantai 5cm} = 1,05 \text{ kN/m}$$

$$\text{Penutup Lantai (keramik)} = 0,60 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dinding} = 0,72 \text{ kN/m}$$

$$\text{Plafond+ rangka} = 0,18 \text{ kN/m}$$

$$\text{MEP} = 0,50 \text{ kN/m}$$

$$\text{TOTAL} = 3.05 \text{ kN/m}$$

SIDL ATAP

$$\text{Finishing Lantai 5cm} = 1,15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Plafond + Rangka} = 0,18 \text{ kN/m}$$

$$\text{MEP (Mechanical Electrical} = 0,50 \text{ kN/m}$$

Plumbing)

$$\text{TOTAL} = 1,73 \text{ kN/m}$$

Kaca

$$\begin{aligned}\text{Lantai 1-10 (3,5 m)} &= (3,5-0,8).72.9,8065/1000 \\ &= 1,90 \quad \text{kN/m}\end{aligned}$$

Dinding Bata

$$\begin{aligned}\text{Lantai 1-10 (3,5 m)} &= (3,5-0,8).250.9,8065/1000 \\ &= 6,62 \quad \text{kN/m}\end{aligned}$$

4.2.2 Beban Gempa

Beban gempa didapat pada program spektrum respon desain Indonesia 2021 dengan menginput titik koordinat lokasi perencanaan struktur bangunan gedung sekolah.

- **Data Respon Spektra**

Lokasi bangunan perencanaan gedung hotel berada pada kondisi tanah lunak yang termasuk dalam klasifikasi site E yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Berdasarkan hasil dari titik koordinat (-2.96261620707, 104.792685449) yang di input ke dalam RSA 2021, diperoleh spectral percepatan perioda pendek (S_s) dan perioda 1,0 detik (S_1), sebagai berikut:

- Periode pendek 0,2 detik (S_s) = 0,286563 g
- Periode 1 detik (S_1) = 0,246415 g

Berdasarkan tabel 2.7 kategori resiko bangunan adalah IV

- Faktor keutamaan gempa = 1,50

Berdasarkan Tabel 2.9 dan Tabel 2.10 dapat ditentukan nilai F_a dan F_v ,

- Kategori Lokasi F_a = 2,297624 g
- Kategori Lokasi F_v = 3,067924 g

Perhitungan nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

$$S_{MS} = 2,297624 \times 0,286563 = 0,6584 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

$$S_{M1} = 3,067924 \times 0,246415 = 0,7560 \text{ g}$$

Perhitungan nilai SDS dan SD1

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.4)}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 2,297624 \times 0,286563 = 0,4389$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.5)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 3,067924 \times 0,246415 = 0,5040$$

Waktu getar alami struktur gedung

$$T_o = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.9)}$$

$$T_o = 0,2 \times \frac{0,5040}{0,4389} = 0,2296$$

Waktu getar alami sudut (T)

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.10)}$$

$$T_s = \frac{0,5040}{0,4389} = 1,1482$$

• Parameter Gempa

Berdasarkan tabel 2.9 dan 2.10 kategori desain gempa (KDG) adalah sebagai berikut:

$$SDS < 0,4389 \quad KDG = \mathbf{C}$$

$$0,5040 \leq SD1 \quad KDG = \mathbf{D}$$

Berdasarkan data di atas Tingkat resiko kegempaan tinggi (**KDG D**), yaitu SPRMK (Struktur rangka pemikul momen khusus). Koefisien desain dan faktor-faktor sistem penahan gempa menurut **tabel 2.2.** adalah:

$$R = 8,0$$

$$\Omega_0 = 3,0$$

$$C_d = 5,5$$

Pada Tabel 4.3 menunjukkan rekap beban gravitasi yang diperoleh setelah melakukan analisis dengan Software ETABS.

Jenis Beban	Total (Kn)
Beban Mati (DL)	80178,3
Beban Mati Tambahan (SIDL)	46317,7
Beban Hidup (L)	28692,96

Sumber : ETABS,2025

4.3 Data Percepatan Gempa

Data respon spektra yang diperoleh dari program RSA 2021 adalah sebagai berikut :

$$S_s = 0,286563$$

$$S_1 = 0,246415$$

$$F_a = 2,297624$$

$$F_v = 3,067924$$

$$S_{MS} = 0,6584$$

$$S_{M1} = 0,7560$$

$$I_e = 1,50$$

$$T_o = 0,2296$$

$$T_s = 1,1482$$

$$SDS = 0,4398$$

$$SD1 = 0,5040$$

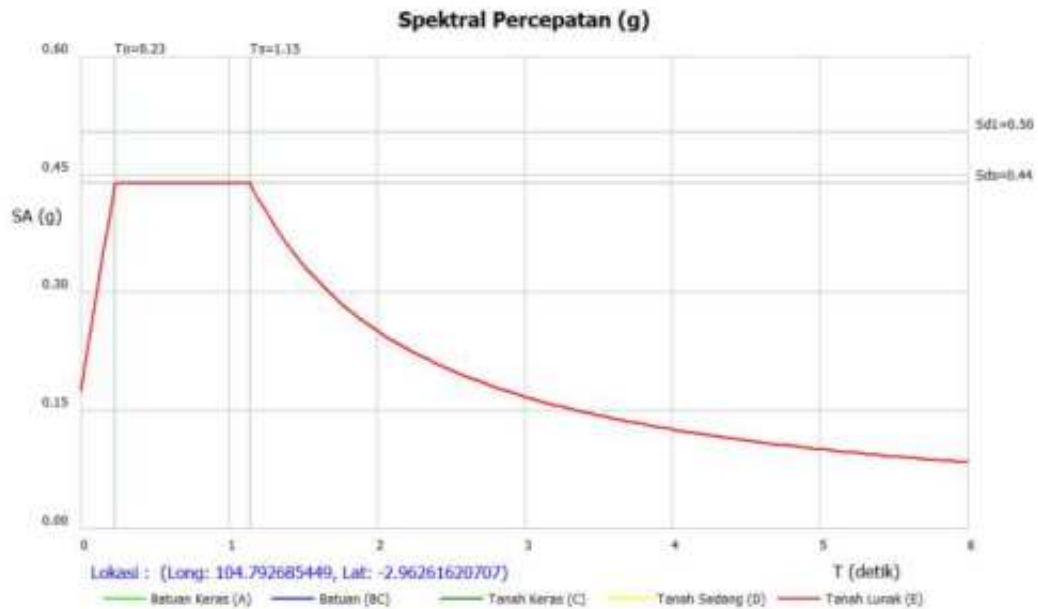
Koefisien desain dan faktor-faktor sistem struktur rangka beton bertulang penahan gempa yang diperoleh berdasarkan Tabel 2.10 adalah

$$R = 8,0$$

$$\Omega_0 = 3,0$$

$$C_d = 5,5$$

Berdasarkan titik koordinat $(-2.96261620707, 104.792685449)$ yang diinput pada RSA 2021, diperoleh desain kurva respon spektrum gempa yang dapat dilihat melalui gambar 4.1.



Gambar 4.11 Kurva Respon Spektrum Gempa Rencana.

Sumber : RSA2021, 2025

4.4 Penentuan Period Fundamental Struktur (T)

Periode fundamental struktur adalah waktu yang dibutuhkan struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran alami. Ini adalah properti penting dalam desain struktur tahan gempa, karena periode struktur harus diperhitungkan untuk menghindari resonansi dengan frekuensi getaran gempa. Periode fundamental struktur harus dipertimbangkan dalam desain struktur tahan gempa untuk menghindari resonansi dengan frekuensi getaran gempa.

Apabila nilai SD1 adalah 0,4952, sehingga koefisien C_u adalah 1,4; untuk rangka beton pemikul momen, nilai C_t adalah 0,0466 dan x adalah 0,9, dengan tinggi bangunan 35 meter. Ada dua cara untuk menghitung batas atas dan bawah:

Tabel 2.12 menunjukkan bahwa nilai SD1 adalah 0,4952, sehingga koefisien C_u adalah 1,4; untuk rangka beton pemikul momen, nilai C_t adalah

0,0466 dan x adalah 0,9, dengan tinggi bangunan 35 meter. Ada dua cara untuk menghitung batas atas dan bawah:

Batas Bawah

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.11)}$$

$$T_a = 0,0466 \times 3,5^{0,9} = 1,14 \text{ sec.}$$

Batas Atas

$$T < C_u \times T_a \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.12)}$$

$$T < 1,4 \times 1,14 = 1,600 \text{ sec.}$$

Setelah permodelan struktur dilakukan pada program ETABS, tahap selanjutnya adalah mengontrol hasil analisis struktur. Ini dilakukan dengan mengatur kontrol analisis pada kondisi un-crack dan kondisi crack, masing-masing ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.4 Perioda Ragam Getar Frekuensi pada saat kondisi *Un-Crack*

Mode	Period T	Frequency 1/T	CircFreq w	Eigenvalue w ²
	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
1	1,328	0,753	4,7302	22,3751
2	1,276	0,784	4,924	24,2457
3	1,216	0,822	5,1657	26,6844
4	0,44	2,272	14,275	203,7752
5	0,425	2,351	14,7741	218,2749
6	0,402	2,485	15,6161	243,8623
7	0,248	4,03	25,3186	641,0322
8	0,243	4,117	25,8706	669,2905
9	0,228	4,381	27,5271	757,7432
10	0,17	5,871	36,89	1360,8694
11	0,167	5,99	37,6342	1416,3353

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil Analisa getar bebas diperoleh, $T_{cx} = 1,2760 \text{ Sec.}$

$T_{cy} = 1,3280 \text{ Sec.}$

$C_u.T_a = 1,600 > T_{cx}$, maka digunakan $T = 1,2760 \text{ sec}$

$Cu.Ta = 1,600 > T_{cy}$, maka digunakan $T = 1,3280 \text{ sec}$

Tabel 4.5 Periode Ragam Getar Frekuensi pada saat kondisi *Crack*

Mode	Period T Sec	Frequency 1/T Cyc/sec	CircFreq w rad/sec	Eigenvalue w ² rad ² /sec ²
1	1,889	0,529	3,3259	11,0613
2	1,856	0,539	3,3856	11,4623
3	1,736	0,576	3,6194	13,1001
4	0,615	1,626	10,2174	104,3948
5	0,605	1,653	10,3852	107,8529
6	0,564	1,773	11,1385	124,0657
7	0,343	2,919	18,3378	336,2735
8	0,34	2,942	18,4827	341,6084
9	0,315	3,175	19,9501	398,0076
10	0,228	4,379	27,5141	757,0244
11	0,226	4,415	27,7432	769,6834

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil Analisa getar bebas diperoleh, $T_{cx} = 1,86 \text{ Sec.}$

$T_{cy} = 1,89 \text{ Sec.}$

$Cu.Ta = 1,600 > T_{cx}$, maka digunakan $T = 1,2760 \text{ sec}$

$Cu.Ta = 1,600 > T_{cy}$, maka digunakan $T = 1,3280 \text{ sec}$

4.4.1 Model Respon Spektrum

Tabel 4.6 Rasio Model Partisipasi Massa dalam Kondisi *Un-crack*

Mode	T	Rasio Modal Partisipasi Massa (%)		
		UX	UY	RZ
1	1,33	0,00	79,29	0,0032
2	1,28	79,79	79,29	0,0037
3	1,22	79,79	79,29	79,6
4	0,44	79,79	89,82	79,6
5	0,43	89,91	89,82	79,6
6	0,40	89,91	89,82	89,9
7	0,25	89,91	93,76	89,9
8	0,24	93,81	93,76	89,9
9	0,23	93,81	93,76	93,83
10	0,17	93,81	95,94	93,83
11	0,17	95,98	95,94	93,83

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa pada mode 6, nilai partisipasi massa $\geq 90\%$, yang berarti peninjauan ragam getar memenuhi pasal 7.9.1 pada SNI 2726-2019.

4.4.2 Beban Geser Dasar Gempa

Berdasarkan SNI 1727 Pasal 7.7.2, berat seismic efektif struktur harus mencakup keseluruhan beban mati dan SIDL struktur, serta 25% beban hidup, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.7 Rangkuman Beban Mati dan Beban Hidup berdasarkan Pasal 7.7.2 SNI 1726-2019

JENIS PEMBEBANAN	DATA BEBAN		Total (DL+25%L) (kN)
	BEBAN	REDUKSI	
	(kN)	B. HIDUP	
Plat, Balok & kolom	80.178,32	1,00	80.178,32
SIDL	46.317,76	1,00	46.317,76
Beban Hidup	28.692,96	0,25	7.173,24
	155.189,04	Wt =	133.669,32

Sumber : Analisis Linear, 2025

$$\begin{aligned}
 C_{S(\min)} &= 0,0290 \\
 C_{S(\max)} &= 0,0823 \\
 C_{Sx} &= 0,0741 \\
 V_{nx} &= 9.889,26 \text{ kN} \\
 C_{sy} &= 0,0712 \\
 V_{ny} &= 9.511,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Table 4.8 Base Shear sebelum terkoreksi

Base Shear (kN)	Statik	Respon Spektrum	%	Skala
V_{nx}	4411,965	2703,0632	61,27	1,6322
V_{ny}	4088,333	2466,8706	60,34	1,6573

Sumber : Analisis Linear, 2025

Table 4.9 Base Shear setelah terkoreksi

Base Shear (kN)	Statik	Respon Spektrum	%	³ 100%
V_{nx}	4.412,0	4412,0483	100,00	Ok
V_{ny}	4.088,3	4088,9115	100,01	Ok

Sumber : Analisis Linear, 2025

4.4.3 Simpangan (*Displacement*) Akibat Pengaruh Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.8.6 menyatakan bahwa analisis simpangan struktur yang disebabkan oleh beban gempa harus dilakukan. Data tentang perpindahan lantai akibat pembebanan lateral diperoleh melalui simulasi dengan ETABS, seperti yang disajikan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.10 Data simpangan lantai akibat beban lateral

Lokasi	Perpindahan (mm)		Perpindahan (mm)	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
	Ex		Ey	
LT.10	56,005	0,155	0,198	57,77
LT.9	54,246	0,15	0,19	55,678
LT.8	51,167	0,142	0,177	52,239
LT.7	46,713	0,13	0,159	47,427
LT.6	40,996	0,113	0,138	41,405
LT.5	34,687	0,095	0,115	34,89
LT.4	27,58	0,074	0,091	27,644
LT.3	19,812	0,053	0,065	19,794
LT.2	11,719	0,031	0,039	11,673
LT.1	4,165	0,012	0,013	4,127
Base	0	0	0	0

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak ETABS, diperoleh data simpangan (displacement) antar lantai akibat pengaruh beban lateral yang terdiri dari beban gempa.

4.2.4 Pemeriksaan *Story Drifts*

Berdasarkan pada Tabel 2.13 simpangan antar tingkan izin (Δ_{izin}) pada kategori resiko IV di lantai 2 arah x dengan ketinggian perlantai (h_{sx}) 4 meter, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta_{izin} = 0,010 \times h_{sx} \quad (\text{Tabel 2.13})$$

$$\Delta_{izin} = 0,010 \times 4 \times 1.000 = 40 \text{ mm}$$

Rasio Simpangan

$$\delta_{xe} = \frac{\Delta_{xe}}{L} \quad (\text{Persamaan 2.23})$$

$$\text{Rasio Simpangan} = \frac{(0,3982 - 0)}{4 \times 1.000} = 0,001$$

Defleksi Pusat Massa Tingkat

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (\text{Persamaan 2.23})$$

$$\delta_x = \frac{5,5 \times 0,001}{1,5} = 14,60$$

Perhitungan story drift selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.9 untuk story drifts arah sumbu-X dan Tabel 4.10 untuk Story drifts arah sumbu-Y.

Tabel 4.11 Story Drift Arah Sumbu X

Tingkat x	Story	Tinggi Tingkat h_x (m)	Story Drift Hasil Analisis		Drift Izin Maks.	$\Sigma \delta_x$ (mm)	Drift Izin Maks.	Kontrol
			δ_{xe}/h_x (mm/mm)	δ_x (mm)	Δ_x (mm)		$\Sigma \Delta_x$ (mm)	
LT.10	10	3,50	0,00050	6,45	35,00	205,35	350	Ok.
LT.9	9	3,50	0,00088	11,29	35,00	198,90	315	Ok.
LT.8	8	3,50	0,00127	16,33	35,00	187,61	280	Ok.
LT.7	7	3,50	0,00163	20,96	35,00	171,28	245	Ok.
LT.6	6	3,50	0,00180	23,13	35,00	150,32	210	Ok.
LT.5	5	3,50	0,00203	26,06	35,00	127,19	175	Ok.
LT.4	4	3,50	0,00222	28,48	35,00	101,13	140	Ok.
LT.3	3	3,50	0,00231	29,67	35,00	72,64	105	Ok.
LT.2	2	3,50	0,00216	27,70	35,00	42,97	70	Ok.
LT.1	1	3,50	0,00119	15,27	35,00	15,27	35	Ok.
Base	0	0	0	0	0	0	0	

Analisis terhadap perbedaan tinggi antar lantai (story drift) dalam arah sumbu X menunjukkan bahwa nilai drift meningkat secara bertahap dari lantai dasar ke lantai atas. Menurut ketentuan SNI 1726:2019, batas maksimum story drift untuk bangunan dengan sistem rangka pemikul momen khusus dan kategori risiko tinggi adalah $0,007 h$ (dengan h sebagai tinggi lantai). Dengan demikian, semua nilai story drift yang terjadi dalam arah sumbu X masih berada dalam batas yang aman, menunjukkan bahwa deformasi antar lantai dalam struktur terkendali. Distribusi story drift yang relatif stabil juga menunjukkan tidak adanya ketidakaturan vertikal yang signifikan dalam arah X, serta menandakan bahwa struktur mampu merespons beban gempa secara efektif.

Tabel 4.12 Story Drift Arah Sumbu Y

Tingkat x	Story	Tinggi Tingkat h_y (m)	Story Drift Hasil Analisis		Drift Izin Maks.	$\Sigma \delta_y$ (mm)	Drift Izin Maks.	Kontrol
			δ_y/h_x (mm/mm)	δ_y (mm)	Δ_y (mm)		$\Sigma \Delta_y$ (mm)	
LT.10	10	3,50	0,00060	11,51	70,00	317,74	700,00	Ok.
LT.9	9	3,50	0,00098	18,91	70,00	306,23	630,00	Ok.
LT.8	8	3,50	0,00137	26,47	70,00	287,31	560,00	Ok.
LT.7	7	3,50	0,00172	33,12	70,00	260,85	490,00	Ok.
LT.6	6	3,50	0,00186	35,83	70,00	227,73	420,00	Ok.
LT.5	5	3,50	0,00207	39,85	70,00	191,90	350,00	Ok.
LT.4	4	3,50	0,00224	43,18	70,00	152,04	280,00	Ok.
LT.3	3	3,50	0,00232	44,67	70,00	108,87	210,00	Ok.
LT.2	2	3,50	0,00216	41,50	70,00	64,20	140,00	Ok.
LT.1	1	3,50	0,00118	22,70	70,00	22,70	70,00	Ok.
Base	0	0	0	0	0	0	0	

Analisis perbedaan antar lantai (story drift) pada arah sumbu Y menunjukkan bahwa deformasi struktur semakin besar seiring dengan peningkatan ketinggian bangunan. Pada umumnya, distribusi story drift di arah Y tergolong merata. Dengan demikian, struktur bangunan dalam arah sumbu Y dianggap mampu menanggung beban gempa secara efektif tanpa menyebabkan ketidakseimbangan vertikal yang berarti.

4.4.5 Beban Geser Dasar Gempa

Tabel 4.13 Rangkuman Berat Struktur per Lantai

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Beban Mati DL akibat geser gempa			(DL+25%L) kN/m
		Beban Mati kN/m	SIDL kN/m	Live kN/m	
LT.10	35,00	7256,73455	2751,84	967,68	10.250,49
LT.9	31,50	7881,8642	5086,88	3123,36	13.749,58
LT.8	28,00	7881,86415	5298,72	2393,76	13.779,02
LT.7	24,50	7881,8642	5298,72	2761,12	13.870,86
LT.6	21,00	7975,93995	5298,72	2393,76	13.873,10
LT.5	17,50	8105,83165	3930,08	4675,04	13.204,67
LT.4	14,00	8105,83165	5298,72	2393,76	14.002,99
LT.3	10,50	8105,83165	4027,68	4828,32	13.340,59
LT.2	7,00	8103,10715	5298,72	2393,76	14.000,27
LT.1	3,50	8111,6488	4027,68	2762,4	12.829,93
Base	0	80946,1267	0	0	80.946,13
		160.356,64	46.317,76	28.693	213.847,64

Berdasarkan hasil pengolahan data dari model struktur menggunakan perangkat lunak ETABS, diperoleh total berat struktur per lantai yang terdiri dari kombinasi beban mati, beban hidup, serta berat elemen struktural seperti pelat, balok, dan kolom.

Tabel 4.14 Distribusi Gaya Gempa per Lantai Arah Sumbu X

Lantai	Tinggi Lantai h_i (m)	Berat lantai (DL+25%LL) W_i (kN)	Momen $W_i \cdot h_i$ (kN.m)	C_{vx}	Gaya Geser Tingkat F_i (kN)	Geser Lantai F_x (kN)	Momen Guling M_{OT-X} (kN.m)
LT.10	35,00	10.250,49	358.767	0,1424	1.409,91	1.409,9	0,0
LT.9	31,50	13.749,58	433.112	0,1719	1.702,08	3.112,0	49.347,0
LT.8	28,00	13.779,02	385.813	0,1532	1.516,20	4.628,2	147.374,8
LT.7	24,50	13.870,86	339.836	0,1349	1.335,52	5.963,7	276.964,3
LT.6	21,00	13.873,10	291.335	0,1157	1.144,91	7.108,6	423.075,2
LT.5	17,50	13.204,67	231.082	0,0917	908,12	8.016,7	572.356,3
LT.4	14,00	14.002,99	196.042	0,0778	770,42	8.787,2	712.649,5
LT.3	10,50	13.340,59	140.076	0,0556	550,48	9.337,7	835.669,9
LT.2	7,00	14.000,27	98.002	0,0389	385,14	9.722,8	933.715,2
LT.1	3,50	12.829,93	44.905	0,0178	176,47	9.899,3	1.001.774,8
Base	0	80.946,13	0	0	0	0	1.036.422,2
		213.847,6	2.518.969,6	1,0	9.899,3		1.036.422,2

Gaya gempa statik ekuivalen pada arah sumbu X dihitung dengan mempertimbangkan massa efektif serta ketinggian setiap lantai terhadap dasar bangunan, sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besarnya gaya gempa meningkat secara bertahap mulai dari lantai dasar hingga mencapai lantai tertinggi.

Tabel 4.15 Distribusi Gaya Gempa per Lantai Arah Sumbu Y

Lantai	Tinggi Lantai h_i (m)	Berat lantai (DL+25%LL) W_i (kN)	Momen $W_i \cdot h_i$ (kN.m)		Gaya Geser Tingkat F_i (kN)	Geser Lantai F_y (kN)	Momen Guling M_{OT-Y} (kN.m)
LT.10	35,00	10.250,49	358.767	0,1424	1.354,71	1.354,71	0,0
LT.9	31,50	13.749,58	433.112	0,1719	1.635,43	2.990,14	47.414,7
LT.8	28,00	13.779,02	385.813	0,1532	1.456,83	4.446,97	141.604,1
LT.7	24,50	13.870,86	339.836	0,1349	1.283,22	5.730,19	266.119,3
LT.6	21,00	13.873,10	291.335	0,1157	1.100,08	6.830,28	406.509,0
LT.5	17,50	13.204,67	231.082	0,0917	872,57	7.702,84	549.944,8
LT.4	14,00	14.002,99	196.042	0,0778	740,26	8.443,10	684.744,5
LT.3	10,50	13.340,59	140.076	0,0556	528,93	8.972,02	802.947,8
LT.2	7,00	14.000,27	98.002	0,0389	370,06	9.342,08	897.154,1
LT.1	3,50	12.829,93	44.905	0,0178	169,56	9.511,64	962.548,7
Base	0,00	80.946,13	0	0	0	0	995.839,4
		213.847,64	2.518.969,6	1,00	9.511,64		995.839,4

Gaya gempa statik ekuivalen pada arah sumbu Y dihitung berdasarkan massa bangunan dan tinggi masing-masing lantai dari dasar struktur, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019. Pola distribusi menunjukkan bahwa gaya gempa semakin besar seiring dengan meningkatnya ketinggian lantai, sesuai dengan prinsip analisis statik ekuivalen, yaitu gaya gempa didistribusikan berdasarkan kontribusi massa dan tinggi lantai terhadap pusat massa bangunan. Distribusi ini secara proporsional digunakan sebagai dasar penentuan beban lateral pada arah Y dalam pemodelan struktur, serta untuk mengevaluasi respons bangunan terhadap gaya gempa dalam simulasi ETABS.

4.4.6 Stabilitas Guling

Berdasarkan SNI 1726-2012, Ps. 7.8.5. dan 8.8.4. struktur harus didesain untuk menahan pengaruh guling yang diakibatkan oleh gaya gempa.

Arah X

$$M_{OT_X} = 1.036.422,20 \text{ kN-m}$$

$$M_{ST_X} = 6.415.429,34 \text{ kN-m}$$

$$0,75 M_{ST} > M_{OT}$$

$$4.811.572 \text{ kN-m} > \text{kN-m } 1.036.422,20 \quad \text{Ok.}$$

Arah Y

$$M_{OT_Y} = 995.839,40 \text{ kN-m}$$

$$M_{ST_Y} = 2.566.171,74 \text{ kN-m}$$

$$0,75 M_{ST} > M_{OT}$$

$$1.924.629 \text{ kN-m} > 995.839,40 \text{ kN-m} \quad \text{Ok.}$$

4.4.7 Pengaruh P Delta**Tabel 4.16** Pemeriksaan P Delta Arah Sumbu X

Lantai	Tinggi Tingkat h_i (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat P_i (kN)	Story Drift δ_x/C_d (m)	Shear story V_i (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
LT.10	3,50	10.976,25	10.976,25	0,0018	1.409,91	0,004	Ok.	Ok.
LT.9	3,50	16.092,10	27.068,36	0,0031	3.111,99	0,008	Ok.	Ok.
LT.8	3,50	15.574,34	42.642,70	0,0045	4.628,19	0,012	Ok.	Ok.
LT.7	3,50	15.941,70	58.584,41	0,0057	5.963,71	0,016	Ok.	Ok.
LT.6	3,50	15.668,42	74.252,83	0,0063	7.108,63	0,019	Ok.	Ok.
LT.5	3,50	16.710,95	90.963,78	0,0071	8.016,75	0,023	Ok.	Ok.
LT.4	3,50	15.798,31	106.762,09	0,0078	8.787,17	0,027	Ok.	Ok.
LT.3	3,50	16.961,83	123.723,92	0,0081	9.337,66	0,031	Ok.	Ok.
LT.2	3,50	15.795,59	139.519,51	0,0076	9.722,79	0,031	Ok.	Ok.
LT.1	3,50	14.901,73	154.421,24	0,0042	9.899,26	0,019	Ok.	Ok.
Base	0	80.946,13	235.367,36	0	0	0	0	

Pemeriksaan efek P-Delta pada arah sumbu X dilakukan untuk mengetahui pengaruh deformasi sekunder yang diakibatkan oleh interaksi antara gaya aksial dan perpindahan lateral terhadap stabilitas struktur. Meskipun kontribusi efek P-Delta tidak terlalu besar, tetap perlu diperhatikan dalam merancang elemen struktur vertikal seperti kolom dan dinding geser agar kapasitas aksial serta momen tetap memadai pada kondisi beban gempa maksimum.

Tabel 4.17 Pemeriksaan P Delta Arah Sumbu Y

Tingkat	Tinggi Tingkat h_i (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat P_i (kN)	Story Drift δ_y/C_d (m)	Shear story V_i (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
LT.10	3,50	10.976,25	10.976,25	0,0021	1.354,71	0,005	Ok.	Ok.
LT.9	3,50	16.092,10	27.068,36	0,0034	2.990,14	0,009	Ok.	Ok.
LT.8	3,50	15.574,34	42.642,70	0,0048	4.446,97	0,013	Ok.	Ok.
LT.7	3,50	15.941,70	58.584,41	0,0060	5.730,19	0,018	Ok.	Ok.
LT.6	3,50	15.668,42	74.252,83	0,0065	6.830,28	0,020	Ok.	Ok.
LT.5	3,50	16.710,95	90.963,78	0,0072	7.702,84	0,024	Ok.	Ok.
LT.4	3,50	15.798,31	106.762,09	0,0079	8.443,10	0,028	Ok.	Ok.
LT.3	3,50	16.961,83	123.723,92	0,0081	8.972,02	0,032	Ok.	Ok.
LT.2	3,50	15.795,59	139.519,51	0,0075	9.342,08	0,032	Ok.	Ok.
LT.1	3,50	14.901,73	154.421,24	0,0041	9.511,64	0,019	Ok.	Ok.
Base	0	80.946,13	235.367,36	0	0	0	0	

Pemeriksaan efek P-Delta pada arah sumbu Y dilakukan untuk mengevaluasi dampak deformasi sekunder yang terjadi karena kombinasi gaya aksial dan perpindahan lateral terhadap stabilitas struktur secara keseluruhan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur masih dalam kondisi stabil terhadap efek P-Delta pada arah Y dan tidak perlu dilakukan analisis nonlinier lanjutan untuk kondisi tersebut. Meskipun demikian, peningkatan perpindahan ini tetap menjadi perhatian dalam desain elemen vertikal, terutama kolom di area dasar bangunan, agar mampu menahan momen dan gaya aksial secara bersamaan saat struktur mengalami perpindahan lateral maksimum.

4.4.8 Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Ketidakberaturan struktur vertikal (*vertical irregularity*) adalah kondisi di mana terdapat perubahan yang signifikan pada sistem struktur bangunan di sepanjang tinggi (vertikal), baik dalam hal kekakuan, massa, dimensi elemen struktur, atau konfigurasi sistem penahan beban lateral dari satu lantai ke lantai lainnya.

Tabel 4.18 Iregularitas Vertikal Tipe 1a Arah X

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio δ_{xe}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0018	0,00050	0,70	0,78
LT.9	9	31,50	0,0031	0,00088	0,70	0,78
LT.8	8	28,00	0,0045	0,00127	0,70	0,78
LT.7	7	24,50	0,0057	0,00163	0,70	0,78
LT.6	6	21,00	0,0063	0,00180	0,70	0,91
LT.5	5	17,50	0,0071	0,00203	0,70	0,89
LT.4	4	14,00	0,0078	0,00222	0,70	0,91
LT.3	3	10,50	0,0081	0,00231	0,70	0,96
LT.2	2	7,00	0,0076	0,00216	0,70	1,07
LT.1	1	3,50	0,0042	0,00119	0,70	1,81
Base	0	0	0	0	0,70	0
Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	80% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0018	0,0000	0,80	1,06
LT.9	9	31,50	0,0031	0,0000	0,80	1,06
LT.8	8	28,00	0,0045	0,0000	0,80	1,06
LT.7	7	24,50	0,0057	0,0009	0,80	1,06
LT.6	6	21,00	0,0063	0,0013	0,80	1,06
LT.5	5	17,50	0,0071	0,0016	0,80	1,06
LT.4	4	14,00	0,0078	0,0018	0,80	1,28
LT.3	3	10,50	0,0081	0,0020	0,80	1,47
LT.2	2	7,00	0,0076	0,0022	0,80	0,93
LT.1	1	3,50	0,0042	0,0022	0,80	1,84
Base	0	0	0	0	0,80	0

Berdasarkan analisis struktur terhadap beban gempa statik ekuivalen, ditemukan adanya ketidakaturan vertikal tipe 1a pada arah sumbu X, yaitu bentuk lantai lemah pada lantai pertama. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan kekakuan lateral di setiap lantai. Ketidakaturan tersebut menunjukkan bahwa lantai dasar memiliki kekakuan lateral yang jauh lebih rendah dibandingkan lantai di atasnya, sehingga dapat menimbulkan penumpukan deformasi berlebihan ketika terjadi gempa bumi.

Tabel 4.20 Iregularitas Vertikal Tipe 1a Arah Y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0021	0,00060	0,70	0,80
LT.9	9	31,50	0,0034	0,00098	0,70	0,80
LT.8	8	28,00	0,0048	0,00137	0,70	0,80
LT.7	7	24,50	0,0060	0,00172	0,70	0,80
LT.6	6	21,00	0,0065	0,00186	0,70	0,92
LT.5	5	17,50	0,0072	0,00207	0,70	0,90
LT.4	4	14,00	0,0079	0,00224	0,70	0,92
LT.3	3	10,50	0,0081	0,00232	0,70	0,97
LT.2	2	7,00	0,0075	0,00216	0,70	1,08
LT.1	1	3,50	0,0041	0,00118	0,70	1,83
Base	0	0	0	0	0,70	0
Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	80% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0021	0,0010	0,80	1,00
LT.9	9	31,50	0,0034	0,0010	0,80	1,00
LT.8	8	28,00	0,0048	0,0010	0,80	1,00
LT.7	7	24,50	0,0060	0,0010	0,80	1,00
LT.6	6	21,00	0,0065	0,0014	0,80	0,84
LT.5	5	17,50	0,0072	0,0017	0,80	0,84
LT.4	4	14,00	0,0079	0,0019	0,80	0,84
LT.3	3	10,50	0,0081	0,0021	0,80	0,89
LT.2	2	7,00	0,0075	0,0022	0,80	1,03
LT.1	1	3,50	0,0041	0,0022	0,80	1,90
Base	0	0	0	0	0,8	0

Berdasarkan pemeriksaan struktur diatas, dapat dinyatakan bahwa struktur memiliki ketidak beraturan veritak 1a dan 1b. Namun, berdasarkan pengecualian pada SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2.2 mengenai ketidak beraturan vertical. Ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1a dan 1b tidak berlaku jika ada rasio simpangan antar Tingkat yang nilainya lebih besar dari 130% rasio simpangan antar Tingkat diatasnya. Pengecualian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Tabel 4.23.

Tabel 4.21 Iregularitas Vertikal Tipe 1b (*Extreme Soft Story*) Arah X (60 %)

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio δ_{xe}/h_i	60% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0018	0,00050	0,60	0,69
LT.9	9	31,50	0,0031	0,00088	0,60	0,69
LT.8	8	28,00	0,0045	0,00127	0,60	0,69
LT.7	7	24,50	0,0057	0,00163	0,60	0,78
LT.6	6	21,00	0,0063	0,00180	0,60	0,91
LT.5	5	17,50	0,0071	0,00203	0,60	0,89
LT.4	4	14,00	0,0078	0,00222	0,60	0,91
LT.3	3	10,50	0,0081	0,00231	0,60	0,96
LT.2	2	7,00	0,0076	0,00216	0,60	1,07
LT.1	1	3,50	0,0042	0,00119	0,60	1,81
Base	0	0	0	0	0,60	0
Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0018	0,0000	0,80	1,06
LT.9	9	31,50	0,0031	0,0000	0,80	1,06
LT.8	8	28,00	0,0045	0,0000	0,80	1,06
LT.7	7	24,50	0,0057	0,0009	0,80	1,06
LT.6	6	21,00	0,0063	0,0013	0,80	1,06
LT.5	5	17,50	0,0071	0,0016	0,80	1,06
LT.4	4	14,00	0,0078	0,0018	0,80	1,28
LT.3	3	10,50	0,0081	0,0020	0,80	1,47
LT.2	2	7,00	0,0076	0,0022	0,80	0,93
LT.1	1	3,50	0,0042	0,0022	0,80	1,84
Base	0	0	0	0	0,80	0

Ketidakberaturan ini dapat menyebabkan terkonsentrasinya gaya internal yang berisiko tinggi saat terjadi gempa, sehingga diperlukan evaluasi ulang desain struktur pada lantai tersebut. Evaluasi ini meliputi penambahan elemen yang mampu menahan gaya horizontal atau peningkatan kemampuan sistem struktur yang sudah ada dalam menangani gaya lateral. Hal ini menunjukkan bahwa lantai dasar mengalami deformasi lateral yang jauh lebih besar dibandingkan lantai di atasnya.

Tabel 4.21 Iregularitas Vertikal Tipe 1b (*Extreme Soft Story*) Arah Y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	60% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0021	0,00060	0,60	0,71
LT.9	9	31,50	0,0034	0,00098	0,60	0,71
LT.8	8	28,00	0,0048	0,00137	0,60	0,71
LT.7	7	24,50	0,0060	0,00172	0,60	0,80
LT.6	6	21,00	0,0065	0,00186	0,60	0,92
LT.5	5	17,50	0,0072	0,00207	0,60	0,90
LT.4	4	14,00	0,0079	0,00224	0,60	0,92
LT.3	3	10,50	0,0081	0,00232	0,60	0,97
LT.2	2	7,00	0,0075	0,00216	0,60	1,08
LT.1	1	3,50	0,0041	0,00118	0,60	1,83
Base	0	0	0,0000	0	0,60	0
Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.10	10	35,00	0,0021	0,0010	0,70	0,70
LT.9	9	31,50	0,0034	0,0010	0,70	1,00
LT.8	8	28,00	0,0048	0,0010	0,70	0,80
LT.7	7	24,50	0,0060	0,0010	0,70	0,80
LT.6	6	21,00	0,0065	0,0014	0,70	0,80
LT.5	5	17,50	0,0072	0,0017	0,70	0,80
LT.4	4	14,00	0,0079	0,0019	0,70	0,84
LT.3	3	10,50	0,0081	0,0021	0,70	0,89
LT.2	2	7,00	0,0075	0,0022	0,70	1,03
LT.1	1	3,50	0,0041	0,0022	0,70	1,90
Base	0	0,00	0,0000	0	0,70	0

Analisis struktur menunjukkan adanya ketidakaturan vertikal tipe 1b yang berdasarkan pada lendutan pada kedua arah sumbu X dan Y. Ketidakaturan ini berpotensi menyebabkan penumpukan gaya internal serta meningkatkan risiko kerusakan lokal pada bangunan ketika mengalami beban gempa. Hal ini menunjukkan bahwa lantai dasar mengalami deformasi lateral yang jauh lebih besar dibandingkan lantai di atasnya, yang dapat mengakibatkan peningkatan risiko

konsentrasi kerusakan saat terjadi gempa. Ketidakteraturan ini sering kali disebabkan oleh kurangnya elemen penahan lateral pada lantai dasar.

Tabel 4.22 Iregularitas Vertikal Tipe 2

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Berat (massa) W_i (kN)	Rasio Berat (massa)	Rasio Terhadap Lantai di Bawahnya	Rasio Terhadap Lantai di Atasnya
LT.10	10	35,00	10.976,25	1,50	0,68	0,00
LT.9	9	31,50	16.092,10	1,50	1,03	0,68
LT.8	8	28,00	15.574,34	1,50	0,98	1,03
LT.7	7	24,50	15.941,70	1,50	1,02	0,98
LT.6	6	21,00	15.668,42	1,50	0,94	1,02
LT.5	5	17,50	16.710,95	1,50	1,06	0,94
LT.4	4	14,00	15.798,31	1,50	0,93	1,06
LT.3	3	10,50	16.961,83	1,50	1,07	0,93
LT.2	2	7,00	15.795,59	1,50	1,06	1,07
LT.1	1	3,50	14.901,73	1,50	0	1,06
Base	0	0	80.946,13	1,50	0	0

Dari hasil pemeriksaan struktur memiliki ketidak beraturan vertikal baik tipe 1a maupun tipe 1b, ketentuan SNI 1726-2012, Ps. 7.3.2.2. Ketidak beraturan vertikal 1a dan 1b diatas tidak berlaku bila tidak ada drift tingkat pada lantai yang ditinjau $> 1,3$ kali rasio drift tingkat diatasnya.

Tabel 4.23 Pemeriksaan *Story Drift Ratio* (Exception 1) Arah X

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio δ_{xe}/h_i	Rasio 130%	Rasio
LT.10	10	35,00	0,0018	0,000503	1,30	1,75
LT.9	9	31,50	0,0031	0,000880	1,30	1,75
LT.8	8	28,00	0,0045	0,001273	1,30	1,45
LT.7	7	24,50	0,0057	0,001633	1,30	1,28
LT.6	6	21,00	0,0063	0,001803	1,30	1,10
LT.5	5	17,50	0,0071	0,002031	1,30	1,13
LT.4	4	14,00	0,0078	0,002219	1,30	1,09
LT.3	3	10,50	0,0081	0,002312	1,30	1,04
LT.2	2	7,00	0,0076	0,002158	1,30	0,93
LT.1	1	3,50	0,0042	0,001190	1,30	0,55
Base	0	0	0	0	1,30	0

Tabel 4.24 Pemeriksaan *Story Drift Ratio* (*Exception 1*) Arah Y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	Rasio 130%	Rasio
LT.10	10	35,00	0,0021	0,000598	1,30	1,64
LT.9	9	31,50	0,0034	0,000983	1,30	1,64
LT.8	8	28,00	0,0048	0,001375	1,30	1,40
LT.7	7	24,50	0,0060	0,001721	1,30	1,25
LT.6	6	21,00	0,0065	0,001861	1,30	1,08
LT.5	5	17,50	0,0072	0,002070	1,30	1,11
LT.4	4	14,00	0,0079	0,002243	1,30	1,08
LT.3	3	10,50	0,0081	0,002320	1,30	1,03
LT.2	2	7,00	0,0075	0,002156	1,30	0,93
LT.1	1	3,50	0,0041	0,001179	1,30	0,55
Base	0	0	0	0	1,30	0

Pemeriksaan perbandingan pergeseran (*story drift ratio*) untuk *Exception 1* pada arah sumbu X dan sumbu Y dilakukan guna mengevaluasi apakah bangunan memenuhi persyaratan batas deformasi antar lantai berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 12. 8. 6.

4.4.9 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Tabel 4.25 Faktor Pembesaran Torsi Tak Terduga

Tingkat ke-i	Drift δ_A (mm)	Drift δ_B (mm)	Story Drift $\delta_{A,i}$ (mm)	Story Drift $\delta_{B,i}$ (mm)	Rata-rata δ_{AVG} (mm)	$\delta_{max}/\delta_{avg}$
Gempa Arah-X						
LT.10	33,07	30,01	6,19	5,61	5,90	1,05
LT.9	26,89	24,39	18,57	16,84	17,71	1,05
LT.8	45,46	41,23	2,89	2,62	2,75	1,05
LT.7	42,57	38,62	4,20	3,81	4,00	1,05
LT.6	38,37	34,81	5,30	4,80	5,05	1,05
LT.5	33,07	30,01	6,19	5,61	5,90	1,05
LT.4	26,89	24,39	6,60	6,03	6,32	1,05
LT.3	20,28	18,36	3,38	2,99	3,18	1,06
LT.2	16,90	15,37	6,48	5,69	6,09	1,07
LT.1	10,42	9,68	10,42	9,68	10,05	1,04
Base	0	0	0	0	0	0

Lanjutan...

Gempa Arah-Y						
LT.10	33,62	28,92	6,21	5,31	5,76	1,08
LT.9	27,41	23,62	-18,85	-16,17	-17,51	0,92
LT.8	46,26	39,79	3,00	2,60	2,80	1,07
LT.7	43,26	37,19	4,28	3,68	3,98	1,08
LT.6	38,97	33,51	5,35	4,58	4,97	1,08
LT.5	33,62	28,92	6,21	5,31	5,76	1,08
LT.4	27,41	23,62	6,63	5,66	6,15	1,08
LT.3	20,78	17,96	3,21	2,84	3,03	1,06
LT.2	17,57	15,11	6,64	5,67	6,15	1,08
LT.1	10,93	9,45	10,93	9,45	10,19	1,07
Base	0	0	0,00	0	0	0

Berdasarkan SNI 1726-2012, Ps. 7.3.2.1.

- Ketidak beraturan horizontal 1a akan terpenuhi bila

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1,20$$

- Ketidak beraturan horizontal 1a akan terpenuhi bila

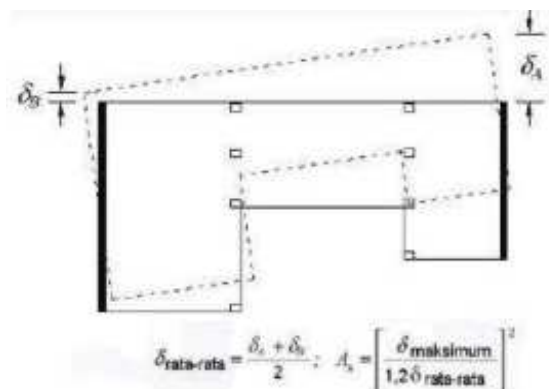
$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1,40$$

Berdasarkan SNI 1726-2012, Ps. 7.8.4.3. Torsi tak terduga maksimum

$$\text{Arah x } 1,02 < 3,50$$

$$\text{Arah y } 1,09 < 3,50$$

Ketidak Beraturan Horizontal Tidak Terjadi



Gambar 4.12 Ketidakberaturan horizontal

4.5 Kombinasi Beban

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.4.2, sebelum ke tahap selanjutnya, Merancang komponen struktur atas. Data-data pembebanan yang diperoleh dari hasil Analisa linear dikombinasikan dengan kombinasi beban sebagai berikut :

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. $(1,2+0,2.S_{DS})D + 1,0L \pm \rho (E_x \pm 0,3 E_y)$
4. $(0,9-0,2.S_{DS})D \pm \rho (E_x \pm 0,3 E_y)$

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 ps.7.4.2.3 Nilai SDS 0,6301 Maka kombinasi 3 dan 4 menjadi :

3. $1,33D + 1,0L \pm \rho (E_x \pm 0,3 E_y)$
4. $0,77D \pm \rho (E_x \pm 0,3 E_y)$

Faktor reduksi kekuatan

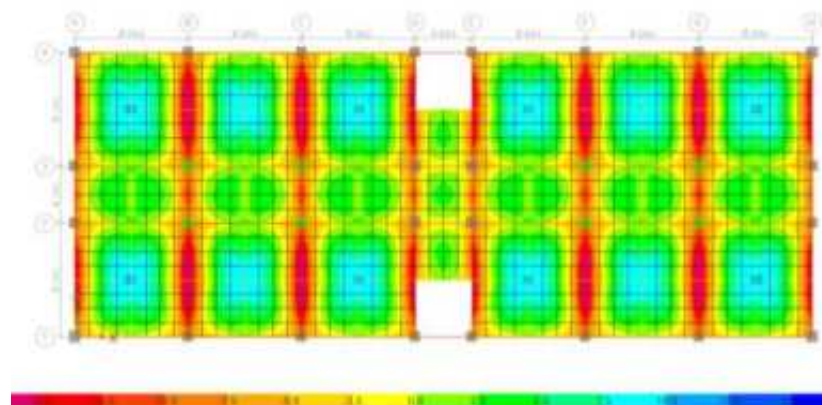
1. Lentur Tarik = 0,90
2. Aksial Tekan = 0,65
3. Geser = 0,75
4. Shear seismic = 0,55

4.6 Desain Struktur Atas

4.6.1 Respon Struktur

- Diagram Momen Pelat Lantai arah X

$$M_{tp} = 15,4 \text{ kN/m} \quad M_{lp} = 10,3 \text{ kN/m}$$



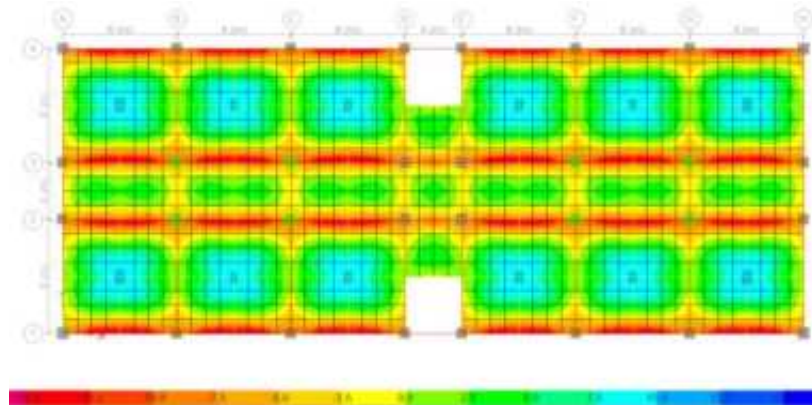
Gambar 4.13 Diagram Momen Pelat Lantai Arah X

Sumber : Hasil Analisa

- Diagram Momen Pelat Lantai arah Y

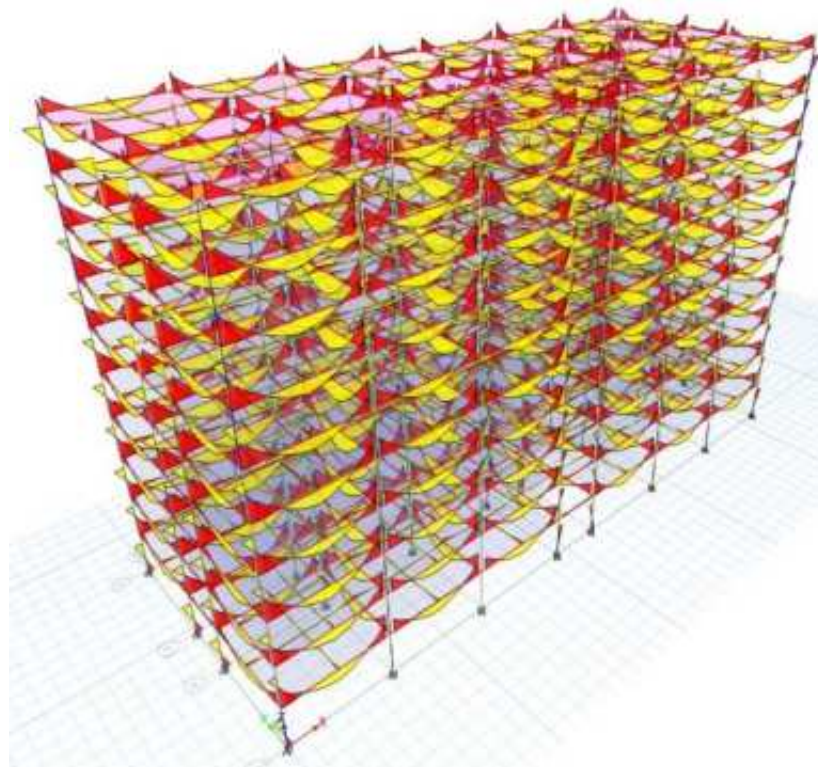
$$M_{tp} = 14,5 \text{ kN/m}$$

$$M_{lp} = 8,9 \text{ kN/m}$$



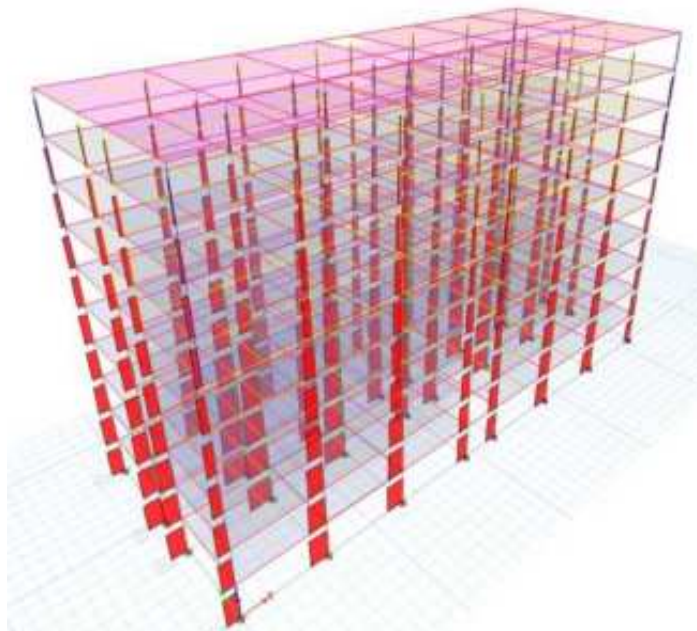
Gambar 4.14 Diagram Momen Pelat Lantai Arah Y

Sumber : Hasil Analisa



Gambar 4.15 Diagram Momen Balok dan Kolom

Sumber : Hasil Analisa



Gambar 4.16 Diagram Aksial Balok dan Kolom
Sumber : Hasil Analisa

4.6.2 Pelat Lantai

A. Data Material

- Beton

$$F_c = 25 \quad \text{Mpa}$$

$$E_c = 23500 \quad \text{Mpa}$$

- Baja Tulangan

$$F_y = 400 \quad \text{Mpa}$$

$$F_y = 400 \quad \text{Mpa}$$

B. Penulangan

Data Perencanaan:

$$b = 1000 \quad \text{mm}$$

$$h = 120 \quad \text{mm}$$

$$d' = 25 \quad \text{mm}$$

$$s = 20 \quad \text{mm}$$

$$d_s = 10 \quad \text{mm}$$

$$d = 95,0 \quad \text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 25 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 490 \text{ MPa} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 \phi &= 0,9 \\
 \rho_b &= 0,02029 \\
 A_{smin..} &= 171,00 \text{ mm}^2 \\
 A_{smaks..} &= 1445,74 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Penulangan Tumpuan:

$$\begin{aligned}
 M_{l1} &= 1,90 \text{ kN.m} \\
 M_n &= 2.111.111 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 1,05 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 45,60 \text{ mm}^2$$

Penulangan Lapangan:

$$\begin{aligned}
 M_{l1} &= 3,60 \text{ kN.m} \\
 M_n &= 4.000.000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 1,05 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 86,41 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$171,00 > 86,41 \quad \text{Memenuhi}$$

Diameter tulangan yang dipakai

$$A_{s1} = 78,54 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tul.: D10 - 150

$$A_s = 523,60 \text{ mm}^2 \quad \text{Ok.}$$

$\phi M_n = 24,24 \text{ kN.m} > M_u = 1,90 \text{ kN.m}$	Memenuhi
---	-----------------

4.6.3 Balok

- **Data Material:**

- Beton : $f'_c = 25 \text{ MPa}$
 $E_c = 23500 \text{ MPa}$
- Baja Tulangan: $f_y = 400 \text{ MPa}$
 $f_y = 240 \text{ MPa}$

- **Propertis Penampang :**

- Selimut beton, s = 40 mm
- Sengkang, d_{sk} = 12 mm
- Tu. Long. = 19 mm

- **Syarat Geometri**

- $L_n/d \geq 4$
 $0,3h$
- $b \geq$ dan 250 mm

- **Syarat kapasitas tekan**

$$0,1A_g \cdot f'_c > \text{Gaya tekan terfaktor akibat beban gravitasi dan gempa}$$

- **Dimensi Balok**

Balok Exterior (Arah Memanjang) :

Balok 1 :

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

Balok 2 :

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

- **Parameter Penulangan**

$$\beta_1 = 0,850$$

$$\rho_{min} = \sqrt{(f'_c)/4f_y} = 0,0052$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0058$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,0034$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,0034$$

dan tidak boleh lebih dari :

$$\rho_{max} = 0,0025$$

- **Kapasitas Lentur B1 (uk. 50 x 80)**

- Penulangan Lapangan:

b = 500 mm	fc = 25 Mpa
h = 800 mm	fy = 420 Mpa
d' = 61,5 mm	Mu = 202,0910 kN/m
s = 40 mm	ϕ = 0,9 (SNI 2847:2013)
dsk = 12 mm	Mn = 224.545.556 N/m
dt = 19 mm	β1 = 0,85
d = 739 mm	ρbal = 0,02530

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}}$$

$$a \text{ perlu} = 739 - \sqrt{739^2 - \frac{2 \cdot 224.545.556}{0,85 \cdot 25 \cdot 500}} = 72,2 \text{ mm}$$

$$As \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$As \text{ perlu} = \frac{224.545.556}{420 \cdot \left(739 - \frac{57,5}{2}\right)} = 761,165 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4.f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu}$$

$$0,0030 \quad \text{atau } 0,033 \text{ dan } 0,0086662$$

$$A_{smin} = 1014,89 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 7005,86 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$1014,89 < 1134,11 < 7005,86 \text{ Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$A_{s1} = 3,14 \cdot \frac{19^2}{4}$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 4 buah

$$A_s = A_{s1} \times 4$$

$$= 283,53 \times 4$$

$$= 1134,115 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$1230,83 < x \ 2268,23 < 7005,86 \text{ Ok}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2268,23 \times 420 \times \frac{\left(736 - \left(\frac{1701,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400}\right)\right)}{2} : 1.000.000$$

$$= 594,75 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 594,75 \text{ kN/m} > M_u = 268,7256 \text{ kN/m} \quad \textbf{Memenuhi}$$

- Penulangan Tumpuan:

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$M_u = 485,1170 \text{ kN/m}$$

$$s = 40 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (SNI 2847:2013)}$$

$$d_{sk} = 13 \text{ mm}$$

$$M_n = 539.018.889 \text{ N/m}$$

$$d_t = 19 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = 739 \text{ mm}$$

$$\rho_{bal} = 0,02530$$

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}}$$

$$a \text{ perlu} = 538 - \sqrt{538^2 - \frac{2 \cdot 539.018.889}{0,85 \cdot 25.500}} = 72,2 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{539.018.889}{420 \cdot \left(739 - \frac{57,5}{2}\right)} = 1,827,168 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu}$$

$$0,0033 \quad \text{atau } 0,033 \text{ dan } 0,0086662$$

$$A_{smin} = 1230,83 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 7005,86 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$1230,83 < 1827,17 < 7005,86 \text{ Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$A_{s1} = 3,14 \cdot \frac{19^2}{4}$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 8 buah

$$A_s = A_{s1} \times 8$$

$$= 283,53 \times 8$$

$$= 2268,23 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$1230,883 < 2268,23 < 7005,86 \text{ Ok}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2268,23 \times 420 \times \frac{\left(736 - \left(\frac{1701,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400}\right)\right)}{2} : 1.000.000$$

$$= 594,75 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 594,75 \text{ kN/m} > M_u = 485,12 \text{ kN/m} \quad \text{Memenuhi}$$

- **Kapasitas Geser B1 (uk. 50x80)**

- **Penulangan Geser Tumpuan**

$$M_u = 485,12 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 287,67 \text{ kN}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{V_u}{\phi \cdot 1000} \\ &= \frac{287,67}{0,75 \cdot 1000} \\ &= 383.533,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_w &= \frac{A_s}{b \cdot d} \\ &= \frac{1701,172}{500 \cdot 739} \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

$$d_{sk} = 12 \text{ mm}$$

$$d = 739 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \pi \times d_{sk}^2 / 4 \\ &= 2 \times 3,14 \times 12^2 / 4 \\ &= 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)} \end{aligned}$$

Hitung V_c :

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{b \cdot d}{7} \\ \phi V_c &= 0,75 (\sqrt{25} + 120 \cdot 0,006 \cdot \frac{287,67 \cdot 739}{485,12} \cdot 1000) \cdot \frac{500 \cdot 739}{7} \\ &= 210.583,43 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,3 \sqrt{25} \cdot 500 \cdot 739 \\ &= 554,250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$210.583,43 \text{ N} < 554,250 \text{ N} \quad \mathbf{Ok.}$$

Hitung V_s :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ V_s &= \frac{265 \cdot 420 \cdot 739}{100} \\ &= 400.907 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times V_s$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 400.907$$

$$= 300.681$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

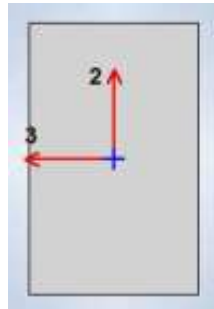
$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = 210.583,43 + 400.907 / 1000$$

$$= 583,48027 \text{ kN}$$

$$V_n = 511,26 > V_u = 287,67 \text{ Ok.}$$

- **Desain Pada Balok B1**



Gambar 4.17 Balok B1

• **Kapasitas Lentur B2 (uk. 25 x 40)**

- Penulangan Tumpuan:

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 41 \text{ mm}$$

$$M_u = 45,70 \text{ kN/m}$$

$$s = 25 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (SNI 2847:2013)}$$

$$d_{sk} = 8 \text{ mm}$$

$$M_n = 50.777.778 \text{ N/m}$$

$$d_t = 16 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = 359 \text{ mm}$$

$$\rho_{bal} = 0,02530$$

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}}$$

$$a \text{ perlu} = 538 - \sqrt{538^2 - \frac{2 \cdot 50.777.778}{0,85 \cdot 30 \cdot 250}} = 27,7 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{50.777.778}{420 \cdot \left(538 - \frac{57,5}{2}\right)} = 350,2771 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu}$$

$$0,0033 \quad \text{atau } 0,033 \text{ dan } 0,0086662$$

$$A_{smin} = 299,17 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 1702,85 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$299,17 < 804,25 < 1702,85 \text{ Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 16 mm

$$A_{s1} = 3,14 \cdot \frac{16^2}{4}$$

$$= 201,06 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 4 buah

$$A_s = A_{s1} \times 4$$

$$= 201,06 \times 4$$

$$= 804,248 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$299,17 < x \ 804,25 < 1702,85 \text{ Ok}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1701,17 \times 420 \times \frac{\left(359 - \left(\frac{1701,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 250}\right)\right)}{2} : 1.000.000$$

$$= 99,47 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 99,47 \text{ kN/m} > M_u = 45,70 \text{ kN/m} \text{ Memenuhi}$$

- Penulangan Lapangan:

b = 250 mm	f _c = 25 Mpa
h = 400 mm	f _y = 420 Mpa
d' = 41 mm	M _u = 45,70 kN/m

$$\begin{array}{ll}
 s = 25 \text{ mm} & \phi = 0,9 \text{ (SNI 2847:2013)} \\
 d_{sk} = 8 \text{ mm} & M_n = 47.666.667 \text{ N/m} \\
 dt = 16 \text{ mm} & \beta_1 = 0,85 \\
 d = 359 \text{ mm} & \rho_{bal} = 0,02530
 \end{array}$$

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}}$$

$$a \text{ perlu} = 538 - \sqrt{538^2 - \frac{2 \cdot 47.666.667}{0,85 \cdot 25 \cdot 250}} = 25,9 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{547.666.667}{420 \cdot \left(359 - \frac{57,5}{2}\right)} = 327,978 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu}$$

$$0,0033 \quad \text{atau } 0,033 \text{ dan } 0,0086662$$

$$A_{smin} = 299,17 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 1702,85 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$299,17 < 327,978 < 1702,85 \text{ Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 16 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{16^2}{4} \\
 &= 201,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 4 buah

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{s1} \times 4 \\
 &= 201,06 \times 4 \\
 &= 804,248 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$299,17 < x \ 804,25 < 1702,85 \text{ Ok}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1701,17 \times 420 \times \frac{\left(359 - \left(\frac{1701,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 250}\right)\right)}{2} : 1.000.000$$

$$= 99,47 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 99,47 \text{ kN/m} > M_u = 45,70 \text{ kN/m} \quad \text{Memenuhi}$$

• **Kapasitas Geser B2 (uk. 25x40)**

– **Penulangan Geser Tumpuan**

$$M_u = 45,70 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 78,66 \text{ kN}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = V_u / \phi \times 1000$$

$$= 179,29 / 0,75 \times 1000$$

$$= 1000 \text{ N}$$

$$\rho_w = A_s / b \cdot d$$

$$= 804,248 / 250 \times 359$$

$$= 0,009$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

$$d_{sk} = 8 \text{ mm}$$

$$d = 359 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times \pi \times d_{sk}^2 / 4$$

$$= 2 \times 3,14 \times 8^2 / 4$$

$$= 101 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

$$\phi V_c = \phi \cdot \left[\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{b d}{7}$$

$$\phi V_c = 0,75 \left(\sqrt{30} + 120 \cdot 0,008 \cdot \frac{78,66 \cdot 359}{45,70} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{250 \cdot 359}{7}$$

$$= 54.469,85 \text{ N}$$

$$0,3\sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,3 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 359$$

$$= 134.625 \text{ N}$$

$$54.469,85 \text{ N} < 134.625 \text{ N} \quad \text{Ok.}$$

Hitung V_s :

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

$$V_s = \frac{101 \cdot 420 \cdot 359}{100}$$

$$= 57.745 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times V_s$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 57.745$$

$$= 43.309 \text{ N}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

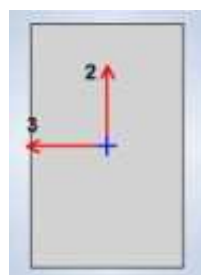
$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = 54.469,85 + 43.309$$

$$= 97.778,85 \text{ kN}$$

$$V_n = 97.778,85 > V_u = 179,29 \text{ Ok.}$$

- Desain Pada Balok B1



Gambar 4.18 Balok B2

4.6.4 Kolom

Data Material:

Beton :

$$F_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

Baja Tulangan :

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

Properties Penampang :

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan Panjang} = 20 \text{ mm}$$

Material Properties :

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

$$\beta_l = 0,836$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$$

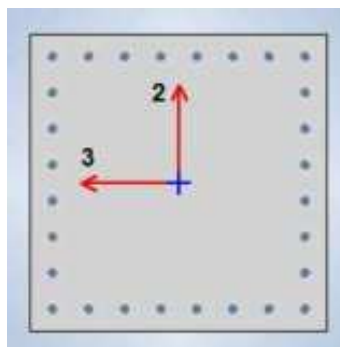
Reduksi Kekuatan :

$$\phi_a = 0,80 \text{ (Tekan Sengkang)}$$

$$\phi_b = 0,90 \text{ (Tarik Lnetur)}$$

$$\phi_c = 0,65 \text{ (Tekan)}$$

- **Kolom 1**



Gambar 4.19 Detail Kolom K1

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$P_u = 3951,88 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 20 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= s + d_{sk} + dt \\ &= 40 + 10 + 20 / 2 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 800 - 60 \\ &= 740 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 800 - 60 \\ &= 740 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah X} &= (b^2 - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x}) \\ &= (800 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\ &= 97 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 97,14 - 20 = 77,14 \text{ Ok.}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah Y} &= \frac{b^2 - d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\ &= (800 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\ &= 97 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 97,14 - 20 = 77,14 \text{ Ok.}$$

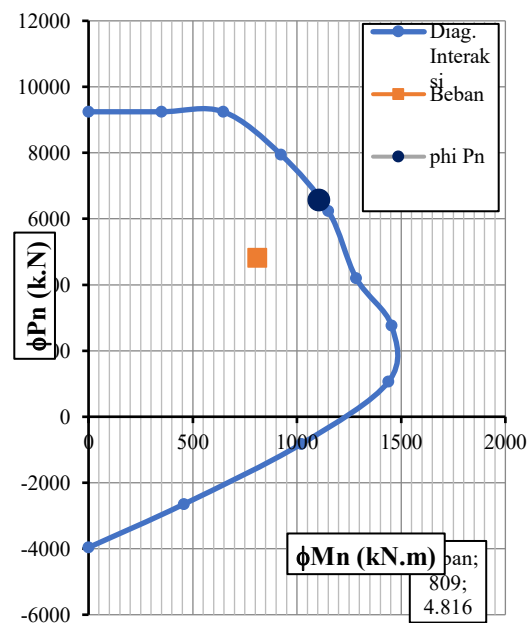
$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4 \\ &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\ &= 28 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4} \\ &= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 20^2}{4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8.796,5 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{13.744,5}{800.800} \right) \% = 2,08 \% \\
 0,1.A_g.f_c &= \frac{0,1 \times 800 \times 800 \times 25}{1.000} \\
 &= 1.056,3 \text{ kN} < P_u 4816,37 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.26 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	9244	0	808,69	4816,37	6580	1105	0,732
2	9244	350,5					
3	9243	646,9					
4	7948	922,7					
5	6240	1150					
6	4197	1284					
7	2760	1454					
8	1066	1440					
9	-822	1021					
10	-2649	457					
11	-3962	0					

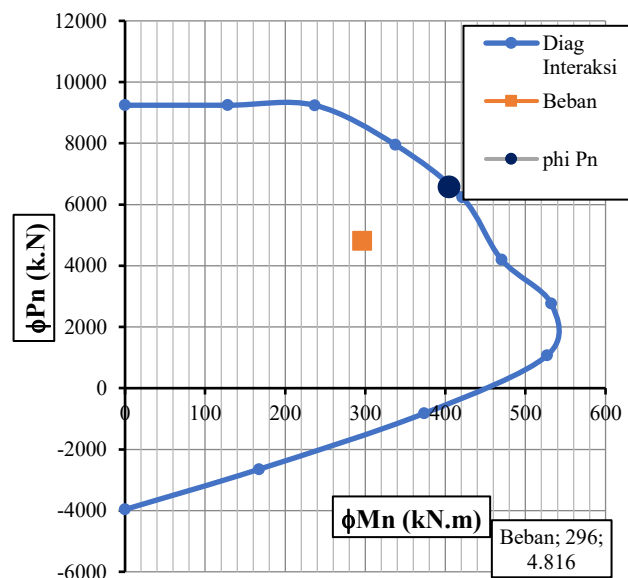
**Gambar 4.20 Diagram Interaksi Kolom Arah X**

Analisis kekuatan kolom pada arah-x dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan

kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.27 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	9244	0	296,00	4816,37	6580	404	0,732
2	9244	128,3					
3	9243	236,8					
4	7948	337,7					
5	6240	421,1					
6	4197	470,1					
7	2760	532,2					
8	1066	526,9					
9	-822	373,7					
10	-2649	167,3					
11	-3962	0					

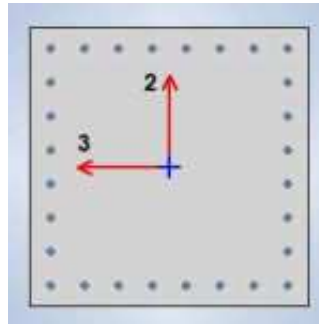


Gambar 4.21 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi

menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

- **Kolom 2**



Gambar 4.22 Detail Kolom K2

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 750 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$P_u = 6270,5 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 20 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= s + d_{sk} + dt \\ &= 40 + 10 + 20 / 2 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 750 - 60 \\ &= 690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 750 - 60 \\ &= 690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Tulangan arah X} = (b - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x})$$

$$= (750 - 2 \times 60) : (8 - 1)$$

$$= 90$$

$$\text{Min Spasi} = 90 - 20 = 70 \text{ Ok.}$$

$$\text{Spasi Tulangan arah Y} = \frac{b^2 - d'}{\sum \text{Tulangan Arah-y}}$$

$$= (750 - 2 \times 60) : (8 - 1)$$

$$= 90$$

$$\text{Min Spasi} = 90 - 20 = 70 \text{ Ok.}$$

$$\sum \text{Tulangan} = 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2)) + 4$$

$$= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4$$

$$= 28 \text{ Buah}$$

$$A_{st} = \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot d^2}{4}$$

$$= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$= 8.796,5 \text{ mm}^2$$

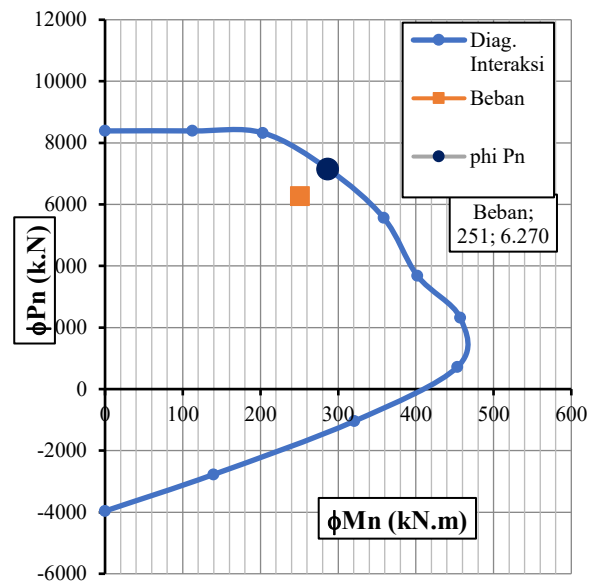
$$= \left(\frac{8.796,5}{800 \cdot 800} \right) \% = 1,56 \%$$

$$0,1 \cdot A_g \cdot f_c = \frac{0,1 \times 750 \times 750 \times 25}{1.000}$$

$$= 1.687 \text{ kN} < P_u 6270,50 \text{ kN}$$

Tabel 4.28 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8387	0	250,66	6270,50	7158	286	0,876
2	8387	112,2					
3	8324	203,1					
4	7129	288,1					
5	5562	358,6					
6	3677	402,1					
7	2321	456,9					
8	719,9	453,5					
9	-1041	320,8					
10	-2775	139,6					
11	-3962	0					

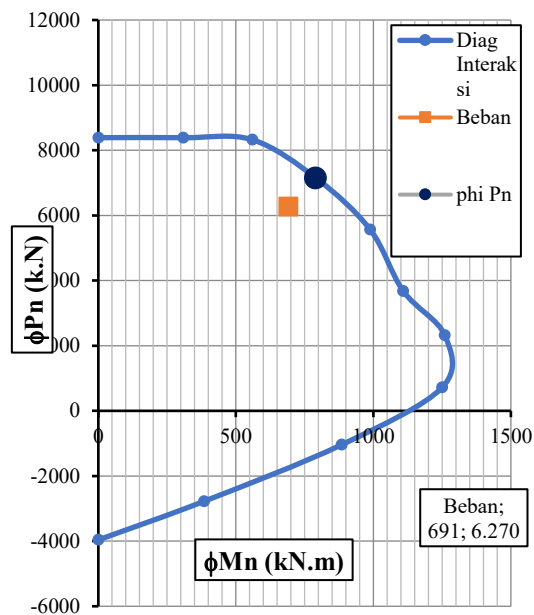


Gambar 4.23 Diagram Interaksi Kolom Arah X

Analisis kekuatan kolom pada arah-x dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.29 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

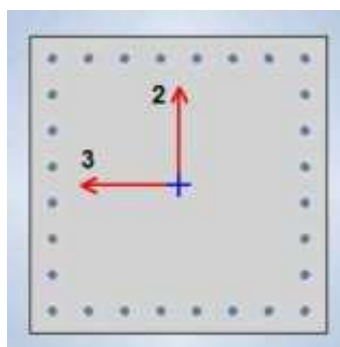
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M_2 kN.m	P_u kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8387	0	691,03	6270,50	7158	789	0,876
2	8387	309,4					
3	8324	559,9					
4	7129	794,3					
5	5562	988,6					
6	3677	1108					
7	2321	1260					
8	719,9	1250					
9	-1041	884,5					
10	-2775	384,9					
11	-3962	0					



Gambar 4.24 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

- **Kolom 3**



Gambar 4.25 Detail Kolom K3

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 4816,3682 \text{ kN} \\
 \text{Selimut Beton (s)} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Sengkang (d}_{sk}) &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan (dt)} &= 20 \text{ mm} \\
 \sum \text{Tulangan Arah-x} &= 8 \text{ buah} \\
 \sum \text{Tulangan Arah-y} &= 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= s + d_{sk} + dt \\
 &= 40 + 10 + 20 / 2 \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dx &= h - d' \\
 &= 750 - 60 \\
 &= 640 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - d' \\
 &= 750 - 60 \\
 &= 640 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Tulangan arah X} &= (b^2 - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x}) \\
 &= (700 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\
 &= 83
 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 83 - 20 = 63 \text{ Ok.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Tulangan arah Y} &= \frac{b^2 - d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\
 &= (700 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\
 &= 83
 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 83 - 20 = 63 \text{ Ok.}$$

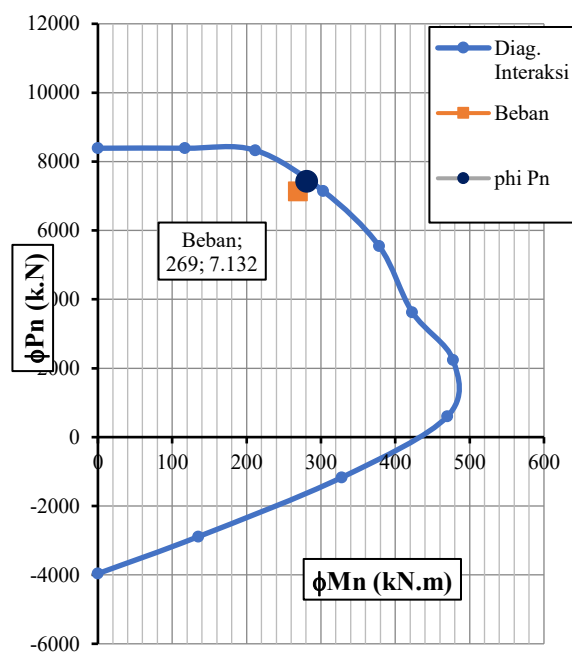
$$\begin{aligned}
 \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4 \\
 &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\
 &= 28 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

$$A_{st} = \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{28.3,14 \cdot 20^2}{4} \\
 &= 8.796,5 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{8.796,5}{700.700} \right) \% = 1,80 \% \\
 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 700 \times 700 \times 25}{1.000} \\
 &= 1.225 \text{ kN} < P_u \text{ 1.694,5448 kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.30 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

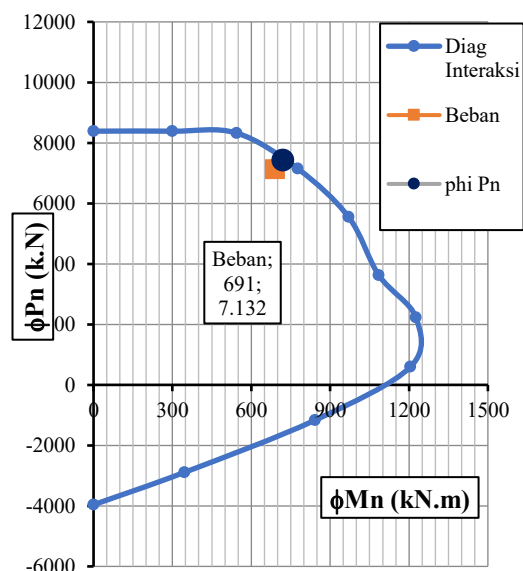
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8387	0	269,15	7131,74	7437	281	0,959
2	8387	116,9					
3	8326	212					
4	7146	302,9					
5	5549	378,2					
6	3626	422,8					
7	2234	477,8					
8	597,8	469,9					
9	-1168	328,2					
10	-2889	135					
11	-3962	0					

**Gambar 4.26 Diagram Interaksi Kolom Arah X**

Analisis kekuatan kolom pada arah-x dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.31 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8387	0	690,52	7131,74	7437	720	0,959
2	8387	300					
3	8326	543,8					
4	7146	777,1					
5	5549	970,2					
6	3626	1085					
7	2234	1226					
8	597,8	1205					
9	-1168	842					
10	-2889	346,4					
11	-3962	0					

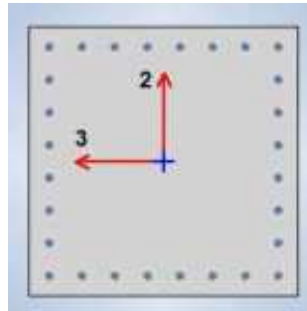


Gambar 4.27 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan

kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

- **Kolom 4**



Gambar 4.28 Detail Kolom K4

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 750 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$P_u = 1785,17 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 20 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= s + d_{sk} + dt \\ &= 40 + 10 + 20 / 2 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 750 - 60 \\ &= 690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 750 - 60 \\ &= 690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Tulangan arah X} = (b^2 - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x})$$

$$= (750 - 2 \times 60) : (8 - 1)$$

$$= 90$$

$$\text{Min Spasi} = 90 - 20 = 70 \text{ Ok.}$$

$$\text{Spasi Tulangan arah Y} = \frac{b^2 - d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})}$$

$$= (750 - 2 \times 60) : (8 - 1)$$

$$= 90$$

$$\text{Min Spasi} = 90 - 20 = 70 \text{ Ok.}$$

$$\sum \text{Tulangan} = 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4$$

$$= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4$$

$$= 28 \text{ Buah}$$

$$A_{st} = \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot d^2}{4}$$

$$= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$= 8.796,5 \text{ mm}^2$$

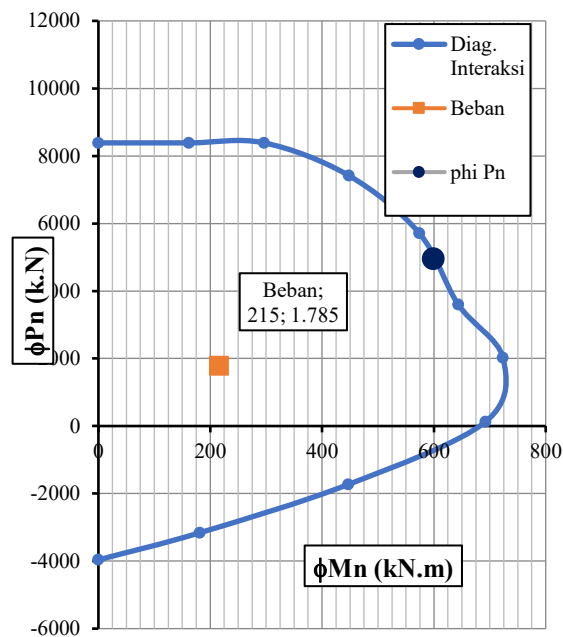
$$= \left(\frac{8.796,5}{750 \cdot 750} \right) \% = 1,56 \%$$

$$0,1 \cdot A_g \cdot f_c = \frac{0,1 \times 750 \times 750 \times 25}{1.000}$$

$$= 1.687 \text{ kN} < P_u 1785,17 \text{ kN}$$

Tabel 4.32 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8387	0	215,44	1785,17	4959	598	0,360
2	8387	161,6					
3	8387	296,4					
4	7418	448					
5	5715	573,7					
6	3599	643,6					
7	2023	723,5					
8	126	692,2					
9	-1730	446,9					
10	-3160	181,2					
11	-3962	0					

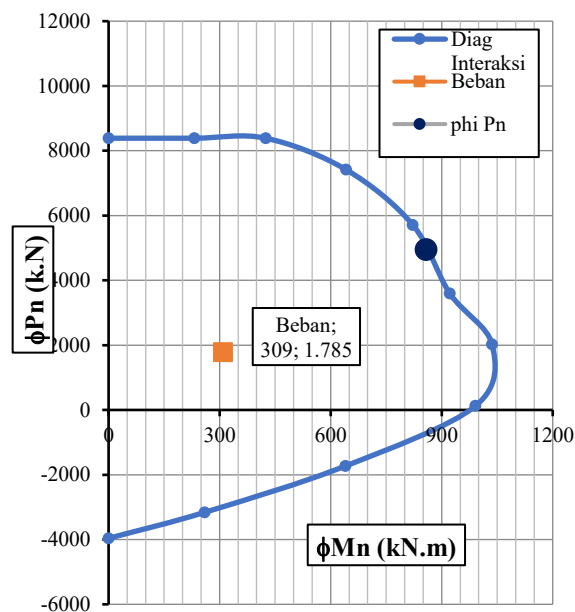


Gambar 4.29 Diagram Interaksi Kolom Arah X

Analisis kekuatan kolom pada arah-x dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.33 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

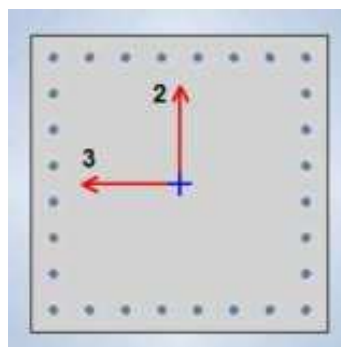
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8387	0	308,56	1785,17	4959	857	0,360
2	8387	231,5					
3	8387	424,5					
4	7418	641,6					
5	5715	821,7					
6	3599	921,7					
7	2023	1036					
8	126	991,5					
9	-1730	640,1					
10	-2775	384,9					
11	-3962	0					



Gambar 4.30 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

- **Kolom 5**



Gambar 4.31 Detail Kolom K5

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 2147,44 \text{ kN} \\
 \text{Selimut Beton (s)} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Sengkang (d}_{sk}\text{)} &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan (dt)} &= 20 \text{ mm} \\
 \sum \text{Tulangan Arah-x} &= 8 \text{ buah} \\
 \sum \text{Tulangan Arah-y} &= 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= s + d_{sk} + dt \\
 &= 40 + 10 + 20 / 2 \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dx &= h - d' \\
 &= 750 - 60 \\
 &= 640 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - d' \\
 &= 750 - 60 \\
 &= 640 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Tulangan arah X} &= (b^2 - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x}) \\
 &= (700 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\
 &= 83
 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 83 - 20 = 63 \text{ Ok.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Tulangan arah Y} &= \frac{b^2 - d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\
 &= (700 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\
 &= 83
 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 83 - 20 = 63 \text{ Ok.}$$

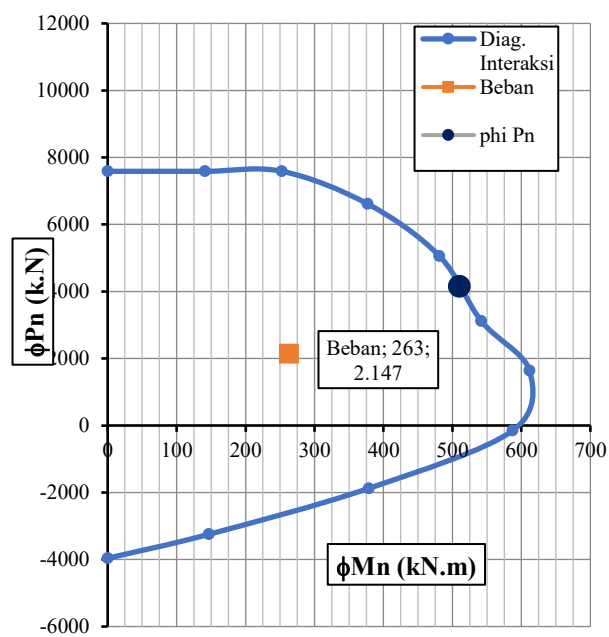
$$\begin{aligned}
 \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4 \\
 &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\
 &= 28 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

$$A_{st} = \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 20^2}{4} \\
 &= 8.796,5 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{8.796,5}{700 \cdot 700} \right) \% = 1,80 \% \\
 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 700 \times 700 \times 25}{1.000} \\
 &= 1.225 \text{ kN} < P_u 2147,44 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.34 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

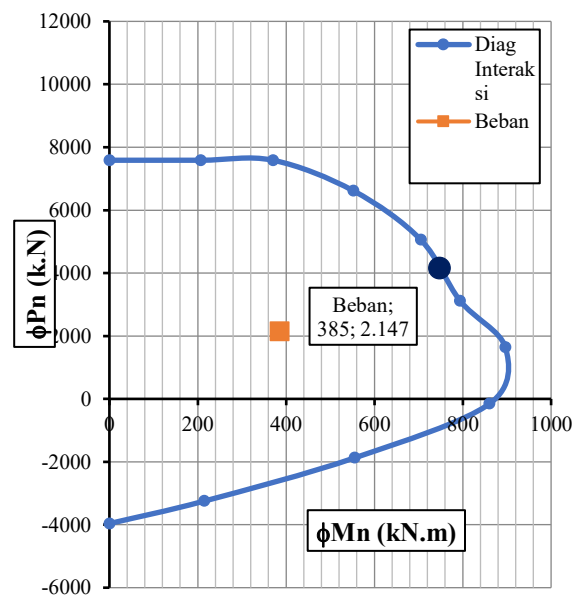
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	7586	0	262,99	2.147,44	4162	510	0,516
2	7586	141,1					
3	7586	252,7					
4	6614	377					
5	5057	481,1					
6	3118	541,8					
7	1639	611,7					
8	-152	587,3					
9	-1872	379,1					
10	-3247	146,7					
11	-3962	0					

**Gambar 4.32 Diagram Interaksi Kolom Arah X**

Analisis kekuatan kolom pada arah-x dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.35 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	7586	0	385,41	2147,44	4162	747	0,516
2	7586	206,7					
3	7586	370,3					
4	6614	552,5					
5	5057	705,1					
6	3118	793,9					
7	1639	896,5					
8	-152	860,7					
9	-1872	555,5					
10	-3247	214,9					
11	-3962	0					

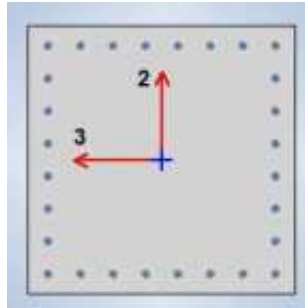


Gambar 4.33 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan

kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

- **Kolom 6**



Gambar 4.34 Detail Kolom K6

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 650 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$P_u = 2147,44 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 20 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= s + d_{sk} + dt \\ &= 40 + 10 + 20 / 2 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 650 - 60 \\ &= 590 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 650 - 60 \\ &= 590 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Tulangan arah X} = (b^2 - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x})$$

$$= (650 - 2 \times 60) : (8 - 1)$$

$$= 76$$

$$\text{Min Spasi} = 76 - 20 = 56 \text{ Ok.}$$

$$\text{Spasi Tulangan arah Y} = \frac{b^2 - d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})}$$

$$= (650 - 2 \times 60) : (8 - 1)$$

$$= 76$$

$$\text{Min Spasi} = 76 - 20 = 56 \text{ Ok.}$$

$$\sum \text{Tulangan} = 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4$$

$$= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4$$

$$= 28 \text{ Buah}$$

$$A_{st} = \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot d^2}{4}$$

$$= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 20^2}{4}$$

$$= 8.796,5 \text{ mm}^2$$

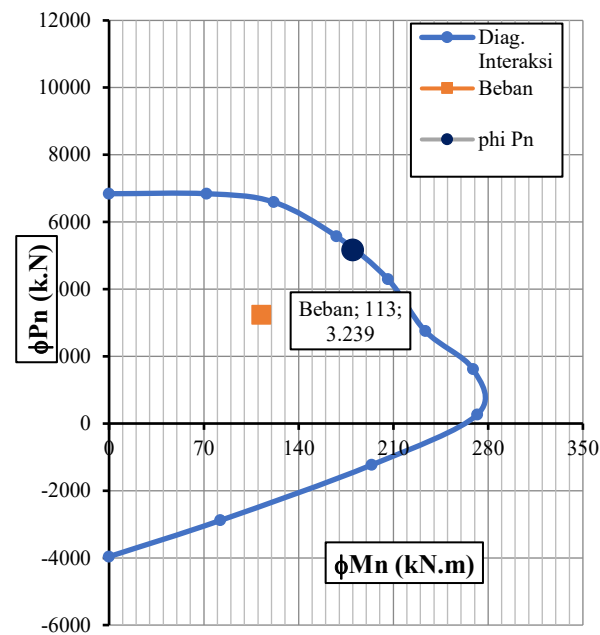
$$= \left(\frac{8.796,5}{650 \cdot 650} \right) \% = 1,80 \%$$

$$0,1 \cdot A_g \cdot f_c = \frac{0,1 \times 650 \times 650 \times 25}{1.000}$$

$$= 1056,3 < P_u 2147,44 \text{ kN}$$

Tabel 4.36 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	6840	0	112,52	3239,05	5174	180	0,626
2	6840	71,95					
3	6593	121,6					
4	5574	167,9					
5	4298	205,9					
6	2750	233,6					
7	1616	268,8					
8	266,8	271,9					
9	-1233	194					
10	-2884	82,26					
11	-3962	0					

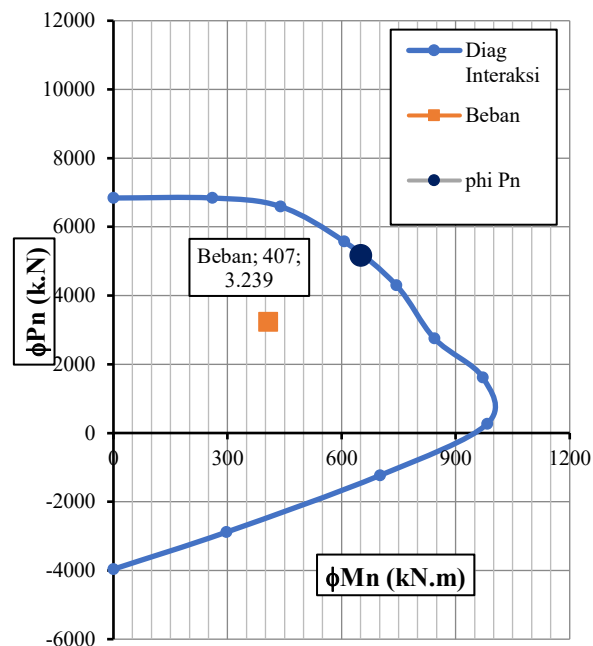


Gambar 4.35 Diagram Interaksi Kolom Arah X

Analisis kekuatan kolom pada arah-x dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.37 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

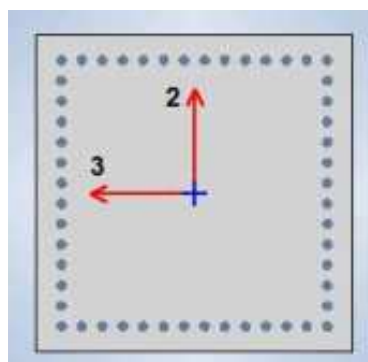
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	6840	0	406,64	3239,05	5174	650	0,626
2	6840	260					
3	6593	439,4					
4	5574	606,9					
5	4298	744,2					
6	2750	844,3					
7	1616	971,5					
8	266,8	982,8					
9	-1233	700,9					
10	-2884	297,3					
11	-3962	0					



Gambar 4.36 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

- **Kolom 7**



Gambar 4.37 Detail Kolom K1

Sumber : Hasil Analisa, 2025

$$b = 750 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$P_u = 1785,17 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 20 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= s + d_{sk} + dt \\ &= 40 + 10 + 20 / 2 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 750 - 60 \\ &= 690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 750 - 60 \\ &= 690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah X} &= (b^2 - d') / (\sum \text{Tulangan Arah-x}) \\ &= (750 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\ &= 90 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 90 - 20 = 70 \text{ Ok.}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah Y} &= \frac{b^2 - d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\ &= (750 - 2 \times 60) : (8 - 1) \\ &= 90 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 90 - 20 = 70 \text{ Ok.}$$

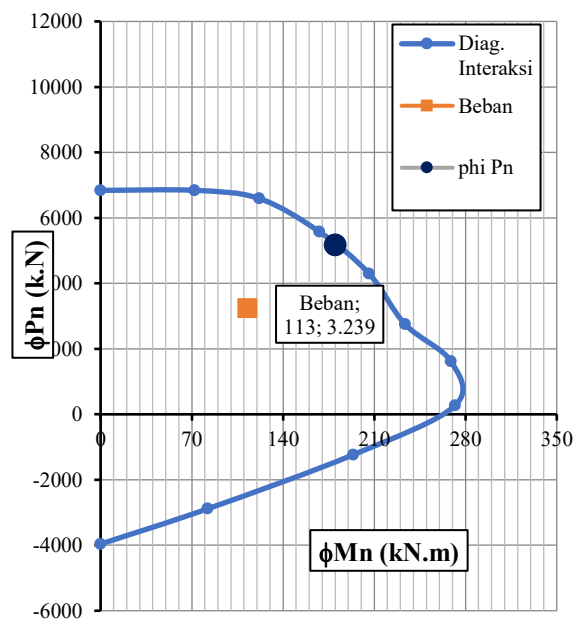
$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4 \\ &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\ &= 28 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4} \\ &= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 20^2}{4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8.796,5 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{8.796,5}{750.750} \right) \% = 1,56 \% \\
 0,1.A_g.f_c &= \frac{0,1 \times 750 \times 750 \times 25}{1.000} \\
 &= 1.687 \text{ kN} < P_u 1785,17 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.38 Diagram Interaksi Kolom Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	10249	0	342,62	9078,53	9536	360	0,952
2	10249	203,7					
3	9929	325,6					
4	8417	457,1					
5	6402	576,2					
6	3849	667,7					
7	1702	784					
8	-863	788,4					
9	-3394	552					
10	-5804	235,1					
11	-7359	0					

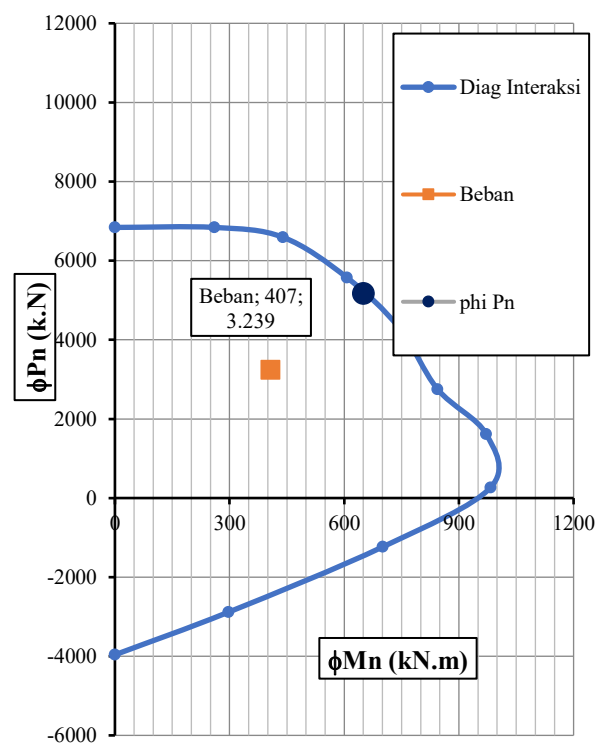
**Gambar 4.38 Diagram Interaksi Kolom Arah X**

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan

kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

Tabel 4.39 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	10249	0	720,25	9078,53	9536	757	0,952
2	10249	428,1					
3	9929	684,5					
4	8417	960,9					
5	6402	1211					
6	3849	1404					
7	1702	1648					
8	-863	1657					
9	-3394	1160					
10	-5804	494,3					
11	-7359	0					



Gambar 4.39 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Analisis kekuatan kolom pada arah-y dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom untuk memastikan elemen tersebut mampu menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur secara bersamaan. Diagram interaksi menggambarkan hubungan antara gaya aksial tekan (P_n) dan momen lentur (M_n) yang dapat ditahan oleh penampang kolom.

B. Kapasitas Geser Kolom

• Kolom 1

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$dx = 740 \text{ mm}$$

$$dy = 740 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Kolom (Ag)} &= b \times h \\ &= 800 \times 800 \\ &= 640000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$P_u = 1.972,48 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 283,11 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 168,39 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– Geser Arah X

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14 A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{1.972,48}{14.640000} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 800 \cdot 740 : 1.000 \\ &= 370,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{5.3,14.10^2}{4} \\ &= 392,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{392,70.420.740}{100} : 1000 \\ &= 532,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 370,08 + 532,08 \\ &= 893,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 893,16 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ Ok.}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot d_x \\ \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{1.972,48}{14.640000}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 800.740 : 1.000 \\ &= 457,80 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{5.3,14.10^2}{4} \\ &= 392,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{392,70.420.740}{100} : 1.000 \end{aligned}$$

$$= 1.643,16 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 457,80 + 1.643,16 \\ &= 2.100,96 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = 2.100,96 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

• **Kolom 2**

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 750 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$dx = 690 \text{ mm}$$

$$dy = 690 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Kolom (Ag)} &= b \times h \\ &= 750 \times 750 \\ &= 562500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

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

$$P_u = 2.53,778 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 187,02 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 292,89 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{2.53,778}{14.562500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 750 \cdot 690 : 1.000 \\ &= 323,54 \text{ kN}\end{aligned}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{314,16.420.690}{100} : 1000 \\
 &= 390,019 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 323,54 + 390,19 \\
 &= 713,73 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= 713,73 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ Ok.}
 \end{aligned}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot d_x \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{2.53,778}{14.562500}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 750.690 : 1.000 \\
 &= 323,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s}
 \end{aligned}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{314,16 \cdot 420 \cdot 690}{100} : 1.000$$

$$= 390,19 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$= 323,54 + 390,19$$

$$= 713,73 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 713,73 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

• **Kolom 3**

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$dx = 640 \text{ mm}$$

$$dy = 640 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Kolom (Ag)} = b \times h$$

$$= 700 \times 700$$

$$= 490000 \text{ mm}$$

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

$$P_u = 4.816,37 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 349,65 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 398,41 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\phi V_c = 0,75 \left(1 + \frac{4.816,37}{14 \cdot 490000} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 700 \cdot 640 : 1.000$$

$$= 239,88 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{314,16.420.640}{100} : 1000 \\ &= 333,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 239,88 + 333,64 \\ &= 573,52 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 573,52 > V_u - x \quad \mathbf{Ok.} \end{aligned}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot d_x \\ \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{4.816,37}{14.490000}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 700.640 : 1.000 \\ &= 239,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\phi V_s = \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{314,16 \cdot 420 \cdot 640}{100} : 1.000$$

$$= 333,64 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$= 239,88 + 333,64$$

$$= 573,52 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 573,52 > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

• **Kolom 4**

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 750 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$dx = 690 \text{ mm}$$

$$dy = 690 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Kolom (Ag)} = b \times h$$

$$= 750 \times 750$$

$$= 562500 \text{ mm}^2$$

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

$$P_u = 1.785,17 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 173,29 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 203,00 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\phi V_c = 0,75 \left(1 + \frac{2.53,778}{14 \cdot 562500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 750 \cdot 690 : 1.000$$

$$= 323,54 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{314,16.420.690}{100} : 1000 \\
 &= 390,019 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 323,54 + 390,19 \\
 &= 713,73 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= 713,73 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ Ok.}
 \end{aligned}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot d_x \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{1.785,17}{14.562500}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 750.690 : 1.000 \\
 &= 323,51 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s}
 \end{aligned}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{314,16 \cdot 420 \cdot 690}{100} : 1.000$$

$$= 390,19 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$= 323,51 + 390,19$$

$$= 713,70 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 713,70 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

• **Kolom 5**

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$dx = 640 \text{ mm}$$

$$dy = 640 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Kolom (Ag)} = b \times h$$

$$= 700 \times 700$$

$$= 490000 \text{ mm}$$

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

$$P_u = 2.147,44 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 197,82 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 285,49 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\phi V_c = 0,75 \left(1 + \frac{2.147,44}{14 \cdot 490000} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 700 \cdot 640 : 1.000$$

$$= 280,09 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{314,16.420.640}{100} : 1000 \\ &= 361,91 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 280,09 + 361,91 \\ &= 642,00 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 642,00 > V_u-x \quad \mathbf{Ok.} \end{aligned}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot d_x \\ \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{2.147,44}{14.490000}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 700.640 : 1.000 \\ &= 280,09 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\phi V_s = \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{314,16 \cdot 420 \cdot 640}{100} : 1.000$$

$$= 333,64 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$= 280,09 + 333,64$$

$$= 573,52 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 642,00 > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

- **Kolom 6**

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 650 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$dx = 590 \text{ mm}$$

$$dy = 590 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Kolom (Ag)} = b \times h$$

$$= 650 \times 650$$

$$= 422500 \text{ mm}$$

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

$$P_u = 3.239,05 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 317,94 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 326,05 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

- **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\phi V_c = 0,75 \left(1 + \frac{3.239,05}{14 \cdot 422500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 650 \cdot 590 : 1.000$$

$$= 239,82 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{314,16.420.590}{100} : 1000 \\ &= 333,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 239,82 + 333,64 \\ &= 573,46 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 573,46 > V_u - x \quad \mathbf{Ok.} \end{aligned}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot d_x \\ \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{3.239,05}{14.422500}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} \cdot 650.590 : 1.000 \\ &= 239,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{314,16.420.640}{100} : 1.000 \end{aligned}$$

$$= 333,64 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 239,82 + 333,64 \\ &= 573,46 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = 573,46 > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

• **Kolom 7**

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 750 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$dx = 690 \text{ mm}$$

$$dy = 690 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Kolom (Ag)} &= b \times h \\ &= 750 \times 750 \\ &= 562500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

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

$$P_u = 9.0878,53 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 320,18 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 320,71 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c^{0,5}}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{9.0878,53}{14.562500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25^{0,5}}}{6} \cdot 750 \cdot 690 : 1.000 \\ &= 323,81 \text{ kN}\end{aligned}$$

Hitung ϕV_s :

$$\text{Tulangan Geser Terpasang} = 4D10 - 100$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi . \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\
 &= 0,75 . \frac{314,16.420.690}{100} : 1000 \\
 &= 390,019 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 323,81 + 390,19 \\
 &= 713,73 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= 713,73 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ Ok.}
 \end{aligned}$$

– **Geser Arah Y**

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.A_g}\right) . \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} . b . d_x \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{9.0878,53}{14.562500}\right) . \frac{\sqrt{25}^{0,5}}{6} . 750.690 : 1.000 \\
 &= 323,81 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 4D10 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{4.3,14.10^2}{4} \\
 &= 314,16 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi . \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\
 &= 0,75 . \frac{314,16.420.690}{100} : 1.000 \\
 &= 390,19 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$= 323,81 + 390,19$$

$$= 713,73 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 714,00 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ Ok.}$$

- **Pengekangan Kolom (Confinement)**

Pengekangan kolom dengan sengkang tertutup berfungsi untuk mengekang daerah inti kolom dimana dalam kondisi terkekang, daerah inti kolom akan memiliki perilaku yang daktail untuk tujuan itu, maka SNI 03-2847-2013 mensyaratkan bahwa jumlah tulangan sengkang tertutup yang dipasang pada kolom harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- **Kolom Persegi**

Pasal 21.6.4.4 Luas total penampang sengkang tertutup persegi

tidak boleh kurang dari

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{s_x \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad A_{sh2} = 0,09 \left(\frac{s_x \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right)$$

Dimana:

h_c = lebar penampang inti beton (lebar kolom - 2 x (selimut + 1/2 diameter Sengkang))

A_{ch} = luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar sengkang keserat terluar Sengkang disisi lain

A_g = Luas penampang kolom

f_{yh} = Tegangan leleh sengkang

Pasal 21.6.4.3 Spasi maksimum adalah yang terkecil dari:

- 1/4 dimensi penampang kolom terkecil
- 6 kali diameter tulangan longitudinal yang terkecil
- $s_x \leq 100 + ((350 - h_x)/3)$

Dimana $h_x = 2/3 h_c$

dan nilai s_x tidak perlu $\geq 150\text{mm}$ dan tidak perlu $\leq 100\text{mm}$

Pasal 21.6.4.1 ujung-ujung kolom sepanjang l_o harus dikekang sesuai spasi Pasal 21.6.4.3 dimana l_o diambil dari nilai terbesar dibawah ini:

- Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur

- 1/6 kali tinggi bersih kolom
- 450 mm

- **Kolom 1**

f_c	= 25	Mpa	
f_{yh}	= 400	Mpa	
b	= 800	mm	
h	= 800	mm	
d	= 737	mm	
d'	= 63,0	mm	
ds	= 13	mm	
dt	= 20	mm	
Selimit Beton (s)	= 40	mm	
Luas Kolom A_g	= 640000	mm	
Lebar Inti b_c	= 707	mm	
Tinggi Inti h_c	= 707	mm	
Luas Inti A_{ch}	= 499849	mm	
Tulangan Sengkang Arah X			
A_{sh1}/s_x	= 3,72 mm ² /mm		
A_{sh2}/s_x	= 3,98 mm ² /mm		
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A_v/s_x	= 3,72 mm ² /mm	>	3,98 mm ² /mm Ok
V_s	= 1565,18 kN	<	$V_{maks} = 1965,33 \text{ kN}$ Ok
Tulangan Sengkang Arah Y			
A_{sh1}/s_x	= 3,72 mm ² /mm		
A_{sh2}/s_x	= 3,98 mm ² /mm		
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A_v/s_x	= 5,31 mm ² /mm	>	3,98 mm ² /mm Ok
V_s	= 1565,18 kN	<	$V_{maks} = 1965,33 \text{ kN}$ Ok

- **Kolom 2**

$f'c$	= 25	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 750	mm
h	= 750	mm
d	= 687	mm
d'	= 63,0	mm
ds	= 13	mm
dt	= 20	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom Ag	= 562500	mm
Lebar Inti b _c	= 657	mm
Tinggi Inti h _c	= 657	mm
Luas Inti A _{ch}	= 431649	mm
Tulangan Sengkang Arah X		
A _{sh1} /s _x = 3,73 mm ² /mm		
A _{sh2} /s _x = 3,70 mm ² /mm		
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100	
Kontrol		
A _v /s _x = 5,31 mm ² /mm	>	3,70 mm ² /mm Ok
V _s = 1458,99 kN	<	V _{maks} = 1717,50 kN Ok
Tulangan Sengkang Arah Y		
A _{sh1} /s _x = 3,73 mm ² /mm		
A _{sh2} /s _x = 3,70 mm ² /mm		
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100	
Kontrol		
A _v /s _x = 5,31 mm ² /mm	>	3,70 mm ² /mm Ok
V _s = 1458,99 kN	<	V _{maks} = 1717,50 kN Ok

- **Kolom 3**

f_c	= 25	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa

b	= 700	mm	
h	= 700	mm	
d	= 637	mm	
d'	= 63,0	mm	
ds	= 13	mm	
dt	= 20	mm	
Selimut Beton (s)	= 40	mm	
Luas Kolom Ag	= 490000	mm	
Lebar Inti b _c	= 607	mm	
Tinggi Inti h _c	= 607	mm	
Luas Inti A _{ch}	= 368449	mm	
Tulangan Sengkang Arah X			
A _{sh1} /s _x = 3,75 mm ² /mm			
A _{sh2} /s _x = 3,41 mm ² /mm			
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A _v /s _x = 5,31 mm ² /mm	>	3,41 mm ² /mm	Ok
V _s = 1352,81 kN	<	V _{maks} = 1486,33 kN	Ok
Tulangan Sengkang Arah Y			
A _{sh1} /s _x = 3,75 mm ² /mm			
A _{sh2} /s _x = 3,41 mm ² /mm			
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A _v /s _x = 5,31 mm ² /mm	>	3,41 mm ² /mm	Ok
V _s = 1352,81 kN	<	V _{maks} = 1486,33 kN	Ok

- Kolom 4

f_c	$= 25$	Mpa
f_{yh}	$= 400$	Mpa
b	$= 750$	mm
h	$= 750$	mm

d	= 687	mm	
d'	= 63,0	mm	
ds	= 13	mm	
dt	= 20	mm	
Selimut Beton (s)	= 40	mm	
Luas Kolom A_g	= 562500	mm	
Lebar Inti b_c	= 657	mm	
Tinggi Inti h_c	= 657	mm	
Luas Inti A_{ch}	= 431649	mm	
Tulangan Sengkang Arah X			
A_{sh1}/s_x	= 3,73	mm ² /mm	
A_{sh2}/s_x	= 3,70	mm ² /mm	
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A_v/s_x	= 5,31	mm ² /mm	> 3,70 mm ² /mm Ok
V_s	= 1458,99 kN	< V_{maks}	= 1717,50 kN Ok
Tulangan Sengkang Arah Y			
A_{sh1}/s_x	= 3,73	mm ² /mm	
A_{sh2}/s_x	= 3,70	mm ² /mm	
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A_v/s_x	= 5,31	mm ² /mm	> 3,70 mm ² /mm Ok
V_s	= 1458,99 kN	< V_{maks}	= 1717,50 kN Ok

- **Kolom 5**

f'_c	= 25	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 700	mm
h	= 700	mm
d	= 637	mm
d'	= 63,0	mm
ds	= 13	mm

dt	= 20	mm	
Selimut Beton (s)	= 40	mm	
Luas Kolom A_g	= 490000	mm	
Lebar Inti b_c	= 607	mm	
Tinggi Inti h_c	= 607	mm	
Luas Inti A_{ch}	= 368449	mm	
Tulangan Sengkang Arah X			
A_{sh1}/s_x	= 3,75	mm ² /mm	
A_{sh2}/s_x	= 3,41	mm ² /mm	
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A_v/s_x	= 5,31	mm ² /mm	> 3,41 mm ² /mm Ok
V_s	= 1352,81 kN	< V_{maks}	= 1486,33 kN Ok
Tulangan Sengkang Arah Y			
A_{sh1}/s_x	= 3,75	mm ² /mm	
A_{sh2}/s_x	= 3,41	mm ² /mm	
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100		
Kontrol			
A_v/s_x	= 5,31	mm ² /mm	> 3,41 mm ² /mm Ok
V_s	= 1352,81 kN	< V_{maks}	= 1486,33 kN Ok

- **Kolom 6**

f'_c	= 25	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 650	mm
h	= 650	mm
d	= 587	mm
d'	= 63,0	mm
ds	= 13	mm
dt	= 20	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom A_g	= 422500	mm

Lebar Inti b_c	= 557	mm		
Tinggi Inti h_c	= 557	mm		
Luas Inti A_{ch}	= 310249	mm		
Tulangan Sengkang Arah X				
A_{sh1}/s_x	= 3,78	mm ² /mm		
A_{sh2}/s_x	= 3,13	mm ² /mm		
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100			
Kontrol				
A_v/s_x	= 5,31	mm ² /mm	>	3,13 mm ² /mm Ok
V_s	= 1246,62	kN	<	V_{maks} = 1271,83 kN Ok
Tulangan Sengkang Arah Y				
A_{sh1}/s_x	= 3,78	mm ² /mm		
A_{sh2}/s_x	= 3,13	mm ² /mm		
Gunakan Tulangan Geser	4D13-100			
Kontrol				
A_v/s_x	= 5,31	mm ² /mm	>	3,41 mm ² /mm Ok
V_s	= 1246,62	kN	<	V_{maks} = 1271,83 kN Ok
- Kolom 7				
f_c	= 25	Mpa		
f_{yh}	= 400	Mpa		
b	= 750	mm		
h	= 750	mm		
d	= 687	mm		
d'	= 63,0	mm		
ds	= 13	mm		
dt	= 20	mm		
Selimut Beton (s)	= 40	mm		
Luas Kolom A_g	= 562500	mm		
Lebar Inti b_c	= 657	mm		
Tinggi Inti h_c	= 657	mm		
Luas Inti A_{ch}	= 431649	mm		

Tulangan Sengkang Arah X

$$A_{sh1}/s_x = 3,73 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,70 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,70 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1458,99 \text{ kN} < V_{maks} = 1717,50 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

Tulangan Sengkang Arah Y

$$A_{sh1}/s_x = 3,73 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,70 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,70 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1458,99 \text{ kN} < V_{maks} = 1717,50 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

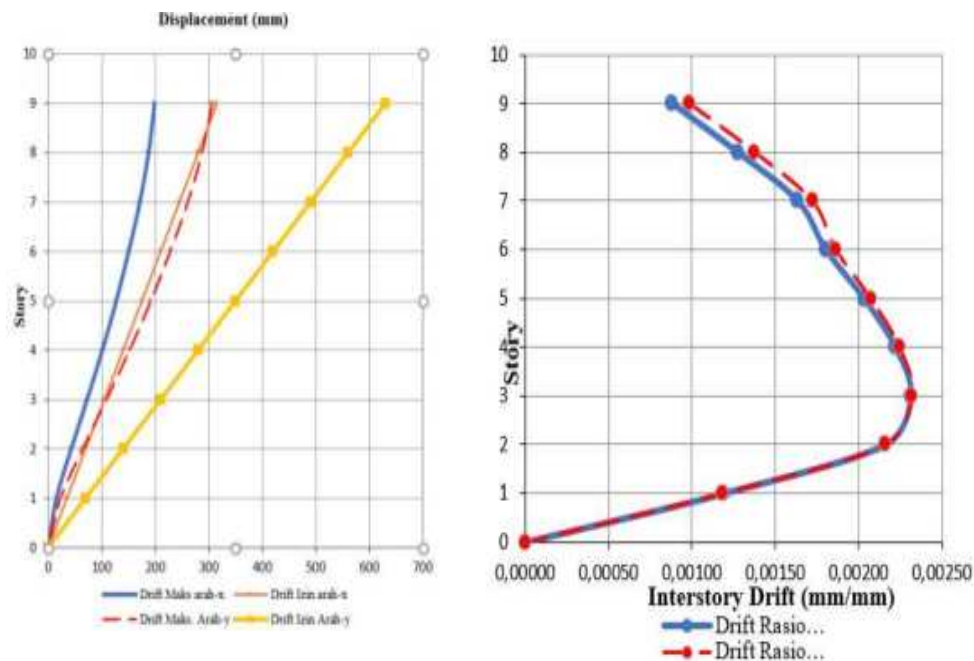
4.7 Pembahasan

4.7.1 Pemodelan Struktur

Dalam proses merancang struktur bangunan, acuan utama yang digunakan adalah SNI 1726:2019 yang menjelaskan cara merencanakan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non-gedung. Standar ini memberikan panduan dalam mengklasifikasikan daerah berdasarkan risiko gempa, menentukan kategori risiko bangunan, serta memilih sistem struktur yang tepat untuk mengatasi beban gempa. Berdasarkan analisis yang didapat dalam SNI 1726:2019 di dapat data penting sebagai berikut :

1. Untuk waktu getar alami struktur berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.8.2 waktu alami getar Struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung (C_u).
2. Beban mati SNI 1726:2019 ps 7.7.2 berat seismic struktur harus menyertakan beban mati dan lainnya.
3. Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.9.4.1 bila digunakan Analisa Respon Spektrum maka besar geser dasar Harus $\geq 100\% V_n$ untuk arah X dan Y.

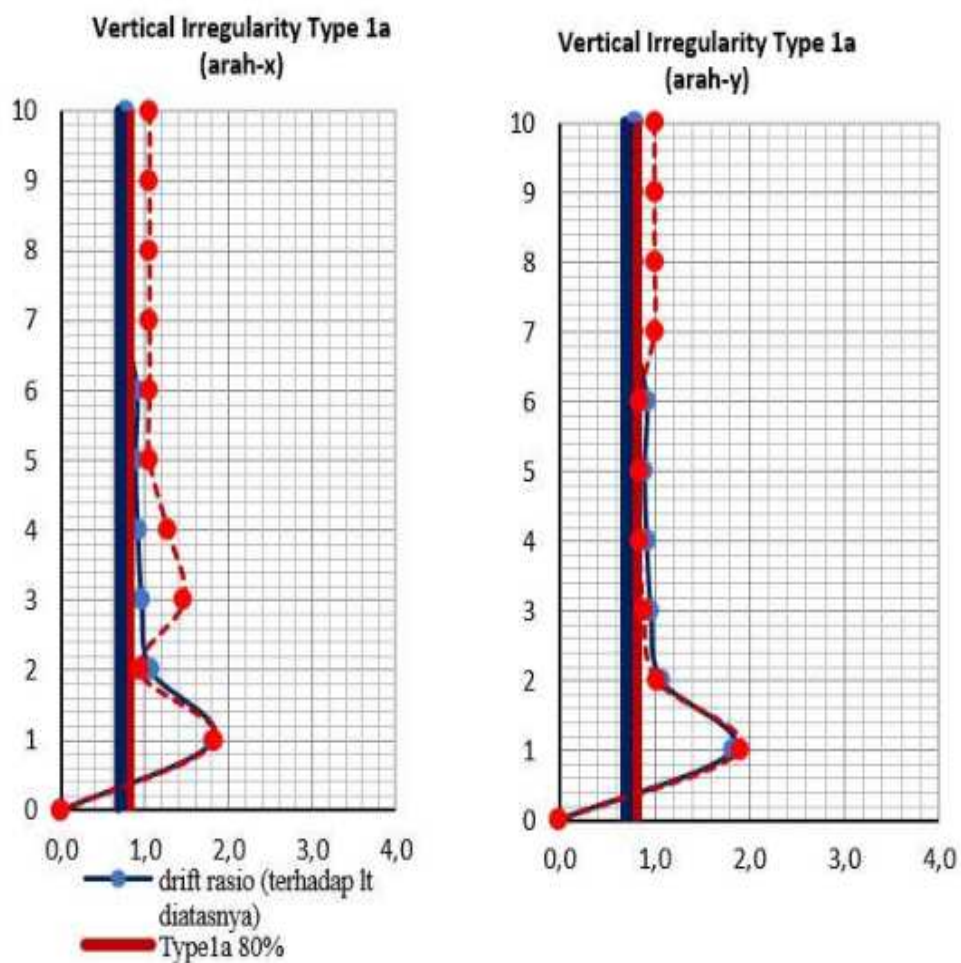
4. Rasio Modal Partisipasi Massa pada SNI 1726:2019 Ps 7.9.4.1 Analisa harus menyertakan ragam terkombinasi sebesar 100%,
Pengecualian, Analisa diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai masa ragam terkombinasi , Paling sedikit 90% dari masa aktual dari masing-masing arah horizontal ortogonal yang ditinjau.
5. Bagi struktur untuk kategori desain seismic C,D,E,F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a dan 1b Simpangan antar tingkat desain, harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal disepanjang salah satu bagian tepi struktur , diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau.
6. Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10.
7. Drift pada arah X dan Y tidak boleh melebihi batas maksimal drift yang diperbolehkan.



Gambar 4.12 Grafik *Displacement* (mm)

Sumber : Hasil Analisa,2025

8. Hasil dari Analisis Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a dinyatakan ada jika ada satu tingkat yang kekakuan lateralnya di bawah 70% kekakuan lateral dari tingkat di atasnya atau di bawah 80% kekakuan rata-rata dari tiga tingkat di atas yang telah sesuai dengan SNI 1726:2019 Ps 7.8.6.

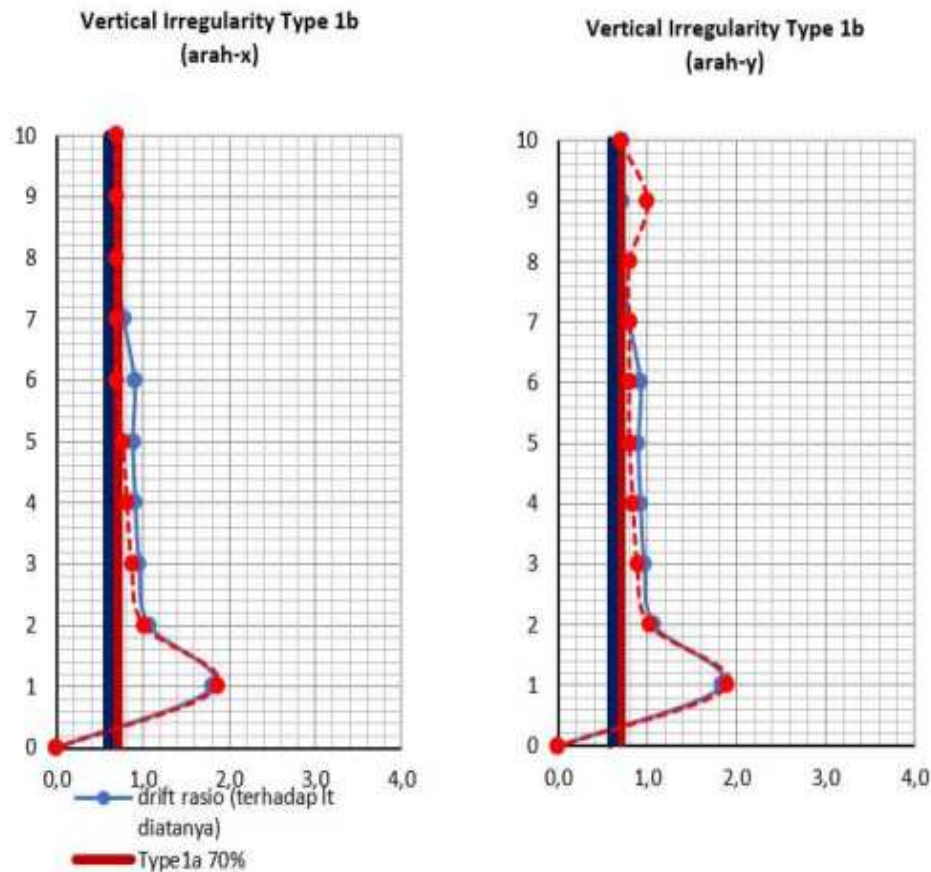


Gambar 4.14 Grafik *vertical irregularity type 1a* arah sumbu X dan sumbu Y

Sumber : Hasil Analisa,2025

9. Hasil dari Analisis Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b dinyatakan ada jika ada satu tingkat yang kekakuan lateralnya di bawah 60% kekakuan lateral dari tingkat di atasnya atau di bawah 70% kekakuan rata-

rata dari tiga tingkat di atas yang telah sesuai dengan SNI 1726:2019 Ps 7.8.6.



Gambar 4.14 Grafik *vertical irregularity type 1b* arah sumbu X dan sumbu Y

Sumber : Hasil Analisa,2025

10. Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.3.2 Tabel 16 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.
11. Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.8.4.2 Torsi tak terduga harus diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan horizontal seperti yang diatur pada Tabel 13. Momen torsi tak terduga (M_{ta}) tidak perlu diperhitungkan pada saat menentukan gaya seismik E.

4.7.2 Desain Komponen Struktur

Sementara itu, dalam merancang elemen-elemen struktural seperti kolom, balok, dan lantai, SNI 2847:2019 diterapkan yang mengatur ketentuan untuk struktur beton bertulang dalam gedung. Standar ini berfungsi sebagai panduan untuk menetapkan dimensi elemen, lokasi dan jumlah tulangan serta rincian desain struktur agar dapat memenuhi standar kekuatan, ketahanan, dan kemampuan deformasi (daktilitas) yang diperlukan.

Berdasarkan hasil desain komponen struktur yang mengacu pada ketentuan SNI 2847-2019. Berikut ini adalah pembahasan yang dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 4.40 Analisa Komponen Struktur Plat Lantai

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Plat Lantai			
	ϕM_n (kN/m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Tumpuan	24,24	1,90	OK
Lapangan	24,24	3,60	OK

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Analisis pelat lantai didapatkan kekuatan lentur nilai pada penampang (M_n) harus melebihi nilai momen terfaktor yang terdapat pada penampang (M_u).

Tabel 4.41 Analisa Komponen Struktur Lentur (Balok) 50x80

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur			
	ϕM_n (kN/m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Tumpuan	594,75	485,12	Ok
Lapangan	306,98	202,09	Ok
Kapasitas geser			
Geser	ϕV_n (kN/m)	V_u (kN.m)	$\phi V_n > V_u$
Nilai	511,26	287,67	OK

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Analisis pelat lantai didapatkan kekuatan lentur nilai pada penampang (M_n) harus melebihi nilai momen terfaktor yang terdapat pada penampang (M_u). Kekuatan geser (V_n) juga wajib lebih tinggi dibandingkan dengan geser dua arah

maksimum terfaktor yang diukur di sekitar penampang kritis yang sedang diteliti (V_u).

Tabel 4.42 Analisa Komponen Struktur Lentur (Balok) 25x40

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur			
	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Tumpuan	99,47	45,70	Ok
Lapangan	99,47	42,90	Ok
Kapasitas geser			
	ϕV_n (kN/m)	V_u (kN.m)	$\phi V_n > V_u$
Nilai	97,78	78,76	OK

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Analisis balok didapatkan kekuatan lentur nilai pada penampang (M_n) harus melebihi nilai momen terfaktor yang terdapat pada penampang (M_u). Kekuatan geser (V_n) juga wajib lebih tinggi dibandingkan dengan geser dua arah maksimum terfaktor yang diukur di sekitar penampang kritis yang sedang diteliti (V_u).

Tabel 4.43 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K1 (80x80)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	P_u (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.056,3	4.816,37	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN/m)	V_u (kN.m)	$\phi V_n > V_u$
X	893,16	283,11	OK
Y	893,16	168,39	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1.565,18	1.965,33	OK
Y	1.565,18	1.965,33	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil analisis penulangan kolom diperoleh nilai $0,1x A_g x f'_c$ yang lebih kecil dari nilai P_u . Hal ini juga berlaku untuk kapasitas geser kolom, di mana nilai

V_n harus lebih besar dari nilai V_u . Selain itu, dalam desain konfinasi, nilai V_s harus lebih kecil dari V_s maksimum yang telah sesuai dengan SNI 2847:2019.

Tabel 4.44 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K2 (75x75)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.406,3	6.270,50	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	713,73	187,02	OK
Y	713,73	292,89	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1.458,99	1.711,50	OK
Y	1.458,99	1.711,50	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil analisis penulangan kolom diperoleh nilai $0,1x A_g x f'_c$ yang lebih kecil dari nilai Pu. Hal ini juga berlaku untuk kapasitas geser kolom, di mana nilai V_n harus lebih besar dari nilai V_u . Selain itu, dalam desain konfinasi, nilai V_s harus lebih kecil dari V_s maksimum yang telah sesuai dengan SNI 2847:2019.

Tabel 4.45 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K3 (70x70)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.225,0	7.131,74	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	573,52	349,65	OK
Y	573,52	349,41	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1.352,81	1.486,33	OK
Y	1.352,81	1.486,33	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Tabel 4.46 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K4 (75x75)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.406,3	1.785,17	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	713,70	173,29	OK
Y	713,70	203,00	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1.458,99	1.711,50	OK
Y	1.458,99	1.711,50	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil analisis penulangan kolom diperoleh nilai $0,1x A_g x f'_c$ yang lebih kecil dari nilai Pu. Hal ini juga berlaku untuk kapasitas geser kolom, di mana nilai V_n harus lebih besar dari nilai V_u . Selain itu, dalam desain konfinasi, nilai V_s harus lebih kecil dari V_s maksimum yang telah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019.

Tabel 4.47 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K5 (70x70)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.225,0	2.147,44	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	642,00	197,82	OK
Y	642,00	285,49	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1.352,81	1.486,33	OK
Y	1.352,81	1.486,33	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Tabel 4.48 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K6 (65x65)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.056,3	3.239,05	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
x	573,46	317,94	OK
y	573,46	326,05	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
x	1.246,62	1.271,69	OK
y	1.246,62	1.271,83	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil analisis penulangan kolom diperoleh nilai $0,1x A_g x f'_c$ yang lebih kecil dari nilai Pu. Hal ini juga berlaku untuk kapasitas geser kolom, di mana nilai Vn harus lebih besar dari nilai Vu. Selain itu, dalam desain konfinasi, nilai Vs harus lebih kecil dari Vs maksimum yang telah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019.

Tabel 4.49 Analisa Komponen Struktur Lentur Aksial (Kolom) K7 (75x75)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.406,3	9.078,53	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
x	714,00	320,18	OK
y	714,00	320,71	Ok
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
x	1.458,99	1.711,50	OK
y	1.458,99	1.711,50	Ok

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari hasil analisis penulangan kolom diperoleh nilai $0,1x A_g x f'_c$ yang lebih kecil dari nilai P_u . Hal ini juga berlaku untuk kapasitas geser kolom, di mana nilai V_n harus lebih besar dari nilai V_u . Selain itu, dalam desain konfinasi, nilai V_s harus lebih kecil dari V_s maksimum yang telah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil Analisa yang dilakukan pada struktur bangunan sekolah 10 lantai di kota Palembang, didapatkan Kesimpulan bahwa hasil desain struktur pada bangunan yang mengacu pada SRPMK telah memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847-2019 dan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemodelan Struktur Beton bertulang sekolah 10 lantai telah memenuhi syarat-syarat dalam perancangan struktur berdasarkan SNI 1726:2019.
2. Desain struktur Balok, Kolom dan Plat Lantai pada perancangan struktur Beton bertulang bangunan sekolah 10 lantai telah sesuai dan memenuhi standar yang tertulis pada SNI 2847:2019. Didapatkan data dari desain bangunan ini menggunakan 7 jenis kolom yakni K1 (80x80 cm), K2 (75x75 cm), K3 (70x70 cm), K4 (75x75 cm), K4 (70x70 cm), K5 (65x65 cm), dan K7 (75x75 cm), 2 jenis balok yakni B1 (50x80 cm) dan B2 (25x40 cm) serta plat lantai dengan ketebalan 12 cm.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi kinerja pada perancangan struktur, berikut ini adalah beberapa saran yang dapat diberikan :

1. Pada penelitian ini dapat dilanjutkan dengan Perhitungan Struktur Bawah.
2. Perlu dilakukan Analisa lebih dalam mengenai Kinerja Struktur.
3. Perlu dilakukannya studi lebih lanjut mengenai metode berbasis kinerja yang berbeda pada daerah dengan resiko kegempaan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Irawan, H. (2015). Analisis Struktur Gedung 10 Lantai Hotel BATIQA Palembang Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2019.
- Hilmi (2014). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum, IPB Bogor, Jawa Barat Indonesia.
- <https://strukturbangunan.com/perancangan-struktur-atas-bangunan/>
- Sapta (2012). Tesis Perancangan berbasis kinerja pada struktur bangunan gedung beton bertulang akibat beban gempa, Universitas Sriwijaya Palembang.
- SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.
- SNI 1727-2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- SNI 2847-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.
- SNI 03-1727-1989 Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.
- Sugiyono (2020). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung : Alfabeta.