

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN RUMAH SUSUN 12 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 :

Rahmadi Valdis

NPM. 21310015

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN
PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN RUMAH SUSUN 12 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 :
Rahmadi Valdis
NPM. 21310015

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Dr. Ir. Hardayani Hanuro, M.T
(NIK. 0324514)

Palembang, Juli 2025

Menyetujui
Ketua Program Studi
Teknik Sipil



H. Robi Sahbar, S.T., M.T
(NIDN. 02 030173 02)

HALAMAN PENGESAHAN
PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
BANGUNAN RUMAH SUSUN 12 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 :
Rahmadi Valdis
NPM. 21310015

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing I

Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU, Asean Eng
(NIDN. 02 060969 01)

Dosen Pembimbing II

Amelia Rajela, S.T., M.T
(NIDN. 02 241072 01)

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini di ajukan :

Nama : Rahmadi Valdis

NPM : 21310015

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulangan Bangunan

Rumah Susun 12 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 Universitas IBA

DEWAN PENGUJI :

1. Robi Sahbar, S.T.,M.T
2. Dr.Ir.Ramadhani, S.T.,M.T,IPM
3. Sari Farlianti, S.T.,M.T
4. Eka Wisnu Sumantri, S.T.,M.T

()
()
()
()

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rahmadi Valdis

NPM : 21310015

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertalangan Bangunan

Rumah Susun 12 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,



Rahmadi Valdis

ABSTRAK

PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG RUMAH SUSUN 12 LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019 DAN SNI 2847:2019

Sapta*, Amelia Rajela *, Rahmadi Valdis **

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

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

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap aktivitas seismik, sehingga perencanaan struktur bangunan yang mampu menahan beban gempa menjadi aspek krusial dalam upaya mitigasi risiko kerusakan dan korban jiwa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons seismik struktur bangunan bertingkat dengan memanfaatkan perangkat lunak ETABS, yang dianalisis berdasarkan acuan standar nasional, yaitu SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan dan nonbangunan, serta SNI 2847:2019 yang mengatur persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Studi kasus dilakukan pada struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Analisis dilakukan terhadap parameter-parameter struktural seperti simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, serta kinerja global struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur yang dianalisis telah memenuhi kriteria performa sesuai dengan ketentuan dalam standar yang berlaku.

Kata kunci: *Gempa bumi, Analisis struktur, ETASB, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019*

ABSTRACT

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE FOR A 12 STORY EARTHQUAKE-RESISTANT APARTMENT BUILDING BASED ON SNI 1726:2019 AND SNI 2847:2019

Sapta*, Amelia Rajela *, Rahmadi Valdis **

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

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

Indonesia is a region with a high vulnerability to seismic activity, making the design of earthquake-resistant building structures a crucial aspect in mitigating the risks of structural damage and human casualties. This study aims to evaluate the seismic response of a multi-story building structure using ETABS software, based on the provisions outlined in the Indonesian national standards: SNI 1726:2019 concerning seismic resistance planning procedures for building and non-building structures, and SNI 2847:2019 which governs structural concrete requirements for buildings. The case study focuses on a structure utilizing a special moment resisting frame (SMRF) system. The analysis encompasses structural parameters such as inter-story drift, base shear, and overall structural performance. The results indicate that the analyzed structure complies with the performance criteria stipulated in the applicable standards.

Key words: *Earthquake, Structural Analysis, ETABS, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019.*

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

"Ilmu adalah cahaya, dan cahaya hanya menyinari mereka yang bersungguh – sungguh mencarinya."

"Bukan hasil yang menguatkan, tapi proses panjang yang ditempuh dengan keikhlasan."

"Ketika lelah menjadi teman, doa adalah jalan pulang menuju ketenangan."

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. Ayah dan Ibu tercinta, yang selalu menjadi sumber semangat, doa, dan kasih sayang tanpa batas.
3. Saudara/i tercinta, yang telah menjadi tempat berbagi semangat, doa, dan kekuatan dalam setiap langkah perjalanan ini.
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 dan syukur senantiasa kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan skripsi/laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi di Universitas IBA Palembang dengan judul **“Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Rumah Susun 12 Lantai Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1276:2019 Dan SNI 2847:2019”**.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan struktur bangunan tahan 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 untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar.
3. Bapak H.Robi Sahbar,S.T.,M.T selaku ketua Program Studi Teknik Sipil yang begitu sangat membantu bagi penulis atas arahan dan nasihat yang di berikan selama ini dalam proses jenjang belajar agar menjadi tekun dan ulet untuk mencapai ke titik ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan dosen penguji yang sudah memberikan banyak ilmu dan pengalaman kepada penulis selama menimba ilmu di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas IBA Palembang

5. Kedua Orang Tua tercinta, atas segala doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta semangat yang tak pernah henti mengiringi setiap langkah penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Tanpa pengorbanan dan cinta tulus dari mereka, pencapaian ini tidak akan pernah terwujud.
6. Romel kurnia Wijaya, Fina Aulia, dan Nadia Azkadina atas segala doa, kasih sayang, dukungan dan dorongan. Tawa dan senyuman kalian memberikan hangat nya keluarga yang bagi penulis adalah sumber kekuatan di saat penulis merasa Lelah dan ingin menyerah.
7. Dodi Irawan Dan Wanisah dukungan moral maupun material, serta semangat yang tak pernah henti mengiringi setiap langkah penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. Pepi Yanti, S.E. yang begitu berarti dalam perjalanan ini, yang senantiasa memberikan semangat, perhatian, dan dorongan di saat penulis merasa lelah dan ingin menyerah. Kehadiran dan doa yang tulus darimu menjadi tambahan sumber kekuatan yang luar biasa dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam proses ini.
9. Terimakasih kepada sahabat KREAK Muamar Fitra Fahreza, M. Helmi Ananda Saputra, Asharul Khafi, Mozad Syahrul Ramadhan, Novalia Ramadhani, Syakira Suci Maharani yang telah banyak memberikan semangat dan arahan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
10. Rekan-rekan Angkatan 21, terima kasih atas semangat, tawa, dan dukungan yang tulus sepanjang perjalanan ini. Kebersamaan kalian menjadikan setiap langkah lebih ringan dan bermakna.
11. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada diri saya sendiri, atas ketekunan, kesabaran, dan semangat yang terus dijaga dalam menyelesaikan setiap proses, meskipun tidak jarang diiringi rasa lelah dan keraguan. Terima kasih telah bertahan, terus belajar, dan tidak menyerah menghadapi tantangan yang datang selama penyusunan skripsi ini. Perjalanan ini menjadi bukti bahwa usaha dan keyakinan pada diri sendiri adalah kekuatan yang tak ternilai.

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

Rahmadi Valdis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematis Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pembeban Struktur Bangunan	4
2.2 Kombinasi Beban	11
2.3 Tata Cara Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	12
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	13
2.5 Wilayah Gempa	14
2.5.1 Kategori Resiko Bangunan Gedung	16
2.5.2 Definisi Kelas Situs	19
2.6 Spektrum Respon	20
2.6.1 Parameter Percepatan Terpetak Gempa	20

2.6.2 Koefisien – koefisien Situs dan Parameter – parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER).....	21
2.6.3 Parameter Percepatan Spektral Desain.....	22
2.6.4 Spektrum Respons Desain	22
2.6.5 Kategori Desain Seismik (KDS).....	24
2.6.6 Faktor R, CD dan Ω_0	25
2.7 Penentuan Periode.....	26
2.7.1 Periode Fundamental Pendekatan.....	26
2.8 Distribusi Vertikal Gaya Seismik	27
2.9 Distribusi Horizontal Gaya Seismik	28
2.9.1 Torsi Bawaan	28
2.9.2 Torsi Tak Terduga	28
2.9.3 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga	29
2.9.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	30
2.10 Pengaruh P – Delta.....	31
2.11 Desain diafragma.....	32
2.12 Struktur Atas.....	33
2.13 Kolom	33
2.13.1 Jenis Kolom	33
2.13.2 Klasifikasi Kolom Berdasarkan Posisi Beban Aksial	34
2.13.3 Klasifikasi Kolom Berdasarkan Panjangnya	36
2.13.4 Klasifikasi Kolom Berdasarkan Kegunaanya	36
2.13.5 Perencanaan Kolom.....	36
2.13.6 Diagram Interaksi Kolom	40
2.14 Balok.....	41
2.14.1 Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen.....	44
2.14.2 Batasan pada balok.....	45
2.14.3 Faktor Reduksi.....	45
2.14.4 Analisa Penampang Balok	46
2.14.5 Desain Tulangan Geser	49

2.15 Plat lantai	50
2.15.1 Ketebalan Minimum Pelat Solit satu Arah Nonprategang.....	50
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	54
3.1 Metodologi Penelitian	54
3.1.1 Kerangka Berpikir Penelitian	54
3.1.2 Proses Penelitian.....	55
3.2 Metode Pelaksanaan.....	56
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	58
4.1 Data Perencanaan	58
4.1.1 Pemodelan Struktur	59
4.2 Data Material dan Dimensi Elemen Struktur	62
4.2.1 Material Properties	62
4.2.2 Section properties	62
4.3 Beban Gravitasi	62
4.3.1 Beban hidup	62
4.3.2 Beban Mati Tambahan SIDL	63
4.3.3 Rekap Beban	63
4.4 Data Beban Gempa	63
4.4.1 Data Respon Spektra Desain.....	64
4.5 Analisis Stuktur	64
4.5.1 Pembebanan Struktur	65
4.5.2 Periode Getar	65
4.5.3 Base Shear.....	67
4.5.4 Analisa Modal Respon Spektrum	68
4.5.5 Simpangan <i>displacement</i> Akibat Gempa dan Pemesiksaan <i>Story Drifts</i> ...	69
4.5.6 Beban Geser Dasar Gempa	71
4.5.7 Stabilitas Guling	73
4.5.8 Pengaruh $P - \Delta$	74
4.5.9 Ketidak Beraturan Struktur Vertikal (Iregularitas Vertikal)	75
4.5.10 Iregularitas Vertikal Tipe 2.....	80
4.5.11 Ketidak Beraturan Struktur Horizontal (iregularitas Horizontal)	82

4.5.12 Iregularitas Vertikal Tipe 3.....	84
4.6 Analisa struktur atas	84
4.6.1 Respon Struktur	84
4.6.2 Desain Pelat Lantai.....	86
4.6.3 Desain Balok.....	90
4.6.4 Desain Kolom	113
4.7 Pembahasan	140
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	151
5.1 Kesimpulan.....	151
5.2 Saran.....	153
DAFTAR PUSTAKA.....	
LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum	5
Tabel 2.2 beban mati yang merupakan berat sendiri konstruksi	11
Tabel 2.3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa	17
Tabel 2.4 Faktor keutamaan Gempa pada berbagai kategori resiko	19
Tabel 2.5 Klasifikasi Situs	19
Tabel 2.6 Koefisien situs, F_a	22
Tabel 2. 7 Koefisien situs, F_v	22
Tabel 2.8 Kategori desain seismik parameter respons percepatan periode pendek	24
Tabel 2. 9 Kategori desain seismik parameter respons percepatan periode 1 detik	25
Tabel 2.10 Faktor R , C_{DR} dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	25
Tabel 2.11 Koefisien untuk batas atas	26
Tabel 2.12 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	26
Tabel 2.13 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial	46
Tabel 2.14 Tinggi minimum Balok Nonprategang	46
Tabel 2.15 Tinggi minimum Balok Nonprategang	50
Tabel 2.16 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang.....	51
Tabel 2.17 Asmin untuk pelat satu arah nonprategang	51
Tabel 4.2 periode Ragam Getar dan Frekuensi (UN – Crack).....	66
Tabel 4.3 periode Ragam Getar dan Frekuensi (Crack)	67
Tabel 4.4 Rangkuman Beban Mati dan Beban Hidup (SNI 1726-2019, Ps. 7.7.2)	67
Tabel 4.5 Base Shear sebelum terkoreksi (Crack).....	68
Tabel 4.6 Base Shear setelah terkoreksi (Crack)	68
Tabel 4.7 Rasio Modal Partisipasi Massa.....	68
Tabel 4.8 Data Peralihan Lantai Akibat Beban Lateral.....	69
Tabel 4.9 <i>Story Drift</i> Arah Sumbu x	69
Tabel 4.10 <i>Story Drift</i> Arah Sumbu Y	70
Tabel 4.11 Rangkuman Berat Struktur per Lantai Akibat Beban Mati	71
Tabel 4.12 Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu X	72
Tabel 4.13 Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu Y	72
Tabel 4.14 Pemeriksaan $P - \Delta$ Arah Sumbu x	74
Tabel 4.15 Pemeriksaan $P - \Delta$ Arah Sumbu y	74
Tabel 4.16 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 70% tipe arah X	75
Tabel 4.17 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 80% tipe arah X	76

Tabel 4. 18 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 70% tipe arah Y	76
Tabel 4. 19 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 80% tipe arah Y	77
Tabel 4.20 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 60% tipe arah X	78
Tabel 4.21 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 70% tipe arah X	79
Tabel 4.22 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 60% tipe arah Y	79
Tabel 4.23 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 70% tipe arah Y	80
Tabel 4. 24 Pemeriksaan iregularitas Tipe 2	80
Tabel 4.25 Pemeriksaan story drift ratio (<i>exception</i>) arah X	81
Tabel 4.26 Pemeriksaan story drift ratio (<i>exception</i>) arah Y	82
Tabel 4.27 Faktor Pembesaran Torsi Tak Terduga	82
Tabel 4.28 Diagram Kolom Arah x	115
Tabel 4.29 Diagram Kolom Arah y	116
Tabel 4.30 Diagram Kolom Arah y	121
Tabel 4.31 Diagram Kolom Arah y	122
Tabel 4.32 Diagram Kolom Arah x	127
Tabel 4.33 Diagram Kolom Arah y	128
Tabel 4.34 Diagram Kolom Arah x	133
Tabel 4.35 Diagram Kolom Arah x	134
Tabel 4.36 analisa penulangan M11	145
Tabel 4.37 analisa penulangan M22	145
Tabel 4.38 hasil Analisa Tumpuan Balok 1 Dimensi 450 x 650 mm	145
Tabel 4.39 hasil Analisa Lapangan Balok 1 Dimensi 450 x 650 mm	146
Tabel 4.40 hasil Analisa Tumpuan Balok 2 Dimensi 350 x 550 mm	146
Tabel 4.41 hasil Analisa Lapangan Balok 2 Dimensi 350 x 550 mm	146
Tabel 4.42 hasil Analisa Balok Kantilever Dimensi 200 x 300 mm	147
Tabel 4.43 hasil Analisa Balok Anak Dimensi 200 x 350 mm	147
Tabel 4.44 hasil Analisa kolom 900 x 900 mm	148
Tabel 4.45 hasil Analisa kolom 850 x 850 mm	148
Tabel 4.46 hasil Analisa kolom 800 x 800 mm	149
Tabel 4.47 hasil Analisa kolom 750 x 750 mm	149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ss gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertaget (MCER)	14
Gambar 2.2 S1 gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertaget (MCER)	15
Gambar 2.3 PGA gempa maksimum yang di pertimbangkan rata – rata geometrik Resiko tertaget (MCEG)	15
Gambar 2.4 CRS Koefisien risiko terpetakan ,periode respons spektral 0,2 detik	16
Gambar 2.5 CRS Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik ..	16
Gambar 2.6 spektrum Respons desain	24
Gambar 2.7 Faktor Pembesaran Torsi Ax	29
Gambar 2.8 Faktor Penentuan simpangan antar tingkat	30
Gambar 2.9 Jenis – jenis kolom	34
Gambar 2.10 Penulangan transversal	38
Gambar 2.11 Penulangan transversal kolom	39
Gambar 2.12 Diagram interaksi	41
Gambar 2.13 (a)Penampang Terkendali Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Terkendali Tekan.	43
Gambar 2.14 Blok Tegangan Ekuivalen	45
Gambar 2.15 Penampang Persegi dengan tulangan rangkap	47
Gambar 3.1 Diagram Kerangka Berpikir	54
Gambar 3.2 Perancangan Struktur Beton Bertulang	57
Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Titik koordinat 0°18'16"S 100°22'55"E	58
Gambar 4.2 Model Stuktur 3D	59
Gambar 4.3 Lantai 1 s/d 3	59
Gambar 4.4 Lantai 4 s/d 6	60
Gambar 4.5 lantai 7 s/d 9	60
Gambar 4.6 lantai 10 s/d 11	61
Gambar 4.7 Lantai Atap	61
Gambar 4.8 Kurva Respon Spektrum Gempa Desain	64
Gambar 4.9 Grafik Displacement Pemeriksaan story drift arah sumbu x dan sumbu y	70
Gambar 4.10 interstory drift	71
Gambar 4.11 Grafik vertical irregularity type 2	81
Gambar 4.12 Grafik vertical exception 1 arah X dan arah Y	83
Gambar 4.13 Diagram Momen Pelat Lantai Arah X	84
Gambar 4.14 Diagram Momen Pelat Lantai Arah Y	85
Gambar 4.15 Diagram Momen Balok dan Kolom	85

Gambar 4.16 Diagram Geser Balok dan Kolom	86
Gambar 4.17 Detail Tulangan Balok 450 x 650 mm	111
Gambar 4.18 Detail Tulangan Balok 350 x 550 mm	111
Gambar 4.19 Detail Tulangan Balok Kantilever 200 x 300 mm.....	112
Gambar 4.20 Detail Tulangan Balok Anak 200 x 350 mm.....	112
Gambar 4.21 Diagram Interkasi Kolom Arah X	115
Gambar 4.22 Diagram Interkasi Kolom Arah Y	116
Gambar 4.23 Diagram Interkasi Kolom Arah X	121
Gambar 4.24 Diagram Interkasi Kolom Arah Y	122
Gambar 4.25 Diagram Interkasi Kolom Arah X	127
Gambar 4.26 Diagram Interkasi Kolom Arah Y	128
Gambar 4.27 Diagram Interkasi Kolom Arah X	133
Gambar 4.28 Diagram Interkasi Kolom Arah Y	134
Gambar 4.29 Dimensi Kolom 900 x 900 mm	138
Gambar 4.30 Dimensi Kolom 850 x 850 mm	138
Gambar 4.31 Dimensi Kolom 850 x 850 mm	139
Gambar 4.32 Dimensi Kolom 850 x 850 mm	139
Gambar 4.33 Grafik Displacement Pemeriksaan story drift arah sumbu x dan sumbu y	142
Gambar 4.34 Grafik vertical irregularity type 1b arah sumbu X dan sumbu Y ..	143
Gambar 4.35 Grafik vertical exception 1 arah X dan arah Y	144

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk dalam kawasan dengan aktivitas seismik yang sangat tinggi, sehingga kebutuhan akan struktur bangunan yang mampu menghadapi beban gempa menjadi sangat penting. Gempa bumi yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir telah memberikan dampak besar, baik terhadap keselamatan manusia, kerugian ekonomi, maupun kerusakan berbagai infrastruktur. Oleh karena itu, perencanaan struktur bangunan tahan gempa menjadi salah satu fokus utama dalam bidang teknik sipil saat ini.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode dan pendekatan yang tepat dalam menganalisis struktur terhadap beban gempa. Penelitian yang dilakukan oleh Pradana et al. (2020) menunjukkan bahwa penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bangunan bertingkat mampu mereduksi gaya lateral secara signifikan. Hal ini diperkuat oleh hasil studi Yuliani dan Setiawan (2021), yang menyatakan bahwa penerapan SNI 1726:2019 dalam desain struktur memberikan hasil yang lebih baik dalam hal stabilitas serta memenuhi target performa struktur saat terjadi gempa.

Kemajuan teknologi telah memberikan dampak positif dalam dunia konstruksi, khususnya pada perencanaan dan analisa struktur bangunan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan bantuan perangkat lunak ETABS, yang mampu memodelkan struktur beton bertulang bangunan secara detail dan akurat, meskipun bentuk struktur tergolong kompleks.

Pada penelitian ini dilakukan perancang struktur beton bertulang rumah susun 12 lantai terhadap beban gempa, rencana berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang, rumusan di rangkum menjadi 3 yaitu:

1. Pemodelan struktur bangunan rumah susun 12 lantai menggunakan ETABS.
2. Analisis struktur beton bertulang terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.
3. Desain struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka penulis membatasinya sebagai berikut:

1. Pemodelan Struktur Bangunan Rumah Susun menggunakan perangkat software ETABS.
2. Analisis ketahanan struktur atas terhadap beban gempa menggunakan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan Gedung dan non gedung, dan SNI 2847:2019 persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung.
3. Lokasi kota Bukittinggi di jln.By Pass Pulai.

1.4 Tujuan

1. Membuat pemodelan bangunan rumah susun 12 lantai menggunakan ETABS.
2. Melakukan analisis struktur beton bertulang terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.
3. Melakukan desain struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019.

1.5 Sistematis Penulisan

Untuk mempermudah dalam penyusunan laporan ini maka di buat sistematika penulisan laporan yang dibagi atas lima bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas Latar belakang, Rumusan masalah, Tujuan, Pembahasan masalah, Batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas pembebanan struktur bangunan, kombinasi beban, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa, penulangan pada balok, kolom dan plat lantai

BAB III : METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas flowchart, data perencanaan, pemodelan struktur, data material dan elemene struktur, data beban gravitas dan data beban gempa.

BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang Analisis struktur atas, Hasil analisis, Gambar detail tulangan Pelat lantai, Balok, dan pembahasan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Membahas tentang Kesimpulan dan saran dari hasil Analisa dan pembahasan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembeban Struktur Bangunan

Pembebanan struktur bangunan merupakan tahapan dalam menentukan dan menempatkan gaya – gaya yang bekerja pada suatu struktur, dengan tujuan memastikan bahwa struktur tersebut dapat menahan beban secara aman dan stabil sepanjang umur layan bangunan. Beban – beban ini menjadi acuan utama dalam merancang elemen – elemen struktural seperti pelat, balok, kolom, dan pondasi.

Mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Tata Cara Perencanaan Beban Minimum untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain serta SNI 2847:2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, perencanaan struktur bangunan harus mempertimbangkan seluruh beban yang bekerja pada struktur secara menyeluruh dan sistematis. Beban tersebut mencakup:

1. vertikal beban yang bekerja searah dengan gaya gravitasi (ke bawah) pada struktur bangunan. Beban ini harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur agar bangunan kuat dan stabil.
2. Horizontal beban yang bekerja tegak lurus terhadap arah gravitasi, atau sejajar dengan permukaan tanah. Beban ini penting diperhitungkan terutama untuk desain struktur tahan gempa, secara terstruktur dan sesuai karakteristik bahan serta fungsi ruang dalam bangunan.

Beban tersebut dihitung untuk menjamin kekuatan, kestabilan, dan keamanan struktur selama masa layan bangunan. Adapun jenis beban utama yang wajib dianalisis meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*earthquake load*), disertai beban khusus lainnya seperti beban kejut atau beban yang berasal dari peralatan mekanis. Seluruh beban ini dikombinasikan dalam beberapa skenario pembebanan sesuai ketentuan standar, guna memastikan struktur mampu menahan seluruh gaya yang mungkin terjadi tanpa mengalami kerusakan struktural yang membahayakan. sebagai berikut:

1. Beban hidup

Beban hidup adalah beban tidak permanen yang berubah-ubah tergantung aktivitas manusia, perabot, atau benda bergerak di atas struktur. Beban ini tetap perlu diperhitungkan karena bersifat tidak tetap meskipun bukan bagian dari struktur.

- Semua ruangan = 1,92 kN/m²
- Ruangan publik = 4,79 kN/m²
- Balkon dek = 1,6 kN/m²
- Atap untuk penghuni = 4,79 kN/m²
- Koridor = 4,79 kN/m²

Tabel 2.1 Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat l_b (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
– Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
– Ruang kantor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
– Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
– Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
– Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
– Panggung	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
– Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
– Panggung	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
– Lantai podium		Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
– Tribun penonton	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)		Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
– Ruang pertemuan lainnya		Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor – Lantai pertama – Lantai lain	100 (4,79) Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal) Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm]) Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in x 1 in. [25 mm x 25 mm])		- -	- -	300 (1,33) 200 (0,89)	
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10) – Mobil penumpang saja – Truk dan bus	40 (1,92) Lihat 4.10.2	Tidak (4.7.4) -	Tidak (4.7.4) -	Lihat 4.10.1 Lihat 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1 -	- -	- -	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11) – Helikopter dengan berat lepas landas	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	

sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang – Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit – Ruang operasi, laboratorium – Ruang pasien – Koridor diatas lantai pertama	60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	1.000 (4,45) 1.000 (4,45) 1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan – Ruang baca – Ruang penyimpanan – Koridor di atas lantai pertama	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	Ya (4.7.2) Tidak (4.7.3) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.3) Ya (4.7.2)	1.000 (4,45) 1.000 (4,45) 1.000 (4,45)	4.13
Pabrik – Ringan – Berat	125 (6,00) 250 (11,97)	Tidak (4.7.3) Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3) Ya (4.7.3)	2.000 (8,90) 3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran – Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian – Lobi dan koridor lantai pertama – Kantor – Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	2.000 (8,90) 2.000 (8,90) 2.000 (8,90)	
Lembaga hukum – Blok sel – Koridor	40 (1,92) 100 (4,79)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi – Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis – Ruang dansa dan ballroom – Gimnasium	75 (3,59) 100 (4,79) 100 (4,79)	Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5)		
Rumah tinggal	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		

– Hunian satu dan dua keluarga – Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang – Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang – Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur – Semua ruang kecuali tangga – Semua hunian rumah tinggal lainnya – Ruang pribadi dan koridornya – Ruang publik – Koridor ruang publik	20 (0,96) 30 (1,44) 40 (1,92) 40 (1,92) 100 (4,79) 100 (4,79)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Tidak (4.7.5) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Tidak (4.7.5) Ya (4.7.2)		
Atap – Atap datar, berbubung, dan lengkung – Atap yang digunakan penghuni – Atap untuk tempat berkumpul - Atap vegetatif dan atap lansekap – Atap bukan untuk hunian – Atap untuk tempat berkumpul – Atap untuk penggunaan lainnya - Awning dan kanopi – Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan – Rangka penumpu layar penutup – Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung	20 (0,96) Sama dengan penggunaan yang dilayani 100 (4,70) 20 (0,96) 100 (4,79) Sama dengan penggunaan lainnya Sama dengan penggunaan yang dilayani 5 (0,24) 5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap	Ya (4.8.2) Ya (4.8.3) Ya (4.8.3) Ya (4.8.2) Ya (4.8.3) Ya (4.8.3) Tidak (4.8.2) Tidak (4.8.2)	- - - - - - - -	200 (0,89)	4.8.1

langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja – Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi – bengkel – Semua komponen struktur atap utama lainnya – Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan	yang didukung oleh komponen struktur rangka 20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-	2000 (8,90) 300 (1,33)	4.8.1
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000	
– Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	(4,45)	
– Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
– Koridor lantai pertama				1.000 (4,45)	
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit – langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan) – Ringan	125 (6,00) 250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Tidak (4.7.3)		

– Berat		Tidak (4.7.3)	Tidak (4.7.3)		
Toko				1.000 (4,45)	
– Eceran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
– Lantai pertama	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
– Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Sumber : SNI 1727_2020

2. Beban mati

Beban mati merupakan komponen beban gravitasi yang berasal dari berat seluruh elemen bangunan yang bersifat permanen dan tidak mengalami perubahan selama umur rencana struktur. Beban ini terdiri atas elemen struktural utama seperti pelat lantai, balok, kolom, dan dinding, serta elemen non-struktural yang terpasang secara tetap, seperti plafon, atap, tangga, partisi permanen, dan berbagai komponen arsitektural lainnya. Selain itu, beban mati juga mencakup seluruh material pelapis dan finishing, baik interior maupun eksterior, termasuk pelapis lantai, pelapis dinding, serta cladding pada bagian luar bangunan.

a. SIDL lantai

- Finishing lantai (5cm) = 1,05 kN/m²
- Keramik = 0,6 kN/m²
- Dinding partisi = 0,72 kN/m²
- Plafond + mechanical = 0,5 kN/m²

b. SIDL atap

- Finishing lantai (5cm) = 1,05 kN/m²
- Dinding partisi = 0,72 kN/m²
- Plafond + mechanical = 0,5 kN/m²

c. Dinding

- Dinding $\frac{1}{2}$ bata lantai 1 s/d11

$$q = (250 \times 9,8065) \times (3,5 \text{ m} - 0,65) \\ = 6,99 \text{ kN/m}$$

- Dinding $\frac{1}{2}$ bata lantai atap

$$q = (250 \times 9,8065) \times 1 \text{ m} \\ = 2,85 \text{ kN/m}$$

Tabel 2.2 beban mati yang merupakan berat sendiri konstruksi

No	Konstruksi	Berat	Satuan
1	Baja	7.850	Kg/m ³
2	Beton bertulang	2.400	Kg/m ³
3	Beton	2.200	Kg/m ³
4	Dinding pas bata (1/2 bata)	250	Kg/m ²
5	Dinding pas. 1 bata	450	Kg/m ²
6	Curtain wall + rangka	60	Kg/m ²
7	Cladding + rangka	20	Kg/m ²
8	Pasangan batu kali	2.200	Kg/m ³
9	Finishing lantai (tegel)	2.100	Kg/m ³
10	Plafond + penggantung	20	Kg/m ²
11	Mortar	2.200	Kg/m ³
12	Tanah, pasir	1.700	Kg/m ³
13	Air	1.000	Kg/m ³
14	Kayu	900	Kg/m ³
15	Aspal	1.400	Kg/m ³
16	Instalasi plumbing	50	Kg/m ²

Sumber : SNI 03-1727-1989

2.2 Kombinasi Beban

Kombinasi beban merupakan perpaduan dari berbagai jenis beban seperti beban mati, hidup, gempa, angin, salju, dan lainnya yang dihitung secara bersamaan untuk memperoleh kondisi paling kritis yang mungkin dialami oleh struktur selama masa penggunaannya.

Menurut Pasal 7.4.2 dalam SNI 03-1726:2011, proses perancangan struktur harus mengacu pada kombinasi beban yang ditetapkan dalam SNI 1727, yang memuat ketentuan mengenai beban minimum. Selanjutnya, kombinasi ini harus ditambahkan dengan pengaruh gaya gempa (E) yang dihitung menggunakan faktor pengali tertentu sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku, guna memastikan keamanan dan ketahanan struktur terhadap beban seismik.

a. Beban gravitasi

- $1,4D$
- $1,2D+L$
- $1,2D+1,6L$

b. Beban gempa

- $(1,2+0,2.Sds).D+1,0L\pm\rho(Ex\pm0,3Ey)$
- $(0,9-0,2.Sds).D\pm\rho(Ex\pm0,3Ey)$

Keterangan :

- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- E = Beban Gempa
- ρ = Faktor Redundansi
- Sds = Percepatan Spektral Desain

2.3 Tata Cara Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Perencanaan bangunan tahan gempa perlu mempertimbangkan respons struktur terhadap tingkat kekuatan gempa. Secara umum, terdapat tiga tingkatan kinerja struktur terhadap gempa, yaitu:

1. Gempa Berkekuatan Rendah

Saat gempa rendah terjadi, bangunan harus tetap berfungsi normal tanpa kerusakan. Elemen struktural maupun nonstruktural, seperti balok, kolom, dinding partisi, dan langit – langit, tidak boleh terganggu agar bangunan tetap layak pakai tanpa perlu perbaikan.

2. Gempa Berkekuatan Menengah

Saat gempa sedang terjadi, bangunan boleh mengalami kerusakan ringan pada elemen nonstruktural, namun sistem struktur utama harus tetap stabil dan kuat. Bangunan harus dapat digunakan kembali setelah perbaikan, dengan tetap menjamin keselamatan penggunanya.

3. Gempa Berkekuatan Tinggi

Dalam kondisi gempa besar, struktur bangunan diperkenankan mengalami kerusakan yang cukup signifikan, termasuk pada elemen struktural. Namun

demikian, bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan total. Prinsip utama dari ketentuan ini adalah menjamin keselamatan penghuni dengan memastikan adanya waktu yang cukup untuk evakuasi, meskipun setelah kejadian tersebut bangunan kemungkinan tidak dapat difungsikan kembali tanpa dilakukan evaluasi teknis secara menyeluruh.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem struktur bangunan berbentuk rangka ruang, di mana balok, kolom, dan sambungan-sambungan antar elemen dirancang untuk menahan beban yang terjadi, terutama akibat gempa. Beban ini disalurkan melalui gaya lentur (tekuk), geser, dan tekan (aksial).

SRPM digunakan untuk menghadapi gaya gempa, dan kemampuannya sangat bergantung pada tingkat keuletan atau duktilitas struktur. Sistem ini dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu :

1. SRPM Biasa (SRPMB)

SRPMB Merupakan sistem rangka momen dengan kemampuan deformasi (duktilitas) yang rendah, sehingga hanya cocok untuk bangunan bertingkat rendah di wilayah dengan risiko gempa yang kecil. Sistem ini tidak mensyaratkan detail khusus untuk ketahanan bangunan tahan gempa.

2. SRPM Menengah (SRPMM)

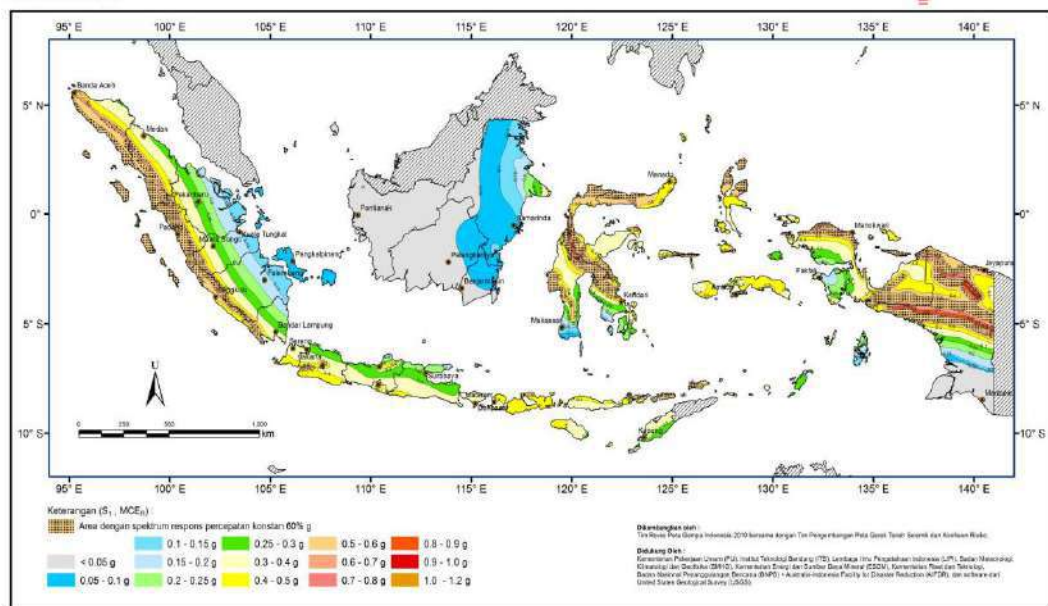
SRPMM Jenis ini memiliki kemampuan deformasi sedang, dan digunakan di daerah yang memiliki potensi gempa menengah. Sistem ini memerlukan beberapa ketentuan detail tahan gempa, meskipun tidak seketat dengan SRPMK.

3. SRPM Khusus (SRPMK)

SRPMK Sistem ini dirancang dengan ketahanan deformasi tinggi dan digunakan di wilayah dengan risiko gempa besar. SRPMK mensyaratkan detail-detail struktur yang ketat dan lengkap, sesuai dengan peraturan seperti SNI 2847. Sistem ini umum dipakai untuk bangunan bertingkat tinggi atau bangunan penting yang membutuhkan performa struktur maksimal saat gempa.

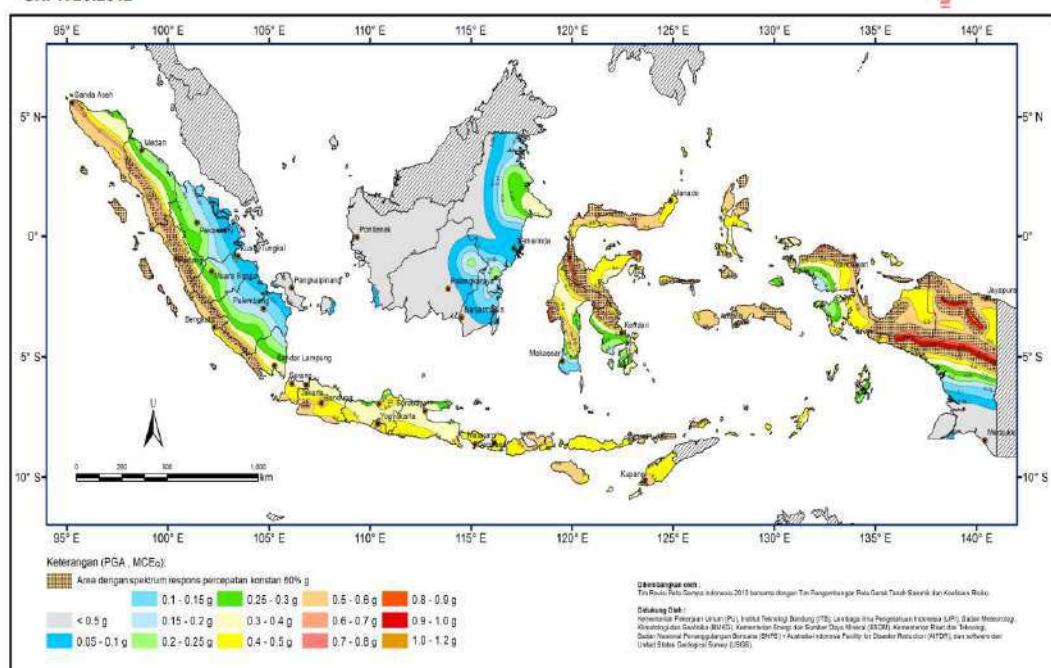
Gambar 2.1 Ss gempa maksimum yang di pertimbangkan Resiko tertaget (MCER)

SNI 1726:2012

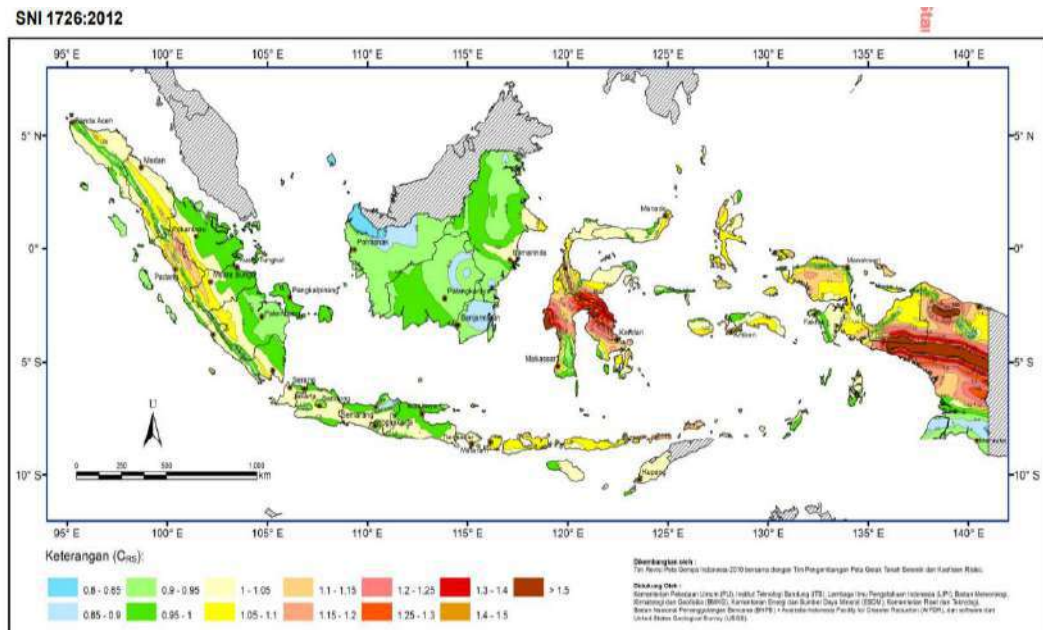


Gambar 2.2 S1 gempa maksimum yang di pertimbangan Resiko tertarget (MCER)

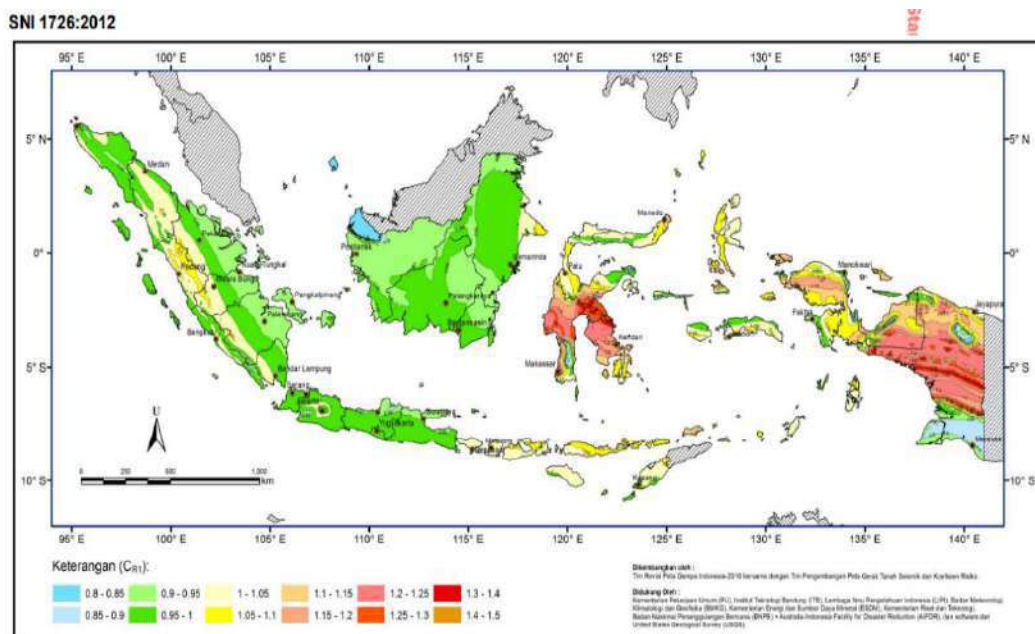
SNI 1726:2012



Gambar 2. 3 PGA gempa maksimum yang di pertimbangan 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, perioda respons spektral 1 detik

Sumber : SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan Non Gedung

2.5.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan gedung adalah kategori yang membedakan setiap gedung berdasarkan fungsinya dari resiko kerugian yang diterima akibat kegagalan

struktur baik dari kerugian materi maupun kerugian jiwa serta dampaknya. Kategori risiko menjadi pertimbangan dalam penentuan kategori desain seismik.

Tabel 2.3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan Rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ Rumah Susun - Pusat berbelanja/ Mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit beddah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit Listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi	III

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 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.	IV

Sumber : SNI 1726_2019

Faktor keutamaan gempa merupakan suatu nilai koefisien pengali yang digunakan dalam perhitungan gaya gempa rencana untuk menyesuaikan tingkat kinerja dan ketahanan struktur berdasarkan tingkat kepentingan dan fungsi dari bangunan tersebut. Faktor ini berfungsi untuk meningkatkan tingkat perlindungan struktural, terutama bagi bangunan-bangunan yang, apabila mengalami kerusakan akibat gempa bumi, dapat menimbulkan dampak besar terhadap keselamatan jiwa manusia, kelangsungan fungsi sosial, ekonomi, atau lingkungan sekitar.

Nilai faktor keutamaan gempa secara eksplisit mencerminkan konsekuensi dari keruntuhan atau kegagalan fungsi bangunan selama peristiwa seismik. Oleh karena itu, bangunan dengan kategori risiko tinggi, seperti rumah sakit, pusat penanggulangan bencana, fasilitas militer, pembangkit listrik, dan gedung pemerintahan, diberikan nilai faktor keutamaan yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan umum seperti hunian atau perkantoran biasa. Hal ini bertujuan agar struktur dirancang dengan tingkat ketahanan gempa yang lebih tinggi,

sehingga tetap dapat berfungsi atau tidak mengalami keruntuhan total setelah kejadian gempa signifikan.

Tabel 2.4 Faktor keutamaan Gempa pada berbagai kategori resiko

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

Sumber : SNI 1726_2019

2.5.2 Definisi Kelas Situs

Kelas situs yang digunakan dalam perencanaan struktur pada studi ini adalah kelas situs SE, yang dikategorikan sebagai tanah lunak berdasarkan kriteria dalam SNI 1726:2019. Suatu lokasi dapat diklasifikasikan sebagai kelas situs SE apabila tidak termasuk dalam kategori kelas situs SF, namun memiliki karakteristik tanah lunak tertentu yang memenuhi persyaratan geoteknik.

Kriteria pengklasifikasian sebagai kelas situs SE didasarkan pada kondisi lapisan tanah di bawah permukaan. Jika pada lokasi tersebut terdapat lapisan lempung lunak dengan ketebalan total melebihi 3 meter, dan lapisan tersebut memiliki kuat geser nirair (*undrained shear strength*), $s_u < 25 \text{ kPa}$, kadar air $\geq 40\%$, serta indeks plastisitas (*PI*) > 20 , maka sesuai ketentuan dalam pasal klasifikasi tanah, situs tersebut wajib dikategorikan sebagai kelas situs SE.

Kondisi tanah lunak seperti ini umumnya memiliki kapasitas dukung rendah dan potensi amplifikasi gelombang seismik yang tinggi, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam analisis bahaya gempa dan perencanaan struktur bangunan. Oleh karena itu, penentuan kelas situs yang tepat menjadi hal krusial untuk menjamin keamanan struktural, terutama pada wilayah dengan potensi kegempaan tinggi.

Tabel 2.5 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}u < 25$ kPa
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik – situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: ○ Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah ○ Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) ○ Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}u < 50$ kPa

Sumber : SNI 1726_2019

2.6 Spektrum Respon

Situs yang memenuhi salah satu kondisi berikut ini harus dikategorikan dekat sesar :

1. Berjarak 15 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu
2. Berjarak 10 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 6 atau lebih besar.

2.6.1 Parameter Percepatan Terpetak Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada Pasal 15 dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan.

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat – sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs, maka kelas situs SE dapat

digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs lainnya. Jika penyelidikan tanah yang dilakukan telah sesuai menunjukkan adanya kondisi batuan yang konsisten dengan kelas situs SB, tetapi tidak dilakukan pengukuran kecepatan gelombang geser situs-spesifik, maka koefisien situs F_a , F_v , dan F_{PGA} harus diambil sebesar 1,0.

2.6.2 Koefisien – koefisien Situs dan Parameter – parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER)

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER (Maximum Considered Earthquake Response) pada permukaan tanah, diperlukan penerapan faktor amplifikasi seismik untuk dua periode waktu, yaitu periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor-faktor ini terdiri atas :

1. Faktor amplifikasi percepatan untuk periode pendek (F_a).
2. Faktor amplifikasi percepatan untuk periode 1 detik (F_v).

Nilai parameter respons spektral percepatan yang telah disesuaikan dengan kondisi klasifikasi tanah situs, yaitu :

1. S_{MS} untuk periode pendek

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \dots\dots\dots(2.1)$$

2. S_{M1} untuk periode 1 detik

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots(2.2)$$

Mengacu pada SNI 1726:2019, nilai koefisien amplifikasi respons spektrum situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel 2.5 dan Tabel 2.6. Jika kondisi tanah diklasifikasikan sebagai kelas situs SE sesuai Pasal 6.1.3, maka nilai F_a tidak boleh kurang dari 1,2, untuk mengantisipasi pengaruh amplifikasi seismik pada tanah lunak. Apabila perencanaan struktur mengikuti prosedur dalam Pasal 8, maka penentuan nilai F_a harus mengacu pada Pasal 8.8.1, yang menggunakan pendekatan respons spektrum lokasi secara langsung. Dalam hal ini, nilai F_v , S_{ms} dan S_{m1} tidak perlu ditentukan, karena parameter desain diperoleh langsung dari spektrum respons lokasi spesifik, tanpa transformasi tambahan.

Tabel 2.6 Koefisien situs, F_a

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

Tabel 2. 7 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726_2019

2.6.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$\circ S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\circ S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (2.4)$$

2.6.4 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain sesuai dengan ketentuan tata cara ini, namun tidak tersedia data gerak tanah spesifik di lokasi pembangunan, maka penyusunan spektrum respons desain wajib mengacu pada Gambar 2.7 dalam SNI 03-1726-2012. Spektrum tersebut harus dirancang berdasarkan parameter percepatan batuan dasar yang ditentukan oleh nilai S_s (untuk periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (untuk periode 1 detik) dari peta wilayah gempa. Selanjutnya, nilai-nilai tersebut harus disesuaikan dengan kondisi tanah di lokasi berdasarkan klasifikasi kelas situs (A hingga E), untuk menentukan faktor amplifikasi gempa yaitu F_a dan F_v . Hasil

modifikasi ini akan digunakan untuk menghitung percepatan spektrum desain SDS dan SDI . Berdasarkan nilai SDS , SDI , dan periode transisi T_L , kurva spektrum respons desain kemudian disusun mengikuti bentuk dan pedoman yang tercantum dalam Gambar 2.7. Penyusunan spektrum ini penting sebagai dasar perhitungan gaya gempa yang akan bekerja pada struktur bangunan.

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk periode yang lebih panjang dari T_s namun tidak melebihi T_L , nilai percepatan respons spektral desain (S_a) ditentukan menggunakan persamaan yang berlaku.:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Pada periode yang melebihi T_L , nilai percepatan respons spektral desain (S_a) dihitung menggunakan persamaan yang telah ditetapkan.

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

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

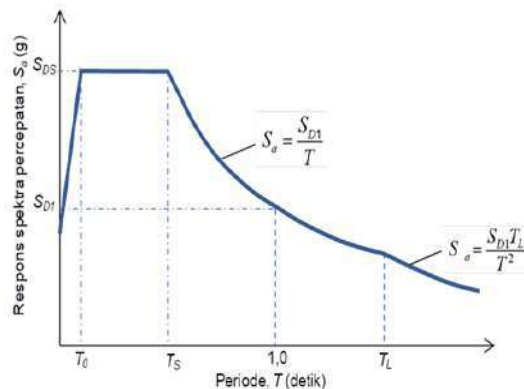
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.9)$$

T_L = Peta transisi periode Panjang yang di tunjukkan pada gambar spektrum respons desain



Gambar 2. 6 spektrum Respons desain

Sumber : SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan Non Gedung

2.6.5 Kategori Desain Seismik (KDS)

Setiap struktur bangunan harus ditentukan memiliki kategori desain seismik sesuai dengan ketentuan dalam pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berada di wilayah dengan nilai parameter percepatan respons spektral terpetakan pada periode 1 detik ($S_1 \geq 0,75$), harus diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik E. Sementara itu, struktur dengan kategori risiko IV yang berada di wilayah dengan $S_1 \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F, terlepas dari nilai fundamental getaran struktur T .

Apabila S_1 digunakan alternatif prosedur penyederhanaan desain pada tabel 2.6, kategori desain seismik (KDS) diperbolehkan untuk ditentukan dari Tabel 2.6, dengan menggunakan nilai SDS yang ditentukan.

- Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Tabel 2.8 Kategori desain seismik parameter respons percepatan periode pendek

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

- Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Tabel 2. 9 Kategori desain seismik parameter respons percepatan periode 1 detik

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

Sumber : SNI 1726_2019

Untuk struktur lainnya, penentuan kategori desain seismik (KDS) dilakukan berdasarkan kombinasi antara kategori risiko bangunan dan nilai parameter percepatan respons spektral desain (SDS dan SD1), sebagaimana diatur dalam Pasal 6.3 (SNI1726:2019). Penetapan kategori desain seismik harus mengacu pada nilai yang paling tinggi (terparah) yang diperoleh berdasarkan Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 dari SNI 1726:2019, mempertimbangkan nilai periode fundamental struktur (T).

2.6.6 Faktor R, C_d dan Ω_0

Penggunaan sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diperbolehkan untuk menahan gaya gempa pada masing-masing arah dari dua sumbu ortogonal struktur. Jika sistem yang berbeda digunakan, maka setiap sistem harus menggunakan nilai R, C_d , dan Ω_0 yang sesuai, serta tetap memenuhi ketentuan sistem struktur yang tercantum dalam tabel 2.9.

Tabel 2.10 Faktor R, CDR dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul gaya seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi bangunan (ft)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D^d	E^d	F^d
Rangka momen beton bertulang khusus (SRPMK)	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka momen beton bertulang menengah (SRPMM)	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka momen beton bertulang biasa (SRPMB)	3	3	25	TB	TI	TI	TI	TI
Keterangan : TB = Tidak ada Batasan TI = Tidak di Ijinkan								

Sumber : SNI 1726_2019

2.7 Penentuan Periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a .

Tabel 2.11 Koefisien untuk batas atas

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1	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

2.7.1 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(2.10)$$

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

Tabel 2.12 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

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

Sumber : SNI 1726_2019

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang – kurangnya 3 m :

$$T_a = 0,1 \sqrt{N}$$

Keterangan :

N = jumlah Tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan, T_a :

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana h_n didefinisikan diatas dan C_w di hitung :

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{(1+0,83(\frac{h_n}{D_i})^2)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

A_B = luas dasar struktur (m^2)

A_i = luas badan dinding geser ke – i (m^2)

D_i = Panjang dinding geser ke – i (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

2.8 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots(2.13)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desaian total atau geser di dasar struktur kN

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

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

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

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

2.9 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke $- i$ (kN)

Geser tingkat desain seismik, V_x (kN), harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.9.1 Torsi Bawaan

Memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan, M_t , akibat eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.

2.9.2 Torsi Tak Terduga

Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) akibat perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing – masing arah dengan jarak sebesar 5 % dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5 % yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.

Torsi tak terduga harus diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidak beraturan horizontal. Momen torsi tak terduga (M_{ta}) tidak perlu diperhitungkan pada saat menentukan gaya seismik E pada perencanaan struktur dan pada saat menentukan simpangan antar tingkat desain, atau pada saat menentukan Batasan – batasan kecuali untuk struktur – struktur berikut:

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

2.9.3 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidak beraturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) ditentukan dari persamaan berikut :

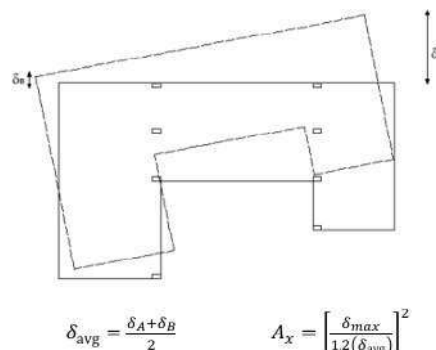
$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2 \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

δ_{max} = perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang di hitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ mm

δ_{avg} = rata – rata perpindahan di titik terjauh struktur di tingkat x yang di hitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ mm

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0 pembebanan yang lebih parah untuk masing – masing elemen harus di tinjau untuk desain.

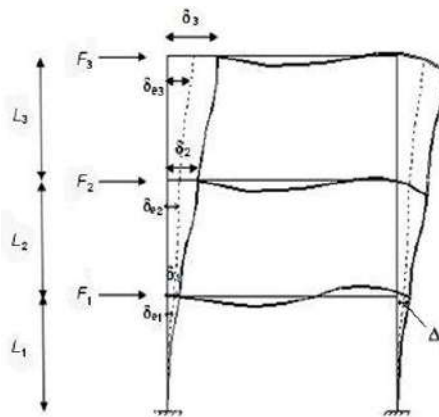


Gambar 2. 7 Faktor Pembesaran Torsi A_x

Struktur wajib dirancang agar mampu menahan efek overturning yang timbul sebagai akibat dari beban gempa yang diperhitungkan dalam analisis.

2.9.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) harus ditentukan sebagai selisih perpindahan lateral antara pusat massa lantai di atas dan lantai di bawah pada tingkat yang dianalisis. Jika pusat massa tidak berada pada garis vertikal yang sama, maka diperbolehkan menghitung simpangan pada dasar tingkat dengan menggunakan proyeksi vertikal dari pusat massa lantai di atas. Dalam hal metode desain tegangan izin diterapkan, nilai Δ harus dihitung berdasarkan gaya seismik desain tanpa pengurangan akibat penerapan faktor reduksi tegangan izin.



Gambar 2. 8 Faktor Penentuan simpangan antar tingkat

Keterangan :

Tingkat 3

F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_2 = C_d \delta_{e3} / I_e$ perpindahan yang di perbesar

$\Delta_3 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

Tingkat 2

F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I_e$ perpindahan yang di perbesar

$$\Delta 2 = (\delta e2 - \delta e1) C_d / I_e \leq \Delta a$$

Tingkat 1

F1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta e1$ = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta 1 = C_d \delta e1 / I_e$ perpindahan yang di perbesar

$$\Delta 1 = (\delta e2 - \delta e1) C_d / I_e \leq \Delta a$$

$\Delta 1 / I_i$ = rasio simpangan antar tingkat

$\delta 3$ = perpindahan total

Untuk struktur yang dirancang dalam kategori desain seismik C, D, E, atau F dan memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan maksimum perpindahan dari titik – titik yang berada pada garis vertikal yang sama di sepanjang salah satu sisi tepi struktur, antara lantai di atas dan lantai di bawah dari tingkat yang dianalisis.

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δx) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots(2.17)$$

keterangan :

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat – x yang disyaratkan, yang ditentukan dengan analisis elastic

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan

2.10 Pengaruh P – Delta

Pengaruh efek P – delta terhadap gaya geser tingkat, momen, serta gaya dan momen pada elemen struktur, termasuk simpangan antar tingkat yang ditimbulkannya, dapat diabaikan apabila nilai koefisien stabilitas (θ) yang dihitung berdasarkan ketentuan yang berlaku berada pada atau di bawah ambang batas yang telah ditetapkan.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

- P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0
 Δ = simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
 I_e = faktor keutamaan gempa
 V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x – 1 (kN)
 h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat (mm)
 C_d = faktor pembesaran defleksi dalam

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

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x – 1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P – delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$.

2.11 Desain diafragma

Diafragma lantai dan atap harus dirancang mampu menahan gaya seismik desain yang diperoleh dari hasil analisis struktur. Namun demikian, nilai gaya tersebut tidak boleh lebih kecil dari batas minimum yang ditentukan dalam peraturan, yaitu sebagai berikut:

$$f_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} W_{px} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

- F_{px} = gaya desain diafragma di tingkat x
 F_i = gaya desain yang diterapkan di tingkat i
 w_i = tributari berat sampai tingkat i
 w_{px} = tributari berat sampai diafragma di tingkat x

Gaya yang di tentukan tidak boleh kurang dari :

$$F_{px} = 0,25 s_{DS} / ew_{px} \dots\dots\dots(2.21)$$

Tidak boleh melebihi dari :

$$F_{px} = 0,4 s_{DS} / ew_{px} \dots\dots\dots(2.22)$$

2.12 Struktur Atas

Struktur atas gedung mencakup semua elemen konstruksi yang terletak di atas permukaan tanah. Bagian-bagian ini meliputi kolom, balok, plat, dan tangga, yang masing-masing memiliki peranan penting dalam mendukung keseluruhan bangunan.

2.13 Kolom

Kolom berperan dalam menyalurkan beban seluruh bangunan ke pondasi. Jika dianalogikan, kolom serupa dengan rangka tubuh manusia yang menjaga bangunan tetap tegak. Sebagai bagian dari struktur utama, kolom menyalurkan beban bangunan, beban hidup seperti manusia dan barang, serta beban akibat tekanan angin.

Kolom harus di rencanakan untuk memikul beban aksial berfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban berfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang di tinjau. Untuk konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus di perhitungkan. Kolom bertulang hampir selalu mengalami lentur, selain juga gaya aksial, sebagai akibat kondisi pembebanan dan hubungan dengan elemen struktur lain.

2.13.1 Jenis Kolom

Jenis-jenis kolom dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk dan pola penulangan, metode pemuatan, letak beban pada penampang, dan panjang kolom. mengidentifikasi tiga jenis kolom, yaitu:

1. Kolom ikat (*tie colom*)

Kolom ini menggunakan pengikat lateral yang disebut sengkang. Kolom beton ini dilengkapi dengan batang tulangan utama yang memanjang, yang pada interval tertentu diikat dengan sengkang lateral. Fungsi tulangan ini

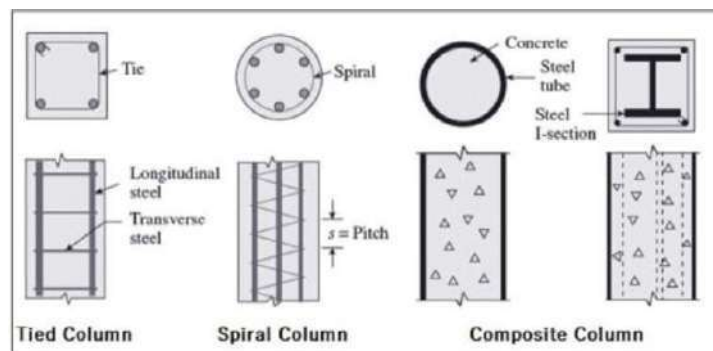
adalah untuk menjaga agar tulangan utama tetap kokoh pada tempatnya. Penampang kolom ini dapat berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang. Kolom berbentuk persegi panjang sering dipilih karena pembuatan dan perencanaannya lebih mudah serta penggunaan tulangan longitudinalnya lebih efektif, terutama jika ada beban momen lentur.

2. Kolom spiral (*spiral column*)

Kolom ini memiliki bentuk yang lebih baik dibandingkan dengan kolom ikat, namun pembuatannya lebih rumit dan penggunaan tulangan longitudinalnya kurang efektif saat ada beban momen lentur. Sebagai pengikat tulangan utama, digunakan tulangan spiral yang dililitkan membentuk heliks sepanjang kolom. Tulangan spiral ini memberikan kemampuan kolom untuk menyerap deformasi yang besar sebelum runtuh, sehingga dapat mencegah keruntuhan total struktur sebelum redistribusi momen dan tegangan tercapai.

3. Kolom komposit (*composite colum*)

Kolom komposit adalah komponen struktur tekan yang diperkuat secara memanjang dengan profil baja atau pipa, dengan atau tanpa tambahan batang tulangan utama. Bentuk ini biasanya digunakan ketika kolom bertulang biasa menghasilkan ukuran yang terlalu besar akibat beban yang cukup besar, sementara di sisi lain diinginkan ukuran kolom yang tidak terlalu besar.



Gambar 2. 9 Jenis – jenis kolom

2.13.2 Klasifikasi Kolom Berdasarkan Posisi Beban Aksial

Berdasarkan letak beban aksial yang beroperasi pada penampang kolom, terdapat dua jenis kolom yang dibedakan: kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Dalam konteks kolom dengan beban aksial sentris, ini

berarti kolom tersebut menerima beban aksial secara langsung sejajar dengan sumbu kolom. Dalam situasi ini, seluruh permukaan penampang beton bersama dengan tulangan kolom menahan beban tekan.

Sementara untuk kolom dengan posisi beban aksial eksentris, beban aksialnya bekerja di luar sumbu kolom dengan eksentrisitas sebesar e . Kombinasi dari beban aksial P dan eksentrisitas e ini akan menghasilkan momen (M) yang dinyatakan sebagai $M = P \cdot e$. Dengan demikian, kolom harus mampu menahan beban aksial P bersama dengan momen (M).

Kondisi kolom dengan beban aksial eksentris ini dapat dibagi menjadi empat kategori berdasarkan nilai eksentrisitas e , yaitu :

1. Ketika eksentrisitas e memiliki nilai kecil, momen M yang dihasilkan juga kecil. Kolom akan membungkuk sesuai dengan arah momen lentur, sehingga sebagian kecil beton dan tulangan baja di sebelah kanan menahan tegangan tekan. Kegagalan kolom akan ditentukan oleh kerusakan beton tekan di sebelah kanan karena tegangan tarik pada tulangan baja di sebelah kiri relatif kecil. Keadaan ini dikenal sebagai kolom pada kondisi patah tekan, di mana beton tekan menentukan.
2. Pada eksentrisitas e dengan nilai sedang, momen M yang dihasilkan tidak terlalu besar. Pada situasi ini, sebagian beton dan tulangan baja di sebelah kiri menahan tegangan tarik, sementara sebagian beton dan tulangan baja di sebelah kanan menahan tegangan tekan. Tegangan tarik yang terjadi pada tulangan baja di sebelah kiri dapat mencapai batas leleh secara bersamaan dengan kerusakan beton tekan di sebelah kanan. Keadaan ini sering disebut sebagai kolom pada kondisi seimbang.
3. Ketika eksentrisitas e memiliki nilai yang besar, momen M yang dihasilkan juga besar. Dalam situasi ini, tegangan tarik pada tulangan baja di sebelah kiri meningkat secara signifikan, bahkan mencapai titik leleh, sementara material beton di sebelah kanan masih mampu menahan beban tekan. Kegagalan kolom pada kondisi ini ditentukan oleh lelehnya tulangan baja. Keadaan ini dikenal sebagai kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan, atau kolom pada kondisi patah.

4. Pada eksentrisitas e yang sangat besar, momen M yang dihasilkan juga sangat besar, sehingga beban aksial P dapat diabaikan karena relatif kecil dibandingkan dengan momen M . Dalam situasi ini, kolom seolah-olah hanya menahan momen lentur M saja, sehingga dapat dihitung seperti balok biasa.

2.13.3 Kalsifikasi Kolom Berdasarkan Panjangnya

Kolom dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan panjangnya, yaitu kolom panjang, yang juga dikenal sebagai kolom langsing atau kurus, dan kolom pendek, yang sering disebut kolom tidak langsing atau gemuk. Kolom panjang dapat mengalami kegagalan atau keruntuhan karena kehilangan stabilitas lateral akibat tekanan yang berlebihan. Namun, kolom pendek jarang mengalami kehilangan stabilitas lateral karena tekanan. Oleh karena itu, kegagalan atau keruntuhan pada kolom pendek lebih sering disebabkan oleh kegagalan material, seperti lelehnya tulangan baja atau kerusakan beton.

Dari ketiga jenis kolom tersebut, kolom berbentuk segi empat dan bujur sangkar, yang sering disebut kolom bersengkang, adalah yang paling umum ditemui karena proses pembuatannya yang sederhana dan biayanya yang lebih ekonomis.

2.13.4 Klasifikasi Kolom Berdasarkan Kegunaanya

1. Kolom utama

Kolom utama adalah kolom induk yang sebagai penyangga untuk menahan beban utama pada gedung. Kolom utama dapat didesain dengan dimensi berukuran besar mengikuti seberapa besar beban yang ada di atasnya.

2. Kolom praktis

Kolom praktis merupakan kolom yang berfungsi sebagai struktur kolom pembantu. Pekerjaan kolom praktis ini dilakukan diantara kolom – kolom utama dengan ukuran yang rata dinding agar tidak terlihat pada saat finishing

2.13.5 Perencanaan Kolom

Untuk Perencanaan kolom bertujuan untuk memastikan kolom kuat saat terjadi gempa, sebagai berikut :

1. Kolom cukup kuat menahan gaya tekan aksial dan momen lentur
2. Tidak mengalami kegagalan tekan atau leleh akibat gaya berlebih
3. Mampu bertahan dalam kondisi gempa (untuk struktur tahan gempa)
4. Detailing tulangan memadai untuk kontrol retak dan daktilitas.

SNI 2847:2019 menetapkan berbagai syarat minimum dan maksimum, seperti luas tulangan memanjang, spasi dan diameter sengkang, serta kontrol interaksi momen – aksial, untuk menjamin bahwa struktur yang direncanakan tidak hanya kuat tetapi juga memiliki perilaku yang dapat diprediksi saat kondisi ekstrem, sebagai berikut :

a. luas tulangan memanjang

luas memanjang berfungsi untuk menahan gaya aksial dan lentur serta menjaga keutuhan struktur saat gempa, $< 1\%$ → kolom tidak cukup menahan tarik atau lentur → risiko keruntuhan tarik Dan $> 8\%$ → tulangan terlalu padat → sulit pengecoran, beton tidak menyatu sempurna → risiko keruntuhan tekan.

$$0,01.A_g \leq A_s \leq 0,08.A_g \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

A_s = luas total tulangan memanjang

A_g = luas penampang bruto kolom

b. jarak minimum antar tulangan memanjang

Menjamin beton bisa mengalir di antara tulangan saat pengecoran, dan tidak menimbulkan rongga.

$$8 \geq \max(d_b, 25\text{mm}, 1,33.d_{maks}) \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

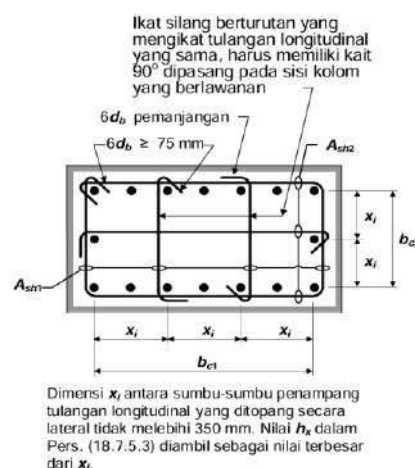
d_b = diameter batang tulangan

d_{maks} = diameter agregat maksimum

c. tulangan transversal (Sengkang)

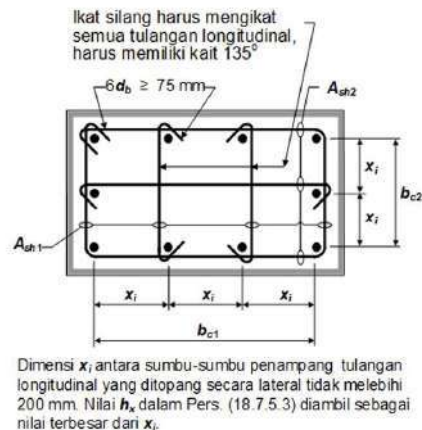
tulangan transversal untuk mencegah tulangan longitudinal tekuk agar memberikan konfinemen beton dan mampu menahan gaya geser saat terjadi gempa.

- Tulangan transversal harus terdiri dari spiral Tunggal atau spiral saling tumpuk (*overlap*), Sengkang pengekok persegi dengan atau tanpa ikat silang
- Setiap tekukan ujung Sengkang pengekok persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan (*longitudinal*)
- Ikat silang dengan ukuran batang tulangan senilai atau lebih kecil dari diameter sengkang pengekok diizinkan sesuai dengan batasan D10 yang melingkari tulangan longitudinal D32 atau yang lebih kecil dan D13 yang melingkari tulangan longitudinal D36 atau yang lebih besar.
- Jika digunakan Sengkang pengekok persegi maupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal
- Jarak antar tulangan longitudinal di sepanjang penampang kolom yang bertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki Sengkang pengekok tidak boleh melewati 350 mm
- Ketika nilai $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$ pada kolom dengan Sengkang pengekok, setiap batang disekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari Sengkang pengekok, dan jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 200 mm.



Gambar 2. 10 Penulangan transversal

$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$ per 2.25



Gambar 2. 11 Penulangan transversal kolom

d. kapasitas tekan nominal kolom

untuk menentukan apakah kolom mampu menahan beban tekan rencana P_u dengan mempertimbangkan kontribusi beton dan baja

$$P_n = 0,85 \cdot f_c \cdot (A_g - A_s) + f_y \cdot A_s \dots \dots \dots (2.26)$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

keterangan :

f_c = kuat tekan beton

f_y = kuat leleh tulangan

$\phi = 0,65$ (untuk kolom dominan tekan)

e. kapasitas geser

kapasitas geser beton hanya mampu menahan sebagian kecil gaya geser dan Sengkang menahan sisanya agar kolom tidak patah mendadak.

Untuk Kapasitas geser beton (V_c)

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (2.27)$$

Untuk kapasitas geser tulangan (V_s)

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \geq V_u \dots \dots \dots (2.29)$$

keterangan :

$\phi = 0,75$ (faktor reduksi geser)

f. pengaruh $P - \Delta$ (momen skunder /kolom langsing)

untuk Kolom tinggi bisa mengalami pembesaran momen akibat lendutan (instabilitas), dan harus diperiksa agar tidak terjadi keruntuhan tekuk.

$$\theta = \frac{P_u \Delta_s}{V_u h_s} \dots\dots\dots(2.30)$$

jika $\theta \leq 0,10 \rightarrow$ efek $P \rightarrow \Delta$ boleh diabaikan

g. rasio spiral (kolom spiral)

Menjamin konfinemen inti beton cukup kuat, terutama dalam kondisi tekan tinggi atau gempa.

$$\rho_s = \frac{A_{sp}}{s(D_c d_{sp})} \geq \frac{0,45 f_c}{f_{yt}} \dots\dots\dots(2.31)$$

h. faktor reduksi kekuatan

ketidakpastian beban dan material, serta menambah faktor keamanan.

$\phi = 0,65 \rightarrow$ tekan dominan

$\phi = 0,75 \rightarrow$ geser

$\phi = 0,90 \rightarrow$ lentur dominan

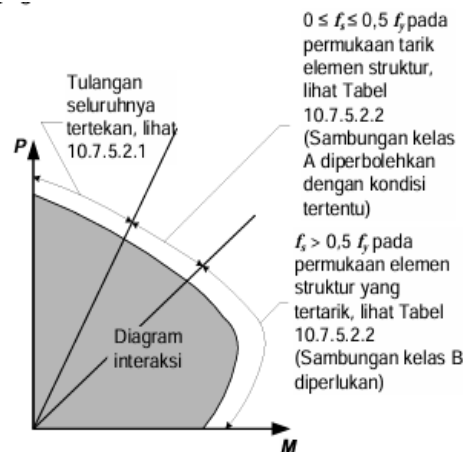
2.13.6 Diagram Interaksi Kolom

Diagram interaksi kolom merupakan representasi grafis yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas nominal penampang kolom beton bertulang dalam menahan kombinasi gaya aksial (P) dan momen lentur (M) secara simultan. Diagram ini menggambarkan hubungan interdependen antara kemampuan suatu penampang dalam menahan beban aksial dan beban lentur, yang dipengaruhi oleh parameter geometri penampang, konfigurasi dan jumlah tulangan longitudinal, serta mutu material beton dan baja tulangan yang digunakan.

Dalam kondisi aktual di lapangan, kolom jarang menerima beban aksial murni, melainkan kombinasi antara gaya tekan dan momen akibat eksentrisitas, beban lateral, atau distribusi beban yang tidak merata. Oleh karena itu, analisis kapasitas kolom harus mempertimbangkan kedua komponen tersebut secara bersamaan. Diagram interaksi menyediakan pendekatan visual dan numerik untuk memastikan bahwa kombinasi beban yang bekerja masih berada dalam batas kapasitas penampang yang aman.

Secara umum, kurva interaksi dibagi menjadi tiga wilayah berdasarkan dominasi beban, yaitu: dominasi aksial (tekan tinggi), dominasi lentur (momen

besar), dan zona transisi di antaranya. Setiap titik pada kurva menunjukkan kombinasi maksimum P dan M yang masih dapat ditahan oleh penampang. Jika kombinasi beban rencana berada di dalam area kurva, maka penampang dianggap aman dan memenuhi syarat kekuatan. Sebaliknya, apabila berada di luar kurva, maka penampang tidak layak secara struktural.



Gambar 2. 12 Diagram interaksi

Sumber : SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan Non Gedung

2.14 Balok

Balok merupakan elemen struktural utama yang berfungsi menahan beban transversal, seperti beban lentur, geser, dan torsi. Karena peran vitalnya dalam mendistribusikan beban ke elemen struktur lainnya, perencanaan balok yang efisien, ekonomis, dan aman sangat penting, terutama pada bangunan bertingkat atau struktur berskala besar. Tiga jenis balok yang umum digunakan :

1. Balok induk

Balok induk adalah balok utama yang menyalurkan beban dari balok anak, lantai, atau elemen lainnya ke kolom. Umumnya berdimensi lebih besar karena menahan beban yang lebih besar.

2. Balok anak

Balok anak yang berfungsi untuk mendistribusikan beban dari lantai (plat lantai) atau beban lokal lainnya ke balok induk. Balok anak berukuran lebih kecil dan dipasang horizontal sejajar dengan balok induk.

3. Balok kantilever

Balok kantilever merupakan salah satu ujungnya tertanam atau terikat kuat pada struktur induk (seperti kolom atau dinding), sedangkan ujung lainnya bebas tanpa penyangga. Balok kantilver mampu menahan gaya – gaya transversal, momen lentur, dan torsi, meskipun hanya didukung di satu sisi.

Dalam mendesain suatu balok beton bertulang digunakan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau dikenal dengan metode ultimit. Ketentuan mengenai perencanaan penampang beton bertulang dalam SNI 2847:2019 didasarkan pada konsep regangan yang terjadi pada penampang beton dan tulangan baja. Secara umum terdapat 3 macam jenis penampang yang dapat didefinisikan.

a. Kondisi regangan seimbang (*Balanced Strain Condition*).

Kondisi ini terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai luluh, sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang demikian dinamakan sebagai penampang seimbang.

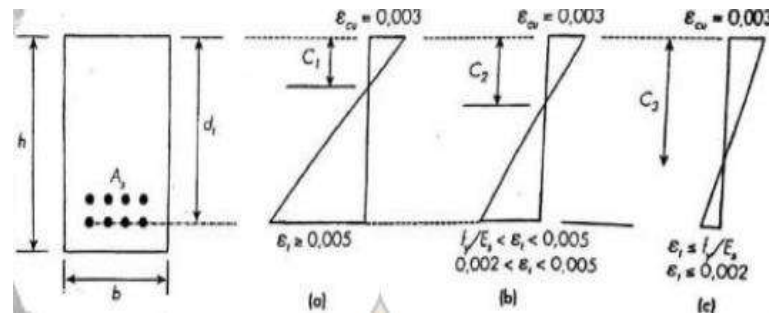
b. Penampang terkendali tekan (*Compression Controlled Section*).

Ini terjadi apabila regangan tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan regangan yang diizinkan, sedangkan beton mencapai regangan ultimit sebesar 0,003. Untuk tulangan baja dengan $f_y = 400 \text{ MPa}$, batasan regangan tekan sama dengan 0,002. Kasus ini umumnya terjadi pada komponen struktur kolom yang menerima gaya aksial dan momen lentur.

c. Penampang terkendali tarik (*Tension Controlled Section*).

Ini terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton mencapai ultimitnya sebesar 0,003.

Penampang lain yang berada di antara penampang terkendali tekan dan terkendali tarik, dapat disebut berada daerah transisi. Disamping itu ditambahkan pula bahwa regangan tarik pada kuat nominal di daerah transisi, tidak boleh kurang dari 0,004 untuk setiap komponen struktur lentur tanpa beban aksial, ataupun bila ada beban aksial tidak melebihi $0,1 f'_c A_g$, dengan A_g adalah luas (*gross*) penampang beton. Ketiga macam regangan.



Gambar 2. 13 (a)Penampang Terkendali Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Terkendali Tekan.

Sumber : SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan Non Gedung

Keterangan :

b = Lebar Balok

h = Tinggi Balok

d = Tinggi Efektif Balok

$d = h - (s + ds + \frac{1}{2} dt)$

As = Luas tulangan tarik

ϵ_{cu} = Rengangan ultimate beton sebesar 0,003

ϵ_s = Rengangan tarik baja tulangan

ϵ_y = Rengangan leleh baja

c = jarak dari serat tekan terluar sumbu netral

a = $\beta_1 \cdot c$, Dimana β_1 diambil sebagai berikut

- o Untuk $f_c \leq 30$ Mpa

$$\beta_1 = 0,85 \dots \dots \dots (2.32)$$

- o Untuk $30 < f_c, 55$ Mpa

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c - 30) \dots \dots \dots (2.33)$$

- o Untuk $f_c > 55$ Mpa

$$\beta_1 = 0,65 \dots \dots \dots (2.34)$$

$$Jd = d - \frac{1}{2} a$$

f_y = Tegangan leleh baja tulangan

$$C = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

2.14.1 Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dapat dihitung berdasarkan kurva pengujian tegangan-regangan, atau dapat diasumsikan berbentuk persegi empat, trapezium, parabola, atau bentuk lain yang dapat merepresentasikan kuat lentur dari penampang.

Untuk menyederhanakan analisis dan desain penampang beton, SNI 2847:2019 memperbolehkan penggunaan blok tegangan ekuivalen persegi panjang dalam perhitungan kuat lentur nominal. Model ini dikenal sebagai blok tegangan Whitney, yang diperkenalkan oleh ACI pada tahun 1937.

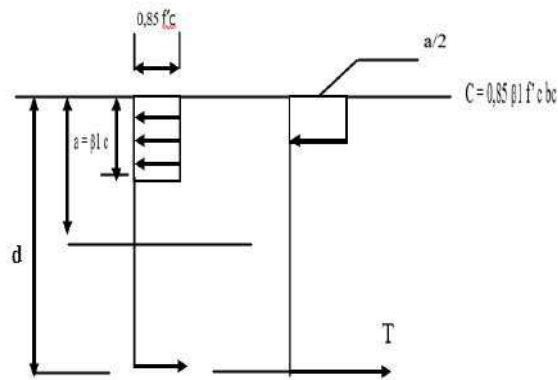
- i. Tegangan tekan merata sebesar $0,85 f'_c$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar sumbu netral sejauh $a = \beta_1 c$ dari serat beton yang mengalami regangan tekan maksimum.
- j. arah c dari serat dengan regangan tekan maksimum ke arah sumbu netral harus diukur tegak lurus sumbu tersebut.
- k. Faktor β_1
 - Untuk kuat tekan beton f'_c , kurang atau sama dengan 28 MPa:

$$\beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots(2.35)$$
 - Untuk $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'_c - 28/7) \dots\dots\dots(2.36)$$
 - Untuk f'_c lebih dari 56 MPa

$$\beta_1 = 0,65 \dots\dots\dots(2.37)$$
 - Untuk suatu daerah tekan persegi dengan lebar b dan tinggi sumbu netral c , maka resultan gaya tekan yang terjadi.

$$C = 0,85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times c \dots\dots\dots(2.38)$$
 - model blok tegangan beton yang diusulkan oleh Whitney.



Gambar 2. 14 Blok Tegangan Ekuivalen

Sumber: SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan Non Gedung

2.14.2 Batasan pada balok

Pada SNI 2847:2019 dijelaskan mengenai tulangan minimum pada pasal 9.6.1.2. Dikatakan bahwa tulangan minimum harus ($A_s \text{ min}$) harus lebih besar dari.

$$\frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2.39)$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2.40)$$

Sedangkan tulangan maksimum ditentukan :

$$\rho_{max} = \left(\frac{0,003 + f_y/ES}{0,008} \right) \rho_b \dots\dots\dots(2.41)$$

$$\rho_b = 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \beta_1 \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.42)$$

2.14.3 Faktor Reduksi

Kuat nominal suatu elemen struktur, baik terhadap momen lentur, gaya aksial, geser, maupun torsi, merupakan kapasitas teoritis yang dihitung berdasarkan ketentuan teknis yang berlaku. Namun, untuk mempertimbangkan ketidakpastian akibat variasi mutu material, dimensi aktual, dan keterbatasan model perhitungan, nilai tersebut tidak digunakan secara langsung.

kuat nominal dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang nilainya kurang dari satu, guna menghasilkan kuat rencana (design strength). Nilai ϕ ditentukan berdasarkan jenis gaya dan mekanisme kegagalan, sebagaimana diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 21.2. Pendekatan ini bertujuan menjamin keamanan dan keandalan struktur dalam kondisi aktual.

Tabel 2.13 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

Regangan Tarik netto	Klafisikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai pasal 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	Tekanan Terkontrol	0,75	a	0,65	B
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty} < 0,005$	Transisi (1)	$\frac{0,75 + 0,25 (\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	c	$0,65 + 0,25 \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	D
$\varepsilon_t \geq 0,005$	Tegangan Terkontrol	0,90	e	0,90	F

Sumber: SNI 2847_2019

Untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan.

Untuk balok nonprategang ketinggian balok, h , tidak boleh kurang dari batas minimum.

Tabel 2.14 Tinggi minimum Balok Nonprategan

Kondisi Perletakan	Minimum $h^{(1)}$
Perletakan Sederhana	1 / 16
Menerus satu sisi	1 / 18,5
Menerus dua sisi	1 / 21
Kantilever	1 / 8

Sumber: SNI 2847_2019

2.14.4 Analisa Penampang Balok

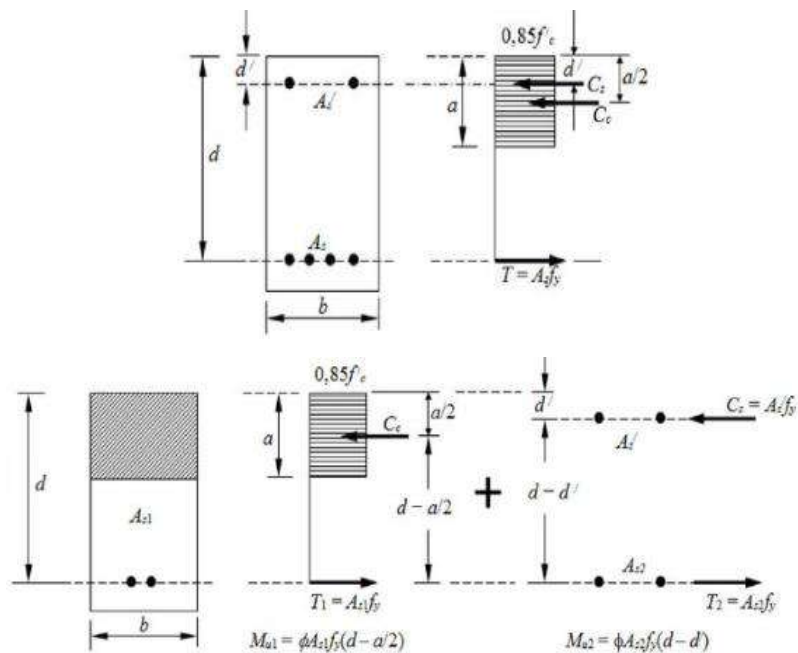
Balok beton bertulang ganda memiliki tulangan tarik dan tekan. Tulangan tekan umumnya digunakan pada daerah momen negatif, balok panjang, atau beban besar, terutama saat kontrol lendutan penting. Keuntungannya meliputi pengurangan lendutan jangka panjang, peningkatan daktilitas, dan kemudahan pemasangan sengkang. Analisis balok ini mempertimbangkan dua kondisi: saat tulangan tekan luluh atau belum.

a. Pembebanan pada balok

Pembebanan pada balok yaitu dengan mengikuti beban apa saja yang ada pada bangun tersebut yang sesuai dengan SNI 1727:2020 agar dapat mengetahui Gaya Momen.

b. Tulangan Tekan Sudah Leleh

Momen internal balok bertulang dapat dibedakan menjadi dua macam. Mu1 momen internal yang dihasilkan dari gaya tekan pada beton dan gaya tarik ekuivalen tulangan baja, As1. Mu2 momen internal tambahan yang diperoleh dari gaya tekan tulangan tekan As' dan gaya tarik pada tulangan tarik tambahan As2.



Gambar 2. 15 Penampang Persegi dengan tulangan rangkap

Sumber: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan,
SNI 2847_2019

Momen Mu1 merupakan momen yang diperoleh dari balok bertulang tunggal. Momen Mu1 dapat dihitung.

$$Mu1 = \Phi \cdot A_{s1} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots(2.43)$$

Selanjutnya Mu2 dapat dihitung dengan mengasumsikan tulangan tekan, As' sudah luluh seperti.

$$Mu2 = \Phi \cdot A_{s'} \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots(2.44)$$

Syarat batasan tulangan untuk As1 adalah bahwa harus dipenuhi $\rho_1 (= A_{s1} / bd) < \rho_{maks}$ untuk penampang terkendali tarik dari balok bertulang tunggal.

Momen nominal total dari suatu balok bertulang rangkap diperoleh dengan menjumlahkan.

$$\Phi M_n = \Phi \left[(A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right] \dots\dots\dots (2.45)$$

Tulangan tekan pada balok dikatakan sudah leleh apabila regangan pada tulangan tekan, ϵ_s' sudah mencapai bahkan melebihi ϵ_y pada saat terjadi keruntuhan. ϵ_s' dan ϵ_y dapat dihitung.

$$\epsilon_s' = 0,003 \times \frac{c-d'}{c} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (2.46)$$

serta diperoleh pula syarat batas maksimum rasio tulangan.

$$(\rho - \rho') < \rho_{max} = \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \dots\dots\dots (2.47)$$

c. Tulangan Tekan Belum Leleh

Jika tulangan tekan belum leleh, maka tulangan tarik akan mengalami leleh terlebih dahulu sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003, sementara regangan tulangan tekan (ϵ_s') belum mencapai regangan leleh (ϵ_y) saat keruntuhan. Kondisi ini dipengaruhi oleh posisi tulangan tekan terhadap serat luar (d'); semakin besar rasio d'/c , maka tulangan tekan berada lebih dekat dengan sumbu netral dan kemungkinan mencapai leleh menjadi lebih kecil. Untuk analisis, besar gaya tekan pada tulangan (C_s) dan pada beton (C_c) dapat dihitung dengan mempertimbangkan luas area tulangan tekan.

$$C_s = A_s' (f'_s - 0,85 f'_c) = A_s' \left[600 \left(\frac{c-d'}{2} \right) - 0,85 f'_c \right] \dots\dots\dots (2.48)$$

$$C_c = 0,85 f'_c \beta_1 c b \dots\dots\dots (2.49)$$

Karena $T = A_s \times f_y = C_s + C_c$ maka:

$$A_s \times f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c b + A_s' \left[600 \left(\frac{c-d'}{2} \right) - 0,85 f'_c \right] \dots\dots\dots (2.50)$$

Dari Persamaan diatas kemudian dicari nilai c dengan rumus ABC sederhana. Dengan diketahui nilai c, nilai f'_s , a, C_s , dan C_c dapat dihitung, demikian pula dengan kuat momen rencana.

$$\Phi M_n = \Phi \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \dots\dots\dots (2.51)$$

Bila tulangan tekan belum luluh, $f'_s < f_y$ maka luas total tulangan tarik yang dibutuhkan untuk suatu penampang persegi.

$$(\rho - \rho' f_y) < \rho_{max} \dots\dots\dots(2.52)$$

2.14.5 Desain Tulangan Geser

Prosedur dalam melakukan desain balok terhadap gaya geser merupakan tahapan penting dalam perencanaan elemen struktur beton bertulang untuk memastikan bahwa balok mampu menahan gaya dalam akibat beban yang bekerja, terutama gaya geser yang dapat menyebabkan keretakan diagonal dan kegagalan geser. Proses ini dilakukan berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019, dan meliputi beberapa langkah utama, yaitu:

- a. Hitung gaya geser ultimate, V_u dari beban terfaktor yang bekerja pada struktur. Nilai V_u yang diambil sebagai dasar desain adalah nilai V_u pada lokasi penampang kritis, yaitu sejarak d dari muka tumpuan.

- b. Hitung nilai ϕV_c

$$\phi V_c = \Phi (0,17 \lambda \sqrt{f'c}) b_w d \dots\dots\dots(2.53)$$

dengan $\phi = 0,75$

- c. Periksa Nilai V_u :

- Jika $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$ tidak dibutuhkan tulangan geser
- Jika $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c$ dibutuhkan tulangan geser minimum. Dapat dipasang tulangan sengkang vertikal berdiameter 10 mm dengan jarak maksimum.
- Jika $V_u > \phi V_c$ tulangan geser harus disediakan.

- d. Jika $V_u > \phi V_c$ hitung gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser.

$$V_u = \phi V_c - \phi V_s \dots\dots\dots(2.54)$$

- e. Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2} .

$$V_{c1} = 0,33 \sqrt{f'c} b_w d \dots\dots\dots(2.55)$$

$$V_{c2} = 0,66 \sqrt{f'c} b_w d \dots\dots\dots(2.56)$$

Apabila V_s lebih kecil daripada V_{c2} , maka proses desain dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Sebaliknya, apabila V_s lebih besar daripada V_{c2} maka harus dilakukan pembesaran penampang.

- a. Hitung jarak tulangan Senggang.

$$S1 = \frac{av \times Fy \times d}{Vs} \dots\dots\dots(2.57)$$

- b. Jarak maksimum dari tulangan sengkang harus disesuaikan dengan persyaratan SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.2.2.

Tabel 2.15 Tinggi minimum Balok Nonprategang

Vs	Maksimum s,mm		
		Balok Nonprategang	Balok Prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'cbwd}$	Terkecil dari :	$d/2$	$3h/4$
		600	
$>0,33\sqrt{f'cbwd}$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

Sumber: SNI 2847_2019

- c. Apabila nilai $s1$ yang dihitung lebih kecil dari s_{max} maka gunakan jarak sengkang = $s1$, dan jika $s1 > s_{max}$ maka digunakan s_{max} sebagai jarak tulangan antar Senggang.
- d. Dalam SNI tidak di tetapkan jarak minimum tulangan sengkang. Namun secara praktis dapat digunakan $s_{min} = 75$ mm untuk $d \leq 500$ mm, dan $s_{min} = 100$ mm untuk $d > 500$ mm. jika nilai s yang diperoleh lebih kecil dari s_{min} , maka tulangan sengkang dapat diperbesar atau jumlah kaki sengkang diperbanyak.

2.15 Plat lantai

Plat lantai merupakan elemen struktur bangunan berupa bidang datar horizontal yang berfungsi sebagai lantai untuk aktivitas penghuni, sekaligus sebagai penyalur beban ke balok dan kolom di bawahnya. Plat ini harus mampu menahan beban mati (berat sendiri dan elemen tetap) serta beban hidup (manusia, perabot, peralatan) yang bekerja di atasnya.

2.15.1 Ketebalan Minimum Pelat Solit satu Arah Nonprategang

Untuk pelat satu arah nonprategang dengan tumpuan sederhana yang tidak didukung oleh balok atau dinding, serta memiliki tinggi tumpuan minimum $\frac{3}{4}$ dari bentang bersih, maka tebal minimum pelat harus mengikuti ketentuan standar guna menjamin kekakuan dan mencegah lendutan berlebih. Ketentuan ini bersifat konservatif untuk memastikan kinerja struktural dan kenyamanan pengguna.

Tabel 2.16 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi Tumpuan	$h^{(1)}$ minimum
Tumpuan sederhana	L/20
Satu ujung menerus	L/24
Kedua ujung menerus	L/28
Kantilever	L/10

Sumber: SNI 2847_2019

Untuk f_y lebih dari 420 Mpa harus dikalikan $(0,4 + f_y/700)$, Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, harus dikalikan dengan nilai terbesar :

$$\phi M_n \geq M_u \text{ dan } \phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.58)$$

Luas minimum tulangan lentur, $A_{s,min}$, harus disediakan sesuai Tabel dibawah

Tabel 2.17 $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang

Tipe tulangan	F_y, Mpa	$A_{s,min}$	
Batang ulir	< 420 Mpa	$0,0020 A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014 A_g$

Sumber: SNI 2847_2019

a. Beban terfaktor (w_u)

Beban terfaktor (w_u) adalah jumlah beban mati dan beban hidup yang telah dikalikan dengan faktor pengali (faktor keamanan) sesuai dengan kombinasi beban yang ditetapkan oleh SNI 2847:2019 Pasal 5.3.1.

$$W_u = 1,2D + 1,6L$$

keterangan :

D = beban mati, yaitu beban dari elemen bangunan sendiri (pelat, ubin, dinding, dll).

L = beban hidup, yaitu beban berubah-ubah (manusia, furnitur, dll).

Koefisien 1,2 dan 1,6 berasal dari (SNI 2847:2019 Pasal 5.3.1), sebagai faktor keamanan.

b. Momen terfaktor

Momen terfaktor (M_u) adalah gaya momen lentur maksimum yang bekerja pada elemen struktur (seperti pelat atau balok), akibat beban terfaktor (w_u) yang dihitung berdasarkan kombinasi beban maksimum menurut (SNI

2847:2019). Mu digunakan sebagai nilai acuan utama dalam desain untuk menentukan luas tulangan lentur yang dibutuhkan agar struktur dapat menahan lentur tanpa runtuh.

$$Mu = \frac{wu.l^2}{8} \dots\dots\dots(2.59)$$

Keterangan :

l = panjang bentang bersih pelat.

Momen ini dihitung untuk menentukan kebutuhan tulangan pada daerah tarik pelat. khusus untuk pelat satu arah dengan tumpuan sederhana (tidak jepit).

c. Momen nominal

Momen Nominal (Mn) adalah kapasitas lentur teoritis maksimum dari penampang beton bertulang sebelum dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan(ϕ). Mn mencerminkan kemampuan struktur menahan momen lentur berdasarkan dimensi penampang, mutu beton, mutu baja, dan luas tulangan tarik.

Mn digunakan untuk menentukan kebutuhan luas tulangan (As) agar elemen struktur tidak gagal akibat momen lentur.

$$Mu = \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(2.60)$$

Keterangan :

ϕ (phi) = faktor reduksi kekuatan (umumnya 0,9 untuk lentur $\rightarrow$ SNI 9.3.1.1).

Mn digunakan untuk menghitung luas tulangan yang dibutuhkan agar mampu menahan momen tersebut.

d. Luas tulangan tarik awal

As₁ (mm²) adalah luas tulangan tarik yang pertama kali dihitung berdasarkan kebutuhan momen nominal.

$$As = \frac{Mn}{fy.(d - \frac{a}{2})} \dots\dots\dots(2.61)$$

$$a = \frac{As.fy}{0,85.fc.b} \dots\dots\dots(2.62)$$

keterangan :

fy = kuat leleh baja tulangan

d = tinggi efektif penampang ,dari serat atas beton ke pusat tulangan tarik

a = tinggi blok tekan ekuivalen beton

f_c = kuat tekan beton silinder

b = lebar pelat

- e. Luas tulangan minimum

$$A_{smin} = 0,0018.b.h \dots\dots\dots(2.63)$$

A_{smin} harus selalu di penuhi, meskipun momen kecil

- f. Luas tulangan maksimum

$$A_{smaks} = 0,04.b.h \dots\dots\dots(2.64)$$

Jika $A_s > A_{s maks} \rightarrow$ pelat terlalu kaku $\rightarrow$ tidak di perbolehkan

- g. Tentukan A_s final

$A_s = maks (A_{s1}, A_{smin})$ dengan syarat $A_s \leq A_{smaks}$

Pastikan tidak melebihi A_{smaks}

- h. Cek kapasitas lentur

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots(2.65)$$

$$M_n \geq M_u \dots\dots\dots(2.66)$$

Jika tidak terpenuhi, maka desaian harus direvisi (memperbesar dimensi atau menambahkan tulangan).

BAB III

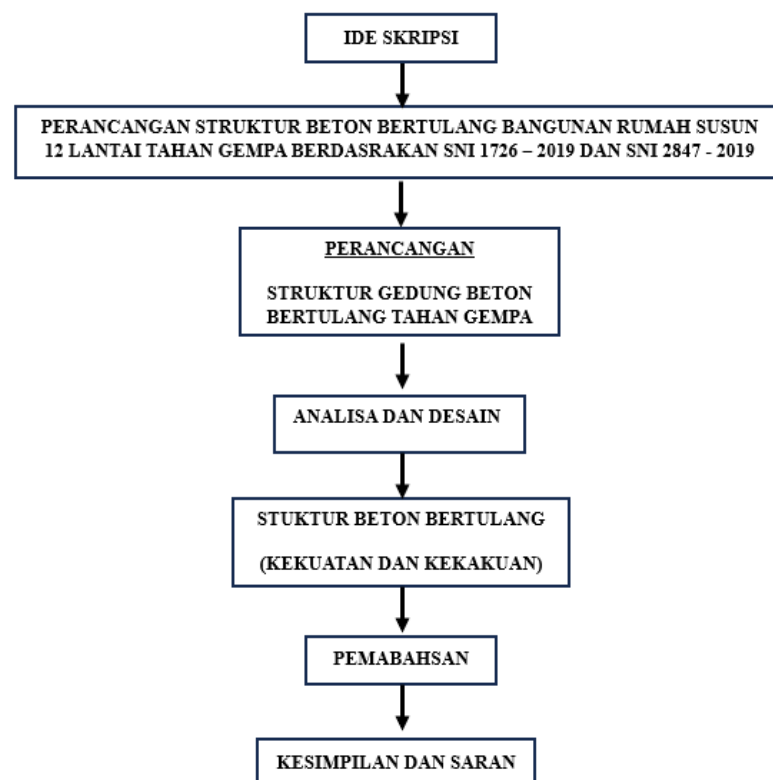
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Sugiyono (2019) Metodologi penelitian, langkah-langkah sistematis yang digunakan untuk melakukan penelitian guna mencapai tujuan tertentu. Dalam konteks skripsi, peneliti sering kali menggunakan data yang diambil dari jurnal dan aplikasi untuk analisis. metodologi penelitian dapat dibagi menjadi beberapa pendekatan yaitu kuantitatif dan kualitatif.

3.1.1 Kerangka Berpikir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang struktur bangunan gedung beton bertulang akibat beban gempa dengan berbasiskan kinerja, sehingga didapatkan hasil perancangan yang optimal sesuai dengan tingkat kinerja yang diinginkan. Kerangka berpikir (*research framework*) yang akan digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis masalah sebagaimana yang tertuang dalam bagan alir sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Kerangka Berpikir

Berdasarkan pada kerangka pemikiran Gambar 3.1, penelitian ini akan membuktikan yang dirumuskan sebagai berikut :

“menghasilkan Perancangan struktur beton bertulang yang memenuhi standar SNI. Yaitu pemodelan Struktur memenuhi SNI 1726:2019 dan desain struktur beton bertulang memenuhi SNI 2847 “

Dari yang sudah dijelaskan dalam sub-bab diatas, jenis pertanyaan yang akan digunakan adalah:

1. Apakah pemodelan struktur yang di rencanakan memenuhi syarat SNI 1726:2019
2. Apakah desain Komponen struktur (balok dan kolom) memenuhi SNI 2847:2019

3.1.2 Proses Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Pengumpulan data

Menurut Sugiyono (21), untuk mendapatkan data yang sesuai keperluan penelitian, maka sebelum memulai pengumpulan data, maka perlu dilakukan pengecekan kesesuaian dengan persoalan yang dihadapi.

Pengumpulan data dapat dilakukan dengan dua cara:

- Pengumpulan data yang langsung dikumpulkan dari objek yang diteliti yang berasal dari aktual dimana peristiwa terjadi (data primer)
- Pengumpulan data dari pihak ketiga atau sumber lain yang tersedia (data skunder)

Data skunder berupa buku, jurnal atau lainnya yang berkaitan dengan analisa struktur beton tahan gempa. Data yang diteliti selain data skunder adalah data primer dimana data ini diperoleh dari hasil analisa dan desain dari struktur yang ditinjau.

2. Pengolahan data dan analisis data

Pada penelitian ini penulis akan menganalisa dan mendesain struktur bangunan gedung beton bertulang sesuai dengan standar peraturan beton bertulang yaitu SNI 03-2847-2019 dan perencanaan beban gempa dengan menggunakan

3.2 Metode Pelaksanaan

Berdasarkan pada kerangka pemikiran diatas, penelitian ini akan membuktikan hipotesa yang dirumuskan sebagai berikut :

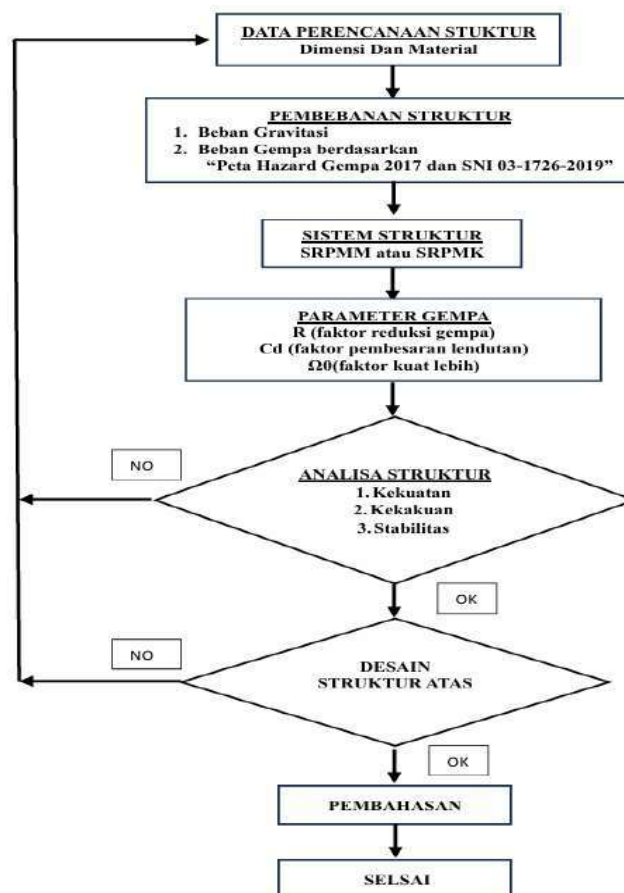
a. Perancangan komponen struktur

1. Tentukan dimensi dan material rencana struktur
2. Hitung beban gravitasi (beban mati dan hidup)
3. Tentukan beban gempa rencana berdasarkan lokasi pada “Peta Hazard Gempa 2017” dengan probabilitas x% perioda ulang y tahun
4. Tentukan Kategori Disain Seismic (KDS)
5. Berdasarkan KDS tentukan Sistem Struktur yang digunakan SRPMM atau SRPMK
6. Tentukan parameter gempa berdasarkan sistem struktur yang terpilih
7. Lakukan analisa pada struktur (linier analysis system)
8. Adakan pemeriksaan terhadap kekakuan, kekuatan dan stabilitas
 - Vibration
 - Interstory drift
 - P- Δ effect
 - Torsi tak terduga
 - Soft story
 - Momen guling
9. Adakan modifikasi terhadap komponen-komponen struktur bila tidak memenuhi persyaratan kekakuan, kekuatan dan stabilitas
10. Ulangi langkah 1 sampai dengan langkah 8 sampai memenuhi persyaratan
11. Perancangan komponen struktur (balok dan kolom), dengan menggunakan SNI 03-2847-2019, jika sistem struktur terpilih dari langkah 5

b. Evaluasi Kinerja Struktur

Untuk mengetahui level kinerja struktur diperlukan identifikasi terhadap perilaku yang terjadi pada struktur secara global berupa deformasi ataupun lokal berupa sendi plastis yang terjadi sebagai berikut,

1. Konversikan data percepatan dan perpindahan spektrum pada performance point ke format gaya geser dasar (V) dan perpindahan puncak (D)
2. Kontrol Deformation Limits untuk mengetahui tingkat kinerja struktur secara global
3. Kontrol perilaku Sendi Plastis yang terjadi pada komponen struktur (balok dan kolom) untuk mengetahui tingkat kinerja struktur secara lokal
4. Lakukan modifikasi komponen struktur bila pada langkah 3 dan 4 diatas tidak memenuhi tingkat kinerja yang direncanakan atau tingkat kinerja yang dihasilkan secara global maupun lokal tidak sama.
5. Ulangi A sampai dengan B sampai kinerja yang diinginkan terpenuhi baik ditinjau secara global maupun lokal.
6. Detailing untuk pelaksanaan



Gambar 3. 2 Perancangan Struktur Beton Bertulang

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan di uraikan mengenai informasi Analisa struktur serta pembahasan yang meliputi informasi bangunan rencana, data struktur, pembebanan, Analisa struktur dan perancangan komponen struktur akibat beban gempa

4.1 Data Perencanaan

Fungsi Bangunan	: Tempat Tinggal
Jenis Bangunan	: Rumah Susun
Jumlah lantai	: 12 lantai
Luas Bangunan	: 18 m x 40 m
Tinggi perlantai	: 3,5 m
Lokasi proyek	: kota padang, jln.By pass / jln.by pass pulau titik
Jenis tanah	: kelas situs D (Tanah Lunak)
Kategori Desain	: D berdasarkan risiko dan Lokasi

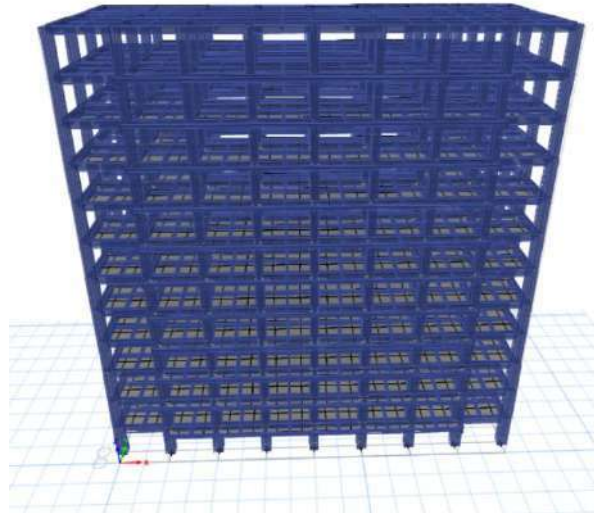


Gambar 4. 1 Lokasi Pembangunan Titik koordinat 0°18'16"S 100°22'55"E

Sumber : <https://earth.google.com/web/@-0.30422489,100.38244135,918>

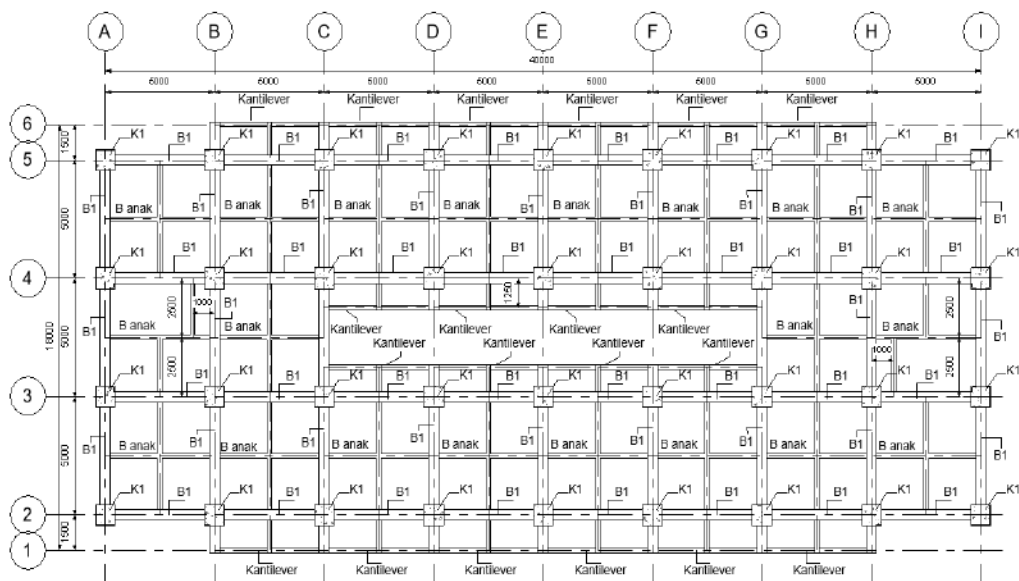
4.1.1 Pemodelan Struktur

1. Model struktur 3D



Gambar 4. 2 Model Stuktur 3D

2. Lantai 1 s/d 3

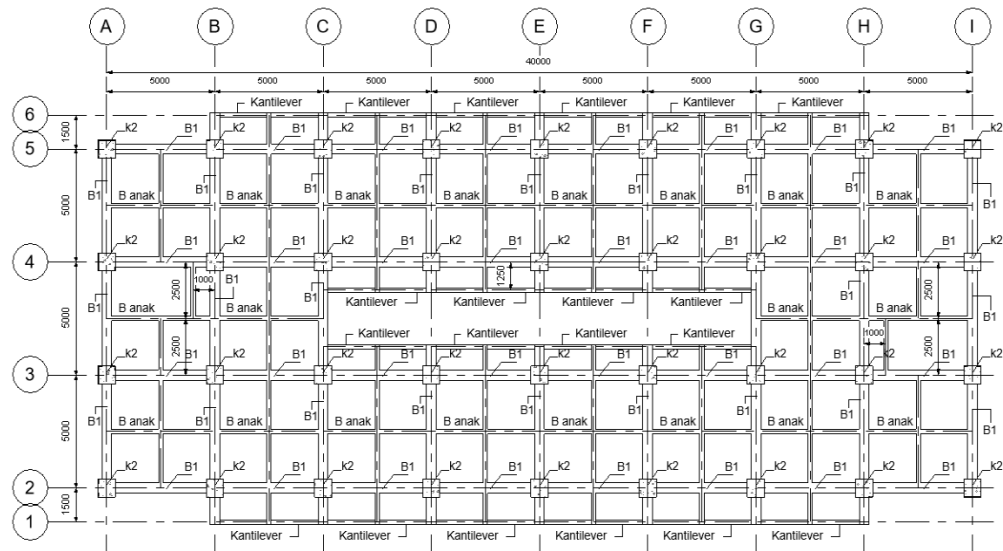


Gambar 4. 3 Lantai 1 s/d 3

Keterangan

Kolom 1	= 900 x 900 mm	Balok Kantilever	= 200 x 300 mm
Balok 1	= 450 x 650 mm	Balok Anak	= 200 x 350 mm

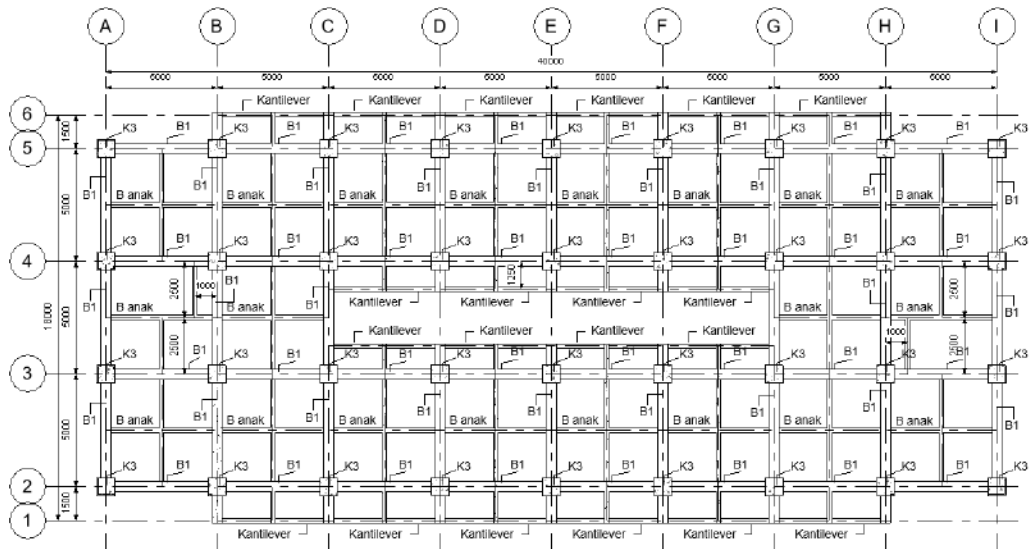
3. Lantai 4 s/d 6



Gambar 4. 4 Lantai 4 s/d 6

Kolom 2	= 850 x 850 mm	Balok Kantilever	= 200 x 300 mm
Balok 1	= 450 x 650 mm	Balok Anak	= 200 x 350 mm

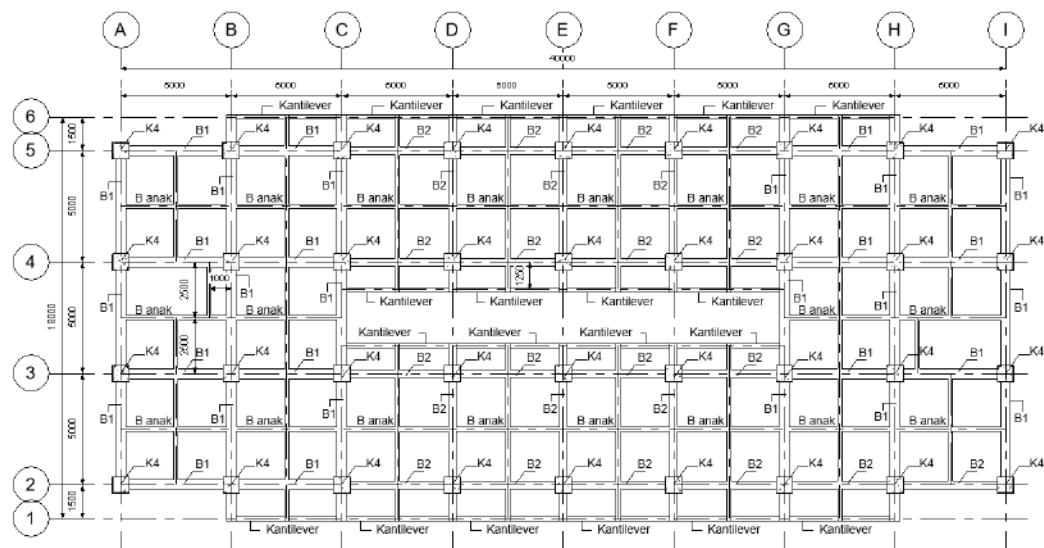
4. Lantai 7 s/d 9



Gambar 4. 5 lantai 7 s/d 9

Kolom 3	= 800 x 800 mm	Balok Kantilever	= 200 x 300 mm
Balok 1	= 450 x 650 mm	Balok Anak	= 200 x 350 mm

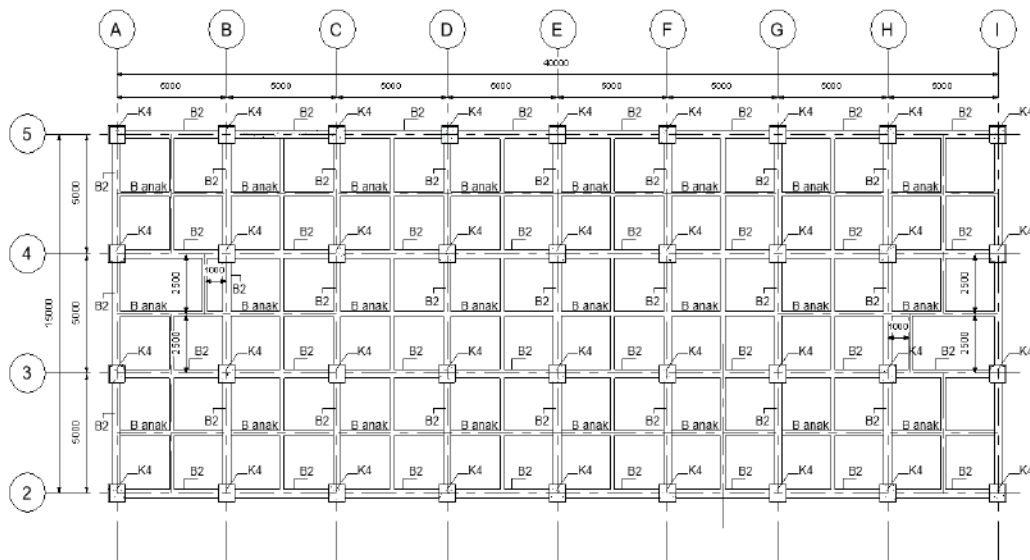
5. Lantai 10 s/d 11



Gambar 4. 6 lantai 10 s/d 11

Kolom 4	= 750 x 750 mm	Balok Kantilever	= 200 x 300 mm
Balok 1	= 450 x 650 mm	Balok Anak	= 200 x 350 mm
Balok 2	= 350 x 550 mm		

6. Lantai Atap



Gambar 4. 7 Lantai Atap

Kolom 4	= 750 x 750 mm	Balok Kantilever	= 200 x 300 mm
Balok 2	= 350 x 550 mm	Balok Anak	= 200 x 350 mm

4.2 Data Material dan Dimensi Elemen Struktur

4.2.1 Material Properties

1. Beton
 - $F_c = 25 \text{ Mpa}$
 - $E_c = 23500 \text{ Mpa}$
 - $B_j = 23,536 \text{ kN/m}^2$
 - $\beta_1 = 0,85$
2. Baja tulangan
 - $F_y = 420 \text{ Mpa}$ (Tulangan memanjang)
 - $F_y = 420 \text{ Mpa}$ (Tulangan geser)
 - $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$
 - $B_j \text{ Baja} = 78,5 \text{ kN/m}^2$

4.2.2 Section properties

1. Kolom
 - Kolom 1 = 90 cm x 90 cm
 - Kolom 2 = 85 cm x 85 cm
 - Kolom 3 = 80 cm x 80 cm
 - Kolom 4 = 75 cm x 75 cm
2. Balok
 - Balok 1 = 65 cm x 45 cm
 - Balok 2 = 55 cm x 35 cm
 - Balok kantilever = 30 cm x 20 cm
 - Balok anak = 35 cm x 20 cm

4.3 Beban Gravitasi

4.3.1 Beban hidup

- Semua Ruangan Lantai 1 – 11 = 1,92 kN/m²
- Ruangan Publik Lantai 1 – 11 = 4,79 kN/m²
- Balkon Dak 1 – 12 = 1,60 kN/m²
- Atap penghuni penggunaan lainnya = 4,79 kN/m²
- Koridor = 4,79 kN/m²

4.3.2 Beban Mati Tambahan SIDL

1. SIDL Lantai

○ Finishing Lantai (5cm)	= 1,05 kN/m ²	
○ Penutup Lantai (Keramik)	= 0,60 kN/m ²	
○ Dinding/ Partisi	= 0,72 kN/m ²	
○ <u>Plafond + mechanical</u>	= 0,50 kN/m ²	+

SIDL TOTAL = 2,87 kN/m²

2. SIDL Atap

○ Finishing Lantai (5cm)	= 1,05 kN/m ²	
○ Dinding/ Partisi	= 0,72 kN/m ²	
○ <u>Plafond + mechanical</u>	= 0,50 kN/m ²	+

SIDL TOTAL = 2,27 kN/m²

3. Dinding Perimeter ½ bt

○ Dinding Lantai 1 – 11	= 6,99 kN/m ²
○ Dinding Lantai Atap	= 2,452 kN/m ²

4.3.3 Rekap Beban

1. Beban Mati

○ Berat Sendiri Struktur	= 71.815,38 kN	
○ <u>Beban Tambahan (SIDL)</u>	= 38.482,40 kN	+

TOTAL BEBAN MATI = 110.297,7846 kN

2. Beban Hidup = 21.092,50 kN

4.4 Data Beban Gempa

Berdasarkan dari Lokasi Pembangunan data yang didapat

Ss = 1,8182 .g Cv = 0,8203

S1 = 0,7238 .g Cv = 0,4849

Fa = 1,0000

Fv = 1,7000

Sms = 1,8182 .g

Sm1 = 1,2305 .g

To = 0,1354 second.

Ts = 0,6768 second.

Kategori Risiko II

$$I = 1$$

$$S_{ds} = 1,2121 \cdot g \quad \text{KDS D}$$

$$S_{d1} = 0,8203 \cdot g \quad \text{KDS D}$$

Berdasarkan dari fungsi bangunan dan data diatas (SNI 1726-2019, Tabel 20) didapatkan Parameter Gempa sbb :

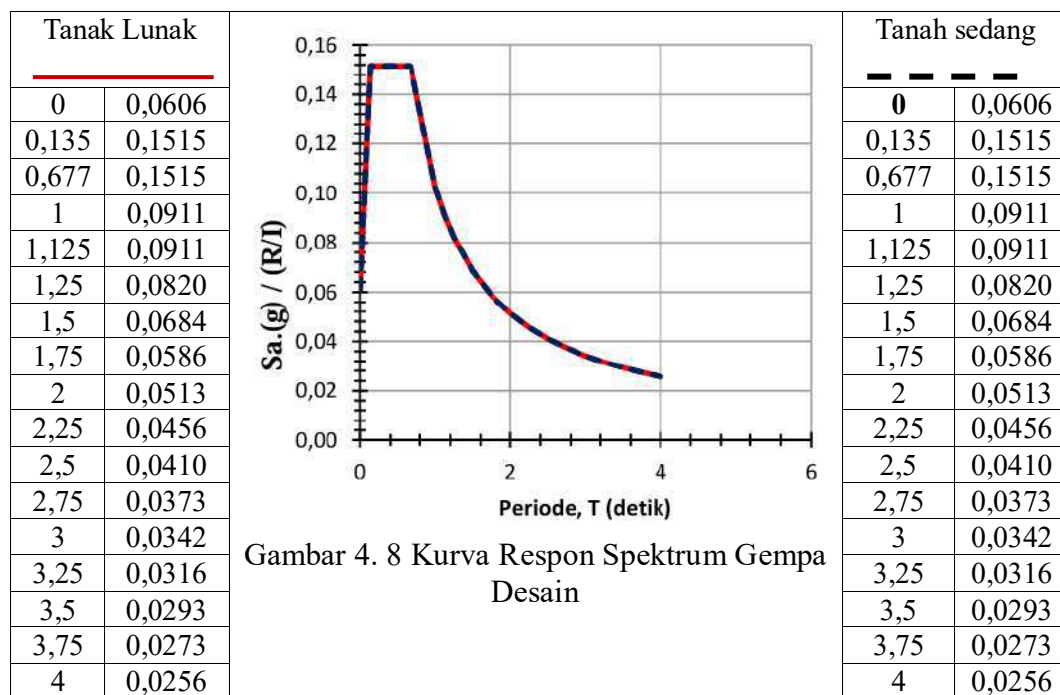
$$C_d = 5,5$$

$$R = 8$$

$$\Omega_o = 3$$

4.4.1 Data Respon Spektera Desain

Tabel 4.1 Kurva Respon Spektrum Gempa Desain



Gambar 4. 8 Kurva Respon Spektrum Gempa Desain

4.5 Analisis Stuktur

Analisis struktur merupakan suatu proses rekayasa yang dilakukan untuk menghitung dan menilai respons suatu bangunan terhadap gaya-gaya atau beban yang bekerja padanya, seperti beban gravitasi (beban mati dan beban hidup), beban gempa, serta pengaruh kondisi lingkungan lainnya.

4.5.1 Pembebanan Struktur

1. Beban gravitas
 - $1,4D$
 - $1,2D+L$
 - $1,2D+1,6L$
2. Beban gempa
 - $1,44D+1,0L-0,39Ex-1,3Ey$
 - $1,44D+1,0L-0,39Ex+1,3Ey$
 - $1,44D+1,0L-1,3Ex-0,39Ey$
 - $1,44D+1,0L-1,3Ex+0,39Ey$
 - $1,44D+1,0L+0,39Ex-1,3Ey$
 - $1,44D+1,0L+0,39Ex+1,3Ey$
 - $1,44D+1,0L+1,3Ex-0,39Ey$
 - $1,44D+1,0L+1,3Ex+0,39Ey$
 - $0,66D-0,39Ex-1,39Ey$
 - $0,66D-0,39Ex+1,39Ey$
 - $0,66D-1,39Ex-0,39Ey$
 - $0,66D-1,39Ex+0,39Ey$
 - $0,66D+0,39Ex-1,39Ey$
 - $0,66D+0,39Ex+1,39Ey$
 - $0,66D+1,39Ey-0,39Ey$
 - $0,66D+1,39Ey+0,39Ey$

4.5.2 Periode Getar

Periode getar alami (T) merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu struktur bangunan untuk menyelesaikan satu siklus getaran penuh sebagai respons terhadap gangguan dinamik, seperti gempa bumi. Nilai ini mencerminkan karakteristik dinamis struktur, yang dipengaruhi oleh massa total dan kekakuan lateral sistem. Semakin fleksibel struktur, maka periode getarnya cenderung lebih panjang; sebaliknya, struktur yang kaku memiliki periode getar yang lebih pendek. Periode getar ini menjadi parameter penting dalam analisis respons seismik dan perhitungan gaya gempa berdasarkan spektrum respons desain. Waktu getar alami struktur

(periode struktur), berdasarkan SNI 1726-2019 pasal. 7.8.2 untuk Rangka Beton Pemikul Momen ditentukan :

- Batas bawah :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 1,35 \text{ second}$$

Dimana :

$$C_t = 0,0466 \quad x = 0,9 \quad h_n = 42 \text{ m}$$

- Batas atas

Batasan periode struktur menurut SNI 1726-2019, $T = C_u \cdot T_a$, dimana untuk nilai parameter percepatan respon spectrum desain pada 1 detik, $S_d1 = 0,8203$

$$C_u = 1,4$$

$$T_a = 1,35 \text{ sec.}$$

$$C_u \cdot T_a = 1,886 \text{ sec}$$

1. Kontrol Hasil Analisa Struktur

- Periode Ragam Getar dan Frekuensi (Un-Crack)

Tabel 4.2 periode Ragam Getar dan Frekuensi (UN – Crack)

Mode	Period / T Sec	Frequency/1/T Cyc/sec	CircFreq/ ω rad/sec	Eigenvalue/ ω^2 rad2/sec2
1	1,316	0,76	4,7757	22,8077
2	1,107	0,903	5,6766	32,2238
3	1,089	0,918	5,7693	33,2846
4	0,435	2,299	14,4454	208,6685
5	0,37	2,702	16,9767	288,208
6	0,362	2,761	17,3464	300,8962
7	0,24	4,174	26,2237	687,6816
8	0,213	4,705	29,5641	874,036
9	0,206	4,856	30,5082	930,7528
10	0,16	6,245	39,2407	1539,8307
11	0,145	6,909	43,4133	1884,7103
Dari Hasil Analisa Getar Bebas Didapat			Tcx =	1,107. second
			Tcy =	1,316. second

- Periode Ragam Getar dan Frekuensi (Crack)

Tabel 4.3 periode Ragam Getar dan Frekuensi (Crack)

Mode	Period/ T Sec	Frequency/1/T Cyc/sec	CircFreq/ w rad/sec	Eigenvalue/ w ² rad2/sec2
1	1,911	0,523	3,2886	10,8151
2	1,645	0,608	3,8195	14,5885
3	1,593	0,628	3,9454	15,5664
4	0,625	1,6	10,0518	101,039
5	0,541	1,85	11,6224	135,0792
6	0,522	1,915	12,0352	144,8452
7	0,339	2,947	18,5186	342,9391
8	0,304	3,284	20,637	425,8869
9	0,292	3,43	21,549	464,3595
10	0,22	4,551	28,5931	817,5629
11	0,202	4,963	31,1819	972,3092
Dari Hasil Analisa Getar Bebas Didapat			Tcx =	1,645 second
			Tcy =	1,911 second

Dari hasil analisa getar bebas didapat, Tcx = 1,645 second

Cu.Ta = 1,886 < Tc, maka gunakan T = 1,645 second

3,5 Ts = 2,369 Sec. > Tcx

K = 1,573

Dari hasil analisa getar bebas didapat, Tcy = 1,911 second

Cu.Ta = 1,886 < Tc, maka gunakan T = 1,886 second

3,5 Ts = 2,369 Sec. > Tcy

K = 1,693

4.5.3 Base Shear

Tabel 4.4 Rangkuman Beban Mati dan Beban Hidup (SNI 1726-2019, Ps. 7.7.2)

Jenis Pembebanan	Data Beban		Total (DL+25%L) (kN)
	Beban (Kn)	Reduksi Beban Hidup	
Plat, Balok & kolom	71.815,38	1	71.815,38
SIDL	38.482,40	1	38.482,40
Beban Hidup	21.092,50	0,25	5.273,13
	129.184,89	Wt =	113.365,52

Berdasarkan SNI 1726-2019 Ps. 7.8.1.1.

Cs (min) = 0,0452

$$C_s (\max) = 0,1515$$

$$C_{sx} = 0,0623 \quad K = 1$$

$$V_{nx} = 7.204,04 \text{ kN}$$

$$C_{sy} = 0,0544 \quad K = 1$$

$$V_{ny} = 6.284,98 \text{ kN}$$

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 maupun y

- Base Shear sebelum terkoreksi (Crack)

Tabel 4.5 Base Shear sebelum terkoreksi (Crack)

Base Share	Statik	Respon Spektrum	%	Skala
V_{nx}	7.204,03947	5.898,1560	81,87	1,2214
V_{ny}	6.284,9767	5.154,7476	82,02	1,2193

- Base Shear setelah terkoreksi (Crack)

Tabel 4.6 Base Shear setelah terkoreksi (Crack)

Base Share	Statik	Respon Spektrum	%	Skala
V_{nx}	7.204,03947	7.203,8694	100	Ok
V_{ny}	6.284,9767	6.284,948	100	Ok

4.5.4 Analisa Modal Respon Spektrum

Tabel 4.7 Rasio Modal Patisipasi Massa

Mode	T	Rasio Modal partisipasi Massa (%)		
		UX	UY	RZ
1	1,31	0	75,2	0
2	1,11	76,57	75,2	0
3	1,09	76,57	75,2	76,2
4	0,44	76,57	86,51	76,2
5	0,37	86,95	86,51	76,2
6	0,36	86,95	86,51	86,93
7	0,24	86,95	91,05	86,93
8	0,21	91,34	91,05	86,93
9	0,21	91,34	91,05	91,31
10	0,16	91,34	93,6	91,31
11	0,15	93,89	93,6	91,31

Penampang utuh tanpa retak, tabel di atas menunjukkan bahwa pada Mode ke-10 nilai partisipasi sudah mencapai $\geq 90\%$. Hal ini menandakan bahwa peninjauan ragam getar telah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.

4.5.5 Simpangan *displacement* Akibat Gempa dan Pemeriksaan *Story Drifts*

- Data peralihan lantai akibat beban lateral

Tabel 4.8 Data Peralihan Lantai Akibat Beban Lateral

No	Lokasi	Perpindahan (mm)		Perpindahan (mm)	
		Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
12	Lantai 12	68,286	0,007	0,006	81,154
11	Lantai 11	66,205	0,006	0,006	77,968
10	Lantai 10	63,38	0,006	0,006	73,81
9	Lantai 9	59,447	0,006	0,005	68,398
8	Lantai 8	54,578	0,005	0,005	61,996
7	Lantai 7	48,788	0,004	0,004	54,82
6	Lantai 6	42,13	0,004	0,004	46,956
5	Lantai 5	34,859	0,003	0,003	38,519
4	Lantai 4	26,973	0,002	0,002	29,512
3	Lantai 3	18,687	0,002	0,002	20,197
2	Lantai 2	10,615	0,001	0,001	11,265
1	Lantai 1	3,598	0,0003077	0,0003179	3,72
	Base	0	0	0	0

- *Story Drifts* Arah Sumbu X

Tabel 4.9 *Story Drift* Arah Sumbu x

Tingkat X	Story	Tinggi Tingkat h_x (m)	Story Drift Hasil Analisis		Drift izin Maks. Δx (mm)	$\sum \delta x$ (mm)	Drift izin Maks $\sum \Delta$ (mm)	Kontrol
			$\delta x_e/h_x$ (mm)	δx (mm)				
Lt 12	12	3,5	0,000594571	11,45	70	375,57	840	Ok
Lt 11	11	3,5	0,000807143	15,54	70	364,13	770	Ok
Lt 10	10	3,5	0,001123714	21,63	70	348,59	700	Ok
Lt 9	9	3,5	0,001391143	26,78	70	326,96	630	Ok
Lt 8	8	3,5	0,001654286	31,85	70	300,18	560	Ok
Lt 7	7	3,5	0,001902286	36,62	70	268,33	490	Ok
Lt 6	6	3,5	0,002077429	39,99	70	231,72	420	Ok
Lt 5	5	3,5	0,002253143	43,37	70	191,72	350	Ok
Lt 4	4	3,5	0,002367429	45,57	70	148,35	280	Ok
Lt 3	3	3,5	0,002306286	44,40	70	102,78	210	Ok
Lt 2	2	3,5	0,002004857	38,59	70	58,38	140	Ok
Lt 1	1	3,5	0,001028000	19,79	70	19,79	70	Ok
Base	0	0	0	0	0	0	0	

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan antar tingkat pada arah sumbu x masih di bawah batas izin menurut SNI 1726:2019, sehingga struktur dinyatakan aman terhadap simpangan tersebut. *Story Drifts* Arah Sumbu x

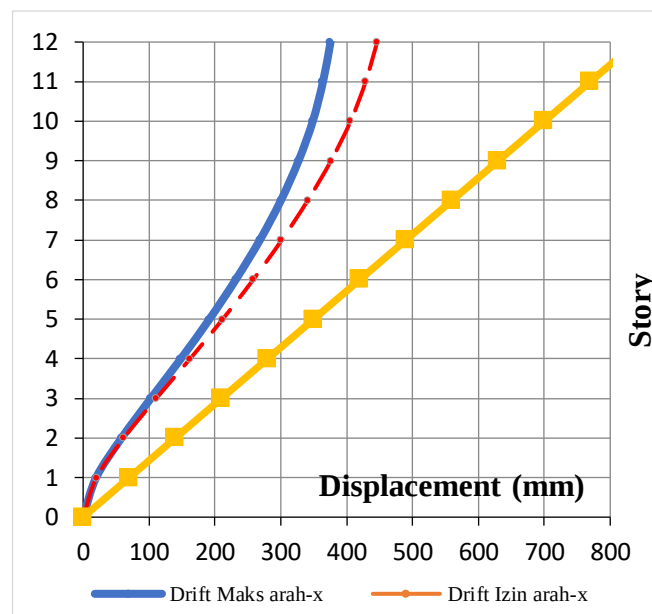
Tabel 4.10 *Story Drift* Arah Sumbu Y

Tingkat X	Story	Tinggi Tingkat h_x (m)	Story Drift Hasil Analisis		Drift izin Maks. Δx (mm)	$\sum \delta x$ (mm)	Drift izin Maks $\sum \Delta$ (mm)	Kontrol
			$\delta x_e/h_x$ (mm)	δx (mm)				
Lt 12	12	3,5	0,00091029	17,52	70	446,35	840	Ok
Lt 11	11	3,5	0,00118800	22,87	70	428,82	770	Ok
Lt 10	10	3,5	0,00154629	29,77	70	405,96	700	Ok
Lt 9	9	3,5	0,00182914	35,21	70	376,19	630	Ok
Lt 8	8	3,5	0,00205029	39,47	70	340,98	560	Ok
Lt 7	7	3,5	0,00224686	43,25	70	301,51	490	Ok
Lt 6	6	3,5	0,00241057	46,40	70	258,26	420	Ok
Lt 5	5	3,5	0,00257343	49,54	70	211,85	350	Ok
Lt 4	4	3,5	0,00266143	51,23	70	162,32	280	Ok
Lt 3	3	3,5	0,00255200	49,13	70	111,08	210	Ok
Lt 2	2	3,5	0,00215571	41,50	70	61,96	140	Ok
Lt 1	1	3,5	0,00106286	20,46	70	20,46	70	Ok
Base	0	0	0	0	0	0	0	

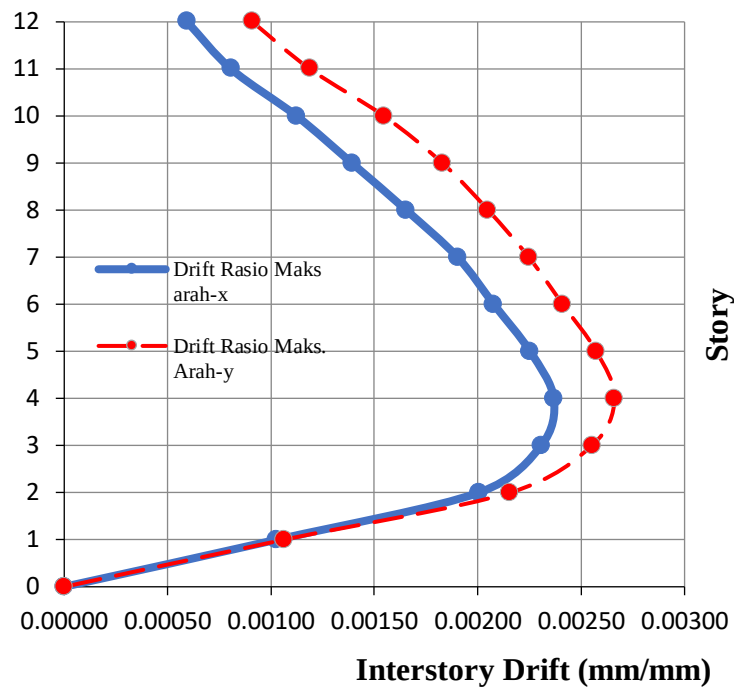
Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan antar tingkat pada arah sumbu y masih di bawah batas izin menurut SNI 1726:2019 struktur dinyatakan aman pada simpangan tersebut. *Story Drifts* Arah Sumbu y Dan y pada gambar 4.9 dan 4.10

Berdasarkan SNI 1726-2012 Ps. 7.8.6, defleksi pusat massa tingkat.: $\delta \frac{C_d \cdot \delta_e}{1_e}$

Dimana $C_d = 5,5$



Gambar 4. 9 Grafik Displacement Pemeriksaan story drift arah sumbu x dan sumbu y



Gambar 4. 10 interstory drift

4.5.6 Beban Geser Dasar Gempa

- Rangkuman Berat Struktur Perlantai Akibat Beban Mati

Tabel 4.11 Rangkuman Berat Struktur per Lantai Akibat Beban Mati

Lantai	Tinggi lantai (m)	Beban mati (DL) akibat			Total (DL+25%L) (kN)
	Lantai (m)	Beban mati kN/m	SIDL kN/m	Beban Hidup kN/m	
Lantai 12	42	4.309,48465	1.402,5	2.634,5	6.276,37
Lantai 11	38,5	5.673,52845	3.370,9	1.678	9.107,90
Lantai 10	35	5.673,5284	3.370,9	1.678	9.107,90
Lantai 9	31,5	5.767,24485	3.370,9	1.678	9.356,30
Lantai 8	28	5.882,2918	3.370,9	1.678	9.463,93
Lantai 7	24,5	5.969,2397	3.370,9	1.678	9.552,29
Lantai 6	21	6.068,96475	3.370,9	1.678	9.644,59
Lantai 5	17,5	6.191,434	3.370,9	1.678	9.759,64
Lantai 4	14	6.191,4341	3.370,9	1.678	9.759,64
Lantai 3	10,5	6.298,58145	3.370,9	1.678	9.966,51
Lantai 2	7	6.428,47315	3.370,9	1.678	10.218,87
Lantai 1	3,5	6.428,4732	3.370,9	1.678	10.218,87
Base	0	1.202,4261	0	0	1.202,43
Jumlah =		72.085,1046	38.482,40	21.093	115.840,63

○ Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu X

Tabel 4.12 Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu X

Lantai	Tinggi lantai hi(m)	Berat Lantai (DL+25 %LL) Wi (kN)	Momen Wi.hi (kN/m)	Cvx	Gaya Tingk at Fi (kN)	Geser lantai Fx (kN)	Momen guling M_{ot-x} (kN/m)
Lt 12	42	6.370,6	267.565,6	0,107	768,29	768,3	0
Lt 11	38,5	9.463,9	364.361,2	0,145	1.046,23	1.814,5	2.689
Lt 10	35	9.463,9	331.237,5	0,132	951,12	2.765,6	9.039,8
Lt 9	31,5	9.557,6	301.065,8	0,120	864,48	3.630,1	18.719,6
Lt 8	28	9.672,7	270.835,4	0,108	777,68	4.407,8	31.425,0
Lt 7	24,5	9.759,6	239.111,2	0,095	686,59	5.094,4	46.852,4
Lt 6	21	9.859,4	207.046,7	0,083	594,52	5.688,9	64.682,7
Lt 5	17,5	9.981,8	174.682,1	0,070	501,58	6.190,5	84.593,9
Lt 4	14	9.981,8	139.745,7	0,056	401,27	6.591,8	106.260,6
Lt 3	10,5	10.089,0	105.934,3	0,042	304,18	6.895,9	129.331,8
Lt 2	7	10.218,9	71.532,1	0,029	205,40	7.101,3	153.467,6
Lt 1	3,5	10.218,9	35.766,1	0,014	102,70	7.204,0	178.322,3
Base	0	1.202,43	0	0	0	0	203.536,4
		115.840,6	2.508.883,6	1	7.204		203.536,4

○ Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu Y

Tabel 4.13 Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu Y

Lantai	Tinggi lantai hi(m)	Berat Lantai (DL+25 %LL) Wi (kN)	Momen Wi.hi (kN/m)	Cvx	Gaya Tingk at Fi (kN)	Geser lantai Fx (kN)	Momen guling M_{ot-x} (kN/m)
Lt 12	42	6.370,6	267.565,6	0,107	670,28	670,28	0
Lt 11	38,5	9.463,9	364.361,2	0,145	912,76	1.583,0	2.346,0
Lt 10	35	9.463,9	331.237,5	0,132	829,78	2.412,8	63.292,7
Lt 9	31,5	9.557,6	301.065,8	0,120	754,20	3.167,0	147.741,2
Lt 8	28	9.672,7	270.835,4	0,108	678,47	3.845,4	247.502,0
Lt 7	24,5	9.759,6	239.111,2	0,095	598,99	4.444,4	355.175,3
Lt 6	21	9.859,4	207.046,7	0,083	518,67	4.963,1	464.064,8
Lt 5	17,5	9.981,8	174.682,1	0,070	437,59	5.400,7	568.290,8
Lt 4	14	9.981,8	139.745,7	0,056	350,08	5.750,8	662.803,6
Lt 3	10,5	10.089,0	105.934,3	0,042	265,37	6.016,1	743.315,0
Lt 2	7	10.218,9	71.532,1	0,029	179,19	6.195,3	806.484,9
Lt 1	3,5	10.218,9	35.766,1	0,014	89,60	6.284,9	849.852,6
Base	0	1.202,43	0	0	0	0	871.850,0
		115.840,6	2.508.883,6	1	6.284,98		871.850,0

Gaya gempa pada arah sumbu x dan y terdistribusi proporsional terhadap massa dan ketinggian tiap lantai, sesuai ketentuan SNI 1726:2019.

4.5.7 Stabilitas Guling

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.5 dan 8.8.4, setiap struktur bangunan wajib dirancang agar mampu menahan momen guling yang timbul akibat pengaruh gaya gempa. Ketentuan ini bertujuan untuk menjamin bahwa bangunan memiliki kestabilan lateral yang cukup, sehingga tidak mengalami keruntuhan atau terguling ketika terjadi gempa bumi. Dalam perencanaannya, hal ini melibatkan analisis terhadap distribusi gaya gempa secara horizontal yang bekerja pada struktur, serta perhitungan gaya reaksi vertikal pada pondasi yang dihasilkan oleh eksentrisitas beban. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, struktur diharapkan tetap berada dalam kondisi aman dan stabil selama kejadian gempa, serta memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar perencanaan ketahanan gempa yang berlaku secara nasional.

- Arah X

$$M_{OT_X} = 203.536,43 \text{ kN/m}$$

$$X = 40 \text{ m}$$

$$M_{ST_X} = 2.316.812,59 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} 0,75 M_{ST} &= 0,75 \times 2.316.812,59 \\ &= 1.737.609 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$M_{ST} > M_{ot} \quad 1.737.609 \text{ kN/m} > 203.536,43 \text{ kN/m (Ok)}$$

- Arah Y

$$M_{OT_Y} = 871.849,99 \text{ kN/m}$$

$$Y = 18 \text{ m}$$

$$M_{ST_Y} = 1.042.565,67 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} 0,75 M_{ST} &= 0,75 \times 994.666,84 \\ &= 781.924 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$M_{ST} > M_{ot} \quad 781.924 \text{ kN/m} < 871.850 \text{ kN/m (Ok)}$$

4.5.8 Pengaruh P - Δ

- Pemeriksaan P – Delta Arah Sumbu x

Tabel 4.14 Pemeriksaan P – Delta Arah Sumbu x

Lantai	Tinggi Tingkat at hi (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat Pi (kN)	Story Drift $\delta x/Cd$ (m)	Shear story Vi (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
Lt 12	3,5	14.717,1	14.717,1	0,0021	768,29	0,011	Ok	Ok
Lt 11	3,5	20.186,4	34.903,5	0,0028	1.814,52	0,016	Ok	Ok
Lt 10	3,5	20.186,4	55.089,8	0,0039	2.765,64	0,022	Ok	Ok
Lt 9	3,5	20.373,8	75.463,6	0,0049	3.630,13	0,029	Ok	Ok
Lt 8	3,5	20.603,9	96.067,5	0,0058	4.407,81	0,036	Ok	Ok
Lt 7	3,5	20.777,8	116.845,3	0,0067	5.094,39	0,044	Ok	Ok
Lt 6	3,5	20.977,2	137.822,5	0,0073	5.688,91	0,050	Ok	Ok
Lt 5	3,5	21.222,2	159.044,7	0,0079	6.190,49	0,058	Ok	Ok
Lt 4	3,5	21.222,2	180.266,8	0,0083	6.591,76	0,065	Ok	Ok
Lt 3	3,5	21.436,5	201.703,3	0,0081	6.895,94	0,067	Ok	Ok
Lt 2	3,5	21.696,2	223.399,5	0,0070	7.101,34	0,063	Ok	Ok
Lt 1	3,5	21.696,2	245.095,8	0,0036	7.204,04	0,035	Ok	Ok
Base	0	2.404,85	247.500,6	0	0	0	0	

- Pemeriksaan P – Delta Arah Sumbu y

Tabel 4.15 Pemeriksaan P – Delta Arah Sumbu y

Lantai	Tinggi Tingkat at hi (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat Pi (kN)	Story Drift $\delta x/Cd$ (m)	Shear story Vi (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
Lt 12	3,5	14.717,1	14.717,1	0,0032	670,28	0,020	Ok	Ok
Lt 11	3,5	20.186,4	34.903,5	0,0042	1.583,03	0,026	Ok	Ok
Lt 10	3,5	20.186,4	55.089,8	0,0054	2.412,81	0,035	Ok	Ok
Lt 9	3,5	20.373,8	75.463,6	0,0064	3.167,01	0,044	Ok	Ok
Lt 8	3,5	20.603,9	96.067,5	0,0072	3.845,48	0,051	Ok	Ok
Lt 7	3,5	20.777,8	116.845,3	0,0079	4.444,47	0,059	Ok	Ok
Lt 6	3,5	20.977,2	137.822,5	0,0084	4.963,14	0,067	Ok	Ok
Lt 5	3,5	21.222,2	159.044,7	0,0090	5.400,74	0,076	Ok	Ok
Lt 4	3,5	21.222,2	180.266,8	0,0093	5.750,81	0,083	Ok	Ok
Lt 3	3,5	21.436,5	201.703,3	0,0089	6.016,19	0,086	Ok	Ok
Lt 2	3,5	21.696,2	223.399,5	0,0075	6.195,38	0,078	Ok	Ok
Lt 1	3,5	21.696,2	245.095,8	0,0037	6.284,98	0,041	Ok	Ok
Base	0	2.404,85	247.500,6	0	0	0	0	

Hasil pemeriksaan efek P-Delta menunjukkan bahwa nilai rasio perpindahan lateral masih dalam batas aman sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Dengan demikian, pengaruh P-Delta dinyatakan tidak signifikan dan struktur dinyatakan aman terhadap kemungkinan ketidakstabilan akibat efek tersebut.

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal. 7.8.7, Jika, $\theta \frac{P_i \delta x}{V_i h_i C_d} \leq \theta_{\min}$ pengaruh P –

Delta di abaikan jika di hitung $\theta \frac{0,50}{\beta C_d} \leq 0,25$ dimana :

$$\beta = 0,80$$

$$\theta_{\min} = 0,10$$

$$\theta_{\max} = 0,114$$

4.5.9 Ketidak Beraturan Struktur Vertikal (Iregularitas Vertikal)

1. Iregularitas Vertikal Tipe 1a Berdasarkan SNI 1726:2019, Tabel 11

- Lateral story stiffness < 70% dari tingkat diatasnya, yaitu jika :

$$70\% (\delta_{1e}/h_1) > (\delta_{2e} - \delta_{1e})/h_2$$

- Lateral story stiffness < 80% dari kekakuan rata – rata tiga tingkat diatasnya yaitu jika :

$$80\% (\delta_{1e}/h_1) > \frac{1}{3} \left(\frac{\delta_{2e} - \delta_{1e}}{h_2} + \frac{\delta_{3e} - \delta_{2e}}{h_3} + \frac{\delta_{4e} - \delta_{3e}}{h_4} \right)$$

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1a arah x 70%

Tabel 4.16 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 70% tipe arah X

Tingkat i	Story	Tingkat lanatai (m)	Story drift δ_{xe} (m)	Story drift ratio δ_{xe}/h_i	70% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00208	0,00059	0,70	0,72
Lantai 11	11	38,5	0,00283	0,00081	0,70	0,72
Lantai 10	10	35	0,00393	0,00112	0,70	0,72
Lantai 9	9	31,5	0,00487	0,00139	0,70	0,81
Lantai 8	8	28	0,00579	0,00165	0,70	0,84
Lantai 7	7	24,5	0,00666	0,00190	0,70	0,87
Lantai 6	6	21	0,00727	0,00208	0,70	0,92
Lantai 5	5	17,5	0,00789	0,00225	0,70	0,92
Lantai 4	4	14	0,00829	0,00237	0,70	0,95
Lantai 3	3	10,5	0,00807	0,00231	0,70	1,03
Lantai 2	2	7	0,007017	0,00200	0,70	1,15
Lantai 1	1	3,5	0,003598	0,00103	0,70	1,95
Base	0	0	0	0	0,70	0

Rasio kekakuan antar tingkat arah X $\geq 70\%$, sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1a dan dinyatakan memenuhi syarat.

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1a arah x 80%

Tabel 4.17 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 80% tipe arah X

Tingkat i	Story	Tingkat lantai (m)	Story drift δx_e (m)	Story drift ratio rata – rata 3lantai keatas	80% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00208	0	0,80	0,80
Lantai 11	11	38,5	0,00283	0	0,80	0,80
Lantai 10	10	35	0,00393	0	0,80	0,80
Lantai 9	9	31,5	0,00487	0,0011	0,80	0,80
Lantai 8	8	28	0,00579	0,0014	0,80	0,84
Lantai 7	7	24,5	0,00666	0,0016	0,80	0,87
Lantai 6	6	21	0,00727	0,0019	0,80	0,90
Lantai 5	5	17,5	0,00789	0,0021	0,80	0,92
Lantai 4	4	14	0,00829	0,0022	0,80	0,94
Lantai 3	3	10,5	0,00807	0,0023	0,80	1,00
Lantai 2	2	7	0,00702	0,0022	0,80	1,11
Lantai 1	1	3,5	0,00360	0,0018	0,80	1,73
Base	0	0	0	0	0,80	0

Rasio kekakuan antar tingkat arah X $\geq 80\%$, sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1a dan dinyatakan memenuhi syarat.

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1a arah y 70%

Tabel 4. 18 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 70% tipe arah Y

Tingkat i	Story	Tingkat lantai (m)	Story drift δx_e (m)	Story drift ratio $\delta x_e/h_i$	70% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00319	0,00091	0,70	0,77
Lantai 11	11	38,5	0,00416	0,00119	0,70	0,77
Lantai 10	10	35	0,00541	0,00155	0,70	0,77
Lantai 9	9	31,5	0,00640	0,00183	0,70	0,85
Lantai 8	8	28	0,00718	0,00205	0,70	0,89
Lantai 7	7	24,5	0,00786	0,00225	0,70	0,91
Lantai 6	6	21	0,00844	0,00241	0,70	0,93
Lantai 5	5	17,5	0,00901	0,00257	0,70	0,94
Lantai 4	4	14	0,00932	0,00266	0,70	0,97
Lantai 3	3	10,5	0,00893	0,00255	0,70	1,04
Lantai 2	2	7	0,00755	0,00216	0,70	1,18
Lantai 1	1	3,5	0,00372	0,00106	0,70	2,03
Base	0	0	0	0	0,70	0

Rasio kekakuan antar tingkat arah Y $\geq 70\%$, sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1a dan dinyatakan memenuhi syarat.

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1a arah y 80%

Tabel 4. 19 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal tipe 1a ratio 80% tipe arah Y

Tingkat i	Story	Tingkat lantai (m)	Story drift δ_{xe} (m)	Story drift ratio rata – rata 3 lantai keatas	80% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00319	0	0,80	0,66
Lantai 11	11	38,5	0,00416	0	0,80	0,66
Lantai 10	10	35	0,00541	0	0,80	0,66
Lantai 9	9	31,5	0,00640	0,0012	0,80	0,66
Lantai 8	8	28	0,00718	0,0015	0,80	0,74
Lantai 7	7	24,5	0,00786	0,0018	0,80	0,80
Lantai 6	6	21	0,00844	0,0020	0,80	0,85
Lantai 5	5	17,5	0,00901	0,0022	0,80	0,87
Lantai 4	4	14	0,00932	0,0024	0,80	0,91
Lantai 3	3	10,5	0,00893	0,0025	0,80	1,00
Lantai 2	2	7	0,00755	0,0026	0,80	1,20
Lantai 1	1	3,5	0,00372	0,0025	0,80	2,31
Base	0	0	0	0	0,80	0

Berdasarkan hasil analisis terhadap pemeriksaan ketidakaturan vertikal tipe 1a, diperoleh bahwa rasio kekakuan antar tingkat pada arah Y mencapai 80%. Namun, pada lantai ke-7 ke atas, nilai rasio kekakuan antar tingkat tercatat kurang dari 80%, yang mana hal ini berada di bawah batas minimum rasio kekakuan yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, yaitu minimal 80% untuk bangunan bertingkat tinggi, termasuk bangunan dengan jumlah lantai sebanyak 12 lantai seperti dalam perencanaan ini. Ketidakterpenuhan nilai ambang batas ini menunjukkan adanya potensi ketidakaturan vertikal tipe 1a, yang dapat berdampak negatif terhadap perilaku struktur saat mengalami beban gempa, khususnya dalam hal deformasi dan distribusi gaya lateral antar lantai. Meskipun nilai rasio tersebut mendekati ambang batas, namun secara teknis tetap dinyatakan belum memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam standar. Dengan demikian, struktur pada lantai yang bersangkutan tidak memenuhi syarat minimum kestabilan yang diharapkan untuk bangunan tahan gempa dan perlu dilakukan evaluasi ulang atau penyesuaian dalam desain struktural, baik dari segi kekakuan elemen vertikal maupun sistem penahan gaya

lateral. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa bangunan mampu berperilaku seismik dengan baik dan menjamin keselamatan serta kenyamanan penghuni selama masa operasional bangunan, khususnya dalam menghadapi kejadian gempa yang signifikan.

2. Irregularitas Vertikal Tipe 1b *extreme soft story*

- Lateral story stiffness < 60% dari tingkat di atasnya, yaitu jika 60% $(\delta_{1e}/h_1) > (\delta_{2e} - h_{1e})/h_2$
- Lateral story stiffness < 70% dari kekakuan rata – rata tiga tingkat di atasnya yaitu jika 70% $(\delta_{1e}/h_1) > \frac{1}{3} \left(\frac{\delta_{2e} - \delta_{1e}}{h_2} + \frac{\delta_{3e} - \delta_{2e}}{h_3} + \frac{\delta_{4e} - \delta_{3e}}{h_4} \right)$
- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1b arah x 60%

Tabel 4.20 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 60% tipe arah X

Tingkat i	Story	Tingkat lantai (m)	Story drift δ_{xe} (m)	Story drift ratio δ_{xe}/h_i	60% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00208	0,00059	0,60	0,72
Lantai 11	11	38,5	0,00283	0,00081	0,60	0,72
Lantai 10	10	35	0,00393	0,00112	0,60	0,72
Lantai 9	9	31,5	0,00487	0,00139	0,60	0,81
Lantai 8	8	28	0,00579	0,00165	0,60	0,84
Lantai 7	7	24,5	0,00666	0,00190	0,60	0,87
Lantai 6	6	21	0,00727	0,00208	0,60	0,92
Lantai 5	5	17,5	0,00789	0,00225	0,60	0,92
Lantai 4	4	14	0,00829	0,00237	0,60	0,95
Lantai 3	3	10,5	0,00807	0,00231	0,60	1,03
Lantai 2	2	7	0,00702	0,00200	0,60	1,15
Lantai 1	1	3,5	0,00360	0,00103	0,60	1,95
Base	0	0	0	0	0,60	0

Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 60% tipe arah X telah melebihi batas ambang 60% sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1b dan dinyatakan memenuhi syarat.

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1b arah x 70%

Tabel 4.21 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 70% tipe arah X

Tingkat i	Story	Tingkat lanantai (m)	Story drift δx_e (m)	Story drift ratio $\delta x_e/h_i$	70% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00208	0	0,70	0,61
Lantai 11	11	38,5	0,00283	0	0,70	0,61
Lantai 10	10	35	0,00393	0	0,70	0,61
Lantai 9	9	31,5	0,00487	0,0008	0,70	0,61
Lantai 8	8	28	0,00579	0,0011	0,70	0,67
Lantai 7	7	24,5	0,00666	0,0014	0,70	0,73
Lantai 6	6	21	0,00727	0,0016	0,70	0,79
Lantai 5	5	17,5	0,00789	0,0019	0,70	0,83
Lantai 4	4	14	0,00829	0,0021	0,70	0,88
Lantai 3	3	10,5	0,00807	0,0022	0,70	0,97
Lantai 2	2	7	0,00702	0,0023	0,70	1,15
Lantai 1	1	3,5	0,00360	0,0022	0,70	2,17
Base	0	0	0	0	0,70	0

Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 70% tipe arah X telah melebihi batas ambang 70% sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1b dan dinyatakan memenuhi syarat.

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1b arah y 60%

Tabel 4.22 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 60% tipe arah Y

Tingkat i	Story	Tingkat lanantai (m)	Story drift δx_e (m)	Story drift ratio $\delta x_e/h_i$	60% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00319	0,00091	0,60	0,77
Lantai 11	11	38,5	0,00416	0,00119	0,60	0,77
Lantai 10	10	35	0,00541	0,00155	0,60	0,77
Lantai 9	9	31,5	0,00640	0,00183	0,60	0,85
Lantai 8	8	28	0,00718	0,00205	0,60	0,89
Lantai 7	7	24,5	0,00786	0,00225	0,60	0,91
Lantai 6	6	21	0,00844	0,00241	0,60	0,93
Lantai 5	5	17,5	0,00901	0,00257	0,60	0,94
Lantai 4	4	14	0,00932	0,00266	0,60	0,97
Lantai 3	3	10,5	0,00893	0,00255	0,60	1,04
Lantai 2	2	7	0,00755	0,00216	0,60	1,18
Lantai 1	1	3,5	0,00372	0,00106	0,60	2,03
Base	0	0	0	0	0,60	0

Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 60% tipe arah y telah melebihi batas ambang 60% sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1b dan dinyatakan memenuhi syarat.

- Pemeriksaan ketidak beraturan vertikal tipe 1b arah y 70% *story drift ratio*

Tabel 4.23 Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 70% tipe arah Y

Tingkat i	Story	Tingkat lantai (m)	Story drift δ_{xe} (m)	Story drift ratio δ_{xe}/h_i	60% story drift ratio	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00319	0	0,70	0,66
Lantai 11	11	38,5	0,00416	0	0,70	0,66
Lantai 10	10	35	0,00541	0	0,70	0,66
Lantai 9	9	31,5	0,00640	0,0012	0,70	0,66
Lantai 8	8	28	0,00718	0,0015	0,70	0,74
Lantai 7	7	24,5	0,00786	0,0018	0,70	0,80
Lantai 6	6	21	0,00844	0,0020	0,70	0,85
Lantai 5	5	17,5	0,00901	0,0022	0,70	0,87
Lantai 4	4	14	0,00932	0,0024	0,70	0,91
Lantai 3	3	10,5	0,00893	0,0025	0,70	1,00
Lantai 2	2	7	0,00755	0,0026	0,70	1,20
Lantai 1	1	3,5	0,00372	0,0025	0,70	2,31
Base	0	0	0	0	0,70	0

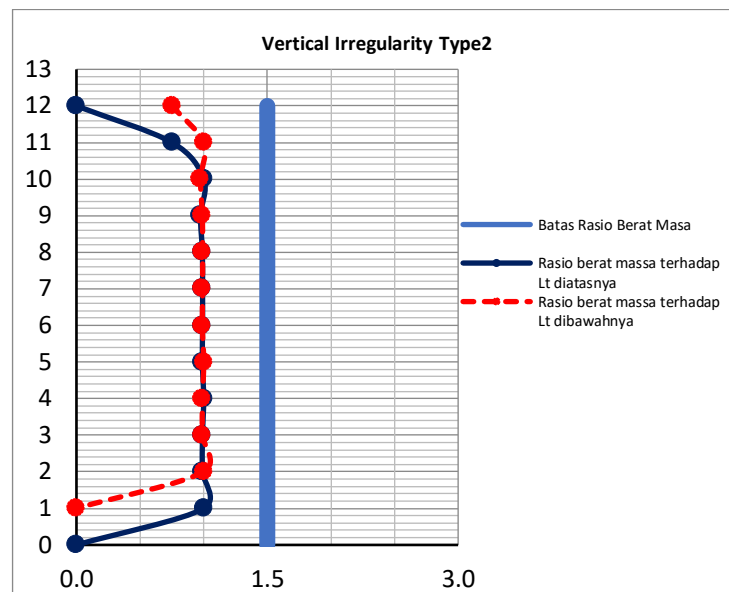
Pemeriksaan ketidak beraturan Vertikal Tipe 1b ratio 70% tipe arah X telah melebihi batas ambang 70% sehingga tidak tergolong ketidakaturan vertikal tipe 1b dan dinyatakan memenuhi syarat.

4.5.10 Iregularitas Vertikal Tipe 2

- Pemeriksaan iregularitas Tipe 2

Tabel 4. 24 Pemeriksaan iregularitas 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
Lantai 12	12	42	14.717,1	1,5	0,73	0
Lantai 11	11	38,5	20.186,4	1,5	0,73	0,73
Lantai 10	10	35	20.186,4	1,5	0,99	1,00
Lantai 9	9	31,5	20.373,8	1,5	0,99	0,99
Lantai 8	8	28	20.603,9	1,5	0,99	0,99
Lantai 7	7	24,5	20.777,8	1,5	0,99	0,99
Lantai 6	6	21	20.977,2	1,5	0,99	0,99
Lantai 5	5	17,5	21.222,2	1,5	1,00	0,99
Lantai 4	4	14	21.222,2	1,5	0,99	1,00
Lantai 3	3	10,5	21.436,5	1,5	0,99	0,99
Lantai 2	2	7	21.696,2	1,5	1,00	0,99
Lantai 1	1	3,5	21.696,2	1,5	0	1,00
Base	0	0	2.404,9	1,5	0	0



Gambar 4. 11 Grafik vertical irregularity type 2

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

- Pemeriksaan story drift ratio (*exception 1*) arah X

Tabel 4.25 Pemeriksaan story drift ratio (*exception*) arah X

Tingkat i	Story	Tingkat lanantai (m)	Story drift δx_e (m)	Story drift ratio $\delta x_e/h_i$	Ratio 130%	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00208	0,000595	1,30	1,39
Lantai 11	11	38,5	0,00283	0,000807	1,30	1,39
Lantai 10	10	35	0,00393	0,001124	1,30	1,39
Lantai 9	9	31,5	0,00487	0,001391	1,30	1,24
Lantai 8	8	28	0,00579	0,001654	1,30	1,19
Lantai 7	7	24,5	0,00666	0,001902	1,30	1,15
Lantai 6	6	21	0,00727	0,002077	1,30	1,09
Lantai 5	5	17,5	0,00789	0,002253	1,30	1,08
Lantai 4	4	14	0,00829	0,002367	1,30	1,05
Lantai 3	3	10,5	0,00807	0,002306	1,30	0,97
Lantai 2	2	7	0,00702	0,002005	1,30	0,87
Lantai 1	1	3,5	0,003598	0,001028	1,30	0,51
Base	0	0	0	0	1,30	0

Pemeriksaan story drift ratio (*exception*) arah X melebihi batas ratio maximum 1,3 kali ratio drift tingkat diatas

- Pemeriksaan story drift ratio (*exception* 1) arah Y

Tabel 4.26 Pemeriksaan story drift ratio (*exception*) arah Y

Tingkat i	Story	Tingkat lantai (m)	Story drift δ_{xe} (m)	Story drift ratio δ_{xe}/h_i	Ratio 130%	Ratio
Lantai 12	12	42	0,00319	0,000910	1,30	1,30
Lantai 11	11	38,5	0,00416	0,001188	1,30	1,30
Lantai 10	10	35	0,00541	0,001546	1,30	1,30
Lantai 9	9	31,5	0,00640	0,001829	1,30	1,18
Lantai 8	8	28	0,00718	0,002050	1,30	1,12
Lantai 7	7	24,5	0,00786	0,002247	1,30	1,10
Lantai 6	6	21	0,00844	0,002411	1,30	1,07
Lantai 5	5	17,5	0,00901	0,002573	1,30	1,07
Lantai 4	4	14	0,00932	0,002661	1,30	1,03
Lantai 3	3	10,5	0,00893	0,002552	1,30	0,96
Lantai 2	2	7	0,00755	0,002156	1,30	0,84
Lantai 1	1	3,5	0,00372	0,001063	1,30	0,49
Base	0	0	0	0	1,30	0

Pemeriksaan story drift ratio (*exception*) arah Y tidak melebihi batas ratio maximum 1,3 kali ratio drift tingkat diatas

4.5.11 Ketidak Beraturan Struktur Horizontal (iregularitas Horizontal)

- Faktor Pembesaran Torsi Tak Terduga

Tabel 4.27 Faktor Pembesaran Torsi Tak Terduga

Tingkat i	Drift δ_A (mm)	Drift δ_g (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						
Lantai 12	68,286	68,286	2,082	2,082	2,082	1
Lantai 11	66,204	66,204	2,824	2,824	2,824	1
Lantai 10	63,380	63,380	3,933	3,933	3,933	1
Lantai 9	59,447	59,447	4,989	4,989	4,989	1
Lantai 8	54,458	54,458	5,670	5,670	5,670	1
Lantai 7	48,788	48,788	6,658	6,658	6,658	1
Lantai 6	42,130	42,130	7,271	7,271	7,271	1
Lantai 5	34,859	34,859	7,886	7,886	7,886	1
Lantai 4	26,973	26,973	8,295	8,295	8,295	1
Lantai 3	18,678	18,678	8,063	8,063	8,063	1
Lantai 2	10,615	10,615	7,017	7,017	7,017	1
Lantai 1	3,598	3,598	3,598	3,598	3,598	1
Base	0	0	0	0	0	0

Lanjutan...

Gempa Arah Y						
Lantai 12	81,154	81,154	3,187	3,187	3,187	1
Lantai 11	77,967	77,967	4,158	4,158	4,158	1
Lantai 10	73,809	73,809	5,411	5,411	5,411	1
Lantai 9	68,398	68,398	6,403	6,403	6,403	1
Lantai 8	61,995	61,995	7,176	7,176	7,176	1
Lantai 7	54,819	54,819	7,863	7,863	7,863	1
Lantai 6	46,956	46,956	8,438	8,438	8,438	1
Lantai 5	38,518	38,518	9,007	9,007	9,007	1
Lantai 4	29,511	29,511	9,314	9,314	9,314	1
Lantai 3	20,197	20,197	8,932	8,932	8,932	1
Lantai 2	11,265	11,265	7,545	7,545	7,545	1
Lantai 1	3,720	3,720	3,720	3,720	3,720	1
Base	0	0	0	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

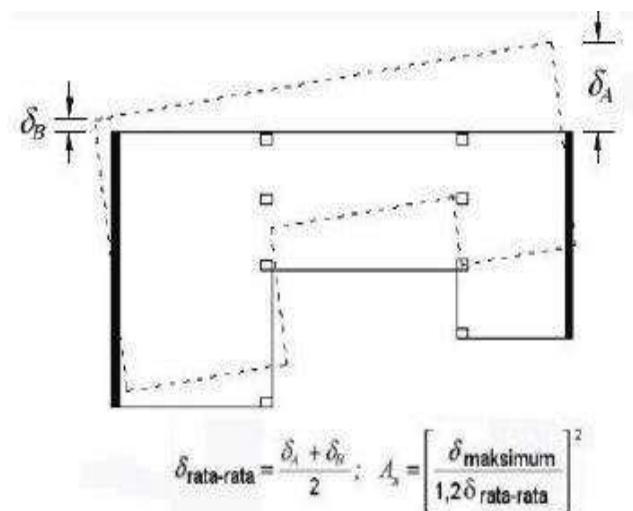
$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1,40$$

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

Arah x $1 < 3,50$

Arah y $1 < 3,50$

- Ketidak Beraturan Horizontal Tidak Terjadi



Gambar 4. 12 Grafik vertical exception 1 arah X dan arah Y

4.5.12 Iregularitas Vertikal Tipe 3

- Arah X

Lebar lantai 1 = 40 m

Lebar lantai atap = 40 m

1 Ok

- Arah Y

Lebar lantai 1 = 18 m

Lebar lantai atap = 18 m

1 Ok

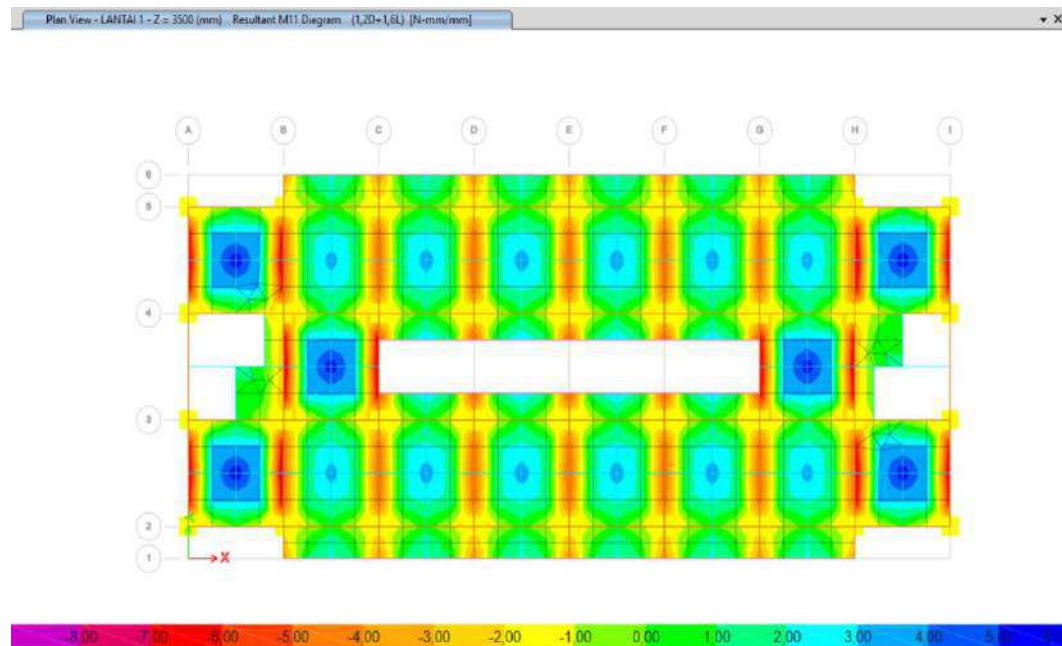
4.6 Analisa struktur atas

4.6.1 Respon Struktur

- Diagram Momen Pelat Lantai arah X

$M_{tp} = 5,29592 \text{ kN/m}$

$M_{lp} = 4,86059 \text{ kN/m}$

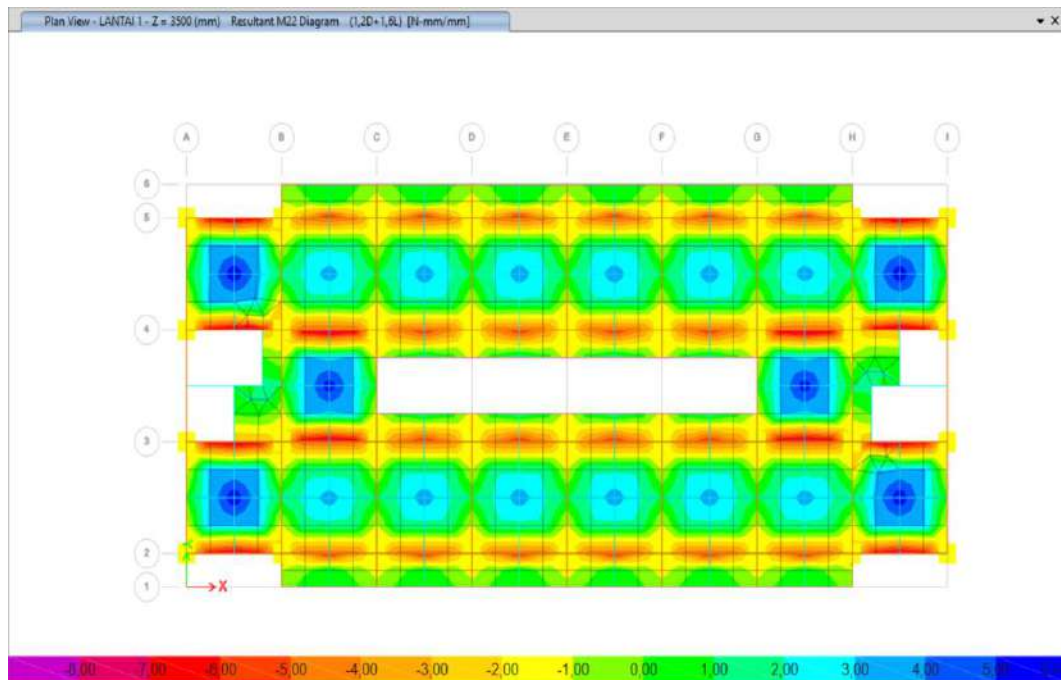


Gambar 4. 13 Diagram Momen Pelat Lantai Arah X

- Diagram Momen Pelat Lantai arah Y

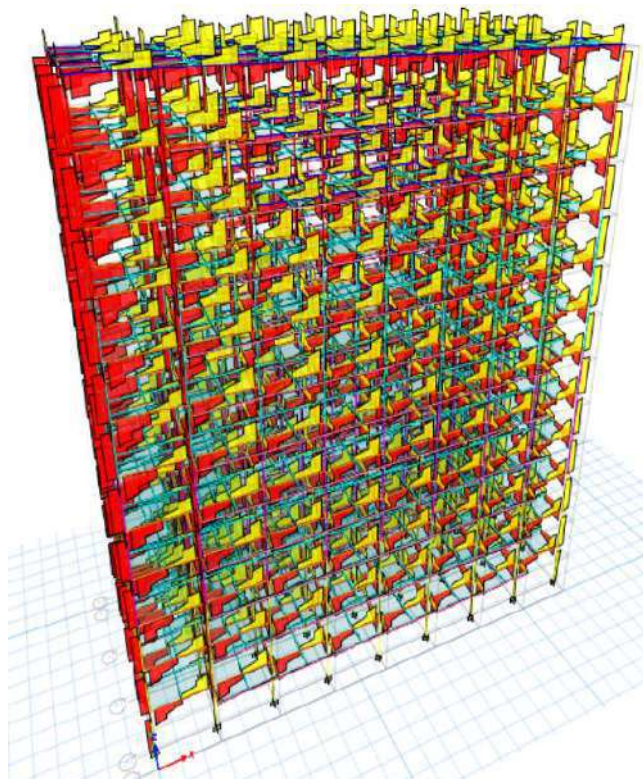
$M_{tp} = 4,9976 \text{ kN/m}$

$M_{lp} = 4,86077 \text{ kN/m}$



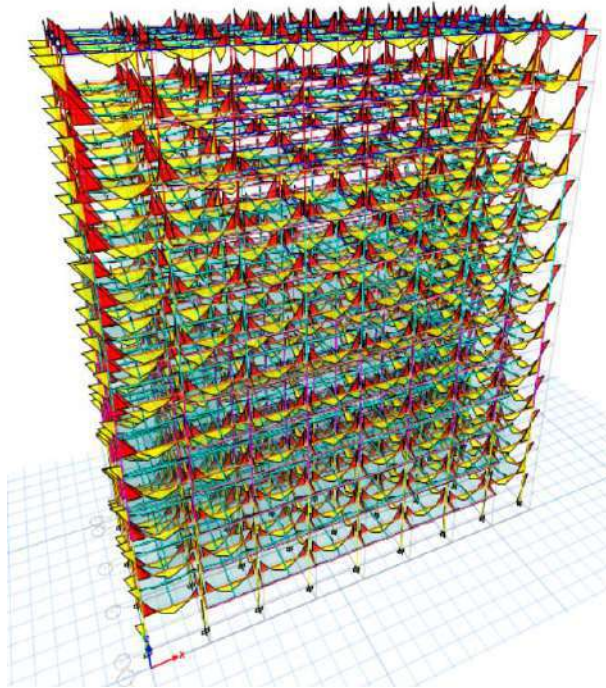
Gambar 4. 14 Diagram Momen Pelat Lantai Arah Y

- Diagram Momen balok dan kolom



Gambar 4. 15 Diagram Momen Balok dan Kolom

- Diagram Geser Balok dan Kolom



Gambar 4. 16 Diagram Geser Balok dan Kolom

4.6.2 Desain Pelat Lantai

- Syarat geometri

$$L_n = 5.000 \text{ mm}$$

$$\text{Dengan balok anak} = 2.500 \text{ mm}$$

$$t \geq \frac{L_n}{33} = t \geq \frac{2.500}{33} = 75,8$$

$$125\text{mm} > 75,8 \text{ mm memenuhi}$$

- Viberasi

$$f_n \geq 8 \text{ Hz}$$

$$f_n = \alpha \cdot \frac{t}{L^2} = 180 \times \frac{125}{2.500^2} = \frac{22.500.000}{6.250.000} = 3,6 \text{ Hz}$$

$$3,6 \text{ Hz} \geq 8 \text{ Hz}$$

- Penulangan Pelat

- Data material

Beton

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

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

Baja tulangan

$F_y = 420 \text{ Mpa}$ diameter 12 mm

$F_y = 420 \text{ Mpa}$ wiremesh (grade U – 50)

○ Data perencanaan

$$b = 1000 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$h = 125 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d' = 26 \text{ mm} \quad \rho_b = 0,02530$$

$$s = 20 \text{ mm} \quad A_{smin} = 178,20 \text{ mm}^2$$

$$d_s = 12 \text{ mm} \quad A_{smaks} = 1878,35 \text{ mm}^2$$

$$d = 99 \text{ mm}$$

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

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

○ Penulangan Tumpuan Arah x M11 Mtp

$$M_{11} = 5,296 \text{ kN/m}$$

$$M_n = 5.884.355,6 \text{ N/mm}$$

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

$$a \text{ perlu} = 99 - \sqrt{99^2 - \frac{2.5.884.355,6}{0,85.25.1000}} = 2,8378 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{5.884.355,6}{420 \cdot \left(99 - \frac{2,8378}{2}\right)} = 143,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$178,20 > 143,58 \quad \text{MEMENUHI}$$

Diameter tulangan yang di pakai

$$A_{s1} = 3,14 \times (12^2)/4 = 113,04 \text{ mm}^2$$

Di pakai tulangan = D12 – 100

$$A_s = \frac{113,04}{100} \times 1000 = 1.130,40 \text{ mm}^2$$

$$\phi M_n = 1.130,40 \times 420 \left(\frac{99 - 2,8378}{2}\right) \times 1.000.000$$

$$= 46,326 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 46,326 \text{ kN/m} > M_u = 5,2959 \text{ kN/m} \quad \text{MEMENUHI}$$

- Penulangan Tumpuan Arah y M11 Mlp

$$M_{11} = 4,861 \text{ kN/m}$$

$$M_n = 5.400.656 \text{ N/mm}$$

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

$$a \text{ perlu} = 99 - \sqrt{99^2 - \frac{2.5.400.656}{0,85.25.1000}} = 2,6013 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{5.400.656}{420.(99 - \frac{2,6013}{2})} = 131,62 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$178,20 > 131,62 \quad \text{MEMENUHI}$$

Diameter tulangan yang di pakai

$$A_{s1} = 3,14 \times (12^2)/4 = 113,04 \text{ mm}^2$$

Di pakai tulangan = D12 – 100

$$A_s = \frac{113,04}{100} \times 1000 = 1130,40 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 1130,40 \times 420 \left(\frac{99 - \frac{2,6013}{2}}{2} \right) \times 1.000.000 \\ &= 46,385 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 46,385 \text{ kN/m} > M_u = 4,861 \text{ kN/m} \quad \text{MEMENUHI}$$

- Penulangan Tumpuan Arah x M22 Mtp

$$M_{22} = 4,9998 \text{ kN/m}$$

$$M_n = 5.555.288,9 \text{ N/mm}$$

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

$$a \text{ perlu} = 99 - \sqrt{99^2 - \frac{2.5.555.288,9}{0,85.25.1000}} = 2,6768 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{5.555.288,9}{420.(99 - \frac{2,3989}{2})} = 135,44 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$178,20 > 135,44 \quad \text{MEMENUHI}$$

Diameter tulangan yang di pakai

$$Asl = 3,14 \times (12^2)/4 = 113,04 \text{ mm}^2$$

Di pakai tulangan = D12 – 100

$$As = \frac{113,04}{100} \times 1000 = 1.130,40 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 1.130,40 \times 420 \left(\frac{99-2,6768}{2} \right) \times 1.000.000 \\ &= 46,367 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 46,367 \text{ kN/m} > Mu = 4,9998 \text{ kN/m} \quad \text{MEMENUHI}$$

○ Penulangan Tumpuan Arah y M22 Mtp

$$M22 = 4,861 \text{ kN/m}$$

$$Mn = 5.400.856 \text{ N/mm}$$

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

$$a = 99 - \sqrt{99^2 - \frac{2.5.400.856}{0,85.25.1000}} = 2,6014 \text{ mm}$$

$$As \text{ perlu} = \frac{Mn}{f_y.(d-\frac{a}{2})}$$

$$As \text{ perlu} = \frac{5.400.856}{420.(99-\frac{2,6014}{2})} = 131,62 \text{ mm}^2$$

Kontrol

$$178,20 > 106,14 \quad \text{MEMENUHI}$$

Diameter tulangan yang di pakai

$$Asl = 3,14 \times (12^2)/4 = 113,04 \text{ mm}^2$$

Di pakai tulangan = D12 – 100

$$As = \frac{113,04}{100} \times 1000 = 1.130,40 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 1.130,40 \times 420 \left(\frac{99-2,6014}{2} \right) \times 1.000.000 \\ &= 46,384 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 46,384 \text{ kN/m} > Mu = 4,861 \text{ kN/m} \quad \text{MEMENUHI}$$

4.6.3 Desain Balok

a. Syarat geometri

- Balok induk

$$h \geq \frac{L}{21} = \frac{5.000}{21} = 238 \text{ mm}$$

$$h \geq 238 \text{ mm}$$

- Balok anak

$$h_{min} \frac{L}{16} = \frac{5.000}{21} = 312,5 \text{ mm}$$

$$h_{min} \geq 312,5 \text{ mm}$$

- Balok kantilever

$$h \geq \frac{L}{8} = \frac{5.000}{8} = 625 \text{ mm}$$

$$h \geq 625 \text{ mm}$$

b. Data material

- Beton :

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

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

- Baja tulangan :

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

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

- Properties penampang :

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

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan Panjang} = 19 \text{ mm}$$

c. Penulangan Balok

- Balok B1 dimensi 45 cm x 65 cm

– Perencanaan Tulangan atas Tumpuan :

$$b = 450 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 650 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 61,6 \text{ mm} \quad M_u = 361,8053 \text{ kN/m}$$

$$s = 40 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d_{sk} = 12 \text{ mm} \quad M_n = 402.005.889 \text{ N/m}$$

$$d_t = 19 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$d = 589 \text{ mm} \quad \rho_{bal} = 0,02530$$

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

$$a_{\text{perlu}} = 589 - \sqrt{589^2 - \frac{2 \cdot 402.005.889}{0,85 \cdot 25.450}} = 76,394 \text{ mm}$$

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

$$A_s_{\text{perlu}} = \frac{402.005.889}{420 \cdot \left(589 - \frac{76,394}{2}\right)} = 1.739,327 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00875711$$

$$A_{s\min} = 882,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 5.024,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$882,75 < 1.739,327 < 5.024,58 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 7 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 7 \\ &= 1.983,695 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$882,75 < 1.983,695 < 5.024,58 \text{ Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 1.983,695 \times 420 \times \frac{\left(589 - \left(\frac{1.983,695 \cdot 420}{0,85 \cdot 25.450}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 408,6134 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 408,6134 \text{ kN/m} > M_u = 361,8053 \text{ kN/m} \quad \text{MEMENUHI}$$

– Perencanaan Tulangan bawah Tumpuan

$$b = 450 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 650 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= 61,6 \text{ mm} & \mu_u &= 313,4092 \text{ kN/m} \\
 s &= 40 \text{ mm} & \phi &= 0,9 \\
 d_{sk} &= 12 \text{ mm} & M_n &= 348.232.498 \text{ N/m} \\
 d_t &= 19 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\
 d &= 589 \text{ mm} & \rho_{bal} &= 0,02530
 \end{aligned}$$

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

$$a_{\text{perlu}} = 589 - \sqrt{589^2 - \frac{2 \cdot 348.232.498}{0,85 \cdot 25.450}} = 65,528 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{348.232.498}{420 \cdot (589 - \frac{65,528}{2})} = 1.491,941 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00777937$$

$$A_{s\min} = 882,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 5.024,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$882,75 < 1.491,941 < 5.024,58 \quad \mathbf{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\
 &= 283,39 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 6 buah

$$\begin{aligned}
 A_s &= 283,39 \times 6 \\
 &= 1.700,310 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$882,75 < 1.700,310 < 5.024,58 \quad \mathbf{Ok}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 1.700,310 \times 420 \times \frac{(589 - (\frac{1.700,310 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450}))}{2} : 1.000.000 \\
 &= 354,2399 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 354,2399 \text{ kN/m} > \mu_u = 313,40925 \quad \mathbf{MEMENUHI}$$

– Penulangan Geser Tumpuan

$$M_u = 361,8053 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 54,684 \text{ kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 54,684 : 0,75 \times 1000 = 72.912 \text{ N}$$

$$\rho_w = 0,006$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

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

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

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

$$d = 589 \text{ mm}$$

$$A_v = 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

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

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 0,006 \cdot \frac{54,684 \cdot 589}{395,4059} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{450 \cdot 589}{7} \\ &= 143.815,02 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$= 0,3 \sqrt{25} \cdot 450 \cdot 589$$

$$= 397.575 \text{ N}$$

$$143.815,02 \text{ N} < 397.575 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_s :

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

$$V_s = \frac{226 \cdot 420 \cdot 589}{100}$$

$$= 559,085 \text{ N}$$

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

$$\phi V_s = 0,75 \times 559,085$$

$$= 419.314 \text{ N}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = 143.815,02 + 419.314$$

$$= 563.129 \text{ N}$$

$$= 563.129 / 1.000 = 563,6016 \text{ kN}$$

$$V_n = 563,129 > V_u = 54,684 \quad \text{Ok}$$

– Perencanaan Tulangan atas Lapangan

$$b = 450 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 650 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 61,6 \text{ mm} \quad M_u = 126,0277 \text{ kN/m}$$

$$s = 40 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d_{sk} = 12 \text{ mm} \quad M_n = 140.030.738 \text{ N/m}$$

$$dt = 19 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$d = 589 \text{ mm} \quad \rho_{bal} = 0,02530$$

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

$$a_{\text{perlu}} = 589 - \sqrt{589^2 - \frac{2 \cdot 140.030.738}{0,85 \cdot 25 \cdot 450}} = 25,443 \text{ mm}$$

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

$$A_s_{\text{perlu}} = \frac{140.030.738}{420 \cdot \left(589 - \frac{25,443}{2}\right)} = 579,048 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00291538$$

$$A_{s\min} = 772,06 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 5.024,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$772,06 > 579,048 < 5.024,58 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

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

$$= 283,39 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 3 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 3 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$833,42 > 850,155 < 5.024,58 \text{ Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 850,155 \times 420 \times \frac{\left(589 - \left(\frac{850,155 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 183,1197 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 183,1197 \text{ kN/m} > M_u = 126,02766 \quad \text{MEMENUHI}$$

– Perencanaan Tulangan Bawah Lapangan

$$\begin{array}{ll} b &= 450 \text{ mm} & f_c &= 25 \text{ Mpa} \\ h &= 650 \text{ mm} & f_y &= 420 \text{ Mpa} \\ d' &= 61,6 \text{ mm} & M_u &= 132,9586 \text{ kN/m} \\ s &= 40 \text{ mm} & \phi &= 0,9 \\ d_{sk} &= 12 \text{ mm} & M_n &= 147.731.796 \text{ N/m} \\ d_t &= 19 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\ d &= 589 \text{ mm} & \rho_{bal} &= 0,02530 \end{array}$$

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

$$a \text{ perlu} = 589 - \sqrt{589^2 - \frac{2 \cdot 147.731.796}{0,85 \cdot 25 \cdot 450}} = 26,865 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{147.731.796}{420 \cdot \left(589 - \frac{29,938}{2}\right)} = 611,654 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \quad \text{atau } 0,033 \text{ dan } 0,00307954$$

$$A_{smin} = 815,54 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 5.024,58 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$815,54 > 611,654 < 5.024,58 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 3 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 3 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$748,67 < 850,155 < 4466,29 \text{ Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 850,155 \times 420 \times \frac{\left(589 - \left(\frac{850,155 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 183,1197 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 183,1197 \text{ kN/m} > M_u = 132,95862 \quad \textbf{MEMENUHI}$$

– Penulangan Geser Lapangan

$$M_u = 132,9586 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 54,684 \text{ kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 54,684 : 0,75 \times 1000 = 81.386,8 \text{ N}$$

$$\rho_w = 0,003$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

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

$$S = 200 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

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

$$d = 589 \text{ mm}$$

$$A_v = 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

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

$$\phi V_c = 0,75 \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 0,003 \cdot \frac{61,0401 \cdot 589}{132,9586} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{450 \cdot 589}{7}$$

$$= 144.516,19 \text{ N}$$

$$= 0,3 \sqrt{25} \cdot 450 \cdot 589$$

$$= 397.575 \text{ N}$$

$$144.516,19 < 397.575 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_s :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ V_s &= \frac{226 \cdot 420 \cdot 589}{200} \\ &= 279.543 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \phi V_s &= 0,75 \times 279.543 \\ &= 209.675 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 144.516,19 + 209.675 \\ &= 354.173,2 \text{ N} \\ &= 354.173,2 / 1.000 = 354,1732 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_n = 358,27389 > V_u = 54,684 \quad \mathbf{Ok}$$

o Balok B2 dimensi 35 cm x 55 cm

– Perencanaan Tulangan Atas Tumpuan

b	= 350 mm	f_c	= 25 Mpa
h	= 550 mm	f_y	= 420 Mpa
d'	= 61,5 mm	M_u	= 142,2733 kN/m
s	= 40 mm	ϕ	= 0,9
d_{sk}	= 12 mm	M_n	= 158.085.920 N/m
dt	= 19 mm	β_1	= 0,85
d	= 489 mm	ρ_{bal}	= 0,02530

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

$$a \text{ perlu} = 489 - \sqrt{489^2 - \frac{2 \cdot 158.085.920}{0,85 \cdot 25 \cdot 350}} = 45,644 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{158.085.920}{420 \cdot \left(489 - \frac{45,644}{2}\right)} = 808,273 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00630324$$

$$A_{s\min} = 569,92 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 3.243,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$569,92 < 808,273 < 3.243,95 \text{ Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 3 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 3 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$569,92 < 850,155 < 3.243,95 \text{ Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 850,155 \times 420 \times \frac{\left(489 - \left(\frac{850,155 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 350}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 149,2697 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 149,2697 \text{ kN/m} > M_u = 142,27733 \text{ kN/m} \quad \textbf{MEMENUHI}$$

– Perencanaan Tulangan bawah Tumpuan

$$b = 350 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 550 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 61,5 \text{ mm} \quad M_u = 104,2806 \text{ kN/m}$$

$$s = 40 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d_{sk} = 12 \text{ mm} \quad M_n = 196.528.556 \text{ N/m}$$

$$d_t = 19 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$d = 489 \text{ mm} \quad \rho_{bal} = 0,02530$$

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

$$a_{\text{perlu}} = 489 - \sqrt{489^2 - \frac{2 \cdot 196.528.556}{0,85 \cdot 25 \cdot 350}} = 33,006 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{196.528.556}{420 \cdot \left(489 - \frac{57.473}{2}\right)} = 584,484 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00455804$$

$$A_{s\min} = 569,92 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 3.243,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$569,92 < 584,484 < 3.243,95 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 3 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 3 \\ &= 850,155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$569,92 < 850,155 < 3.243,95 \quad \text{Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 850,155 \times 420 \times \frac{\left(489 - \left(\frac{850,155 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 350}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 149,2697 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 149,2697 \text{ kN/m} > M_u = 104,28056 \quad \text{MEMENUHI}$$

– Penulangan Geser Tumpuan

$$M_u = 142,2773 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 43,335 \text{ kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 43,335 : 0,75 \times 1000 = 57.780,27 \text{ N}$$

$$\rho_w = 0,005$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 550 \text{ mm}$$

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

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

$$d = 489 \text{ mm}$$

$$A_v = 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

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

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 0,005 \cdot \frac{43,335 \cdot 489}{142,2773} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{350 \cdot 489}{7} \\ &= 93.220,09 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,3 \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \\ &= 0,3 \sqrt{25} \cdot 350 \cdot 489 \\ &= 256.725 \text{ N} \end{aligned}$$

$$93.220,09 < 256.725 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_s :

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

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{226 \cdot 420 \cdot 489}{100} \\ &= 464.084 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \phi V_s &= 0,75 \times 464.084 \\ &= 348.063 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 93.220,09 + 348.063 \\ &= 93.220,09 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 93.220,09 / 1.000 = 93,22009 \text{ kN}$$

$$V_n = 93,22009 > V_u = 43,335 \quad \mathbf{Ok}$$

– Perencanaan Tulangan Atas Lapangan

$$b = 350 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 550 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 61,5 \text{ mm} \quad M_u = 11,51104 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 s &= 40 \text{ mm} & \phi &= 0,9 \\
 d_{sk} &= 12 \text{ mm} & M_n &= 12.790.044 \text{ N/m} \\
 dt &= 19 \text{ mm} & \beta_1 &= 0,85 \\
 d &= 489 \text{ mm} & \rho_{bal} &= 0,02530
 \end{aligned}$$

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

$$a \text{ perlu} = 489 - \sqrt{489^2 - \frac{2 \cdot 12.790.044}{0,85 \cdot 25 \cdot 350}} = 3,533 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{12.790.044}{420 \cdot \left(489 - \frac{3,533}{2}\right)} = 62,565 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00048791$$

$$A_{smin} = 83,42 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 3.243,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$83,42 > 62,565 \quad \textbf{MEMAKAI TULANGAN MINIMUM}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\
 &= 283,39 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 2 buah

$$\begin{aligned}
 A_s &= 283,39 \times 2 \\
 &= 556,770 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$83,42 < 556,770 < 3.243,95 \quad \textbf{Ok}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 556,770 \times 420 \times \frac{\left(489 - \left(\frac{556,770 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 350}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\
 &= 101,2273 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 101,2273 \text{ kN/m} > M_u = 11,51104 \quad \textbf{MEMENUHI}$$

– Perencanaan Tulangan Bawah Lapangan

$$b = 350 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

h	$= 550 \text{ mm}$	f_y	$= 420 \text{ Mpa}$
d'	$= 61,5 \text{ mm}$	M_u	$= 16,70263 \text{ kN/m (momen terfaktor)}$
s	$= 40 \text{ mm}$	ϕ	$= 0,9$
d_{sk}	$= 12 \text{ mm}$	M_n	$= 18.558.478 \text{ N/m}$
d_t	$= 19 \text{ mm}$	β_1	$= 0,85$
d	$= 489 \text{ mm}$	ρ_{bal}	$= 0,02530$

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

$$a \text{ perlu} = 489 - \sqrt{489^2 - \frac{2 \cdot 18.558.478}{0,85 \cdot 25 \cdot 400}} = 5,135 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{18.558.478}{420 \cdot \left(489 - \frac{5,135}{2}\right)} = 90,932 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00070913$$

$$A_{smin} = 121,24 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 3.243,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$121,24 > 90,932 \quad \textbf{MEMAKAI TULANGAN MINIMUM}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 2 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 2 \\ &= 566,770 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$173,99 < 566,770 < 3.243,95 \quad \textbf{Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 566,770 \times 420 \times \frac{\left(539 - \left(\frac{566,770 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 400}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 101,2273 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 101,2273 \text{ kN/m} > M_u = 16,70263 \text{ kN/m} \quad \textbf{MEMENUHI}$$

– Penulangan Geser Lapangan

$$M_u = 11,511 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 45,33435 \text{ kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 45,33435 : 0,75 \times 1000 = 57.780,27 \text{ N}$$

$$\rho_w = 0,003$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 550 \text{ mm}$$

$$S = 200 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

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

$$d = 489 \text{ mm}$$

$$A_v = 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

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

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 0,003 \cdot \frac{45,33435 \cdot 489}{11,511} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{350 \cdot 489}{7} \\ &= 104.994,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,3 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,3 \sqrt{25} \cdot 350 \cdot 489$$

$$= 232.042 \text{ N}$$

$$101.214,21 < 256.2725 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_s :

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

$$V_s = \frac{226 \cdot 420 \cdot 489}{200}$$

$$= 232.042 \text{ N}$$

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

$$\phi V_s = 0,75 \times 232.042$$

$$= 174.031 \text{ N}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\phi V_n = 104.994,9 + 174.031$$

$$= 104.994,9 \text{ N}$$

$$= 104.994,9 / 1.000 = 279,0263 \text{ kN}$$

$$V_n = 275,24521 > V_u = 45,3435 \quad \text{Ok}$$

o Balok Kantilever Dimensi 20 cm x 30 cm

– Perencanaan Tulangan Atas

$$b = 200 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 300 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 61,5 \text{ mm} \quad M_u = 13,9538 \text{ kN/m (momen terfaktor)}$$

$$s = 40 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d_{sk} = 12 \text{ mm} \quad M_n = 15.504.236 \text{ N/m}$$

$$d_t = 19 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$d = 239 \text{ mm} \quad \rho_{bal} = 0,02530$$

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

$$a_{\text{perlu}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2 \cdot 15.504.236}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}} = 15,821 \text{ mm}$$

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

$$A_s_{\text{perlu}} = \frac{15.504.236}{420 \cdot \left(239 - \frac{15,821}{2}\right)} = 160,089 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00447488$$

$$A_{s\min} = 159 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 905,02 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$159 > 160,089 < 905,02 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

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

$$= 283,39 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 2 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 2 \\ &= 566,770 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$159 < 556,770 < 905,02 \quad \mathbf{Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 556,770 \times 420 \times \frac{\left(239 - \left(\frac{556,770 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 45,09662 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 45,09662 \text{ kN/m} > M_u = 13,95381 \text{ kN/m} \quad \mathbf{MEMENUHI}$$

– Perencanaan Tulangan Bawah

b	= 200 mm	f _c	= 25 Mpa
h	= 300 mm	f _y	= 420 Mpa
d'	= 61,5 mm	M _u	= 9,3247 kN/m (momen terfaktor)
s	= 40 mm	φ	= 0,9
d _{sk}	= 12 mm	M _n	= 10.360.826 N/m
dt	= 19 mm	β ₁	= 0,85
d	= 239 mm	ρ _{bal}	= 0,02530

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

$$a \text{ perlu} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2 \cdot 10.360.826}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}} = 10,451 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{10.360.826}{420 \cdot \left(239 - \frac{10,451}{2}\right)} = 105,749 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,0034021$$

$$A_{s\min} = 141 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 905,02 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$141 > 105,749 \quad \mathbf{MEMAKAI TULANGAN MINIMUM}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\
 &= 283,39 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 2 buah

$$\begin{aligned}
 A_s &= 283,39 \times 2 \\
 &= 566,770 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$159 < 566,770 < 905,02 \quad \text{Ok}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 566,770 \times 420 \times \frac{\left(239 - \left(\frac{566,770 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\
 &= 45,0962 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 45,0962 \text{ kN/m} > M_u = 9,32474 \text{ kN/m} \text{ MEMENUHI}$$

– Penulangan Geser Lapangan

$$M_u = 13,9538 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 4,177 \text{ kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 4,177 : 0,75 \times 1000 = 5.569,87 \text{ N}$$

$$\rho_w = 0,012$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

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

$$S = 150 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

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

$$d = 239 \text{ mm}$$

$$A_v = 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{b \cdot d}{7} \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 0,0012 \cdot \frac{4,177 \cdot 239}{13,9538} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{200 \cdot 239}{7} \\
 &= 26.073,87 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 = 0,3 \sqrt{25} \cdot 200 \cdot 239
 \end{aligned}$$

$$= 71.700 \text{ N}$$

$$26.073,87 < 71.700 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_s :

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

$$V_s = \frac{226 \cdot 420 \cdot 239}{150}$$

$$= 151,052,8 \text{ N}$$

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

$$\phi V_s = 0,75 \times 151,052,8$$

$$= 113.290 \text{ N}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = 26.073,87 + 113.290$$

$$= 139.363,87 \text{ N}$$

$$= 139.363,87 / 1.000 = 139,36387 \text{ kN}$$

$$V_n = 139,36387 > V_u = 4,177 \quad \mathbf{Ok}$$

o Balok Anak dimensi 20 cm x 35 cm

– Perencanaan Tulangan Atas

$$b = 200 \text{ mm} \quad f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$h = 350 \text{ mm} \quad f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 61,5 \text{ mm} \quad M_u = 20,971832 \text{ kN/m}$$

$$s = 40 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d_{sk} = 12 \text{ mm} \quad M_n = 23.302.036 \text{ N/m}$$

$$d_t = 19 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$d = 289 \text{ mm} \quad \rho_{bal} = 0,02530$$

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

$$a \text{ perlu} = 289 - \sqrt{289^2 - \frac{2 \cdot 23.302.036}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}} = 19,676 \text{ mm}$$

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

$$A_s \text{ perlu} = \frac{23.302.036}{420 \cdot \left(289 - \frac{19,676}{2}\right)} = 199,098 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00460076$$

$$A_{s\min} = 192,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 1.094,75 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$192,33 < 199,098 < 1.094,75 \quad \mathbf{Ok}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 2 buah

$$\begin{aligned} A_s &= 283,39 \times 2 \\ &= 566,770 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$192,33 < 556,770 < 1094,75 \quad \mathbf{Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 556,770 \times 420 \times \frac{\left(289 - \left(\frac{556,770 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 55,8082 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 55,8082 \text{ kN/m} > M_u = 20,971832 \text{ kN/m} \quad \mathbf{MEMENUHI}$$

– Perencanaan Tulangan Bawah

b	= 200 mm	f _c	= 25 Mpa
h	= 350 mm	f _y	= 420 Mpa
d'	= 61,5 mm	M _u	= 11,052868 kN/m
s	= 40 mm	φ	= 0,9
d _{sk}	= 12 mm	M _n	= 12.280.964 N/m
dt	= 19 mm	β ₁	= 0,85
d	= 289 mm	ρ _{bal}	= 0,02530

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

$$a_{\text{perlu}} = 289 - \sqrt{289^2 - \frac{2 \cdot 12.280.964}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}} = 10,196 \text{ mm}$$

$$As \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{10,196}{2}\right)}$$

$$As \text{ perlu} = \frac{12.280.964}{420 \cdot \left(289 - \frac{10,196}{2}\right)} = 103,176 \text{ mm}^2$$

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

$$0,0030 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00238420$$

$$As_{\min} = 137,57 \text{ mm}^2$$

$$As_{\max} = 1094,75 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$187,89 > 140,92 \text{ **MEMAKAI TULANGAN MINIMUM**}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$\begin{aligned} As_1 &= 3,14 \cdot \frac{19^2}{4} \\ &= 283,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan ada = 2 buah

$$\begin{aligned} As &= 283,39 \times 2 \\ &= 566,770 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$187,89 < 556,770 < 1094,75 \quad \textbf{Ok}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 556,770 \times 420 \times \frac{\left(289 - \left(\frac{556,770 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200}\right)\right)}{2} : 1.000.000 \\ &= 55,8082 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 55,8082 \text{ kN/m} > M_u = 11,05287 \text{ kN/m} \quad \textbf{MEMENUHI}$$

– Penulangan Geser

$$M_u = 13,9538 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 6,748 \text{ kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 6,748 : 0,75 \times 1000 = 8.996,76 \text{ N}$$

$$\rho_w = 0,010$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

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

$$d = 289 \text{ mm}$$

$$A_v = 226 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)}$$

Hitung V_c :

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

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 0,010 \cdot \frac{8.996,76 \cdot 289}{13,9538} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{200 \cdot 289}{7} \\ &= 31.624,94 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$= 0,3 \sqrt{25} \cdot 200 \cdot 289$$

$$= 86.700 \text{ N}$$

$$31.624,94 < 86.700 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_s :

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

$$V_s = \frac{226 \cdot 420 \cdot 289}{150}$$

$$= 182.720 \text{ N}$$

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

$$\phi V_s = 0,75 \times 182.720$$

$$= 137.040,04 \text{ N}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = 31.927,32 + 137.040$$

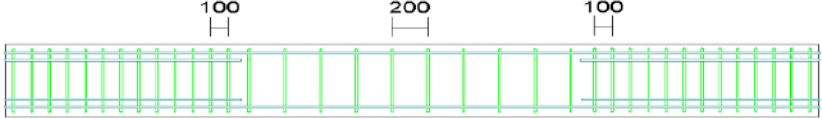
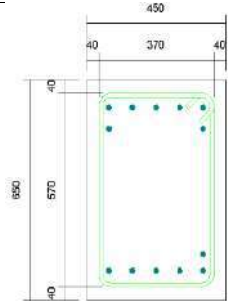
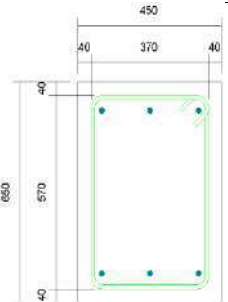
$$= 168.967 \text{ N}$$

$$= 168.967 / 1.000 = 168,967 \text{ kN}$$

$$V_n = 168,66498 > V_u = 7,6737 \quad \mathbf{Ok}$$

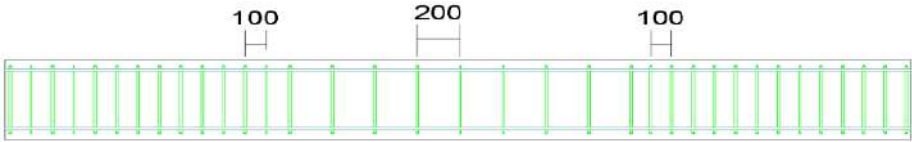
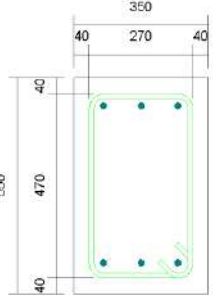
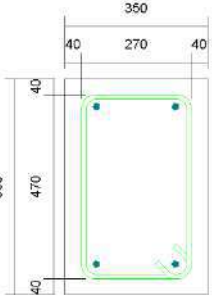
○ Detail Tulangan Balok

– Detail Tulangan Balok 450 x 650 mm

			
TIPE	DIMENSI	TUMPUAN	LAPANGAN
B1	450 x 650 mm		
	TULANGAN ATAS	7 D19	3 D19
	TULANGAN BAWAH	6 D19	3 D19
	SENGKANG	13 D12 – 100	10 D12 – 200

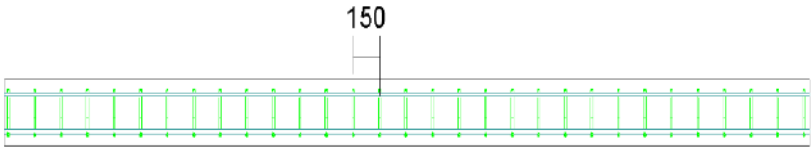
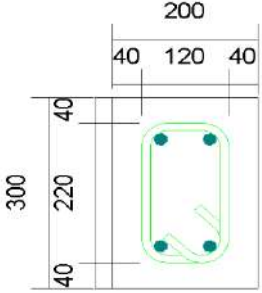
Gambar 4. 17 Detail Tulangan Balok 450 x 650 mm

– Detail Tulangan Balok 350 x 550 mm

			
TIPE	DIMENSI	TUMPUAN	LAPANGAN
B2	350 x 550 mm		
	TULANGAN ATAS	3 D19	2 D19
	TULANGAN BAWAH	3 D19	2 D19
	SENGKANG	13 D12 – 100	10 D12 – 200

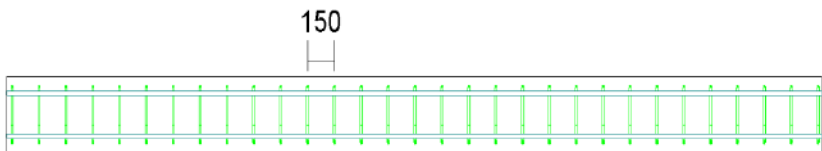
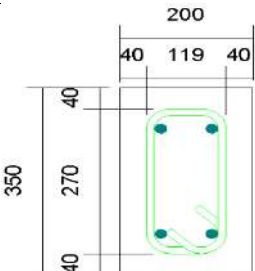
Gambar 4. 18 Detail Tulangan Balok 350 x 550 mm

– Detail Tulangan Balok Kantilever 200 x 300 mm

		
TIPE	DIMENSI	SEMUA
B kantilever	200 x 300 mm	
	TULANGAN ATAS	2 D19
	TULANGAN BAWAH	2 D19
	SENGKANG	31 D12 – 150

Gambar 4. 19 Detail Tulangan Balok Kantilever 200 x 300 mm

– Detail Tulangan Balok Anak 200 x 350 mm

		
TIPE	DIMENSI	SEMUA
B anak	200 x 350 mm	
	TULANGAN ATAS	2 D19
	TULANGAN BAWAH	2 D19
	SENGKANG	31 D12 – 150

Gambar 4. 20 Detail Tulangan Balok Anak 200 x 350 mm

4.6.4 Desain Kolom

a. Data material

- Beton :
 - $F_c = 25 \text{ Mpa}$
 - $E_c = 23500 \text{ Mpa}$
- Baja Tulangan :
 - $f_y = 420 \text{ Mpa}$
 - $f_y = 420 \text{ Mpa}$
- Properties Penampang
 - Selimut Beton (s) = 40 mm
 - Sengkang $d_{sk} = 12 \text{ mm}$
 - Tulangan Panjang = 22 mm
- Material Properties
 - $f_c = 25 \text{ Mpa}$
 - $E_c = 23500 \text{ Mpa}$
 - $\beta_1 = 0,850$
 - $f_y = 420 \text{ Mpa}$
 - $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$
- Reduksi Kekuatan
 - $\phi a = 0,80$ (Tekan Sengkang)
 - $\phi b = 0,90$ (Tarik Lnetur)
 - $\phi c = 0,65$ (Tekan)

b. Penulangan Kolom

- Kolom 1 Dimensi 900 x 900 mm
 - Penulangan
 - $b = 900 \text{ mm}$
 - $h = 900 \text{ mm}$
 - $P_u = 1.018,1856 \text{ kN}$
 - Selimut beton = 40 mm
 - Sengkang = 12 mm
 - Tulangan = 22 mm

$$\sum \text{Tulangan arah X} = 12 \text{ BUAH}$$

$$\sum \text{Tulangan arah Y} = 12 \text{ BUAH}$$

$$\begin{aligned} d' &= 40 + 12 + 22 / 2 \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= 900 - 63 \\ &= 837 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= 900 - 63 \\ &= 837 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah X} &= (900 - 2 \times 63) : (12 - 1) \\ &= 70,4 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 70,4 - 22 = 48,4 \quad \mathbf{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah Y} &= (900 - 2 \times 63) : (12 - 1) \\ &= 70,4 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 70,4 - 22 = 48,4 \quad \mathbf{OK}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \times (12 - 2) + (12 - 2) + 4 \\ &= 44 \text{ Buah} \end{aligned}$$

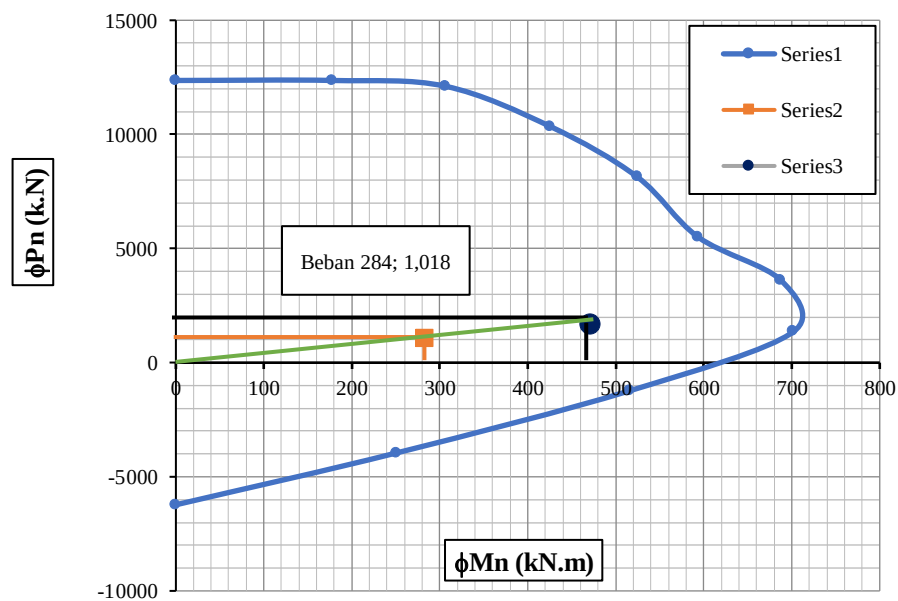
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{44 \cdot 3,14 \cdot 22^2}{4} \\ &= 16.725,8 \text{ mm}^2 \\ &= \left(\frac{16.725,8}{900 \cdot 900} \right) \% = 2,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 900 \times 900 \times 25}{1.000} \\ &= 2.025 \text{ kN} > P_u \text{ 1.018,1856 kN} \end{aligned}$$

– Diagram Interaksi Kolom Arah X

Tabel 4.28 Diagram Kolom Arah x

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	1.2363,3889	0	284,2293	1.018,1856	1.689	471	0,603
2	1.2363,3889	177,5305					
3	1.2110,3513	306,3768					
4	1.0338,0408	426,053					
5	8.130,7426	524,6351					
6	5.495,6105	593,795					
7	3.607,9098	687,756					
8	1.355,8928	701,8344					
9	-1.231,8779	515,751					
10	-3.953,6145	250,8667					
11	-6.226,7773	0					



Gambar 4. 21 Diagram Interkasi Kolom Arah X

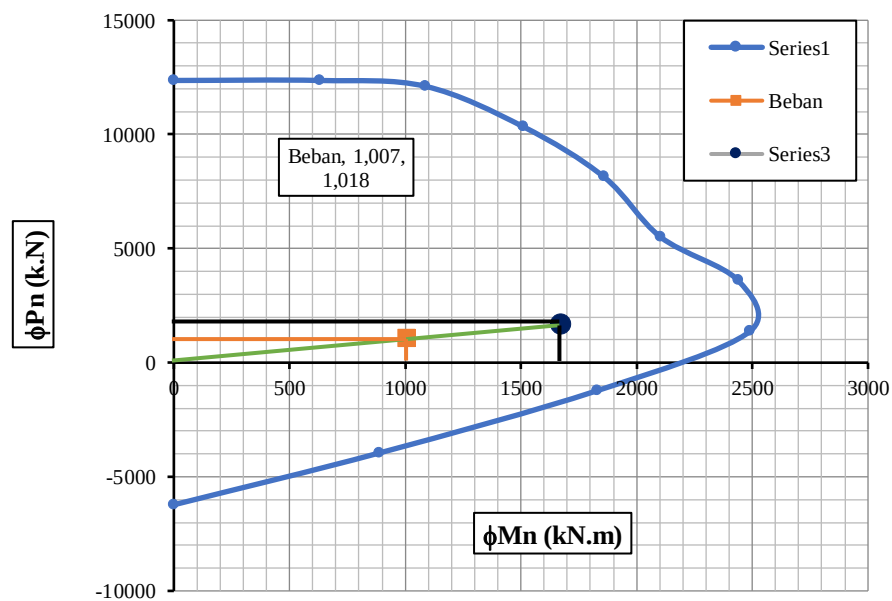
Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Tabel 4.29 Diagram Kolom Arah y

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	1.2363,3889	0	1.007,4354	1.018,1856	1.689	1.671	0,603
2	1.2363,3889	629,2473					
3	1.2110,3513	1085,936					
4	1.0338,0408	1510,1217					
5	8.130,7426	1859,5407					
6	5.495,6105	2104,6742					
7	3.607,9098	2437,714					
8	1.355,8928	2487,614					
9	-1.231,8779	1828,0516					
10	-3.953,6145	889,1835					
11	-6.226,7773	0					



Gambar 4. 22 Diagram Interkasi Kolom Arah Y

Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Kapasitas Gaya Geser Kolom

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

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 900 \text{ mm}$$

$$h = 900 \text{ mm}$$

$$dx = 837 \text{ mm}$$

$$dy = 837 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Luas kolom}(A_g) &= b \times h \\ &= 900 \times 900 \\ &= 810.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$P_u = 1.018,1856 \text{ kN}$$

$$V_u - x = 118,7233 \text{ kN}$$

$$V_u - y = 314,2032 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– Geser Arah X

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{1.018,1856}{14.810.000} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 900 \cdot 837 : 1.000 \\ &= 470,8548 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

$$\text{Tulangan Geser Terpasang} = 30D12 - 100$$

$$\begin{aligned} A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\ &= 3.392,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{3.392,92 \cdot 420 \cdot 737}{100} : 1.000 \\ &= 8.945,60 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 470,8548 + 8.945,60 \\ &= 9.416,4582 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = 9.416,4582 \text{ kN} > V_u - x = 99,9026 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx \\ \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{1.018,1856}{14.810.000}\right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 900.837 : 1.000 \\ &= 470,8548 \text{ kN}\end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 30D12 – 100

$$\begin{aligned}A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\ &= 3.392,92 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{3.392,92 \cdot 420.737}{100} : 1.000 \\ &= 8.945,60 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 470,8548 + 8.945,60 \\ &= 9.416,4582 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = 9.416,4582 \text{ kN} > V_u - y = 224,6043 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Pengengkangan Kolom

$$f_c = 25 \text{ Mpa} \quad d = 837 \text{ mm}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa} \quad d' = 63 \text{ mm}$$

$$b = 900 \text{ mm} \quad d_s = 12 \text{ mm}$$

$$h = 900 \text{ mm} \quad d_t = 22 \text{ mm}$$

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

$$\text{Luas Kolom}(A_g) = 810.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar inti}(b_c) = 900 - (2 \times 40 + 12)$$

$$= 808 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi inti}(h_c) = 900 - (2 \times 40 + 12)$$

$$= 808 \text{ mm}$$

$$\text{Luas inti}(A_c) = 808 \times 808$$

$$= 652.864 \text{ mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X :

$$A_{sh1}/s_x = 0,3 \times \left(\frac{808 \cdot 25}{420} \right) \times (810.000 : 652.864 - 1)$$

$$= 3,47 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2}/s_x = 0,09 \times \left(\frac{808 \cdot 25}{420} \right)$$

$$= 4,33 \text{ mm}^2$$

Tulangan Geser = 4 D12 – 100 mm

Kontrol :

$$A_v/S_x = 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100$$

$$= 4,52 \text{ mm}^2 > 3,47 \text{ mm}^2$$

$$V_s = (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (837:150) : 1.000$$

$$= 1.590,33 \text{ kN} < V_{maks} = 2.511 \text{ kN}$$

Tulangan Sengkang Arah Y :

$$A_{sh1}/s_x = 0,3 \times \left(\frac{808 \cdot 25}{420} \right) \times (810.000 : 652.864 - 1)$$

$$= 3,47 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2}/s_x = 0,09 \times \left(\frac{808 \cdot 25}{420} \right)$$

$$= 4,33 \text{ mm}^2$$

Tulangan Geser = 4 D12 – 100 mm

Kontrol :

$$A_v/S_x = 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100$$

$$= 4,52 \text{ mm}^2 > 3,47 \text{ mm}^2$$

$$V_s = (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (837:150) : 1.000$$

$$= 1.590,33 \text{ kN} < V_{maks} = 2.511 \text{ kN}$$

o Kolom 2 Dimensi 85 cm x 85 cm

– Penulangan

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$h = 850 \text{ mm}$$

$$P_u = 2.279,2374 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan arah X} = 11 \text{ BUAH}$$

$$\sum \text{Tulangan arah Y} = 11 \text{ BUAH}$$

$$\begin{aligned} d' &= 40 + 12 + 22 / 2 \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= 850 - 63 \\ &= 787 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= 850 - 63 \\ &= 787 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah X} &= (850 - 2 \times 63) : (11 - 1) \\ &= 72 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 72 - 22 = 50 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah Y} &= (850 - 2 \times 63) : (11 - 1) \\ &= 72 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 72 - 22 = 50 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \times (11 - 2) + (11 - 2) + 4 \\ &= 40 \text{ Buah} \end{aligned}$$

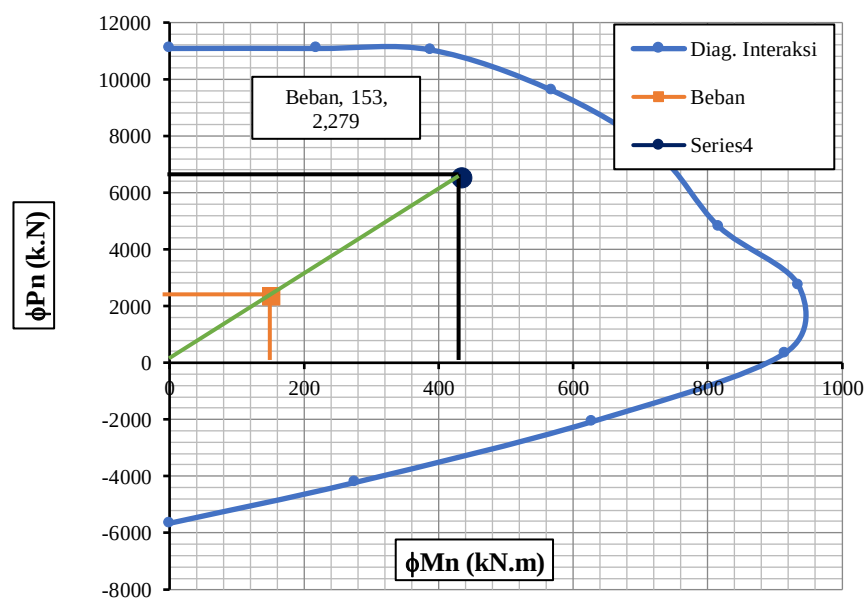
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{40 \cdot 3,14 \cdot 22^2}{4} \\ &= 15.2053 \text{ mm}^2 \\ &= \left(\frac{13.684,8}{850 \cdot 850} \right) \% = 2,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 850 \times 850 \times 25}{1.000} \\ &= 1.806,3 \text{ kN} > P_u 2.279,2374 \text{ kN} \end{aligned}$$

– Diagram Interaksi Kolom Arah X

Tabel 4.30 Diagram Kolom Arah y

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n kN/m	Rasio
1	11.086,2513	0	152,5482	2.279,2374	6.494	435	0,351
2	11.086,2513	218,6078					
3	11.032,7359	388,3909					
4	9.608,5054	568,1268					
5	7.449,9857	722,0207					
6	4.797,1382	816,6219					
7	2.741,7833	934,4743					
8	338,795	914,4515					
9	-2.080,2403	627,4843					
10	-4.221,0179	275,6866					
11	-5.660,7066	0					



Gambar 4. 23 Diagram Interkasi Kolom Arah X

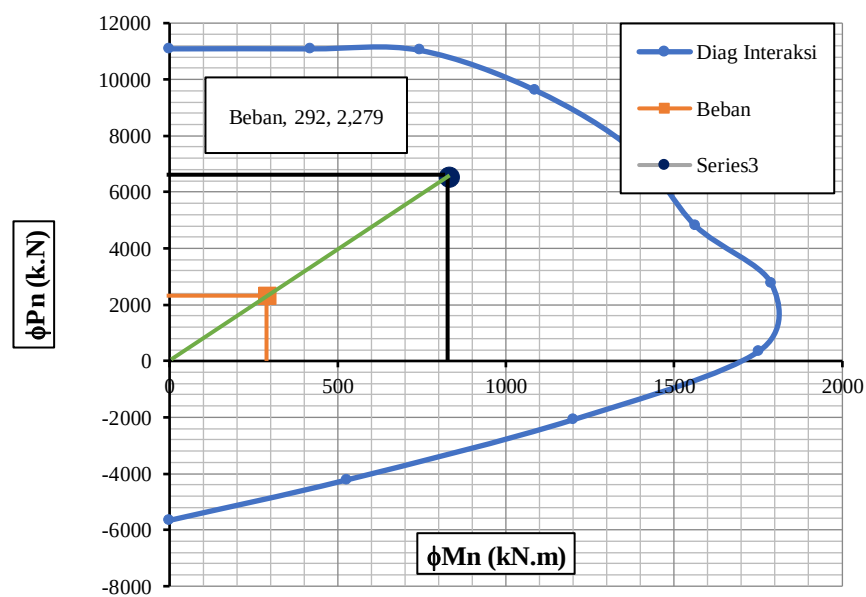
Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Tabel 4.31 Diagram Kolom Arah y

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	11.086,2513	0	292,0862	2.279,2374	6.494	832	0,351
2	11.086,2513	418,5716					
3	11.032,7359	743,6578					
4	9.608,5054	1.087,8007					
5	7.449,9857	1.382,4635					
6	4.797,1382	1.563,5979					
7	2.741,7833	1.789,2516					
8	338,795	1.750,9137					
9	-2.080,2403	1.201,4534					
10	-4.221,0179	527,8611					
11	-5.660,7066	0					



Gambar 4. 24 Diagram Interkasi Kolom Arah Y

Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Kapasitas Gaya Geser Kolom

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

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$h = 850 \text{ mm}$$

$$dx = 787 \text{ mm}$$

$$dy = 787 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Luas kolom}(A_g) &= b \times h \\ &= 850 \times 850 \\ &= 722.500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$P_u = 2.279,2374 \text{ kN}$$

$$V_u - x = 257,9222 \text{ kN}$$

$$V_u - y = 224,3886 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– Geser Arah X

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{2.279,2374}{14.722.500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 850 \cdot 787 : 1.000 \\ &= 418,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

$$\text{Tulangan Geser Terpasang} = 30 \text{ D12} - 100$$

$$\begin{aligned} A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\ &= 3.392,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{3.845,31 \cdot 420 \cdot 787}{100} : 1.000 \\ &= 4.806,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 418,19 + 4.806,41 \\
 &= 5.224,60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 5.224,60 \text{ kN} > V_u - x = 257,9222 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx \\
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{2.279,2374}{14.722.500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 850 \cdot 787 : 1.000 \\
 &= 418,19 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 30 D12 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\
 &= 3.392,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{3.845,31 \cdot 420 \cdot 787}{100} : 1.000 \\
 &= 4.806,41 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 418,19 + 4.806,41 \\
 &= 5.224,60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 5.224,60 \text{ kN} > V_u - y = 257,9222 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Pengekangan Kolom (*confinement*)

$$f_c = 25 \text{ Mpa} \quad d = 787 \text{ mm}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa} \quad d' = 63 \text{ mm}$$

$$b = 850 \text{ mm} \quad d_s = 12 \text{ mm}$$

$$h = 850 \text{ mm} \quad d_t = 22 \text{ mm}$$

Selimut Beton (s) = 40 mm

Luas kolom (A_g) = 722.500 mm²

Lebar inti (bc) = 758 mm

$$\text{Tinggi Inti (hc)} = 758 \text{ mm}$$

$$\text{Luas inti (Ach)} = 574.564 \text{ mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X :

$$\begin{aligned} \text{Ash1/sx} &= 0,3 \times \left(\frac{758 \cdot 25}{420} \right) \times (722.500 : 574.564 - 1) \\ &= 3,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash2/sx} &= 0,09 \times \left(\frac{758 \cdot 25}{420} \right) \\ &= 4,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D12 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{Av/Sx} &= 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100 \\ &= 4,52 \text{ mm}^2 > 4,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (758:100) : 1.000 \\ &= 1.495,33 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 2.229,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah Y :

$$\begin{aligned} \text{Ash1/sx} &= 0,3 \times \left(\frac{758 \cdot 25}{420} \right) \times (722.500 : 574.564 - 1) \\ &= 3,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash2/sx} &= 0,09 \times \left(\frac{758 \cdot 25}{420} \right) \\ &= 4,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D12 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{Av/Sx} &= 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100 \\ &= 4,52 \text{ mm}^2 > 4,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (758:100) : 1.000 \\ &= 1.495,33 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 2.229,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

○ Kolom 3 Dimensi 80 cm x 80 cm

– Penulangan

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

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

$$P_u = 2.279,2347 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\Sigma \text{ Tulangan arah X} = 10 \text{ BUAH}$$

$$\Sigma \text{ Tulangan arah Y} = 10 \text{ BUAH}$$

$$\begin{aligned} d' &= 40 + 12 + 22 / 2 \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= 800 - 63 \\ &= 737 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= 800 - 63 \\ &= 737 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah X} &= (800 - 2 \times 63) : (10 - 1) \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 75 - 22 = 53 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah Y} &= (800 - 2 \times 63) : (10 - 1) \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 75 - 22 = 53 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Tulangan} &= 2 \times (10 - 2) + (10 - 2) + 4 \\ &= 36 \text{ Buah} \end{aligned}$$

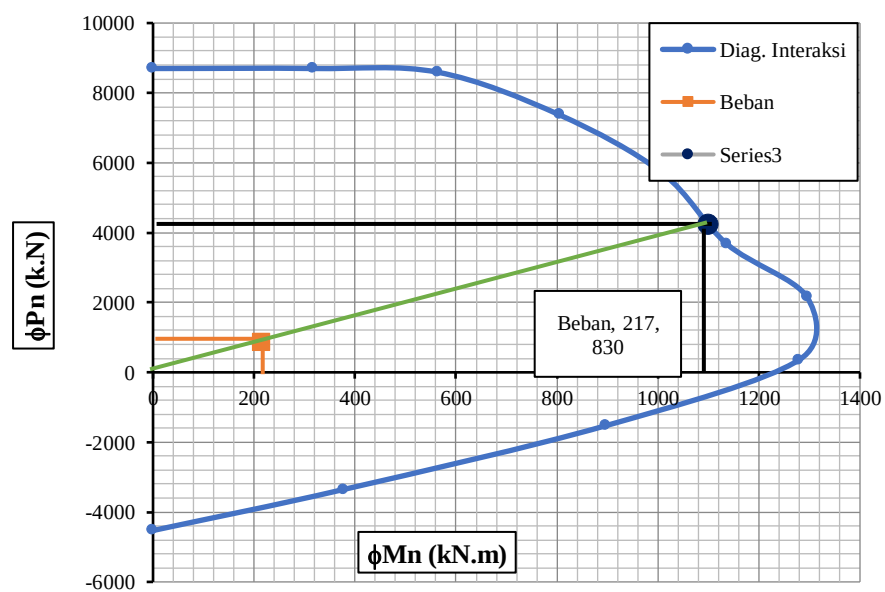
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{36 \times 3,14 \times 22^2}{4} \\ &= 13.684,8 \text{ mm}^2 \\ &= \left(\frac{13.684,8}{800 \times 800} \right) \% = 2,14 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 800 \times 800 \times 25}{1.000} \\ &= 1.600 \text{ kN} < P_u 2.279,2347 \text{ kN} \end{aligned}$$

– Diagram Interaksi Kolom Arah X

Tabel 4.32 Diagram Kolom Arah x

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	9.864,3637	0	101,13	2.279,2347	8.733	387	0,261
2	9.864,3637	165,0786					
3	9.767,3824	292,1566					
4	8.420,9903	418,8163					
5	6.529,4204	527,615					
6	4.224,3582	595,5914					
7	2.488,0475	681,1081					
8	432,4423	672,9392					
9	-1.718,8165	470,2237					
10	-3.721,0773	205,8127					
11	-5.094,636	0					



Gambar 4. 25 Diagram Interkasi Kolom Arah X

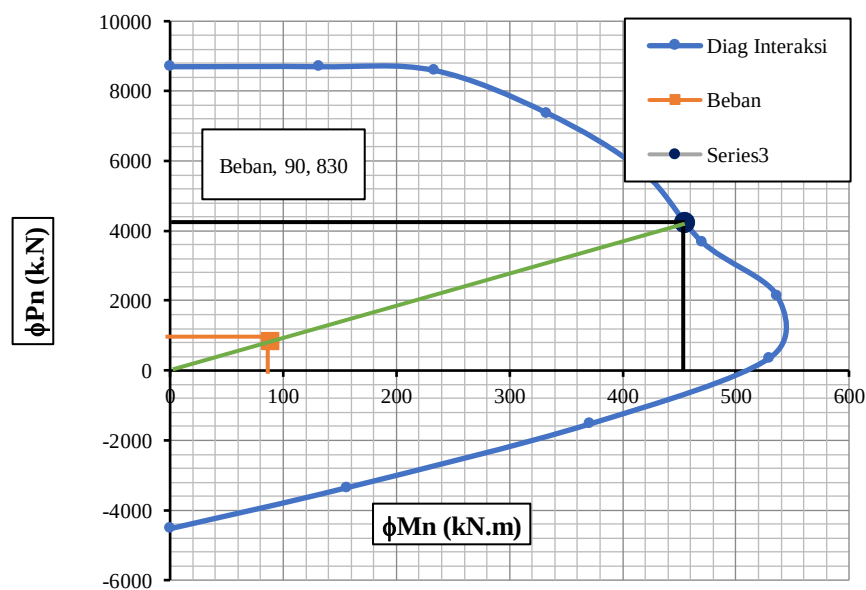
Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Tabel 4.33 Diagram Kolom Arah y

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	9.864,3637	0	231,9704	2.279,2347	8.733	889	0,261
2	9.864,3637	378,644					
3	9.767,3824	670,1252					
4	8.420,9903	960,6469					
5	6.529,4204	1.210,200					
6	4.224,3582	1.366,194					
7	2.488,0475	1.562,270					
8	432,4423	1.543,534					
9	-1.718,8165	1.078,561					
10	-3.721,0773	472,0765					
11	-5.094,636	0					



Gambar 4. 26 Diagram Interkasi Kolom Arah Y

Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Kapasitas Gaya Geser Kolom

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

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

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

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

$$dx = 737 \text{ mm}$$

$$dy = 737 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Luas kolom}(A_g) &= b \times h \\ &= 800 \times 800 \\ &= 640.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$P_u = 2.279,2347 \text{ kN}$$

$$V_u - x = 206,2323 \text{ kN}$$

$$V_u - y = 207,2101 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– Geser Arah X

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{2.279,2347}{14.640.000} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 800 \cdot 737 : 1.000 \\ &= 368,5937 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

$$\text{Tulangan Geser Terpasang} = 30D12 - 100$$

$$\begin{aligned} A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\ &= 3.392,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{3.392,92 \cdot 420 \cdot 637}{100} : 1.000 \\ &= 4.501,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 368,5937 + 4.501,05 \\
 &= 4.869,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 4.869,64 \text{ kN} > V_u - x = 206,2323 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx \\
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{2.279,2347}{14.640.000} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 800 \cdot 737 : 1.000 \\
 &= 368,5937 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 30D12 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\
 &= 3.392,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{3.392,92 \cdot 420 \cdot 637}{100} : 1.000 \\
 &= 4.501,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 368,5937 + 4.501,05 \\
 &= 4.869,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 4.869,64 \text{ kN} > V_u - y = 207,2101 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Pengekangan Kolom (*confinement*)

$$f_c = 25 \text{ Mpa} \quad d = 735,5 \text{ mm}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa} \quad d' = 64,5 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm} \quad d_s = 12 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm} \quad d_t = 22 \text{ mm}$$

Selimut Beton (s) = 40 mm

Luas kolom (A_g) = 640.000 mm²

Lebar inti (bc) = 708 mm

$$\text{Tinggi Inti (hc)} = 708 \text{ mm}$$

$$\text{Luas inti (Ach)} = 501.264 \text{ mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X :

$$\begin{aligned} \text{Ash1/sx} &= 0,3 \times \left(\frac{708 \cdot 25}{420} \right) \times (640.000 : 501.264 - 1) \\ &= 3,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash2/sx} &= 0,09 \times \left(\frac{708 \cdot 25}{420} \right) \\ &= 3,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Geser} = 4 \text{ D12} - 100 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{Av/Sx} &= 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100 \\ &= 4,52 \text{ mm}^2 > 3,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vs} &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (708:100) : 1.000 \\ &= 1.397,48 \text{ kN} < \text{Vmaks} = 1.96133 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah Y :

$$\begin{aligned} \text{Ash1/sx} &= 0,3 \times \left(\frac{708 \cdot 25}{420} \right) \times (640.000 : 501.264 - 1) \\ &= 3,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash2/sx} &= 0,09 \times \left(\frac{708 \cdot 25}{420} \right) \\ &= 3,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Geser} = 4 \text{ D12} - 100 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{Av/Sx} &= 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100 \\ &= 4,52 \text{ mm}^2 > 3,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vs} &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (708:100) : 1.000 \\ &= 1.397,48 \text{ kN} < \text{Vmaks} = 1.96133 \text{ kN} \end{aligned}$$

○ Kolom 4 Dimensi 75 cm x 75 cm

– Penulangan

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

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

$$P_u = 127,5651 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan arah X} = 9 \text{ BUAH}$$

$$\sum \text{Tulangan arah Y} = 9 \text{ BUAH}$$

$$\begin{aligned} d' &= 40 + 12 + 22 / 2 \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= 750 - 63 \\ &= 687 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= 750 - 63 \\ &= 687 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah X} &= (750 - 2 \times 63) : (7 - 1) \\ &= 78 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 76 - 22 = 56 \quad \mathbf{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan arah Y} &= (750 - 2 \times 63) : (9 - 1) \\ &= 78 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 78 - 22 = 56 \quad \mathbf{OK}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \times (9 - 2) + (9 - 2) + 4 \\ &= 32 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{28.3,14 \cdot 22^2}{4} \\ &= 12.164,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

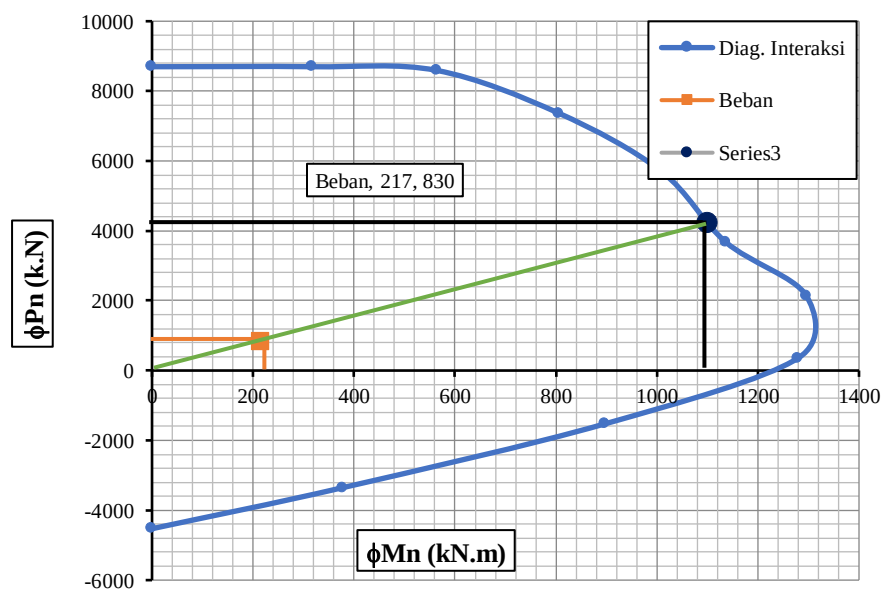
$$= \left(\frac{12.164,2}{750 \cdot 750} \right) \% = 2,16 \%$$

$$\begin{aligned} 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 750 \times 750 \times 25}{1.000} \\ &= 1.406,3 \text{ kN} > P_u 830,1230 \text{ kN} \end{aligned}$$

– Diagram Interaksi Kolom Arah X

Tabel 4.34 Diagram Kolom Arah x

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	8.697,726	0	216,53	830,1230	4.214	1.099	0,197
2	8.697,726	317,6888					
3	8.592,6279	563,5882					
4	7.372,4991	804,6847					
5	5.709,2566	1008,072					
6	3.672,5456	1136,472					
7	2.148,6803	1295,36					
8	357,9424	1279,664					
9	-1.528,1785	896,532					
10	-3.352,9071	377,7631					
11	-4.528,5653	0					



Gambar 4. 27 Diagram Interkasi Kolom Arah X

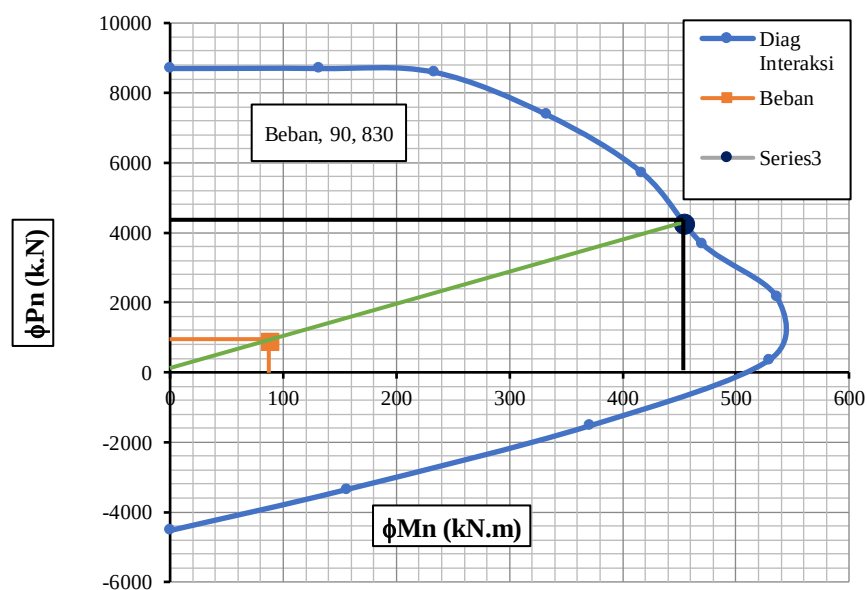
Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Tabel 4.35 Diagram Kolom Arah x

Point	Diagram Interaksi		Beban terfaktor		kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	M3 kN/m	Pu kN/m	ϕP_n kN	ϕM_n Kn/m	Rasio
1	8.697,726	0	89,6406	830,1230	4.214	455	0,197
2	8.697,726	131,5165					
3	8.592,6279	233,3138					
4	7.372,4991	333,1227					
5	5.709,2566	417,3209					
6	3.672,5456	470,4758					
7	2.148,6803	536,2521					
8	357,9424	529,7546					
9	-1.528,1785	371,1456					
10	-3.352,9071	156,3861					
11	-4.528,5653	0					



Gambar 4. 28 Diagram Interkasi Kolom Arah Y

Keterangan :

- = Batas arah ϕP_n dan ϕM_n
- = Untuk garis Vertikal (beban terfaktor) nilai M_n
Untuk garis Horizontal (beban terfaktor) nilai P_u
- = Untuk garis Vertikal nilai kapasitas ϕM_n
Untuk garis Horizontal nilai kapasitas ϕP_n

– Kapasitas Gaya Geser Kolom

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

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

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

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

$$dx = 687 \text{ mm}$$

$$dy = 687 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Luas kolom}(A_g) &= b \times h \\ &= 750 \times 750 \\ &= 562.500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$P_u = 830,123 \text{ kN}$$

$$V_u - x = 131,6217 \text{ kN}$$

$$V_u - y = 171,7527 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

– Geser Arah X

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{830,123}{14.562.500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 750 \cdot 687 : 1.000 \\ &= 322,0652 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

$$\text{Tulangan Geser Terpasang} = 30D12 - 100$$

$$\begin{aligned} A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\ &= 3.392,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{3.392,92 \cdot 420 \cdot 687}{100} : 1.000 \\ &= 4.517,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 322,0652 + 4.517,75 \\
 &= 5.077,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 4.517,75 \text{ kN} > V_u - x = 131,6217 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot dx \\
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{830,123}{14.562.500} \right) \cdot \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 750.687 : 1.000 \\
 &= 322,0652 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 30D12 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= 30 \times 3,14 \times 12^2 : 4 \\
 &= 3.392,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v f_y dx}{s} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{3.392,92 \cdot 420 \cdot 687}{100} : 1.000 \\
 &= 4.517,75 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 322,0652 + 4.517,75 \\
 &= 5.077,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 4.517,75 \text{ kN} > V_u - y = 171,7527 \text{ kN} \quad \mathbf{Ok}$$

– Pengekangan Kolom (*confinement*)

$$f_c = 25 \text{ Mpa} \quad d = 685,5 \text{ mm}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa} \quad d' = 64,5 \text{ mm}$$

$$b = 750 \text{ mm} \quad d_s = 12 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm} \quad d_t = 22 \text{ mm}$$

Selimut Beton (s) = 40 mm

Luas kolom (A_g) = 562.500 mm²

Lebar inti (bc) = 658 mm

$$\text{Tinggi Inti (hc)} = 658 \text{ mm}$$

$$\text{Luas inti (Ach)} = 432.964 \text{ mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X :

$$\begin{aligned} \text{Ash1/sx} &= 0,3 \times \left(\frac{685,5 \cdot 25}{420} \right) \times (562.500 : 432.964 - 1) \\ &= 3,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash2/sx} &= 0,09 \times \left(\frac{685,5 \cdot 25}{420} \right) \\ &= 3,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D12 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{Av/Sx} &= 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100 \\ &= 4,52 \text{ mm}^2 > 3,533 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (685,5 : 100)) : 1.000 \\ &= 1.302,47 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 1.713,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah Y :

$$\begin{aligned} \text{Ash1/sx} &= 0,3 \times \left(\frac{685,5 \cdot 25}{420} \right) \times (562.500 : 432.964 - 1) \\ &= 3,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash2/sx} &= 0,09 \times \left(\frac{685,5 \cdot 25}{420} \right) \\ &= 3,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D12 – 100 mm

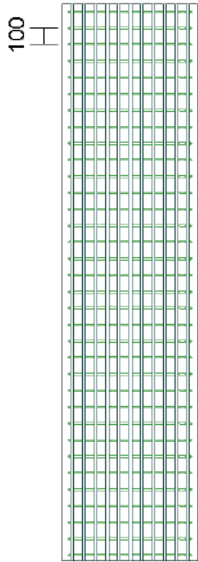
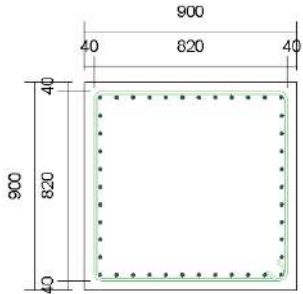
Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{Av/Sx} &= 4 \times \left(\frac{3,14 \cdot 12^2}{4} \right) : 100 \\ &= 4,52 \text{ mm}^2 > 3,533 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times (685,5 : 100)) : 1.000 \\ &= 1.302,47 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 1.713,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

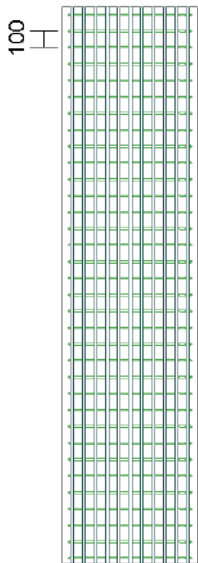
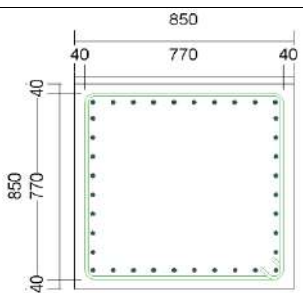
○ Detail Penulangan Kolom

– Detail Penulangan Kolom 900 x 900 mm

ELEVASI	TIPE KOLOM		K1
	DIMENSI	900 x 900	
	TULANGAN	44 D22	
	SENGKANG	30 D12 – 100	
	PENGIKAT	Arah x	4D12 – 100
		Arah y	4D12 – 100
3.500 mm			

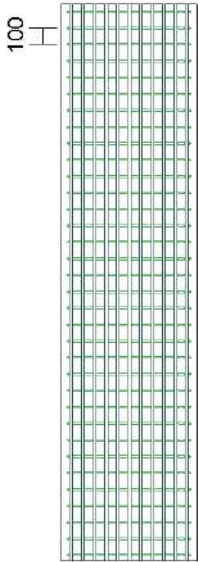
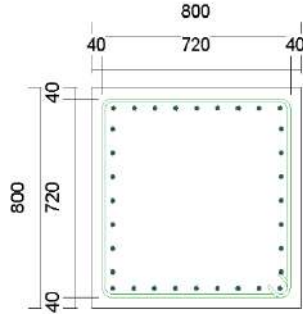
Gambar 4. 29 Dimensi Kolom 900 x 900 mm

– Detail penulangan kolom 850 x 850 mm

ELEVASI	TIPE KOLOM		K2
	DIMENSI	850 x 850	
	TULANGAN	40 D22	
	SENGKANG	30 D12 – 100	
	PENGIKAT	Arah x	4D12 – 100
		Arah y	4D12 – 100
3.500 mm			

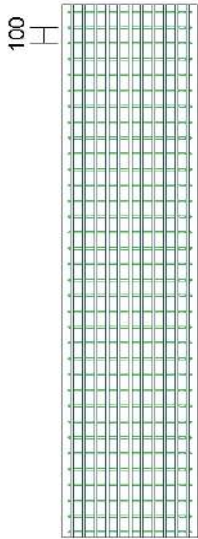
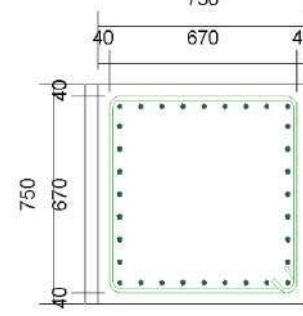
Gambar 4. 30 Dimensi Kolom 850 x 850 mm

– Detail penulangan kolom 800 x 800 mm

ELEVASI	TIPE KOLOM		K3
	DIMENSI	800 x 800	
	TULANGAN	36 D22	
	SENGKANG	30 D12 – 100	
	PENGIKAT	Arah x	4D12 – 100
		Arah y	4D12 – 100
3.500 mm			

Gambar 4. 31 Dimensi Kolom 850 x 850 mm

– Detail penulangan kolom 750 x 750 mm

ELEVASI	TIPE KOLOM		K4
	DIMENSI	800 x 800	
	TULANGAN	32 D22	
	SENGKANG	30 D12 – 100	
	PENGIKAT	Arah x	4D12 – 100
		Arah y	4D12 – 100
3.500 mm			

Gambar 4. 32 Dimensi Kolom 850 x 850 mm

4.7 Pembahasan

Dalam proses perencanaan struktur, acuan utama yang digunakan adalah SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non-gedung. Standar ini memberikan pedoman dalam menentukan klasifikasi seismik wilayah, kategori tingkat risiko bangunan, serta pemilihan sistem struktur yang tepat untuk menghadapi beban gempa.

Sementara itu, untuk perencanaan elemen struktural seperti kolom, balok, dan pelat lantai, digunakan SNI 2847:2019, yang mengatur persyaratan struktur beton bertulang untuk bangunan gedung. Standar ini menjadi dasar dalam menentukan dimensi elemen, penempatan dan jumlah tulangan, serta detailing struktur agar memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas yang diperlukan.

Seluruh tahapan perencanaan dilakukan secara menyeluruh dan saling terintegrasi, dengan mempertimbangkan aspek keamanan struktural, kemampuan deformasi plastis (daktilitas), serta efisiensi dalam penggunaan material. Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan, pembahasan lebih lanjut disajikan sebagai berikut:

1. Analisa periode ragam getar dan frakuensi getar

Hasil Analisa periode ragam getar dan frakuensi getar (*UN-Crack*) bebas tabel 4.3 di dapat nilai $T_c = 1,645$ second dan Analisa periode ragam getar dan frakuensi getar (*Crack*) bebas di dapat nilai $T_c = 1,886$ nilai maksimum disyarat kan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 tidak boleh melebihi nilai maksimum C_u . T_a yang di hitung $= 1,886 < T_{cx} = 1,1645$ C_u . T_a yang di hitung $= 1,886 < T_{cy} = 1,911$, dan maka gunakan $T = 1,856$

2. Analisa base share

Hasil analisis base shear setelah dilakukan koreksi, diperoleh bahwa besar gaya geser dasar untuk arah X maupun arah Y telah memenuhi persyaratan minimum $\geq 100\% V_n$ sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.

3. Analisa modal respon sepktrum

Hasil analisis penampang utuh tanpa retak diperoleh bahwa pada mode ke – 10 nilai partisipasi massa kumulatif telah mencapai $\geq 90\%$, yang

menunjukkan bahwa jumlah mode yang ditinjau telah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1 terkait peninjauan ragam getar.

4. Pemeriksaan story drift

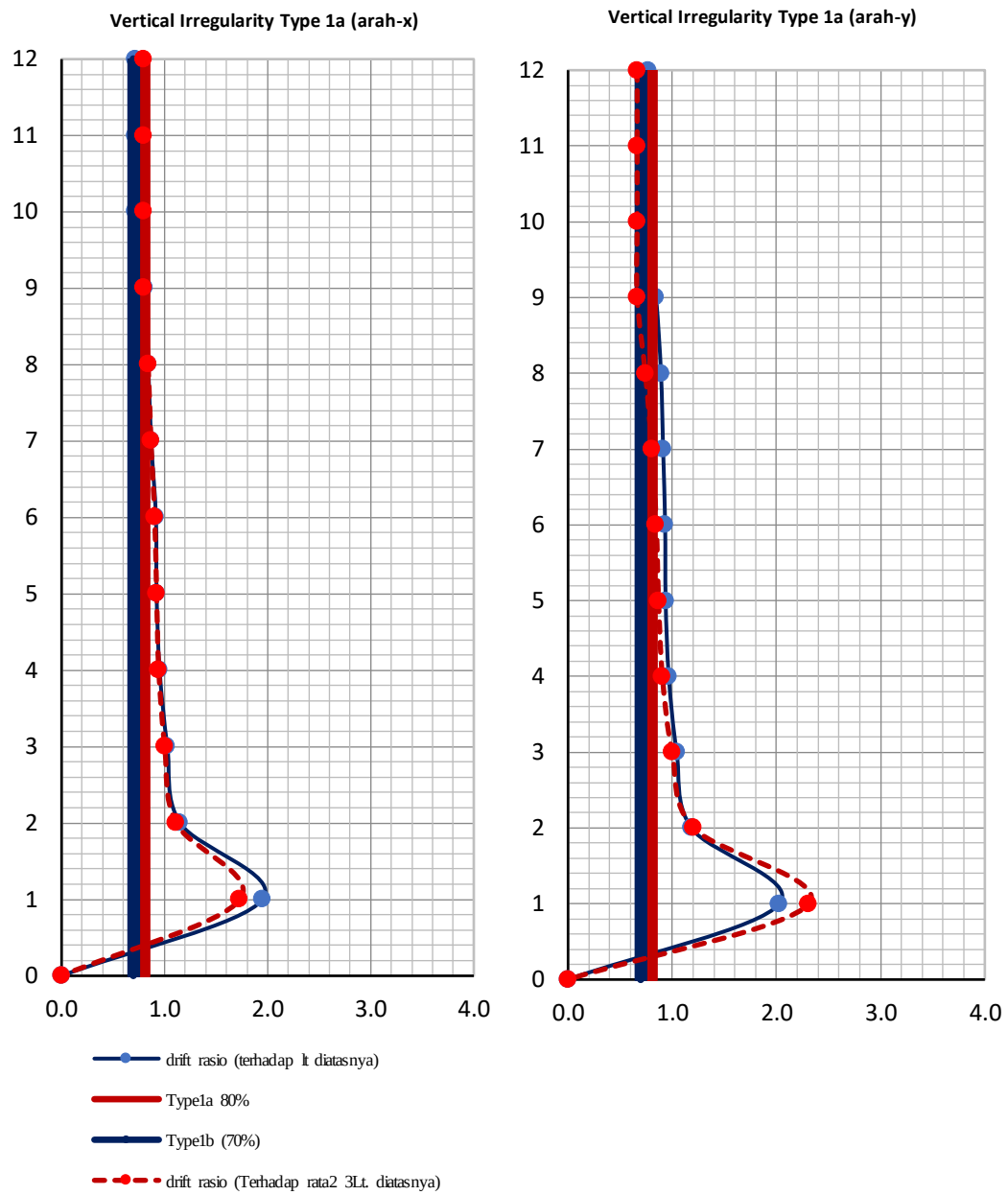
Hasil analisis pemeriksaan simpangan antar tingkat (story drift), diperoleh bahwa deformasi pada masing-masing tingkat masih berada dalam batas yang diizinkan sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, di mana simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung sebagai selisih perpindahan pusat massa tingkat atas dan tingkat bawah dari tingkat yang ditinjau.

5. Pengaruh P- Δ

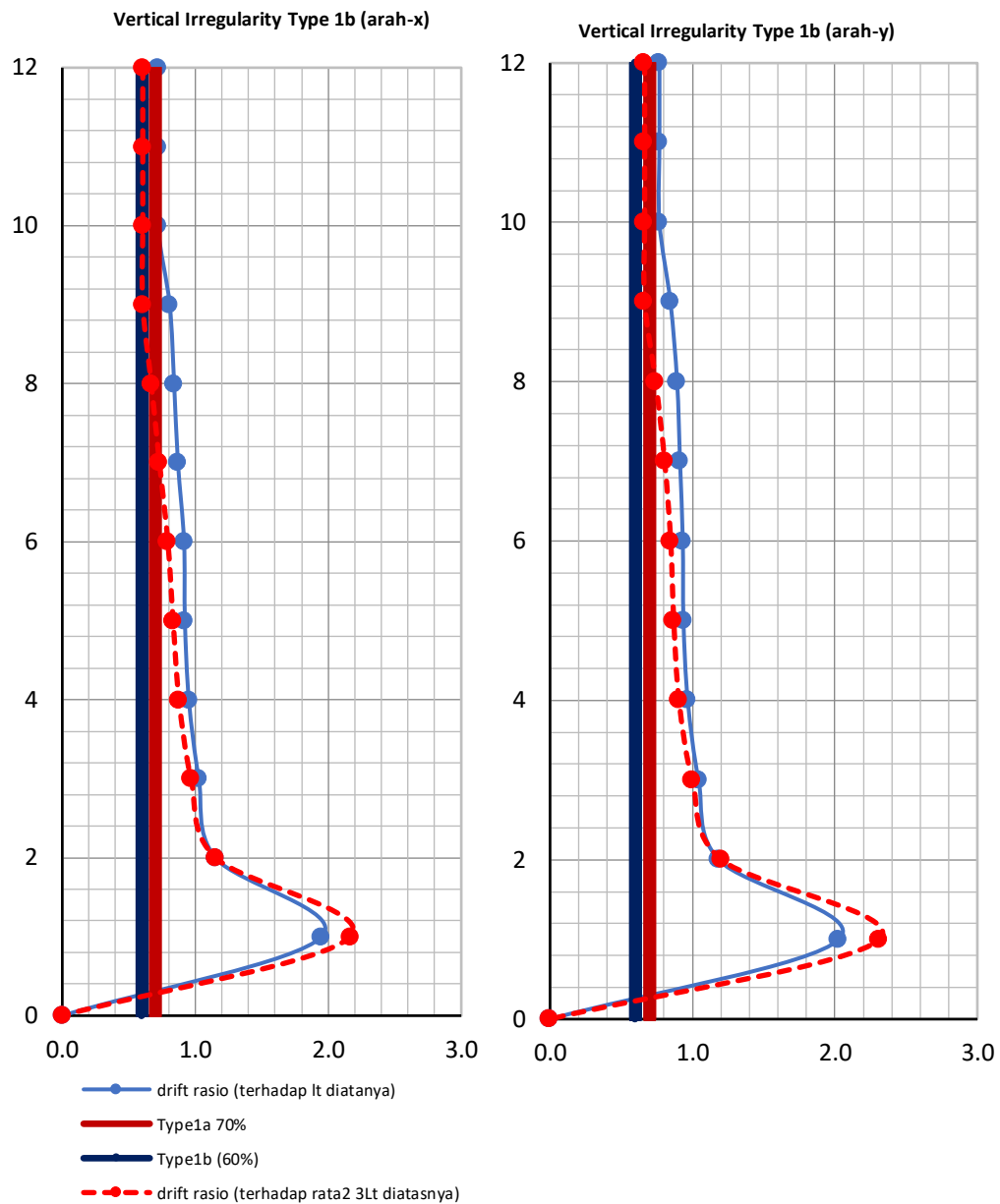
Hasil analisis efek P- Δ diperoleh bahwa nilai rasio $\theta < 0,1$ sehingga sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, pengaruh efek P- Δ dapat diabaikan dalam perancangan struktur.

6. Ketidak beraturan Vertikal

Hasil pemeriksaan struktur terhadap ketidakaturan vertikal, ditemukan adanya indikasi ketidakaturan vertikal tipe 1a dan 1b pada beberapa tingkat bangunan. Hal ini ditunjukkan oleh perbedaan kekakuan lateral antar tingkat yang signifikan, khususnya pada lantai tengah hingga atas. Namun demikian, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.4 Tabel 14, kondisi tersebut masih dalam batas yang dapat diterima, selama nilai kekakuan lateral suatu tingkat tidak kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya (untuk tipe 1a), atau tidak kurang dari 80% terhadap rata-rata kekakuan lateral tiga tingkat di atasnya (untuk tipe 1b). Dalam kasus ini, meskipun terdapat beberapa nilai rasio kekakuan antar tingkat yang mendekati batas minimum, secara umum struktur masih berada dalam ambang toleransi yang diizinkan oleh standar. Oleh karena itu, struktur tetap dapat dianggap memenuhi syarat, namun disarankan agar dilakukan kajian lebih lanjut terhadap distribusi kekakuan vertikal secara menyeluruh guna memastikan performa seismik bangunan tetap optimal dan tidak terjadi konsentrasi deformasi yang berlebihan pada tingkat-tingkat tertentu. Dilihat Pada gambar 4.33 dan 4.34 sebagai berikut :



Gambar 4. 33 Grafik Displacement Pemeriksaan story drift arah sumbu x dan sumbu y

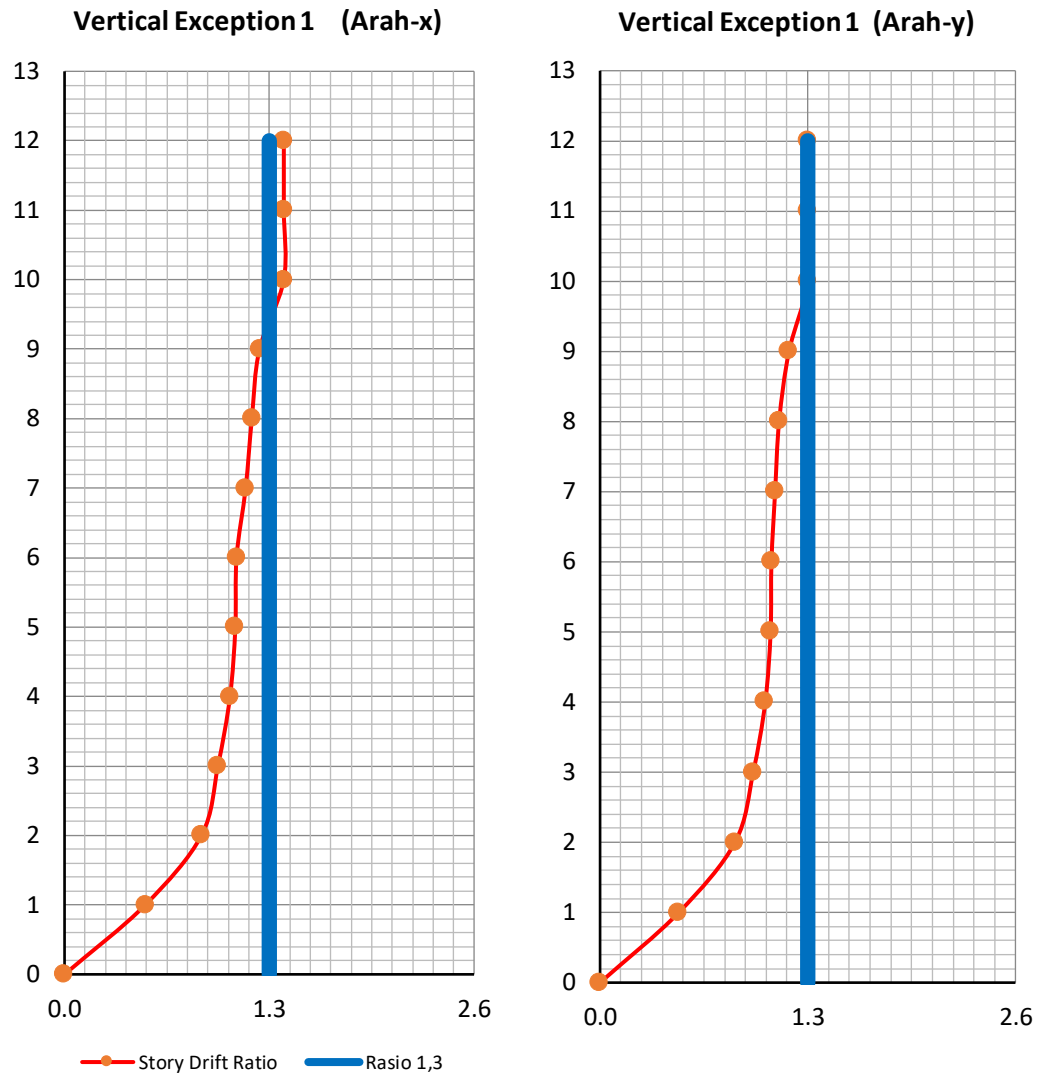


Gambar 4. 34 Grafik vertical irregularity type 1b arah sumbu X dan sumbu Y

7. Pemeriksaan story drift ratio (*exception*)

Berdasarkan hasil pemeriksaan rasio simpangan antar tingkat (story drift ratio) pada arah X melebihi 1,3 ratio tingkat di atas nya dan sedangkan Y, bahwa nilai rasio tersebut tidak melebihi 1,3 kali rasio tingkat di atasnya, sehingga tidak diperlukan penambahan pembesaran torsi tak terduga, sesuai

dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2. sesuai dengan gambar grafik di bawah ini :



Gambar 4. 35 Grafik vertical exception 1 arah X dan arah Y

Untuk perencanaan elemen struktural seperti kolom, balok, dan pelat lantai, digunakan SNI 2847:2019, yang mengatur persyaratan struktur beton bertulang untuk bangunan gedung dan nongedung. Standar ini menjadi dasar dalam menentukan dimensi elemen, penempatan dan jumlah tulangan, serta detailing struktur agar memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas yang diperlukan. Berikut hasil Analisa penulangan plat, balok dan kolom:

1. Plat lantai

○ Hasil Analisa Penulangan M11

Tabel 4.36 analisa penulangan M11

	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Tumpuan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
Arah x M11 Mtp	46,326	5,2959	OK
Arah y M11 Mlp	46,385	4,861	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

○ Hasil Analisa Penulangan M22

Tabel 4.37 analisa penulangan M22

	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Tumpuan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
Arah x M22 Mtp	46,367	4,487	OK
Arah y M22 Mlp	46,320	4,9998	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil Analisa penulangan plat lantai pada Tabel di atas, dapat diketahui bahwa desain penulangan pelat lantai telah sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia SNI 2847:2019 mengenai persyaratan struktur beton untuk bangunan gedung. Pemenuhan ini mencakup aspek kecukupan tulangan dalam menahan gaya lentur serta kesesuaian terhadap ketentuan detailing tulangan, yang mendukung tercapainya kriteria kekuatan, daktilitas, dan keselamatan struktur sebagaimana disyaratkan dalam standar SNI.

2. Balok

○ Hasil Analisa Balok 1 Dimensi 450 x 650 mm

Tabel 4.38 hasil Analisa Tumpuan Balok 1 Dimensi 450 x 650 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur Tumpuan			
Tumpuan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
ATAS	408,6134	361,8053	OK
BAWAH	354,2399	313,40925	OK
Kapasitas Geser			
jarak (mm)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
100	563,129	54,684	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Tabel 4.39 hasil Analisa Lapangan Balok 1 Dimensi 450 x 650 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur Tumpuan			
Lapangan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
ATAS	183,1197	126,02766	OK
BAWAH	183,1197	132,95862	OK
Kapasitas Geser			
jarak (mm)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
200	358,27389	54,684	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil analisa pada tabel 4.38 dan 4.39 penulangan balok 450×650 mm, diketahui bahwa penulangan longitudinal dan sengkang telah sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019. Desain tersebut memenuhi syarat kekuatan lentur dan geser, serta pengaturan jarak sengkang yang memenuhi aspek detailing untuk memastikan kekuatan, daktilitas, dan keselamatan struktur.

○ Hasil Analisa Balok 2 Dimensi 350 x 550 mm

Tabel 4.40 hasil Analisa Tumpuan Balok 2 Dimensi 350 x 550 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur Tumpuan			
Tulangan Tumpuan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
ATAS	149,2697	142,27733	OK
BAWAH	149,2697	104,28056	OK
Kapasitas Geser			
jarak (mm)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
100	93,22009	43,335	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Tabel 4.41 hasil Analisa Lapangan Balok 2 Dimensi 350 x 550 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur Tumpuan			
Tulangan Lapangan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
ATAS	101,2273	11,51104	OK
BAWAH	101,2273	16,70263	OK
Kapasitas Geser			
jarak (mm)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
200	275,24521	45,3435	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil analisa pada tabel 4.40 dan 4.41 penulangan balok 350×550 mm, diketahui bahwa penulangan longitudinal dan sengkang telah sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019. Desain tersebut memenuhi syarat kekuatan lentur dan geser, serta pengaturan jarak sengkang yang memenuhi aspek detailing untuk memastikan kekuatan, daktilitas, dan keselamatan struktur.

- Hasil Analisa Balok kantilever Dimensi 200×300 mm

Tabel 4.42 hasil Analisa Balok Kantilever Dimensi 200×300 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur Tumpuan			
Tulangan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
ATAS	45,09662	13,95381	OK
BAWAH	45,09662	9,32474	OK
Kapasitas Geser			
jarak (mm)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
150	139,36387	4,177	OK

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan hasil analisa pada tabel 4.42 penulangan balok kantilever 200×300 mm, diketahui bahwa penulangan longitudinal dan sengkang telah sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019. Desain tersebut memenuhi syarat kekuatan lentur dan geser, serta pengaturan jarak sengkang yang memenuhi aspek detailing untuk memastikan kekuatan, daktilitas, dan keselamatan struktur.

- Hasil Analisa Balok anak Dimensi 200×350 mm

Tabel 4.43 hasil Analisa Balok Anak Dimensi 200×350 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur Tumpuan			
Tulangan	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n > M_u$
ATAS	55,8082	20,971832	OK
BAWAH	55,8082	11,05287	OK
Kapasitas Geser			
jarak (mm)	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
150	168,66498	6,748	OK

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan hasil analisa pada tabel 4.43 penulangan balok kantilever 200×350 mm, diketahui bahwa penulangan longitudinal dan sengkang telah

sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019. Desain tersebut memenuhi syarat kekuatan lentur dan geser, serta pengaturan jarak sengkang yang memenuhi aspek detailing untuk memastikan kekuatan, daktilitas, dan keselamatan struktur.

- Kolom 1 dimensi 900 x 900 mm

Tabel 4.44 hasil Analisa kolom 900 x 900 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c > P_u$
	2.025	1.018,1856	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	Vu (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	9.416,4582	99,9026	OK
Y	9.416,4582	224,6043	OK
Pengengkangan Kolom			
Arah	Vs (kN)	Vmaks	Vs (kN) < Vmaks
X	1.590,33	2.511	OK
Y	1.590,33	2.511	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil Analisa pada tabel 4.44 kolom 900×900 mm, Nilai $0,1x A_g x f'_c > P_u$, sehingga persyaratan kekuatan aksial terpenuhi. kapasitas geser ϕV_n pada arah X dan Y $> V_u$, mampu menahan gaya geser. Pengekangan kolom dengan nilai Vs < Vmaks mengindikasikan bahwa telah memenuhi ketentuan SNI 2847:2019.

- Kolom 2 Dimensi 850 x 850 mm

Tabel 4.45 hasil Analisa kolom 850 x 850 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.806,3	2.279,2374	OK
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	Vu (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	5.224,60	257,9222	OK
Y	5.224,60	224,3886	OK
Pengengkangan Kolom			
Arah	Vs (kN)	Vmaks	Vs (kN) < Vmaks
X	1.495,33	2.229,83	OK
Y	1.495,33	2.229,83	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil Analisa pada tabel 4.45 kolom 850×850 mm, Nilai $0,1x A_g x f'_c < P_u$, sehingga persyaratan kekuatan aksial terpenuhi. kapasitas geser ϕV_n pada arah X dan Y $> V_u$, mampu menahan gaya geser. Dengan nilai $V_s < V_{maks}$ bahwa telah memenuhi ketentuan SNI 2847:2019.

- Kolom 3 Dimensi 800×800 mm

Tabel 4. 46 hasil Analisa kolom 800×800 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	P_u (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.600	2.279,2347	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	4.869,64	206,2323	OK
Y	4.869,64	207,2101	OK
Pengengkangan Kolom			
Arah	V_s (kN)	V_{maks}	V_s (kN) $< V_{maks}$
X	1.397,48	1.96133	OK
Y	1.397,48	1.96133	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil Analisa pada tabel 4.46 kolom 800×800 mm, Nilai $0,1x A_g x f'_c < P_u$, sehingga persyaratan kekuatan aksial terpenuhi. kapasitas geser ϕV_n pada arah X dan Y $> V_u$, mampu menahan gaya geser. Pengengkangan kolom nilai $V_s < V_{maks}$ bahwa telah memenuhi ketentuan SNI 2847:2019.

- Kolom 4 Dimensi 750×750 mm

Tabel 4.47 hasil Analisa kolom 750×750 mm

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	P_u (kN)	$0,1x A_g x f'_c > P_u$
	1.406,3	830,1230	OK
Kapasitas geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	4.517,75	131,6217	OK
Y	4.517,75	171,7527	OK
Pengengkangan Kolom			
Arah	V_s (kN)	V_{maks}	V_s (kN) $< V_{maks}$
X	1.302,47	1.713,75	OK
Y	1.302,47	1.713,75	OK

Sumber : Hasil Analisa,2025

Hasil Analisa pada tabel 4.47 kolom berukuran 750×750 mm, Nilai $0,1x A_g x f'_c > P_u$, sehingga persyaratan kekuatan aksial terpenuhi. kapasitas geser ϕV_n pada arah X dan Y $> V_u$, mampu menahan gaya geser. Pengekangan kolom dengan nilai $V_s < V_{maks}$ mengindikasikan bahwa telah memenuhi ketentuan SNI 2847:2019.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur bangunan rumah susun 12 lantai terhadap beban gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, dapat disimpulkan hal – hal berikut:

1. Struktur rumah susun 12 lantai telah berhasil dimodelkan menggunakan perangkat lunak ETABS dengan pendekatan tiga dimensi dan sistem struktur SRPMK. Model ini mempertimbangkan kombinasi beban gravitasi dan beban gempa secara menyeluruh.
2. Hasil analisis struktur beton bertulang terhadap beban gempa telah dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726:2019 mengenai ketahanan gempa, serta SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan non-gedung. Perhitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa struktur telah dirancang dengan tepat sesuai ketentuan kedua standar tersebut, sehingga memenuhi kriteria kekuatan dan kinerja seismik yang dipersyaratkan.
3. Hasil Analisa pada penulangan plat, balok dan kolom telah sesuai dengan acuan standar SNI 2847:2019 untuk mencari nilai momen lentur dan momen geser. Berikut dimensi tulangan :

- Balok

o Balok 1

Dimensi = 450 x 650 mm

Selimut beton = 40 mm

Tulangan atas tumpuan = 7 D19

Tulangan bawah tumpuan= 6 D19

Jarak Sengkang = 13 D12 – 100 mm

Tulangan atas lapangan = 3 D19

Tulangan bawah lapagam= 3 D19

Sengkang = 10 D12 – 150 mm

- Balok 2

Dimensi = 350 x 550 mm
 Selimut beton = 40 mm
 Tulangan atas tumpuan = 3 D19
 Tulangan bawah tumpuan = 3 D19
 Jarak Sengkang = 13 D12 – 100 mm
 Tulangan atas lapangan = 2 D19
 Tulangan bawah lapagam = 2 D19
 Sengkang = 10 D12 – 150 mm

- Balok kantilever

Dimensi = 200 x 300 mm
 Selimut beton = 40 mm
 Tulangan atas tumpuan = 2 D19
 Tulangan bawah tumpuan = 2 D19
 Sengkang = 31 D12 – 150 mm

- Balok anak

Dimensi = 200 x 350 mm
 Selimut beton = 40 mm
 Tulangan atas tumpuan = 2 D19
 Tulangan bawah tumpuan = 2 D19
 Sengkang = 31 D12 – 150 mm

- Kolom

- Kolom 1

Dimensi = 900 x 900 mm
 Tulangan Panjang = 44 D22
 Sengkang = 30 D12 – 100 mm
 Pengikat arah x = 4D12 – 100 mm
 Pengikat arah y = 4D12 – 100 mm

- Kolom 2

Dimensi = 850 x 850 mm
 Tulangan Panjang = 40 D22

Sengkang	= 30 D12 – 100 mm
Pengikat arah x	= 4D12 – 100 mm
Pengikat arah y	= 4D12 – 100 mm
○ Kolom 3	
Dimensi	= 800 x 800 mm
Tulangan Panjang	= 36 D22
Sengkang	= 30 D12 – 100 mm
Pengikat arah x	= 4D12 – 100 mm
Pengikat arah y	= 4D12 – 100 mm
○ Kolom 4	
Dimensi	= 750 x 750 mm
Tulangan Panjang	= 32 D22
Sengkang	= 30 D12 – 100 mm
Pengikat arah x	= 4D12 – 100 mm
Pengikat arah y	= 4D12 – 100 mm

Secara keseluruhan, struktur rumah susun ini dikategorikan aman secara struktural, mampu menahan beban gempa yang diperhitungkan, dan memenuhi prinsip desain Standar Nasional Indonesia.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pengembangan Metode Analisis

Penulis menyarankan agar penelitian selanjutnya dapat mengembangkan perancangan struktur bangunan tahan gempa dengan pendekatan yang lebih komprehensif. Penerapan (*pushover analysis*) sebagai metode evaluasi performa struktur secara nonlinier dapat menjadi pilihan yang efektif untuk mengidentifikasi titik-titik lemah yang tidak terungkap melalui metode analisis linier konvensional.

2. Ketelitian dalam desain struktur

Dianjurkan agar peneliti lebih memperhatikan ketelitian dalam menganalisis setiap elemen struktur. Aspek interaksi antar elemen, detail penulangan, serta

potensi pengaruh dari ketidakaturan bentuk atau distribusi massa bangunan harus menjadi fokus utama dalam proses desain untuk memastikan respons dinamis struktur yang optimal.

3. Penerapan Standar SNI 1726:2019

Penulis merekomendasikan agar pendekatan desain yang diterapkan tidak hanya memenuhi persyaratan minimum dalam standar, tetapi juga mengarah pada pencapaian performa seismik yang optimal. Hal ini sejalan dengan konsep *performance-based design* yang ditekankan dalam SNI 1726:2019, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan integritas bangunan saat menghadapi beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, Muhammad Hilman, Yoke Lestyowati, and Aryanto Aryanto (2022).
"Perencanaan Struktur Gedung Rumah Susun Tahan Gempa Di Kabupaten
Kubu Raya Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen." *JeLAST: Jurnal
Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang* 9.3.
- Afrizal, Afrizal, Rika Ampuh Hadiguna, and Taufika Ophiyandri (2020).
"Penerapan Standar Bangunan Tahan Gempa Dalam Detailed Engineering
Design Di Sumatera Barat." *Jurnal Rekayasa Sipil* 16.3: 166-177.
- Belo, Jose Manuel Freitas (2016). Studi perencanaan struktur tahan gempa dengan
sistem rangka pemikul momen pada bangunan gedung b teknologi
informasi dan ilmu komputer universitas brawijaya malang tahap i. Diss.
Itn malang.
- Hardatama, bintang friz; priana, surya eka; herista, febrimen. Perencanaan struktur
atas gedung kantor cv. Graha sungkai tengah jua bukittinggi.
- Irawan, H. (2015). Analisis Struktur Gedung 10 Lantai Hotel Batiqa Palembang
Terhadap Beban Gempa Berdasarkan Sni 03-1726-2019.
- Indarto, Himawan (2005). "Perhitungan Beban Gempa pada Bangunan Gedung
Berdasarkan Standar Gempa Indonesia yang Baru." *Media Komunikasi
dan Pengembangan Teknik Sipil* 14.1.
- Indah, N. C. (2024). Analisis Struktur Atas Gedung 4 Lantai Wisma Mulya
Syariah Kota Bukittinggi Terhadap Beban Gempa dengan Penerapan
Metode Pushover Analysis (Doctoral dissertation, Universitas
Muhammadiyah Sumatera Barat).
- Pradana, R., Santosa, B., & Wijayanti, A. (2020). Analisis Perilaku Struktur
Bangunan Bertingkat dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 12(2), 115–124.
- Sapta (2012). Tesis Perancangan berbasis kinerja pada struktur bangunan gedung
beton bertulang akibat beban gempa. Universitas Sriwijaya Palembang.
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan *R&D*. Alfabeta.

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.

Yuliani, D., & Setiawan, H. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Menggunakan Analisis
Pushover. Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 9(1), 45–52.

