

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG
APARTEMEN 12 LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN
SNI 1726:2019 DAN SNI 2847:2019**



SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

M HELMI ANANDA SAPUTRA

NPM. 21310024

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG APARTEMEN 12
LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
DAN SNI 2847:2019**



Disusun Oleh :

M HELMI ANANDA SAPUTRA

NPM. 21310024

Palembang, Juli 2025

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Menyetujui

Ketua Program Studi

Teknik Sipil




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

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG APARTEMEN 12
LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
DAN SNI 2847:2019**



Disusun Oleh :

M HELMI ANANDA SAPUTRA

NPM. 21310024

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing I

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'S' followed by a horizontal line and a small loop.

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

Dosen Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'R' and 'S' with a horizontal line through them.

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

HALAMAN PENGESAHAN

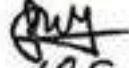
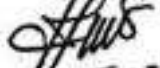
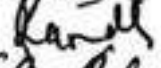
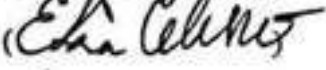
Skripsi ini di ajukan :

Nama : M Helmi Ananda Saputra
NPM : 21310024
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulang Apartemen 12
Lantai Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 dan
2847:2019

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

DEWAN PENGUJI :

1. Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU, Asean Eng
2. H.Robi Sahbar, S.T.,M.T
3. Amelia Rajela, S.T.,M.T
4. Dr.Ir.Ramadhani, S.T.,M.T.,IPM
5. Eka Wisnu Sumatri, S.T.,M.T

()
()
()
()
()

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M Helmi Ananda Saputra

NPM : 21310024

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulang Apartemen 12
Lantai Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 dan
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,


M Helmi Ananda Saputra

ABSTRAK

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

Sapta*, Robi Sahbar*, M Helmi Ananda Saputra **

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

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

Jakarta sebagai ibu kota Indonesia mengalami pertumbuhan penduduk dan pembangunan ekonomi yang pesat, diiringi dengan keterbatasan lahan dan tingginya harga properti. Kondisi ini mendorong permintaan terhadap hunian vertikal seperti apartemen, yang dianggap sebagai solusi efisien untuk memenuhi kebutuhan perumahan di tengah keterbatasan ruang. Perancangan Struktur Beton Bertulang Apartemen 12 Lantai yang menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai standar SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019 untuk wilayah rawan gempa. Bangunan berukuran 39x13 m dengan tinggi 42,5 m ini menggunakan beton mutu 30 MPa dan baja tulangan f_y 420 MPa, dengan dimensi balok b1 400x650 mm, balok b2 350x600mm, balok b3 200x400mm dan kolom k1 750x750 mm, kolom k2 700x700 mm, kolom 3 650x650 mm, kolom k1 lt 6-12 650x650 mm, dan kolom k2 lt 6-12 600x600 mm. Analisis struktur menunjukkan performa yang memenuhi semua persyaratan, kapasitas geser balok-kolom yang memenuhi ketentuan SNI 2847:2019, Hasil penelitian membuktikan bahwa desain SRPMK ini mampu menjamin keamanan dan kinerja komponen struktur bangunan Apartemen dalam menghadapi beban gempa.

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

ABSTARCT

**DESIGN OF CONCRETE STRUCTURE
REINFORCED 12 LANE APARTMENT
AGAINST WAVES
BASED ON SNI 1726:2019 AND SNI 2847:2019**

Sapta*, Robi Sahbar*, M Helmi Ananda Saputra**

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

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

Jakarta as the capital city of Indonesia is experiencing rapid population growth and economic development, accompanied by limited land and high property prices. This condition encourages the demand for vertical housing such as apartments, which are considered an efficient solution to meet housing needs in the midst of limited space, Design of 12-Storey Apartment Reinforced Concrete Structures that apply Special Moment Bearing Frame Systems (SRPMK) according to SNI 2847: 2019 and SNI 1726: 2019 standards for earthquake-prone areas. The building measuring 39x13 m with a height of 42.5 m uses 30 MPa quality concrete and 420 MPa fy reinforcing steel, with dimensions of b1 beam 400x650 mm, b2 beam 350x600mm, b3 beam 200x400mm and k1 column 750x750 mm, k2 column 700x700 mm, column 3 650x650 mm, k1 column lt 6-12 650x650 mm, and k2 column lt 6-12 600x600 mm. Structural analysis shows performance that meets all requirements, beam-column shear capacity that meets the provisions of SNI 2847: 019, The results prove that this SRPMK design is able to ensure the safety and performance of the Apartment building structure components in the face of earthquake loads.

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

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

“ Allah SWT tidak memberi cobaan diluar batas kemampuan Hambanya. Al-Baqarah ayat 286. ”

Skripsi ini adalah hasil dari Upaya kerja keras 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 satu sama lain, Memberi semangat, Serta saling berbagi suka dan duka dalam kebersamaan.

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 Apartemen 12 Lantai Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 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 Bapak H. Robi Sahbar,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 belajar .
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 Ayah (Sugimin) dan Ibu (Herlina), yang senantiasa Mendoakan ,Menasehati memberi arahan serta selalu Mensupport Anaknya ini untuk kuliah, walau anaknya belum memberikan hasil yang baik, Terima Kasih sekali lagi untuk Ayah dan Ibu yang selalu memenuhi kebutuhan anaknya kuliah tercukupi hingga sampai di titik penyusunan Skripsi Ini, karena saya bisa sampai di fase ini Berkat Usaha dan kerja keras orang tua yang tak pernah Lelah untuk anaknya.
6. Terima kasih kepada Sri Riski Maharani yang sudah mau direpotkan oleh kakak nya
7. Dea Maharani 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.
8. Terimakasih kepada sahabat KREAK Muamar Fitra Fahreza, Rahmadi Valdis, Asharul Khafi, Mozad Syahrul Ramadhan, Novalia Ramadhani, Syakira Suci Maharani yang telah banyak memberikan semangat dan arahan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
9. 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.
10. 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

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M Helmi Ananda Saputra', with a stylized arrow pointing to the right at the end of the signature.

M Helmi Ananda Saputra

DAFTAR ISI

PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG APARTEMEN 12 LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019 DAN SNI 2847:2019	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTARCT.....	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
<u>BAB I</u> PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Perencanaan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
<u>BAB II</u> TINJAUAN PUSAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Pembebanan Struktur	4
2.2.1 Beban Mati atau <i>Dead Load</i> (DL).....	5
2.2.2 Beban Hidup	9
2.2.3 Beban Gempa	13
2.3 Konsep Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	13
2.3.1 Klasifikasi Situs (Jenis Tanah).....	13
2.3.2 Percepatan Puncak (PGA) Pada Permukaan Tanah	14
2.3.3 Respon Spektral Percepatan S_{MS} dan S_{M1} pada Permukaan Tanah.....	17

2.3.4	Parameter Respon Spektral Percepatan Desain.....	19
2.3.5	Penentuan Respon Spektral Desain.....	19
2.3.6	Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa ...	20
2.3.7	Kategori Desain Gempa (KDG).....	21
2.3.8	Resiko Kegempaan.....	22
2.3.9	Gaya Geser Dasar Seismik.....	24
2.3.10	Periode Fundamental Alami.....	25
2.3.11	Pembesaran Momen Torsi Tidak Terduga.....	26
2.3.12	Simpangan Antar Tingkat	27
2.3.13	Efek P-Delta dan <i>Soft Storey</i>	28
2.4	Stabilitas Struktur.....	30
2.5	Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa.....	31
2.5.1	Kekuatan Perlu	32
2.5.2	Kekuatan Desain	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		49
3.1	Kerangka Berpikir Penelitian.....	49
3.2	Metode Pelaksanaan.....	50
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		52
4.1	Data Perencanaan Struktur.....	52
4.2	Data Percepatan Gempa	62
4.2.1	Kategori Risiko	63
4.2.2	Parameter Gempa	63
4.3	Pembebanan Struktur	64
4.3.2	Pembebanan Gempa.....	66
4.4	Penentuan Period Fundamental Struktur (T)	68
4.4.1	Model Respon Spektrum.....	70
4.4.2	Beban Geser Dasar Gempa	71
4.4.3	Simpangan (<i>Displacement</i>) Akibat Pengaruh Beban Gempa	72
4.4.4	Pemeriksaan Story Drifts	73
4.4.5	Beban Geser Dasar Gempa	75
4.4.6	Stabilitas Guling.....	76
4.4.7	Pengaruh P Delta.....	77

4.4.8	Ketidakteraturan Struktur Vertikal (Iregularitas Vertikal).....	78
4.4.9	Ketidakteraturan Struktur Horizontal (Iregularitas Horizontal).....	84
4.5	Kombinasi Beban.....	86
4.6	Desain Struktur Atas	87
4.6.1	Pelat Lantai.....	87
4.6.2	Balok	89
4.6.3	Kolom.....	102
4.6.4	Pengekang Kolom (<i>Confinement</i>)	120
4.7	Pembahasan.....	128
<u>BAB V</u> PENUTUP.....		143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran.....	143
DAFTAR PUSAKA.....		xix

DAFTAR TABEL

TABEL 2. 1 BEBAN MATI DESAIN MINIMUM (kN/m^2).....	6
TABEL 2. 2 BEBAN HIDUP TERDISTRIBUSI MERATA (kN/m^2)	10
TABEL 2. 3 KLASIFIKASI SITUS	14
TABEL 2. 4 KOEFISIEN SITUS F_{PGA}	16
TABEL 2. 5 KOEFISIEN PERIODE PENDEK (F_A)	18
TABEL 2. 6 KOEFISIEN PERIODE 1,0 DETIK (F_V)	18
TABEL 2. 7 KATEGORI RESIKO BANGUNAN GEDUNG DAN NON-GEDUNG UNTUK BEKAN GEMPA.....	21
TABEL 2. 8 FAKTOR KEUTAMAAN GEMPA.....	21
TABEL 2. 9 KATEGORI DASIN GEMPA (KDG) BERDASARKAN PARAMETER RESPON PERCEPATAN PERIODE PENDEK (S_{Ds})	22
TABEL 2. 10 KATEGORI DESAIN GEMPA (KDG) BERDASARKAN PARAMETER RESPON.....	22
TABEL 2. 11 TINGKAT RESIKO KEGEMPAAN	22
TABEL 2. 12 FAKTOR R , Ω_0 , DAN C_D UNTUK SISTEM PEMIKUL GAYA SEISMIK	23
TABEL 2. 13 KOEFISIEN UNTUK BATAS ATAS PADA PERIODE YANG DIHITUNG.....	25
TABEL 2. 14 NILAI PARAMETER PERIODE PENDEKATAN (C_T DAN x).....	26
TABEL 2. 15 SIMPANGAN ANTAR TINGKAT IZIN (Δ_{izin}).....	28
TABEL 2. 16 FAKTOR REDUKSI KEKUATAN (ϕ)	33
TABEL 2. 17 FAKTOR REDUKSI KEKUATAN UNTUK MOMEN, GAYA AKSIAL, ATAU KOMBINASI MOMEN DAN GAYA AKSIAL	33
TABEL 2. 18 FAKTOR REDUKSI KEKUATAN (ϕ) UNTUK SEKSI AKHIR DARI PRATEGANG.....	34
TABEL 4. 1 DIMENSI KOLOM	62
TABEL 4. 2 DIMENSI BALOK	62
TABEL 4. 3 PERIODA RAGAM GETAR FREKUENSI PADA SAAT KONDISI UN-CREAK	69
TABEL 4. 4 PERIODA RAGAM GETAR FREKUENSI PADA SAAT KONDISI CREAK.....	69
TABEL 4. 5 RASIO MODEL PARTISIPASI MASSA DALAM KONDISI UN-CRACK	70
TABEL 4. 6 RANGKUMAN BEBAN MATI DAN BEBAN HIDUP BERDASARKAN PASAL 7.7.2SNI 1726-2019	71
TABEL 4. 7 BASE SHEAR SEBELUM TERKOREKSI.....	72
TABEL 4. 8 BASE SHEAR SETELAH TERKOREKSI	72
TABEL 4. 9 DATA SIMPANGAN LANTAI AKIBAT BEBAN LATERAL	72
TABEL 4. 10 STORY DRIFT ARAH SUMBU X	74
TABEL 4. 11 STORY DRIFT ARAH SUMBU Y	74
TABEL 4. 12 RANGKUMAN BERAT STRUKTUR PER LANTAI	75
TABEL 4. 13 DISTRIBUSI GAYA GEMPA PER LANTAI ARAH SUMBU X.....	75
TABEL 4. 14 DISTRIBUSI GAYA GEMPA PER LANTAI ARAH SUMBU Y	76
TABEL 4. 15 PEMERIKSAAN P DELTA ARAH SUMBU X.....	77
TABEL 4. 16 PEMERIKSAAN P DELTA ARAH SUMBU Y.....	77

TABEL 4. 17 IREGULARITAS VERTIKAL TIPE 1A ARAH X.....	79
TABEL 4. 18 PEMERIKSAAN KETIDAKBERATURAN VERTIKAL TIPE 1B ARAH X....	81
TABEL 4. 19 IREGULARITAS VERTIKAL TIPE 1B ARAH Y.....	82
TABEL 4. 20 IREGULARITAS VERTIKAL TIPE 1B ARAH X.....	83
TABEL 4. 21 IREGULARITAS VERTIKAL TIPE 1B ARAH Y.....	84
TABEL 4. 22 FAKTOR PEMBESARAN TORSI TIDAK TERDUGA	85
TABEL 4. 23 DIMENSI BALOK B1.....	92
TABEL 4. 24 DIMENSI BALOK B2.....	95
TABEL 4. 25 DIMENSI BALOK B3.....	98
TABEL 4. 26 DIAGRAM INTERAKSI KOLOM ARAH X	104
TABEL 4. 27 DIAGRAM INTERAKSI KOLOM ARAH Y	104
TABEL 4. 28 DIAGRAM INTERAKSI KOLOM ARAH X	106
TABEL 4. 29 DIAGRAM INTERAKSI KOLOM ARAH Y	106
TABEL 4. 30 DIAGRAM INTERAKSI ARAH X.....	108
TABEL 4. 31 DIAGRAM INTERAKSI ARAH Y.....	108
TABEL 4. 32 DIAGRAM INTERAKSI ARAH X.....	110
TABEL 4. 33 DIAGRAM INTERAKSI ARAH Y.....	110
TABEL 4. 34 DIAGRAM INTERAKSI ARAH X.....	112
TABEL 4. 35 DIAGRAM INTERAKSI ARAH Y.....	112
TABEL 4. 36 TABEL PENULANGAN CONFINEMENT	127
TABEL 4. 37 PERIODE RAGAM GETAR	128
TABEL 4. 38 DATA PEMBEBANAN DALAM PERENCANAAN STRUKTUR	128
TABEL 4. 39 BASE SHEAR TERKOREKSI 100%.....	129
TABEL 4. 37 ANALISIS KOMPONEN STRUKTUR PELAT LANTAI.....	133
TABEL 4. 38 ANALISIS KOMPONEN STRUKTUR BALOK B1	133
TABEL 4. 39 ANALISIS KOMPONEN STRUKTUR BALOK B2	134
TABEL 4. 40 ANALISIS KOMPONEN STRUKTUR BALOK B3	134
TABEL 4. 41 ANALISA KOMPONEN STRUKTUR KOLOM K1 75x75.....	135
TABEL 4. 42 ANALISA KOMPONEN STRUKTUR KOLOM K2 70x70.....	136
TABEL 4. 43 ANALISA KOMPONEN STRUKTUR KOLOM K3 65x65.....	138
TABEL 4. 44 ANALISA KOMPONEN STRUKTUR KOLOM K1 Lt 6-12 65x65	139
TABEL 4. 45 ANALISA KOMPONEN STRUKTUR KOLOM K2 Lt 6-12 60x60	141

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2. 1 PGA GEMPA MAKSIMUM YANG DI PERTIMBANGKAN	15
GAMBAR 2. 2 PGA GEMPA MAKSIMUM YANG DI PERTIMBANGKAN	15
GAMBAR 2. 3 PGA GEMPA MAKSIMUM YANG DI PERTIMBANGKAN	16
GAMBAR 2. 4 SPEKTRUM RESPON DESAIN.....	20
GAMBAR 2. 5 FAKTOR PEMBESARAN TORSI (A_x)	27
GAMBAR 2. 6 PENENTUAN SIMPANGAN ANTAR TINGKAT	27
GAMBAR 2. 7 GAYA GESER RENCANA SRPMM	37
GAMBAR 2. 8 SENGGANG TERTUTUP YANG DIPASANG BERTUMPUK DAN ILUSTRASI BATASAN MAKSIMAL SPASI HORIZONTAL PENUMPUN BATANG LONGITUDINAL	41
GAMBAR 2. 9 CONTOH PENULANGAN TRANSVERSAL PADA KOLOM	44
GAMBAR 2. 10 CONTOH PENULANGAN TRANSVERSAL PADA KOLOM DENGAN	44
GAMBAR 2. 11 PERENCANAAN GESER DESAIN UNTUK KOLOM.....	45
GAMBAR 2. 12 LUAS EFEKTIF HUBUNGAN BALOK DAN KOLOM	47
GAMBAR 3. 1 FLOWCHART METODOLOGI PENELITIAN	50
GAMBAR 3. 2 FLOWCHART PERANCANGAN KOMPONEN STRUKTUR.....	51
GAMBAR 4. 1 PERSPEKTIF STRUKTUR BANGUNAN RENCANA	52
GAMBAR 4. 2 POTONGAN A-A STRUKTUR	
GAMBAR 4. 3 POTONGAN B-B STRUKTUR.....	53
GAMBAR 4. 4 POTONGAN C-C STRUKTUR	
GAMBAR 4. 5 POTONGAN D-D STRUKTUR.....	54
GAMBAR 4. 6 POTONGAN E-E STRUKTUR	
GAMBAR 4. 7 POTONGAN F-F STRUKTUR	55
GAMBAR 4. 8 POTONGAN G-G STRUKTUR.....	
GAMBAR 4. 9 POTONGAN H-H STRUKTUR	56
GAMBAR 4. 10 POTONGAN I-I STRUKTUR.....	
GAMBAR 4. 11 POTONGAN J-J STRUKTUR	57
GAMBAR 4. 12 POTONGAN K-K STRUKTUR.....	58
GAMBAR 4. 13 POTONGAN 1-1 STRUKTUR	59
GAMBAR 4. 14 POTONGAN 2-2 STRUKTUR	59
GAMBAR 4. 15 POTONGAN 3-3 STRUKTUR	60
GAMBAR 4. 16 POTONGAN 4-4 STRUKTUR	60
GAMBAR 4. 17 PERSPEKTIF STRUKTUR BANGUNAN RENCANA LT 1-5	61
GAMBAR 4. 18 PERSPEKTIF STRUKTUR BANGUNAN RENCANA LT 6-12	61
GAMBAR 4. 19 KURVA RESPON SPEKTRUM GEMPA RENCANA.....	63
GAMBAR 4. 20 DENAH PEMBEBANAN LANTAI 1	64
GAMBAR 4. 21 DENAH PEMBEBANAN LANTAI 2-5	65
GAMBAR 4. 22 DENAH PEMBEBANAN LANTAI 5-11	65
GAMBAR 4. 23 DENAH PEMBEBANAN LANTAI ATAP.....	65
GAMBAR 4. 24 KURVA RESPON SPEKTRUM GEMPA RENCANA.....	67

GAMBAR 4. 25	MODE 1 TRANSASI ARAH X.....	70
GAMBAR 4. 26	MODE 2 TRANSASI ARAH Y.....	70
GAMBAR 4. 27	MODE 3 ROTASI.....	71
GAMBAR 4. 28	DETAIL PEMBESIAN PADA BALOK B1	92
GAMBAR 4. 29	DETAIL PEMBESIAN PADA BALOK B2	95
GAMBAR 4. 30	DETAIL PEMBESIAN PADA BALOK B3	98
GAMBAR 4. 31	DIMENSI KOLOM K1	103
GAMBAR 4. 32	DIMENSI KOLOM K2.....	105
GAMBAR 4. 33	DIMENSI KOLOM K3	107
GAMBAR 4. 34	DIMENSI KOLOM K1 LT 6-12	109
GAMBAR 4. 35	DIMENSI KOLOM K2 LT 6-12	111
GAMBAR 4. 36	GRAFIK SIMPANGAN ATAU <i>DISPLACEMENT</i> ANTAR TINGKAT	129
GAMBAR 4. 37	GRAFIK ANALISIS KETIDAKBERATURAN VERTIKAL TIPE 1A	130
GAMBAR 4. 38	GRAFIK ANALISIS KETIDAKBERATURAN VERTIKAL TIPE 1B	131
GAMBAR 4. 39	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH X.....	135
GAMBAR 4. 40	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH Y.....	136
GAMBAR 4. 41	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH X.....	137
GAMBAR 4. 42	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH Y.....	137
GAMBAR 4. 43	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH X.....	138
GAMBAR 4. 44	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH Y.....	139
GAMBAR 4. 45	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH X.....	140
GAMBAR 4. 46	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH Y.....	140
GAMBAR 4. 47	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH X.....	141
GAMBAR 4. 48	DIAGRAM INTERAKSI PADA KOLOM ARAH Y.....	142

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jakarta sebagai ibu kota Indonesia mengalami pertumbuhan penduduk dan pembangunan ekonomi yang pesat, diiringi dengan keterbatasan lahan . Kondisi ini mendorong permintaan terhadap hunian vertikal seperti apartemen, yang dianggap sebagai solusi efisien untuk memenuhi kebutuhan perumahan di tengah keterbatasan ruang. Selain itu, gaya hidup masyarakat urban yang dinamis dan praktis semakin memperkuat tren tinggal di apartemen, terutama di kawasan strategis dekat pusat bisnis, komersial, dan transportasi massal. Dengan prediksi bertambahnya jumlah penduduk yang meningkat dari tahun ke tahun dibutuhkan adanya pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan hunian dan memiliki nilai visioner. Semakin berkurangnya lahan yang tersedia di Jakarta membuat harga tanah di kota tersebut melambung tinggi. Solusi yang bisa dijadikan salah satu alternatif adalah tempat tinggal vertikal seperti apartemen atau rumah susun. Pembangunan tempat tinggal secara vertikal merupakan solusi jangka panjang untuk pemenuhan kebutuhan ini tanpa harus mengurangi RTH (Ruang Terbuka Hijau) ataupun juga open space yang ada di kota tersebut

Semakin tinggi suatu bangunan, maka beban akibat gaya lateral yang terjadi akan semakin besar. Gempa merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat jika struktur berada di wilayah rawan gempa. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, struktur diharapkan dapat berespon dengan baik terhadap beban gempa yang bekerja pada struktur tersebut sehingga dapat menjamin bangunan tersebut tidak Runtuh

. Dalam perencanaan struktur beton bertulang Apartment 12 Lantai di Jakarta ini digunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang diatas, Rumusan masalahnya adalah :

1. Permodelan Struktur Beton Bertulang Apartemen 12 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2019
2. Desain Struktur Balok dan Kolom Berdasarkan SNI 2847:2019

1.3 Tujuan Perencanaan

Berdasarkan Rumusan Masalah diatas, maka tujuan dari Analisis apartemen tersebut adalah

1. Membuat Permodelan Struktur Beton Bertulang berdasarkan SNI 1726:2019
2. Mendesain Struktur Balok dan Kolom Berdasarkan SNI 2847:2019

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditulis diatas, maka penulis membatasi dalam skripsi ini :

1. Pemodelan struktur bangunan apartemen menggunakan perangkat *software* ETABS
2. Analisis ketahanan struktur atas terhadap beban gempa menggunakan SNI 1726-2019 tentang cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan Gedung dan non Gedung dan SNI 2847-2019 persyaratan beton struktur untuk bangunan Gedung
3. Lokasi Penelitian Berada di Jakarta Selatan
4. Lantai bangunan berjumlah 12 Lantai.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan digunakan pada penulisan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan
Pada bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan batasan studi terkait perencanaan struktur Apartement
2. Bab II Landasan Teori
Pada bab ini akan menguraikan kajian pustaka, teori dasar beton bertulang, standar desain (SNI), serta konsep dalam perencanaan Struktur
3. Bab III Metodologi Penelitian
Pada bab ini akan memaparkan pendekatan mixed methods, teknik pengumpulan data kualitatif melalui studi literatur dan kuantitatif melalui analisis struktur dengan software, serta prosedur validasi hasil.
4. Bab IV Analisis Dan Pembahasan
Pada bab ini menyajikan analisis mendalam terhadap hasil simulasi struktur, seperti daktilitas dan simpangan antar lantai, serta pembahasan temuan penelitian.
5. Bab V Penutup
Pada bab ini berisi kesimpulan yang menjawab rumusan masalah dan saran untuk pengembangan lebih lanjut, dilengkapi dengan lampiran yang memuat data pendukung, perhitungan teknis, dan output analisis untuk memvalidasi hasil penelitian secara komprehensif.

BAB II

TINJAUAN PUSAKA

2.1 Tinjauan Umum

Perencanaan apartemen di Indonesia harus memenuhi berbagai ketentuan yang diatur dalam peraturan perundang-undangan, terutama Permen PUPR No. 14 Tahun 2021 tentang Penyediaan Rumah serta peraturan daerah setempat. Peraturan ini mengatur aspek teknis dan administratif dalam penyediaan rumah susun, termasuk apartemen, mulai dari tata letak bangunan, proporsi ruang terbuka hijau, hingga penyediaan fasilitas umum dan sosial yang mendukung kehidupan masyarakat secara berkelanjutan. Selain itu, persyaratan keamanan struktur seperti ketahanan terhadap gempa berdasarkan SNI 1726:2019 serta sistem evakuasi darurat juga menjadi hal wajib yang tidak boleh diabaikan. Standar ini mengatur perencanaan bangunan agar mampu bertahan terhadap gempa bumi, yang merupakan salah satu bencana alam paling sering terjadi di wilayah Indonesia. Dalam implementasinya, perencana bangunan harus memperhitungkan zona seismik, jenis tanah, hingga sistem struktur tahan gempa yang efektif dan efisien. Sistem evakuasi juga harus dirancang dengan mempertimbangkan aksesibilitas bagi seluruh penghuni, termasuk kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan penyandang disabilitas. Oleh karena itu, perencanaan apartemen tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan hunian vertikal di tengah keterbatasan lahan, tetapi juga harus memberikan jaminan keselamatan dan kenyamanan bagi seluruh penghuninya. Hal ini mencerminkan pentingnya pendekatan perencanaan yang holistik dan berkelanjutan, dengan memperhatikan aspek teknis, sosial, dan lingkungan dalam pembangunan kawasan hunian vertikal.

2.2 Pembebanan Struktur

Proses analisis pembebanan struktur memegang peranan krusial dalam perancangan bangunan, mencakup identifikasi, perhitungan, dan penerapan berbagai jenis beban eksternal maupun internal yang akan bekerja pada struktur sepanjang umur layannya. Studi dalam tugas akhir ini secara khusus mengkaji

empat kategori beban utama: (1) beban mati sebagai representasi berat tetap elemen struktur dan komponen non-struktural; (2) beban mati tambahan (Superimposed Dead Load/SIDL) yang meliputi material finishing dan instalasi utilitas; (3) beban hidup akibat aktivitas operasional bangunan; serta (4) beban gempa dinamis yang diestimasi berdasarkan respons spektra sesuai dengan zona kegempaan. Perhitungan beban-beban tersebut diimplementasikan secara digital menggunakan software ETABS, yang memfasilitasi pemodelan struktural tiga dimensi, analisis interaksi antar komponen struktur, serta penilaian kinerja sistem struktur secara menyeluruh terhadap berbagai skenario pembebanan. Metodologi ini menjamin bahwa desain struktur yang dihasilkan tidak hanya memenuhi persyaratan kekuatan dan kenyamanan, tetapi juga sesuai dengan standar keselamatan struktural terkini.

2.2.1 Beban Mati atau *Dead Load* (DL)

Beban mati (dead load) merupakan salah satu elemen penting dalam perancangan struktur, karena merupakan jenis beban tetap yang bersifat permanen dan berasal dari berat sendiri material bangunan yang tergabung secara struktural dalam sistem konstruksi. Secara umum, beban ini mencakup elemen-elemen struktural utama seperti kolom, balok induk, dan pelat lantai, serta komponen non-struktural seperti partisi, penutup atap, dan lapisan finishing lantai. Karena sifatnya yang tidak berubah sepanjang umur rencana bangunan (service life), beban mati dianggap sebagai parameter tetap (deterministik) yang sangat penting dalam proses desain. Beban ini berperan krusial dalam perhitungan kapasitas lentur, kapasitas tekan aksial, serta analisis stabilitas struktur secara menyeluruh terhadap kombinasi berbagai jenis pembebanan lainnya. Oleh sebab itu, penghitungan beban mati yang akurat menjadi sangat penting. Dalam hal ini, SNI 1727:2020 memberikan acuan melalui Tabel C3.1.1 yang memuat nilai minimum beban mati desain untuk berbagai komponen bangunan, yang dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan total beban struktur.

Tabel 2. 1 Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)Tabel C3.1-1 - Beban mati desain minimum (kN/m²)*

Komponen	Beban (kN/m ²)
CEILING	
Acoustical fiberboard	0.05
Gypsum board (per mm thickness)	0.008
Mechanical duct allowance	0.19
Plaster on tile or concrete	0.24
Plaster on wood lath	0.38
Suspended steel channel system	0.10
Suspended metal lath and cement plaster	0.72
Suspended metal lath and gypsum plaster	0.48
Wood lathing suspension system	0.12
COVERINGS, ROOF, AND WALL	
Asbestos-cement shingles	0.19
Asphalt shingles	0.10
Cement tile	0.77
Clay tile (for mortar add 0.48 kN/m ²)	
Book tile, 51 mm	0.57
Book tile, 76 mm	0.96
Ludowici	0.48
Roman	0.57
Spanish	0.91
Composition:	
Three-ply ready roofing	0.05
Four-ply felt and gravel	0.26
Five-ply felt and gravel	0.29
Copper or tin	0.05
Corrugated asbestos-cement roofing	0.19
Deck, metal, 20 gauge	0.12
Deck, metal, 18 gauge	0.14
Decking, 51-mm wood (Douglas fir)	0.24
Decking, 76-mm wood (Douglas fir)	0.38
Fiberboard, 13 mm	0.04
Gypsum sheathing, 13 mm	0.10
Insulation, roof boards (per mm thickness)	
Cellular glass	0.0013
Fibrous glass	0.0021
Fiberboard	0.0028
Perlite	0.0015
Polystyrene foam	0.0004
Urethane foam with skin	0.0009
Plywood (per mm thickness)	0.006
Rigid insulation, 13 mm	0.04
Skylight, metal frame, 10-mm wire glass	0.38
Slate, 5 mm	0.34
Slate, 6 mm	0.48
Waterproofing membranes:	
Bituminous, gravel-covered	0.26
Bituminous, smooth surface	0.07
Liquid applied	0.05
Single-ply, sheet	0.03
Wood sheathing (per mm thickness)	
Plywood	0.0057
Oriented strand board	0.0062
Wood shingles	0.14
FLOOR FILL	
Cinder concrete, per mm	0.017
Lightweight concrete, per mm	0.015
Sand, per mm	0.015
Stone concrete, per mm	0.023
FLOORS AND FLOOR FINISHES	
Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar	1.44
Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill	1.53
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed	0.77
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed	1.10

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

Material	Densitas (lb/ft ³)	Densitas (kN/m ³)
Aluminum	170	27
Bituminous products		
Asphaltum	81	12,7
Graphite	135	21,2
Paraffin	56	8,8
Petroleum, crude	55	8,6
Petroleum, refined	50	7,9
Petroleum, benzine	46	7,2
Petroleum, gasoline	42	6,6
Pitch	69	10,8
Tar	75	11,8
Brass	526	82,6
Bronze	552	86,7
Cast-stone masonry (cement, stone, sand)	144	22,6
Cement, Portland, loose	90	14,1
Ceramic tile	150	23,6
Charcoal	12	1,9
Cinder fill	57	9,0
Cinders, dry, in bulk	45	7,1
Coal		
Anthracite, piled	52	8,2
Bituminous, piled	47	7,4
Lignite, piled	47	7,4
Peat, dry, piled	23	3,6
Concrete, plain		
Cinder	108	17,0
Expanded-slag aggregate	100	15,7
Haydite (burned-clay aggregate)	90	14,1
Slag	132	20,7
Stone (including gravel)	144	22,6
Vermiculite and perlite aggregate, nonload-bearing	25–50	3,9–7,9
Other light aggregate, load-bearing	70–105	11,0–16,5
Concrete, reinforced		
Cinder	111	17,4
Slag	138	21,7
Stone (including gravel)	150	23,6
Copper	556	87,3
Cork, compressed	14	2,2
Earth (not submerged)		
Clay, dry	63	9,9
Clay, damp	110	17,3
Clay and gravel, dry	100	15,7
Silt, moist, loose	78	12,3

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

Tabel C3.1-1 (Lanjutan) Tabel C3.1-1 - Beban mati desain minimum (kN/m ²)*					
Komponen	Beban (kN/m ²)				
Concrete fill finish (per mm thickness) 0.023	0.023				
Hardwood flooring, 22 mm 0.19	0.19				
Linoleum or asphalt tile, 6 mm 0.05	0.05				
Marble and mortar on stone-concrete fill 1.58	1.58				
Slate (per mm thickness) 0.028	0.028				
Solid flat tile on 25-mm mortar base 1.10	1.10				
Subflooring, 19 mm 0.14	0.14				
Terrazzo (38 mm) directly on slab 0.91	0.91				
Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill 1.53	1.53				
Terrazzo (25 mm), 51-mm stone concrete 1.53	1.53				
Wood block (76 mm) on mastic, no fill 0.48	0.48				
Wood block (76 mm) on 13-mm mortar base 0.77	0.77				
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)					
DOUBLE WOOD FLOOR					
Joint sizes (mm):	305-mm spacing	406-mm spacing	610-mm spacing		
	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)		
51 × 152	0.29	0.24	0.24		
51 × 203	0.29	0.29	0.24		
51 × 254	0.34	0.29	0.29		
51 × 305	0.38	0.34	0.29		
FRAME PARTITIONS					
Movable steel partitions	0.19				
Wood or steel studs, 13-mm gypsum board each side	0.38				
Wood studs, 51 × 102, unplastered	0.19				
Wood studs, 51 × 102, plastered one side	0.57				
Wood studs, 51 × 102, plastered two sides	0.96				
FRAME WALLS					
Exterior stud walls:					
51 mm × 102 mm @ 406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding	0.53				
51 mm × 152 mm @ 406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding	0.57				
Exterior stud walls with brick veneer	2.30				
Windows, glass, frame, and sash	0.38				
Clay brick wythes:					
102 mm	1.87				
203 mm	3.78				
305 mm	5.51				
406 mm	7.42				
Hollow concrete masonry unit wythes:					
Wythe thickness (in mm)	102	152	203	254	305
Density of unit (16.49 kN/m ³) with grout spacing as follows:					
No grout	1.05	1.29	1.68	2.01	2.35
1.219 mm		1.48	1.92	2.35	2.78
1.016 mm		1.58	2.06	2.54	3.02
813 mm		1.63	2.15	2.68	3.16
610 mm		1.77	2.35	2.92	3.45
406 mm		2.01	2.68	3.35	4.02
Full grout		2.73	3.69	4.69	5.70
Density of unit (19.64 kN/m ³) with grout spacing as follows:					
No grout	1.25	1.34	1.72	2.11	2.39
1.219 mm		1.58	2.11	2.59	2.97
1.016 mm		1.63	2.15	2.68	3.11
813 mm		1.72	2.25	2.78	3.26
610 mm		1.87	2.44	3.02	3.59
406 mm		2.11	2.78	3.50	4.17
Full grout		2.82	3.88	4.88	5.89
Density of unit (21.21 kN/m ³) with grout spacing as follows:					
No grout	1.39	1.68	2.15	2.59	3.02
1.219 mm		1.70	2.39	2.92	3.45
1.016 mm		1.72	2.54	3.11	3.69
813 mm		1.82	2.63	3.26	3.83
610 mm		1.96	2.82	3.50	4.12
406 mm		2.25	3.16	3.93	4.69
Full grout		3.06	4.17	5.27	6.37

Tabel 2.1 Lanjutan Beban Mati Desain Minimum (kN/m^2)

Tabel C3.1-2 (Lanjutan) - Densitas minimum untuk beban desain dari material

Material	Densitas (lb/ft^3)	Densitas (kN/m^3)
Silt, moist, packed	96	15,1
Silt, flowing	108	17,0
Sand and gravel, dry, loose	100	15,7
Sand and gravel, dry, packed	110	17,3
Sand and gravel, wet	120	18,9
Earth (submerged)		
Clay	80	12,6
Soil	70	11,0
River mud	90	14,1
Sand or gravel	60	9,4
Sand or gravel and clay	65	10,2
Glass	160	25,1
Gravel, dry	104	16,3
Gypsum, loose	70	11,0
Gypsum, wallboard	50	7,9
Ice	57	9,0
Iron		
Cast	450	70,7
Wrought	480	75,4
Lead	710	111,5
Lime		
Hydrated, loose	32	5,0
Hydrated, compacted	45	7,1
Masonry, ashlar stone		
Granite	165	25,9
Limestone, crystalline	165	25,9
Limestone, oolitic	135	21,2
Marble	173	27,2
Sandstone	144	22,6
Masonry, brick		
Hard (low absorption)	130	20,4
Medium (medium absorption)	115	18,1
Soft (high absorption)	100	15,7
Masonry, concrete		
Lightweight units	105	16,5
Medium weight units	125	19,6
Normal weight units	135	21,2
Masonry grout	140	22,0
Masonry, rubble stone		
Granite	153	24,0
Limestone, crystalline	147	23,1
Limestone, oolitic	138	21,7
Marble	156	24,5
Sandstone	137	21,5

2.2.2 Beban Hidup

Beban seperti penghuni, peralatan peralatan seperti kursi meja belajar, dan sebagainya dikenal sebagai beban hidup (live load). Nilai beban hidup bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.2 berdasarkan SNI 1726-2020, Pasal 4.3.1.

Beban hidup Merata dan Terpusat

Tabel 2. 2 Beban Hidup Terdistribusi Merata (kN/m²)

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 lb (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 komputer	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 (berikat 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)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (berikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk dierah yang diyakini. 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	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
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])		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Tabel 2.2 Lanjutan Beban Hidup Terdistribusi Merata (kN/m²)

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 lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Jalur penyelamatan saat kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10) Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman Batang pegangan	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11) Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,67)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit Ruang operasi, laboratorium	60 (2,67)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan Ruang baca	60 (2,67)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Pabrik Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer habis dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Lembaga hukum Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Tabel 2.2 Lanjutan Beban Hidup Terdistribusi Merata (kN/m²)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 , gsd (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Lorong yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Lorong yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Lorong yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang pribadi dan kondonya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap bukan untuk hunian	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya					
Awning dan kanopi	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penutup layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (8,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik selang-seling komponen struktur utama pendukung atap diatas patnik, gudang penyimpanan dan pekerjaannya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan				300 (1,33)	

2.2.3 Beban Gempa

Beban gempa (seismic load) merepresentasikan gaya inersia yang timbul pada struktur sebagai respons dinamis terhadap eksitasi gerakan tanah (ground motion) selama kejadian gempa bumi. Beban ini secara fundamental bersifat siklik dan lateral, yang memungkinkan respons struktur dalam mode getar dominan—atau mode fundamental—yang berpotensi menghasilkan mekanisme kerusakan progresif yang mencakup kerusakan lokal hingga kegagalan struktural luas. Beban seismik adalah penyebab utama kerusakan bangunan, terutama pada struktur yang tidak dirancang dengan prinsip ketahanan gempa (seismic-resistant design). Dalam rekayasa struktur, pertimbangan tentang beban gempa sangat penting untuk memastikan tiga aspek fungsional utama: (1) kekuatan (strength) melalui kapasitas elemen struktur untuk menahan gaya geser dasar (base shear), (2) kekakuan (stiffness) untuk mengontrol simpangan antar lantai (interstory drift), dan (3) stabilitas (stability) sistem melalui mekanisme pelelehan terkendali (controlled yielding). Implementasi standar desain seismik seperti SNI 1726:2019 dan prinsip capacity design bertujuan untuk memastikan struktur memiliki redundansi (*redundancy*), dan daktilitas (*ductility*), sehingga mampu memitigasi risiko keruntuhan.

2.3 Konsep Struktur Bangunan Tahan Gempa

2.3.1 Klasifikasi Situs (Jenis Tanah)

Klasifikasi jenis tanah diperlukan sebelum menentukan nilai percepatan maksimum dan respon spektra permukaan tanah di lokasi yang ditinjau. Ini dilakukan karena klasifikasi jenis tanah mempengaruhi amplifikasi gelombang seismik. Menurut tabel 2.3, klasifikasi lokasi dilakukan untuk lapisan dengan tebal 30 m.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs

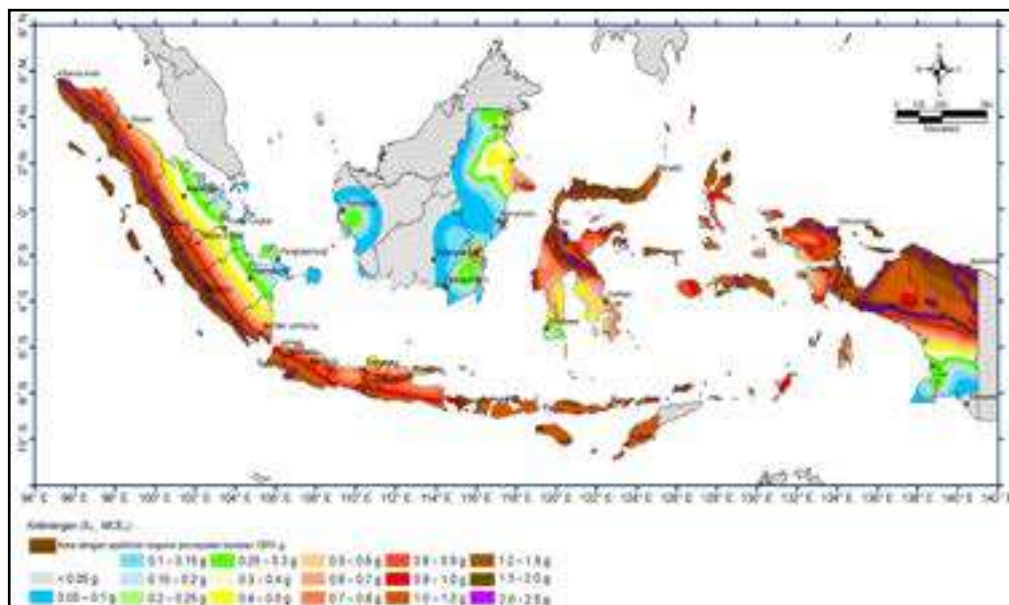
	Klasifikasi Situs	$\overline{V}_s$ (m/dt)	$\overline{N}$ atau $\overline{N}_{ch}$	$\overline{S}_u$ (kPa)
A	SA (Batuan Keras)	≥ 1.500	N/A	N/A
B	SB (Batuan)	350 sampai 750	N/A	N/A
C	SC (Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
D	SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai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

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 5.3 Tabel 5

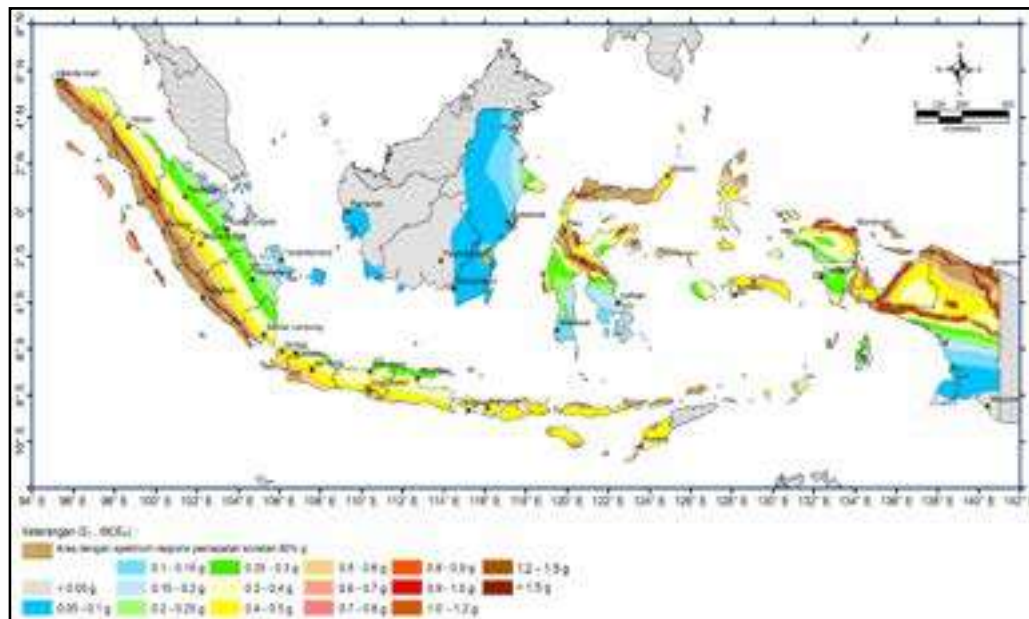
2.3.2 Percepatan Puncak (PGA) Pada Permukaan Tanah

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

Sumber : RSA 2021



Sumber : RSA 2021



Gambar 2. 3 PGA gempa maksimum yang di pertimbangkan
rata – rata geometrik Resiko tertaget (MCEG)

Sumber : RSA 2021

Tabel 2. 4 Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas situs	S_{PGA}					
	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA = 0,5$	$PGA = 0,5$
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	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,3	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,6	1,2	1,1
SF	SS					

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.7.3 Tabel 10

Percepatan puncak pada permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

Keterangan :

PGA_M = Nilai Percepatan puncak di permukaan tanah
berdasarkan klasifikasi situs

F_{PGA} = Faktor amplikasi untuk PGA

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

Nilai yang menunjukkan respons maksimum sistem struktur derajat kebebasan tunggal (SDOF) terhadap berbagai frekuensi atau periode alami yang diredam oleh getaran tanah disebut respon spektral. Pada periode 0,2 detik dan 1 detik, faktor amplikasi seismik dipertimbangkan saat menghitung respon spektral percepatan (spectral acceleration) dipermukaan tanah. Faktor amplifikasi termasuk faktor amplifikasi mengenai percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi mengenai percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respon spektral periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat dihitung dengan mengalikan faktor amplifikasi F_a dan F_v dengan spektral percepatan periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_1) pada batuan dasar sesuai dengan persamaan berikut:

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

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

Keterangan :

F_a = Koefisien perioda pendek dapat dilihat pada Tabel 2.3

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

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

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

Tabel 2. 5 Koefisien Periode Pendek (F_a)

Kelas situs	Parameter respon spectral percepatan gempa pada periode pendek 0,2 detik (S_s)					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 6

Tabel 2. 6 Koefisien Periode 1,0 detik (F_v)

Kelas situs	Parameter respon spectral percepatan gempa pada periode pendek 0,2 detik (S_s)					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 7

2.3.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Desain

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

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

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

2.3.5 Penentuan Respon Spektral Desain

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

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

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

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$), nilai respon spectral desain sama dengan S_{DS} .
- Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil atau sama denfan T_L , Respons spectral percepatan desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

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

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

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

Keterangan :

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

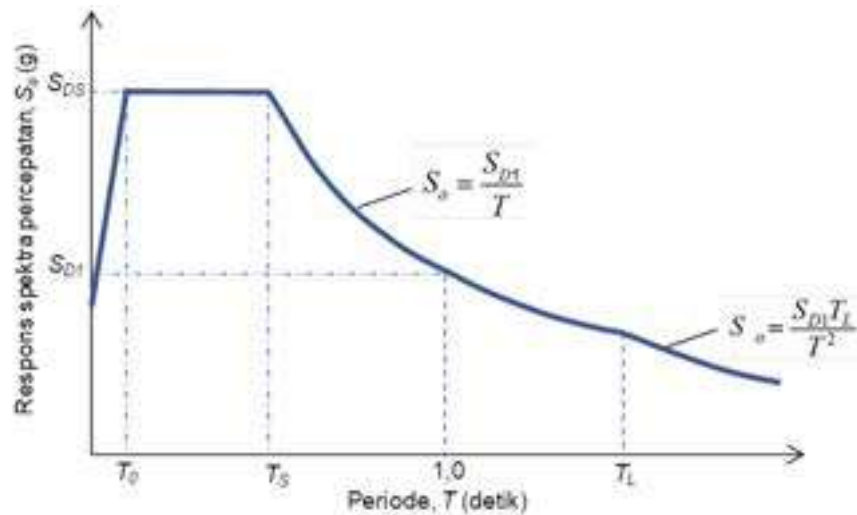
S_{D1} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1,0 detik

T = Periode getar fundamental struktur

T_L = Periode Panjang dapat dilihat pada Gambar 2.4

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

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



Gambar 2. 4 Spektrum Respons Desain

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.4

2.3.6 Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko struktur bangunan terdiri dari kategori I, II, III, dan IV yang dapat di lihat pada Tabel 2.7. Dimana digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat bahaya yang mungkin timbul jika suatu bangunan mengalami kegagalan structural

1. Risiko rendah (kegagalan hanya menyebabkan kerusakan properti minimal, contoh: gudang).
2. Risiko sedang (kegagalan dapat mengakibatkan kerusakan material atau cedera ringan, contoh: kantor kecil).
3. Risiko tinggi (kegagalan berpotensi menimbulkan korban jiwa, contoh: sekolah, rumah sakit).
4. Risiko sangat tinggi (kegagalan dapat menyebabkan bencana besar, contoh: bendungan, fasilitas vital).

Tabel 2. 7 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori I,II,IV, tetapi tidak dibatasi untuk : • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/ deparment store • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik	II

Sumber : SNI 2726-2019, Pasal 4.1.2 Tabel 3

Tabel 2. 8 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber : SNI 2726-2019, Pasal 4.1.2 Tabel 4

2.3.7 Kategori Desain Gempa (KDG)

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

Tabel 2. 9 Kategori Dasin Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek (S_{DS})

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

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.5 Tabel 8

Tabel 2. 10 Kategori Desain Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode 1 detik (S_{D1})

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

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.5 Tabel 8

2.3.8 Resiko Kegempaan

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

Tabel 2. 11 Tingkat Resiko Kegempaan

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

Sumber : Konsep SNI Gempa 1726-201X

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

Tabel 2. 12 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respon (R) ^a	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) ^b	Faktor pembesaran defleksi (C_d) ^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) ^d				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber : 1726-2019, Pasal 7.2.2 Tabel 12

Keterangan

TB = Tidak ada Batasan

TI = Tidak di izinkan

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

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

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

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

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

2.3.9 Gaya Geser Dasar Seismik

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

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

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

Nilai C_S mengikuti ketentuan sebagai berikut

- Untuk $T \leq T_L$

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

- Untuk $T > T_L$

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

- Untuk $S_1 \geq 0,6 g$

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

- Nilai minimum C_S

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

Keterangan :

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

- T = Periode fundamental respon spectral
 R = Koefisien modifikasi respon

2.3.10 Periode Fundamental Alami

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

Tabel 2. 13 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 7.8.2 Tabel 17

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

- Metode pendekatan umum

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

- Batasan atas perioda struktur :

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

Keterangan :

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

Tabel 2. 14 Nilai parameter periode pendekatan (C_t dan x)

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

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

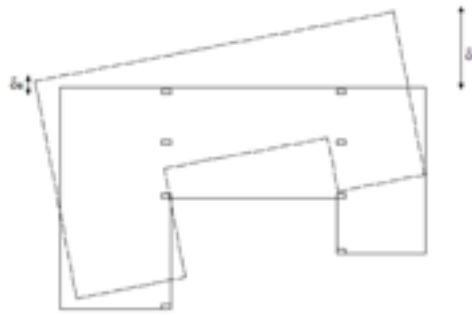
$$T_a = 0,1 \times N \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.19)}$$

2.3.11 Pembesaran Momen Torsi Tidak Terduga

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

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

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

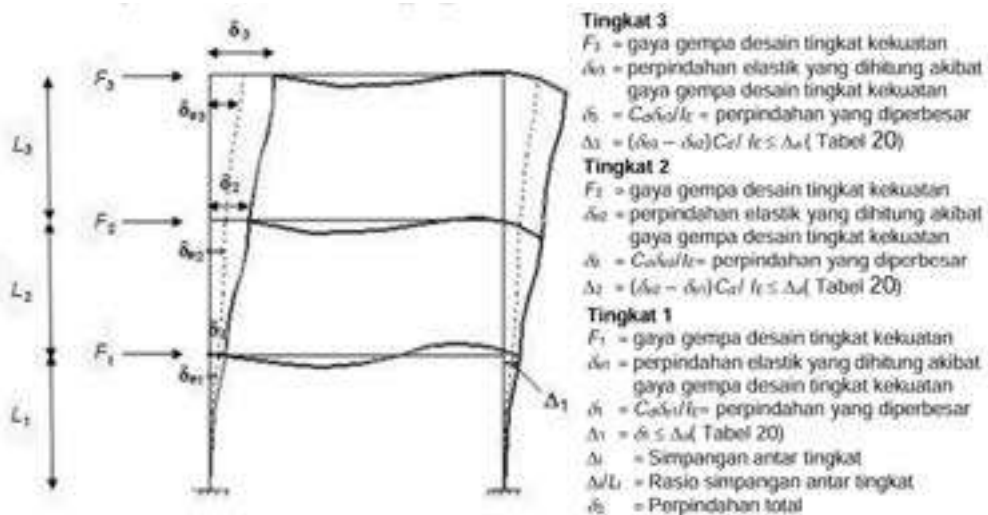


Gambar 2. 5 Faktor Pembesaran Torsi (A_x)

Sumber : SNI 1727-2019, Pasal 7.8.4.3

2.3.12 Simpangan Antar Tingkat

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



Gambar 2. 6 Penentuan simpangan antar Tingkat

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 7.8.6

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

Tabel 2. 15 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_{izin})

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

Sumber : SNI 1727-2019, Pasal 7.8.6

Berdasarkan Gambar 2.6 didapatkan persamaan sebagai berikut:

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

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

Keterangan :

C_d = Faktor pembesar defleksi

δ_{xe} = Lendutan hasil Analisa struktur kondisi elastis

I_e = Faktor keutamaan bangunan

h_{sx} = Tinggi Tingkat dibawah Tingkat X

2.3.13 Efek P-Delta dan *Soft Storey*

Kemampuan suatu struktur untuk menahan berbagai jenis beban disebut kekuatan strukturnya. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, ada konsep yang disebut mekanisme goyangan balok (beam sway mechanism). Dalam mekanisme ini, bagian yang rusak (sendi plastis) seharusnya terletak di ujung balok dan di bagian bawah kolom. Akibatnya, kolom harus dirancang lebih kuat dari balok

(kolom yang lemah dan kuat). Menghitung efek P-Delta dan mengecek cerita soft dapat dilakukan untuk memeriksa kekuatan struktur.

1) Efek P-Delta

Pada setiap Tingkat dihitung dengan persamaan :

$$\theta = \frac{P_x \delta_x}{V_x h_x C_d} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.24)}$$

Keterangan :

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

2) *Soft Storey (column sway mechanism)*

Soft Storey (column sway mechanism) yaitu kondisi keruntuhan pada struktur bangunan bertingkat, khususnya pada lantai yang memiliki kekakuan relative rendah (*soft storey*) akibat beban gempa dimana kolom mengalami leleh sebelum balok. Kondisi ini disebabkan oleh ketidak beraturan vertical pada struktur,

khususnya ketidakberaturan kekakuan yang dikenal sebagai “Tingkat Lunak.” Berdasarkan SNI 1726-2019 tingkat lunak di jelaskan sebagai berikut :

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

Catatan :

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

2.4 Stabilitas Struktur

Setiap struktur memiliki tiga komponen stabilitas: stabilitas terhadap geser, penurunan fondasi, dan overturning (guling). Namun, penelitian ini hanya menganalisis stabilitas guling. Hal ini disebabkan fakta bahwa beban lateral pada struktur atas gedung bangunan merupakan resiko ketidakstabilan yang paling signifikan, yaitu guling. Untuk mengurangi efek geser struktur atas, gunakan penyeimbang berat sendiri, yang diatur dalam persamaan berikut.

$$0,9 M_{ST} > \frac{M_{OT}}{C_1 C_2 C_3 R_{OT}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.25)}$$

Keterangan :

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

2.5 Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa

Beton bertulang menggabungkan baja dan beton, memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki beton polos (Jack C. Mc Cormac, 2017). Kedua material tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat daktilitas struktur yang dihasilkan. Menurut SNI 2847-2019, analisis struktur struktur beton bertulang tahan gempa harus memenuhi kekuatan yang diperlukan untuk struktur dan komponennya.

$$KEKUATAN\ DESAIN \geq KEKUATAN\ PERLU$$

$$\phi S_n \geq U$$

2.5.1 Kekuatan Perlu

Kekuatan harus ditunjukkan dalam momen-momen, gaya-gaya yang relevan, dan beban terfaktor, yang merupakan beban yang dihitung menggunakan metode umum pembebanan yang berlaku dan dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai. Menurut SNI 2847-2019, kuat (U) adalah besaran beban dari kombinasi hasil berikut:

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

Keterangan

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

2.5.2 Kekuatan Desain

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

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

Tabel 2. 16 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

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

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 21 Tabel 21.2.1

Tabel 2. 17 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

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

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 21 Tabel 21.2.2

Tabel 2. 18 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Seksi Akhir dari Prategang

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

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

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

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

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

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

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

A. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Pada Pasal 18.3 momen biasa yang yang dikenakan KDS B. Persyaratan tulangan balok bertujuan untuk meningkatkan kontinuitas dalam komponen rangka dan dengan demikian meningkatkan tahanan gaya lateral dan integritas struktur; persyaratan ini tidak berlaku untuk rangka momen pelat-kolom. Persyaratan untuk kolom bertujuan untuk memberikan kapasitas tambahan untuk menahan geser pada kolom dengan proporsi yang tanpanya akan membuat lebih rentan terhadap kegagalan geser terkena beban gempa. 2.5.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

- a) Gaya geser yang terkait dengan terjadinya kekuatan momen nominal M_n pada setiap ujung dari panjang tak tertumpu kolom akibat lentur yang berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi
- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain, termasuk E, dengan $\Omega_0 E$ sebagai pengganti E.

B. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah(SRPMM)

Pada pasal 18.4 Pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah termasuk pelat dua arah tanpa balok yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.

1) Syarat Pendetailan Balok

• Penulangan Longitudinal

- a) Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang, Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas

maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik f_y pada muka tumpuan.

- b) Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif maupun positif pada sebarang penampang sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima yang disediakan pada muka salah satu joint pada bentang balok yang ditinjau

- **Tulangan Transversal**

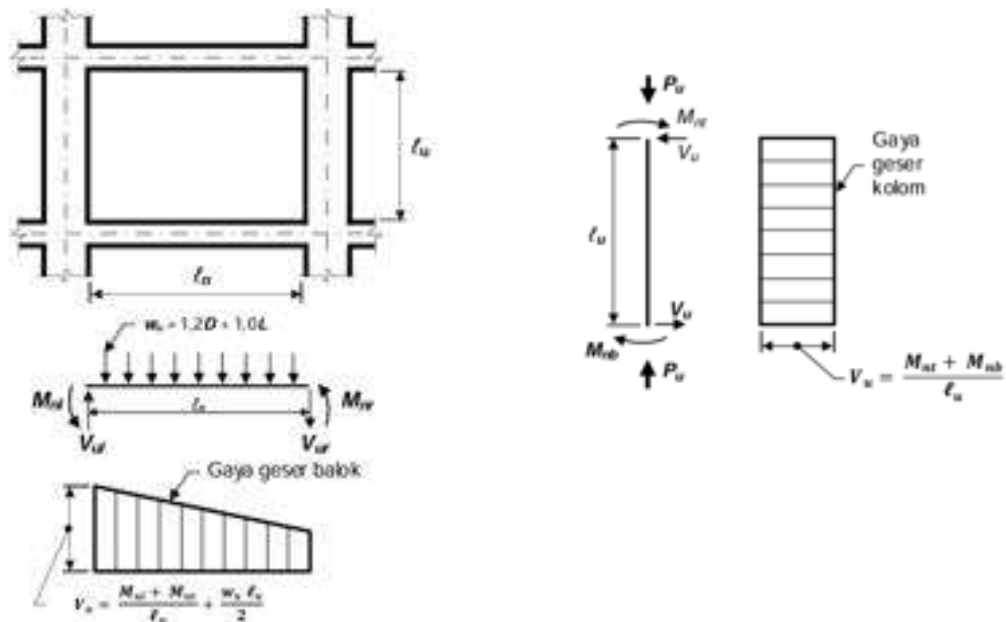
Tulangan transversal pada ujung balok diperlukan berupa sengkang pengekat, ϕV_n tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara (a) dan (b):

- a) Jumlah gaya geser terkait dengan tercapainya M_n pada muka joint di setiap ujung balok akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda) dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor
- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk E, dengan E ditetapkan sebesar dua kali nilai yang dipersyaratkan SNI 1726.

Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pengekat tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga d):

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekat
- d) 300 mm

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.



Gambar 2. 7 Gaya Geser Rencana SRPMM

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.4.2

- **Geser Balok**

Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga d):

- $d/4$
- Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekang
- 300 mm

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.

2) Pendetailan Kolom

Pada SNI 1726, $\Omega_o = 3,0$ untuk sistem rangka pemikul momen menengah. Faktor untuk kolom relatif lebih tinggi terhadap balok karena kekhawatiran yang lebih besar mengenai kegagalan geser pada kolom.

Tulangan transversal pada ujung kolom disyaratkan spiral atau sengkang pengekat. Jumlah tulangan transversal pada ujung harus memenuhi keduanya 18.4.3.1 dan 18.4.3.2. Perhatikan bahwa sengkang pengekat membutuhkan kait seismik pada kedua ujungnya.

ϕV_n tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara a dan b

- a) Jumlah gaya geser yang terkait dengan tercapainya M_n pada muka joint di setiap ujung kolom akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda).
- b) Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.

Kolom bundar harus diberi tulangan spiral sesuai dengan Pasal 10 atau harus memenuhi persyaratan 18.4.3.3 hingga 18.4.3.5. Ketentuan 18.4.3.6 harus diberlakukan untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus.

Pada kedua ujung kolom, sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi s_o sepanjang λ_o dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga d):

- a) 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- b) 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekat
- c) Setengah dimensi penampang terkecil kolom
- d) 300 mm

Panjang λ_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari e), f) dan g):

- e) $1/6$ tinggi bersih kolom
- f) Dimensi maksimum penampang kolom
- g) 450 mm

Senggang pengegang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o/2$ dari muka joint.

C. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus(SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) membutuhkan pembatasan mutu baja tulangan, penulangan atas dan bawah menerus, kekuatan geser pada joint, kuat coloumn-lemah beam (SCWB), dan pendekatan area pengeangan pada daerah kritis (sendi plastis).

1) Syarat Pendetailan Balok

Pada standar sebelumnya, setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi ($A_f / f_g c 10$) akibat setiap kombinasi beban harus diproporsionalkan dan didetailkan seperti yang dijelaskan dalam 18.7. Pada SNI 2847 ini, semua persyaratan untuk balok adalah terdapat dalam 18.6 terlepas dari besarnya gaya tekan aksial.

Standar ini ditulis berdasarkan asumsi bahwa sistem rangka pemikul momen khusus terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh joint balok-kolom.

• Tulangan Longitudinal

- a) Balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang.
- b) rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi 0,025, baik untuk tulangan atas maupun bawah.
- c) Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.
- d) Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika Senggang pengegang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-

lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi a) hingga c):

- a) Dalam joint
- b) Dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka joint
- c) Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik

- **Penulangan Transversal**

Sengkang pengekan harus dipasang pada balok di daerah berikut:

- a) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok
- b) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik

Sengkang pengekan pada balok diizinkan terdiri dari dua tulangan:

- a) sebuah sengkang yang mempunyai kait gempu pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup.
- b) Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang-seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur.

Jika batang tulangan longitudinal yang ditahan oleh ikat silang dikekang oleh pelat hanya pada satu sisi komponen struktur lentur, maka kait 90 derajat dari ikat silang harus ditempatkan pada sisi tersebut.

Sengkang pengekan pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu, spasi Sengkang tidak boleh melebihi nilai dari a hingga c

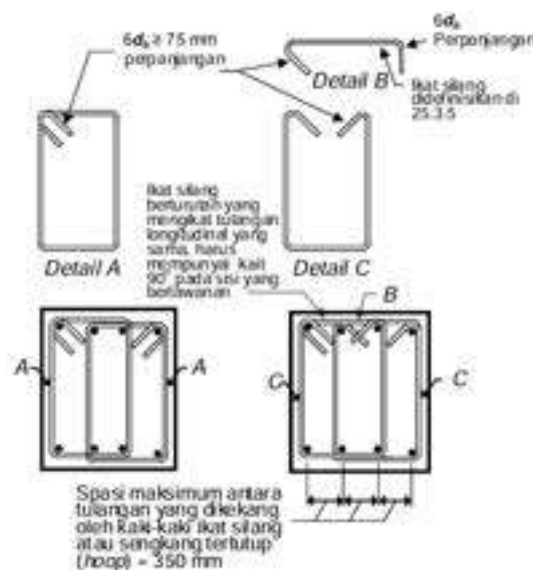
- a) $d/4$
- b) Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping yang disyaratkan 9.7.2.3
- c) 150 mm

- **Geser Balok**

Gaya desain – Gaya geser desain V_e harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka joint. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua a) dan b) terpenuhi:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai 18.6.5.1 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_f g$ c 20 .



Gambar 2. 8 Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimal Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

Sumber : SNI 2847-2019 Pasal 18.6.4

2) Pendetailan Kolom

18.7 Pasal ini berlaku untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial.

Kolom-kolom harus memenuhi a) dan b):

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

- **Perencanaan Lentur pada Pasal 18.7.3.2**

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan persamaan berikut ini.

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\Sigma M_{nb} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.26)}$$

Keterangan :

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

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

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

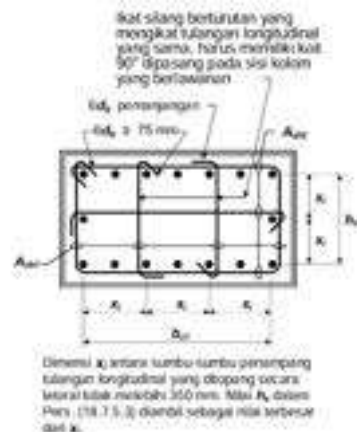
- **Tulangan Longitudinal pada Pasal 18.7.4**

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

- **Tulangan Transversal pada Pasal 18.7.5.2**

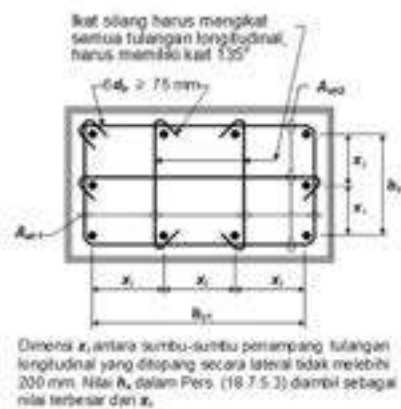
Tulangan transversal pada kolom berfungsi sebagai pengeang daerah inti kolom sehingga kolom memiliki perilaku daktail. Dalam SNI 2847-2019 pada pasal 18.7.5.2 tulangan tranversal harus sesuai dengan persyaratan berikut ini.

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



Gambar 2. 9 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.7.5.2



Gambar 2. 10 Contoh penulangan transversal pada Kolom dengan

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

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.7.5.2

- Perencanaan Geser untuk Kolom pada Pasal 18.7.6**

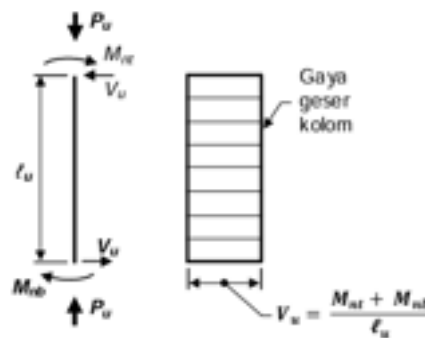
Gaya geser Desain (V_e) harus perhitungkan dengan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok dan kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya maksimum harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum (M_{pr}) dari komponen struktur yang terkait dengan rentang beban-beban aksil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

Gaya geser desain dapat dihitung dengan persamaan berikut yang berdasarkan Gambar 2.12

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{\ell_u} \dots\dots\dots \text{(Persamaa 2.27)}$$

Keterangan

ℓ_u = Tinggi bersih kolom



Gambar 2. 11 Perencanaan Geser Desain untuk Kolom

Sumber : SNI 2847-2019, Pasal 18.6.5

3) Hubungan Balok - Kolom pada SRPMK

Salah satu komponen paling penting dalam sistem struktur rangka pemikul momen adalah sambungan antara balok dan kolom. Ketika struktur mengalami beban lateral akibat gempa, balok yang terhubung dengan kolom cenderung berotasi ke arah yang sama, menyebabkan banyak gaya geser terkumpul di sambungan tersebut. Akibatnya, hubungan antara balok dan kolom adalah komponen paling penting dalam merespons beban lateral.

- **Persyaratan Gaya dan Geometri**

Perhitungan gaya yang bekerja untuk perencanaan tulangan longitudinal di muka sambungan balok dan kolom harus memperhitungkan tegangan dan kapasitas sambungan. Tegangan tarik lentur dianggap 1,25 kali kuat leleh tulangan ($1,25f_y$). Asumsi ini digunakan untuk mengantisipasi efek regangan tinggi, yang dapat menyebabkan peningkatan

tegangan melebihi kuat leleh saat terjadi gempa. Pertimbangkan kapasitas sambungan dengan faktor reduksi kekuatan 0,8. Faktor penurunan ini memberikan keamanan tambahan untuk perilaku sambungan yang tidak pasti selama pembebanan gempa, Berikut ini adalah persyaratan geometri untuk hubungan balok dan kolom SRPMK.

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

- **Tulangan Transversal**

Untuk memastikan kekangan yang cukup terhadap beton inti di area kritis, tulangan transversal, juga dikenal sebagai sengkang tertutup, harus dipasang hingga mencakup seluruh area sambungan balok dan kolom, selain di daerah sendi plastis. Dalam situasi di mana balok dengan lebar minimal setengah lebar kolom terhubung ke keempat sisi hubungan antara balok dan kolom, tulangan transversal dapat dipasang sebanyak setengah dari jumlah yang dipasang pada sendi plastis kolom. Pemasangan tulangan transversal dimulai dari sisi terbawah balok yang terhubung ke hubungan. Dalam situasi ini, jarak antara tulangan transversal dapat ditingkatkan menjadi 150 mm.

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

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

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

Hubungan balok dan kolom yang terkekang pada keempat sisinya :

$$V_{jnt} = 1,7\sqrt{f'_c A_{jnt}}$$

Hubungan balok dan kolom yang terkekang pada ketiga sisinya :

$$V_{jnt} = 1,25\sqrt{f'_c A_{jnt}}$$

Hubungan yang lain :

$$V_{jnt} = 1,0\sqrt{f'_c A_{jnt}}$$

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



Gambar 2. 12 Luas Efektif Hubungan Balok dan Kolom

Sumber : SNI 2847-2019, pasal 18.8.4

- **Perencanaan Geser untuk Balok**

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

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

$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f'_c}}$$

Untuk beton normal :

$$\lambda = 0,75$$

Untuk beton ringan :

$$\lambda = 1,0$$

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

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

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

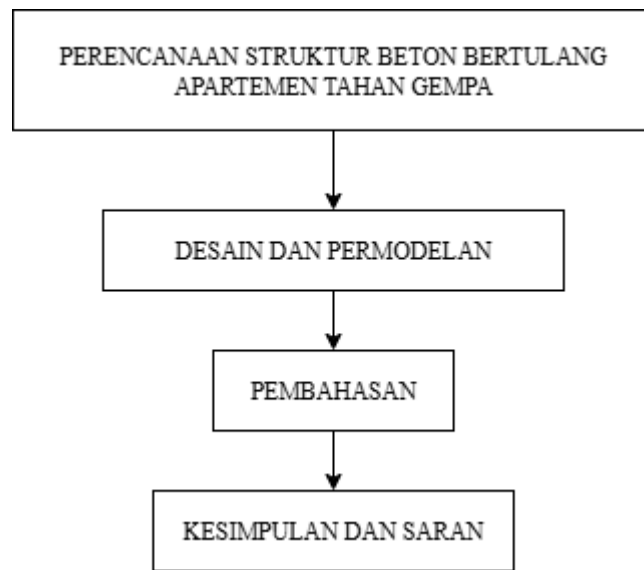
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan kerangka kerja sistematis yang dirancang untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara ilmiah guna mencapai tujuan penelitian (Sugiyono, 2019). Dalam studi ini, pendekatan **mixed methods (metode campuran)** diterapkan dengan menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif. Integrasi kedua metode ini memungkinkan saling melengkapi dan memvalidasi temuan, khususnya dalam mengevaluasi kinerja struktur melalui pendekatan linear dan non-linear berdasarkan standar perencanaan yang berlaku. Pada aspek **kualitatif**, penelitian dilakukan dengan menelaah teori dan regulasi teknis, terutama mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) serta referensi ilmiah seperti jurnal dan buku teknis. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa desain struktur memenuhi persyaratan keamanan dan kinerja. Sementara itu, analisis **kuantitatif** dilaksanakan melalui pemrosesan data perencanaan dengan metode linear. Dengan menggabungkan kedua pendekatan ini, penelitian tidak hanya meningkatkan validitas hasil tetapi juga menjamin bahwa desain struktur memenuhi standar teknis, memiliki ketahanan yang memadai terhadap beban dinamis, dan mematuhi seluruh regulasi yang berlaku.

3.1 Kerangka Berpikir Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk mendesain struktur Beton bertulang apartemen menggunakan SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus). Analisa ini memungkinkan deteksi terhadap titik-titik lemah dalam desain struktur Apartemen serta pengukuran struktur ketika menerima pembebanan gempa berskala besar. Untuk lebih jelasnya, alur kerja penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

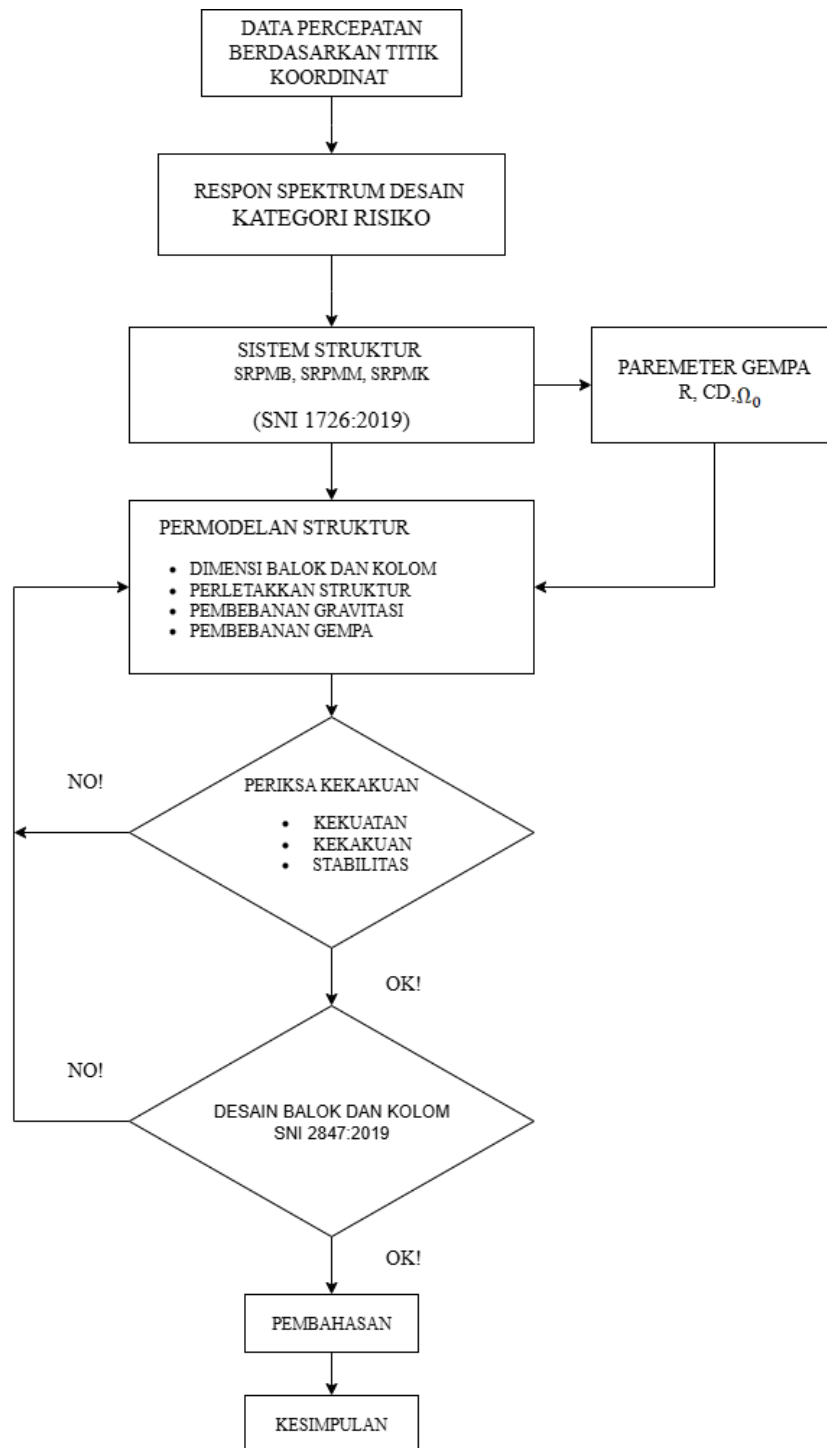


Gambar 3. 1 Flowcart Metodologi Penelitian
Sumber : Penulis, 2025

3.2 Metode Pelaksanaan

Proses implementasi penelitian mencakup serangkaian langkah terstruktur yang dilakukan peneliti untuk mencapai tujuan studi. Alur kerja dimulai dari pengumpulan data desain struktur hingga penyelesaian analisis, yang dirancang untuk memastikan keandalan hasil penelitian. Secara rinci, tahapan metodologis ini divisualisasikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.2.

Proses implementasi penelitian mencakup serangkaian langkah terstruktur yang dilakukan peneliti untuk mencapai tujuan studi. Tahapan ini dirancang secara sistematis guna memastikan validitas, keandalan, dan konsistensi hasil penelitian. Alur kerja dimulai dari pengumpulan data desain struktur, yang meliputi parameter teknis seperti material, dimensi, beban. Data tersebut kemudian diverifikasi untuk memastikan kelengkapan dan akurasi sebelum diproses lebih lanjut. menggunakan perangkat lunak analisis Teknik ETABS untuk mensimulasikan perilaku bangunan di bawah berbagai skenario pembebanan. Proses ini mencakup analisis statis, dinamis.



Gambar 3. 2 Flowchart Perancangan Komponen Struktur

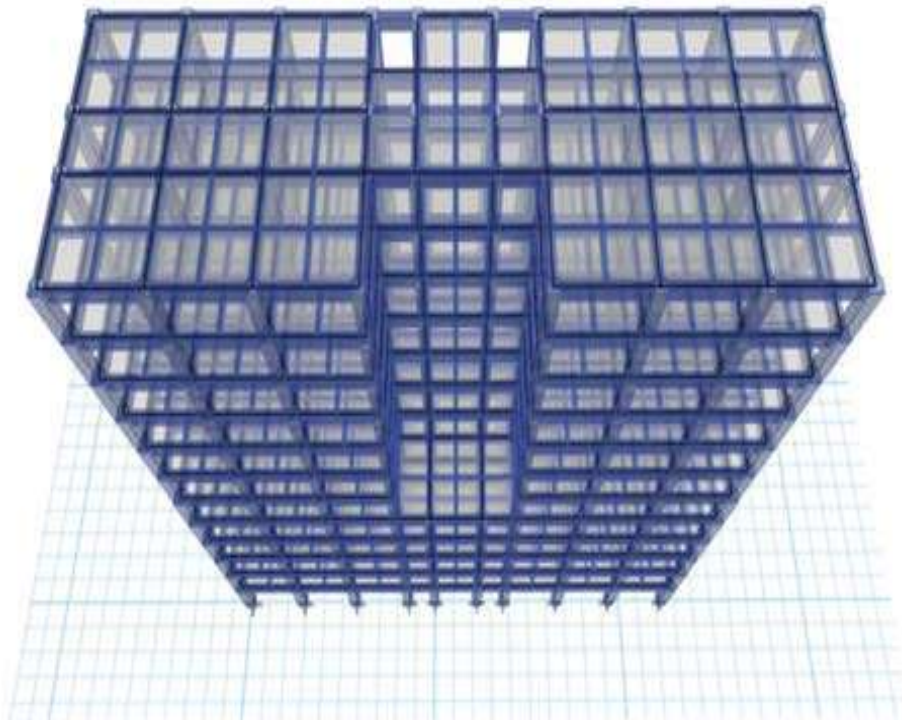
Sumber : Penulis, 2025

BAB IV

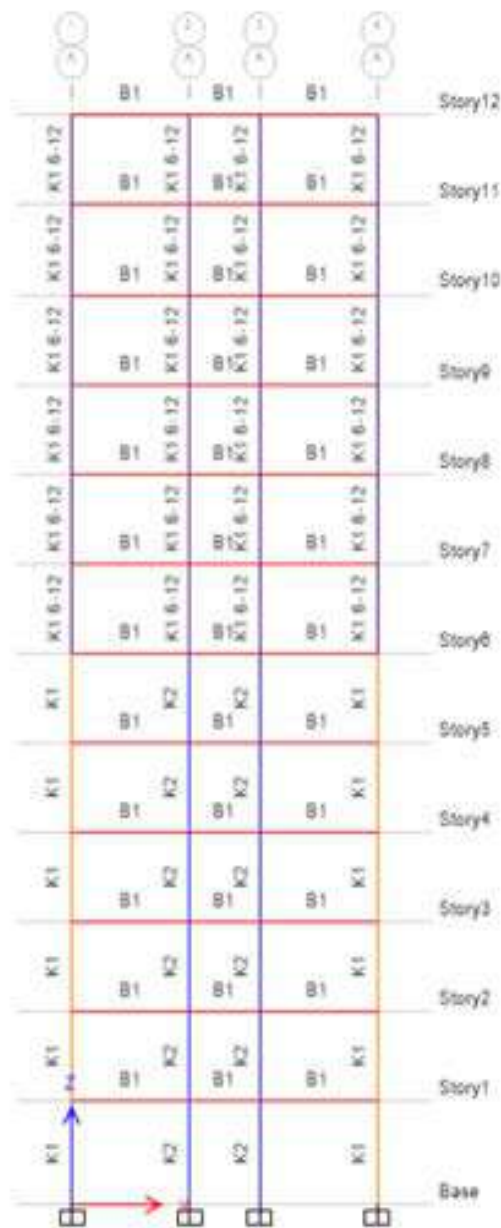
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan Struktur

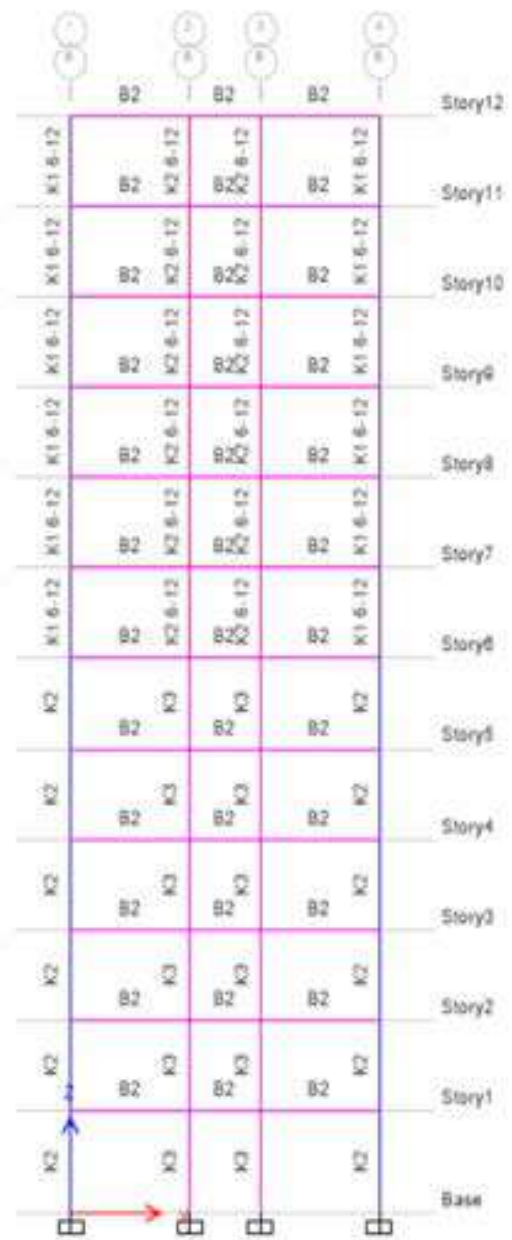
Perencanaan bangunan Apartemen dimodelkan sebagai bangunan struktur beton bertulang 12 lantai dengan perletakan struktur dimodelkan dengan tumpuan jepit, tinggi lantai satu 4m dan lantai berikutnya yaitu 3,5m. Permodelan struktur banggunna dapat dilihat pada gambar



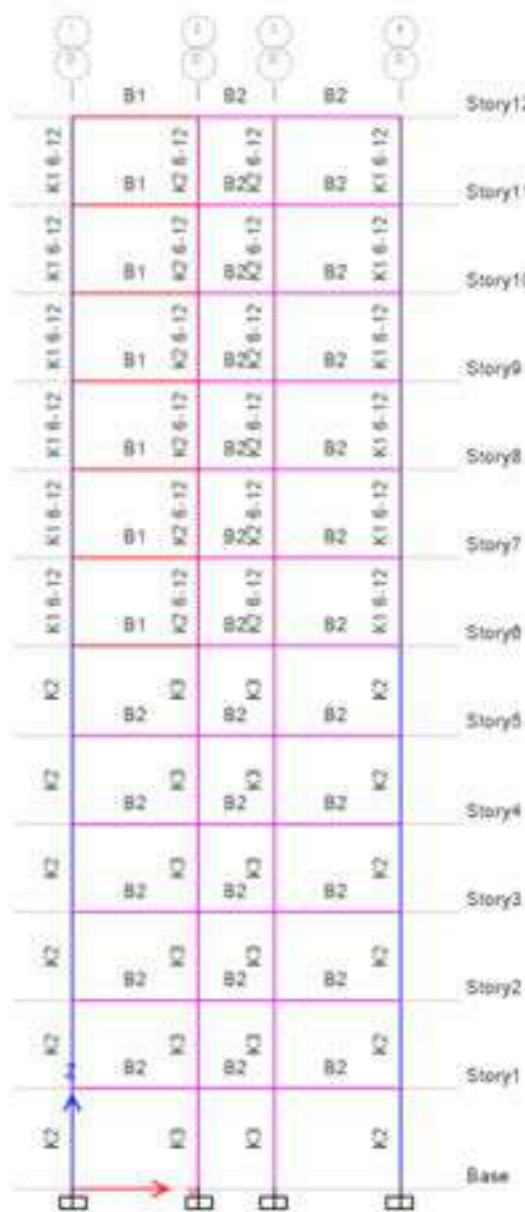
Gambar 4. 1 Perspektif Struktur Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



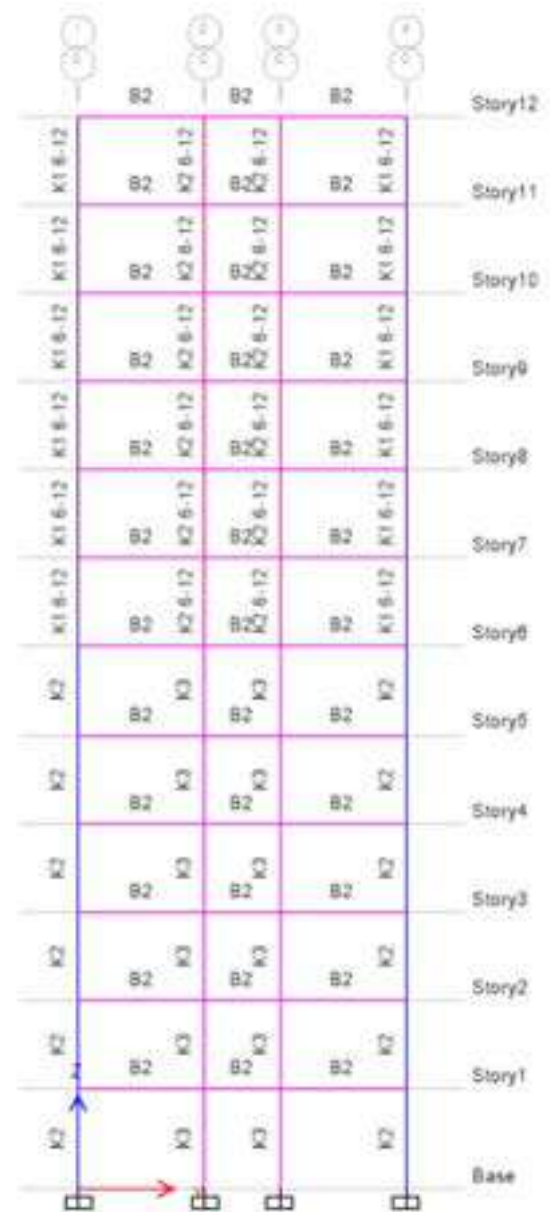
Gambar 4. 2 Potongan A-A Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 3 Potongan B-B Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



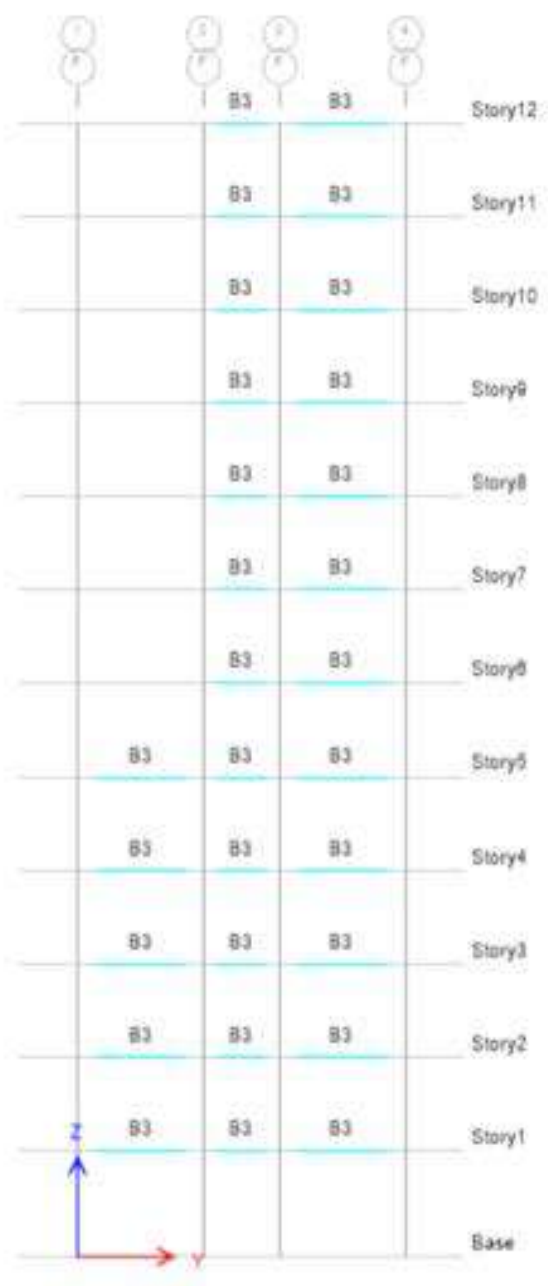
Gambar 4. 4 Potongan C-C Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 5 Potongan D-D Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



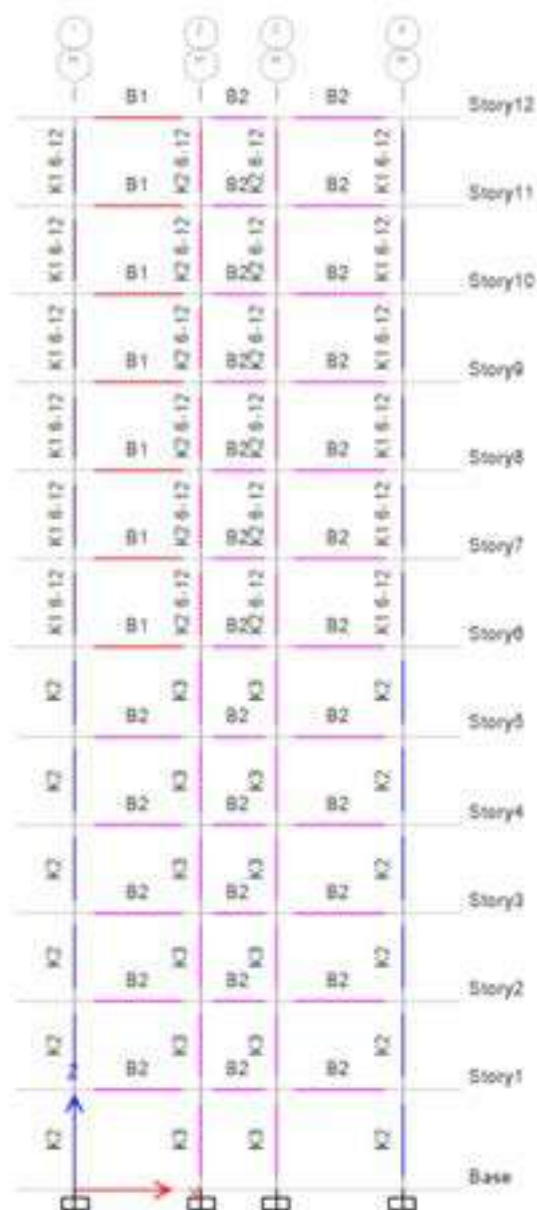
Gambar 4. 6 Potongan E-E Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 7 Potongan F-F Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



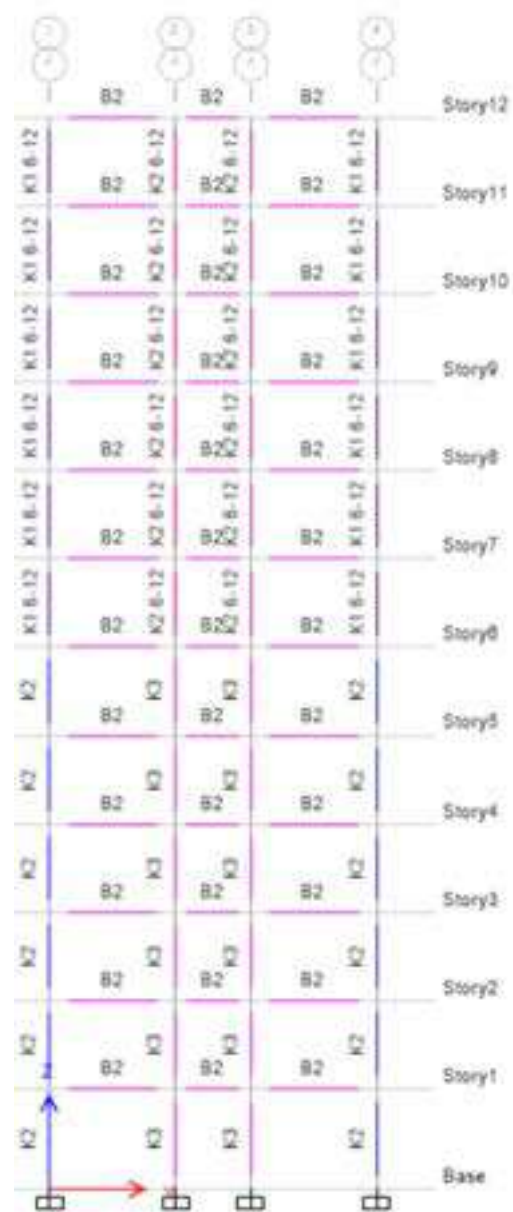
Gambar 4. 8 Potongan G-G Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



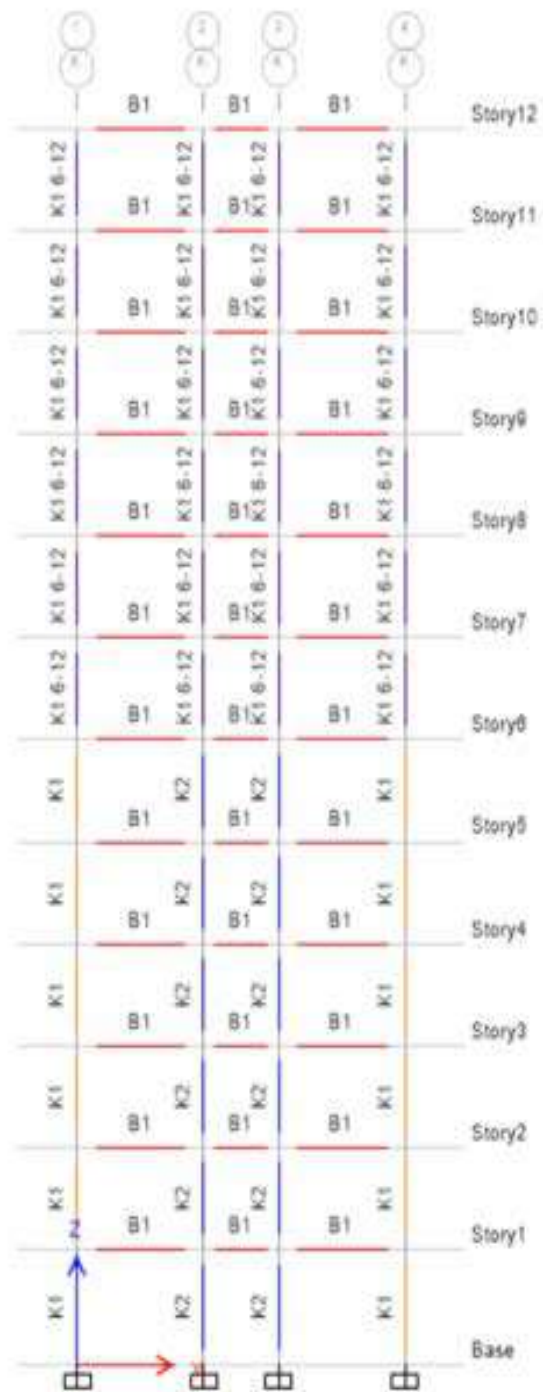
Gambar 4. 9 Potongan H-H Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 10 Potongan I-I Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 11 Potongan J-J Struktur
Bangunan Rencana
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 12 Potongan K-K Struktur
Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisis



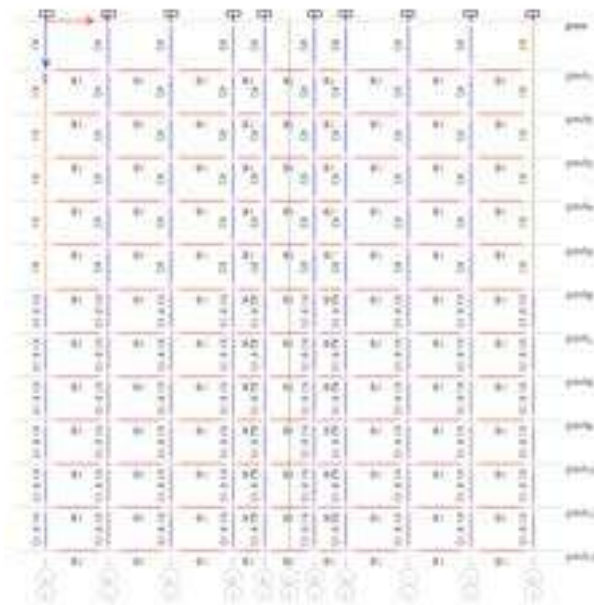
Gambar 4. 13 Potongan 1-1 Struktur
Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisis



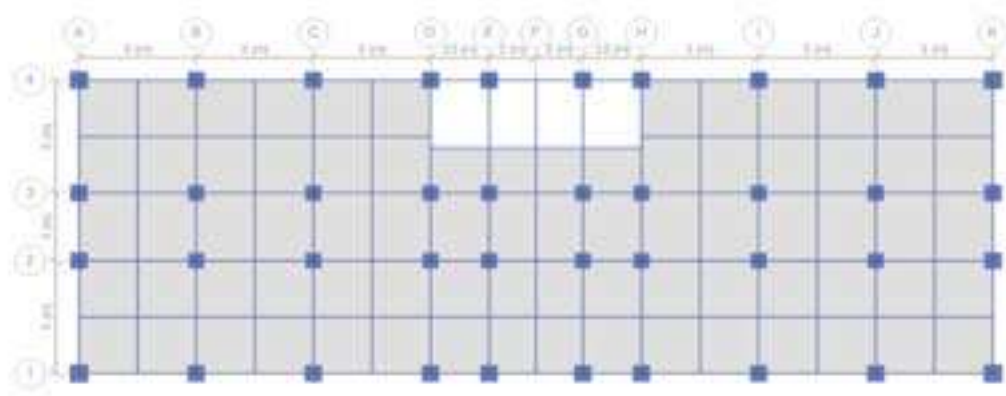
Gambar 4. 14 Potongan 2-2 Struktur
Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisis



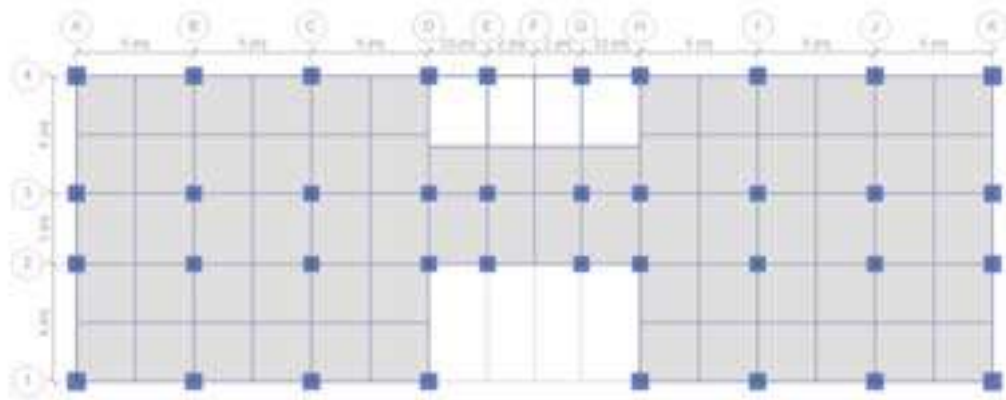
Gambar 4. 15 Potongan 3-3 Struktur
Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 16 Potongan 4-4 Struktur
Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 17 Perspektif Struktur Bangunan Rencana Lt 1-5
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 18 Perspektif Struktur Bangunan Rencana Lt 6-12
Sumber : Hasil Analisis

- **Data Material**

- Mutu Beton

$$B_j = 24 \text{ kN/m}^3$$

- Kuat tekan dan modulus elastis pada beton

$$f_c' = 29.05 \text{ MPa}$$

$$E_c = 25.332 \text{ Mpa}$$

- Tegangan leleh baja tulangan dan modulus elastis

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

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

- Tebal Plat lantai 120mm

Tabel 4. 1 Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	
	b	h
Kolom 1 Lt 1-5	750	750
Kolom 2 Lt 1-5	700	700
Kolom 3 Lt 1-5	650	650
Kolom 4 Lt 6-12	650	650
Kolom 5 Lt 6-12	600	600

Sumber : Data Perencanaan

Tabel 4. 2 Dimensi Balok

Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)	
	b	h
Balok 1	400	650
Balok 2	350	600
Balok 3	200	400

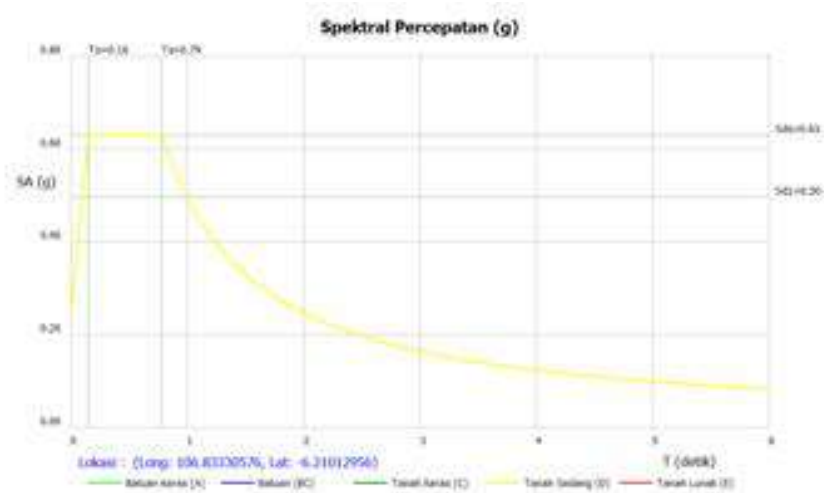
Sumber : Data Perencanaan

4.2 Data Percepatan Gempa

Percepatan gempa dapat dilihat melalui program spektrum respons desain Indonesia 2021, Dengan menggunakan titik kordinat Lokasi perencanaan yang akan direncanakan .

Bangunan Terletak pada Tanah Sedang Dengan titik kordinat -6.21012956,106.83330576 yang diinput kedalam program RSA 2021 sehingga didapat parameter percepatan spectral desain yaitu :

- | | | | |
|-------------------|--------------|-------------------|----------|
| - (Ss) | = 0,8014 . g | - T _S | = 0,7859 |
| - (S1) | = 0,3887 . g | - S _{DS} | = 0,6301 |
| - F _a | = 1,1794 | - S _{D1} | = 0,4952 |
| - F _v | = 1,9113 | - C _v | = 0,4952 |
| - S _{MS} | = 0,9452 | - C _a | = 0,2520 |
| - S _{M1} | = 0,7429 | | |
| - T _O | = 0,1572 | | |



Gambar 4. 19 Kurva Respon Spektrum gempa rencana
Sumber RSA2021

4.2.1 Kategori Risiko

Berdasarkan SNI 2726-2019, Pasal 4.1.2 Tabel 3 Kategori Risiko pada perencanaan Apartemen adalah II

- Faktor Keutamaan Gempa = 1

Berdasarkan SNI 2726-2019, Pasal 4.1.2 Tabel 4

4.2.2 Parameter Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 6.5 Tabel 8 Kategori Dasin Gempa (KDG)

Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek (S_{DS})

SDS< 0,6301 KDG = D

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 6.5 Tabel 8 Kategori Desain Gempa (KDG)

Berdasarkan Parameter Respon

Percepatan Periode 1 detik (S_{D1})

$$0,4952 \leq \text{SD1 KDG} = \text{D}$$

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

$$R = 8,0$$

$$\Omega_0 = 3,0$$

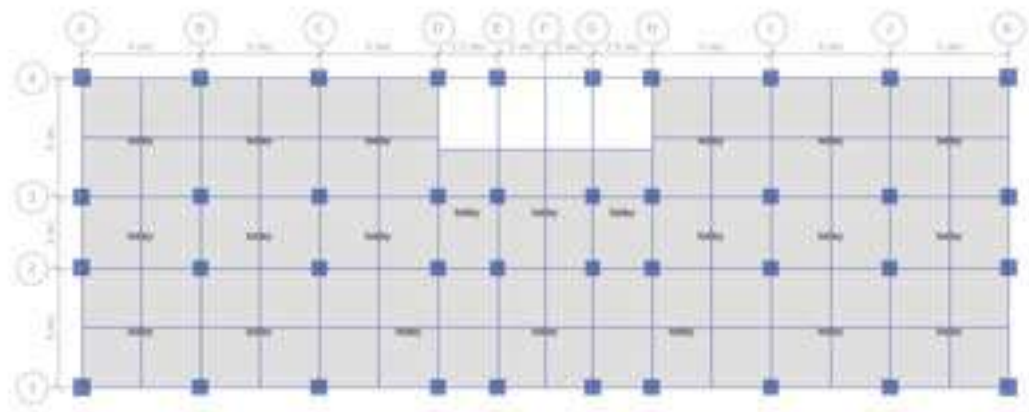
$$Cd = 5,5$$

4.3 Pembebanan Struktur

Karena beratnya komponen pada struktur itu sendiri serta beban tambahan, dan beban hidup, struktur dirancang untuk menahan Beban Gravitasi dan Beban Gempa

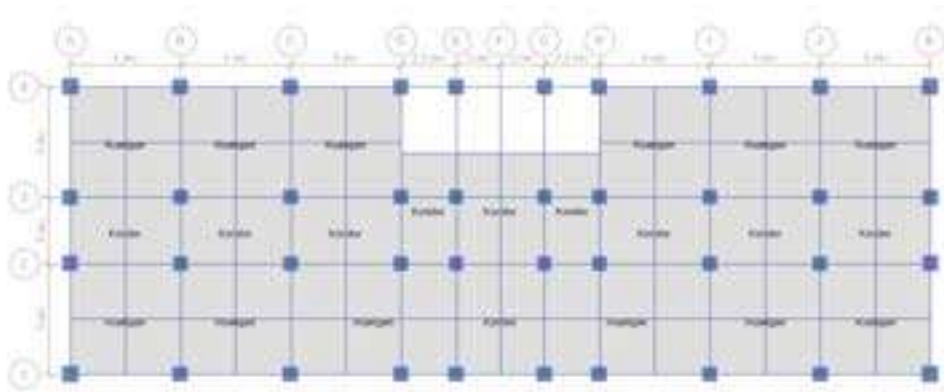
4.3.1 Pembebanan Gravitasi

- Beban Hidup Lantai
 - Ruang / Kamar = 1,92 kN/m²
 - Lobby = 4,79 kN/m²
 - Koridor = 4,79 kN/m²



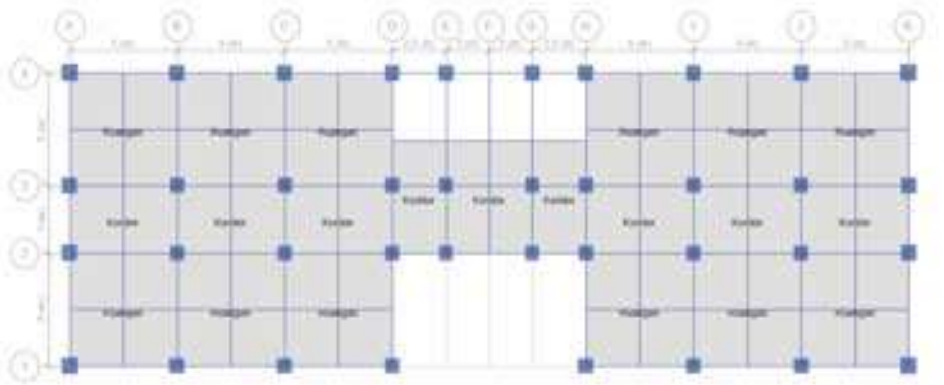
Gambar 4. 20 Denah Pembebanan Lantai 1

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 21 Denah Pembebanan Lantai 2-5

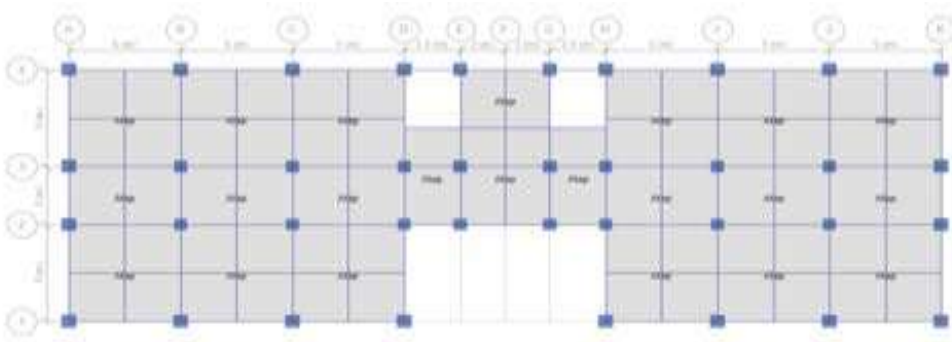
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 22 Denah Pembebanan Lantai 5-11

Sumber : Hasil Analisis

- Beban Hidup Atap
- Dag Atap $= 3,10 \text{ Kn/m}^2$



Gambar 4. 23 Denah Pembebanan Lantai Atap

Sumber : Hasil Analisis

- **Beban Mati Tambahan Pada Lantai (SIDL)**

Finsihing Lantai	= 0,08 kN/m ²
Penutup Lantai	= 1,58 kN/m ²
Dinding & Plester	= 2,35 kN/m ²
Glass	= 0,38 kN/m ²
Suspended Metal dan Gypsum Plaster	= 0,48 kN/m ²
SIDL Total	= 4,87 kN/m ²
- **Beban Mati Tambahan Pada Atap (SIDL)**

Finsihing Lantai	= 0,08 kN/m ²
Suspended Metal dan Gypsum Plaster	= 0,48 kN/m ²
Mechanical Duct Allowance	= 0,19 kN/m ²
Dinding & Plester	= 2,35 kN/m ²
SIDL Total	= 3,10 kN/m ²

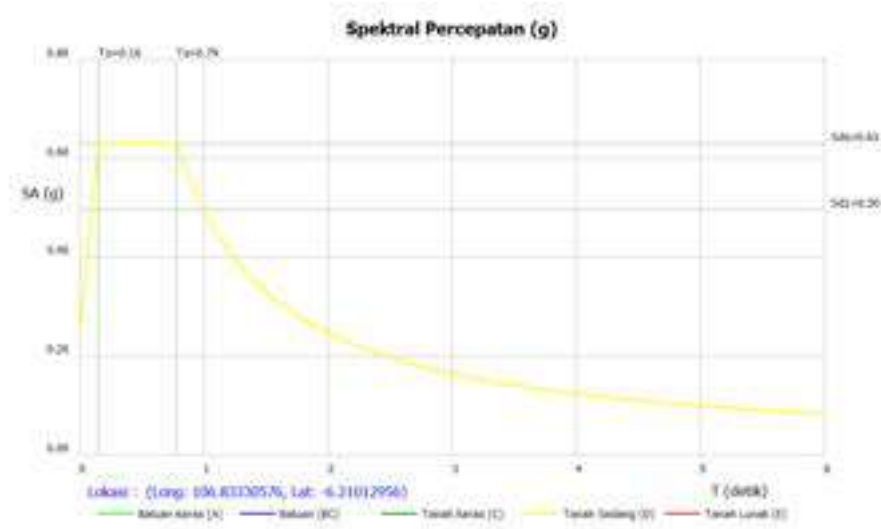
4.3.2 Pembebanan Gempa

Beban gempa dapat dilihat melalui program spektrum respons desain Indonesia 2021, Dengan menggunakan titik kordinat Lokasi perencanaan yang akan direncanakan yang mengacu pada peta sumber bahaya gempa di Indonesai yang disusun oleh Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN)

- **Data Respon Spektra**

Lokasi bangunan berada pada kondisi tanah Sedang dengan titik kordinat -6.21012956,106.83330576 yang diinpun kedalam program RSA 2021 sehingga didapat parameter percepatan spectral desain yaitu :

- | | |
|------------------|---------------|
| - Ss = 0,8014. g | - To = 0,1572 |
| - S1 = 0,3887. g | - Ts = 0,7859 |
| - Fa = 1,1794 | - SDS= 0,6301 |
| - Fv = 1,9113 | - SDI= 0,4952 |
| - SMS= 0,9452 | - Cv = 0,4952 |
| - SM1= 0,7429 | - Ca = 0,2520 |



Gambar 4. 24 Kurva Respon Spektrum gempa rencana

Sumber : Hasil Analisis

- Periode pendek 0,2 detik (S_s) = 0,8014 g
- Periode 1 detik (S_1) = 0,3887 g

Berdasarkan tabel 2.7 kategori resiko bangunan adalah II

- Faktor keutamaan gempa = 1

Berdasarkan gambar 4.19 dapat ditentukan nilai F_a dan F_v ,

- Kategori Lokasi F_a = 1,1794 g
- Kategori Lokasi F_v = 1,9113 g

Perhitungan nilai S_{MS} dan S_{M1}

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

$$S_{MS} = 1,1794 \times 0,8014 = 0,9452 \text{ g}$$

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

$$S_{M1} = 1,9113 \times 0,3887 = 0,7429 \text{ g}$$

Perhitungan nilai SDS dan SD1

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 21,1794 \times 0,8014 = 0,6301$$

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 1,9113 \times 0,3887 = 0,4952$$

Waktu getar alami struktur gedung

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

$$T_o = 0,2 \times \frac{0,4952}{0,6301} = 0,1572$$

Waktu getar alami sudut (T)

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

$$T_s = \frac{0,7859}{0,6301} = 0,7859$$

4.4 Penentuan Period Fundamental Struktur (T)

Tabel 2.12 menunjukkan bahwa nilai SD1 adalah 0,4952, sehingga koefisien C_u adalah 1,4; untuk rangka beton pemikul momen, nilai C_t adalah 0,0466 dan α adalah 0,9, dengan tinggi bangunan 42,5 meter. Ada dua cara untuk menghitung batas atas dan bawah:

Batas Bawah

$$T_a = C_t \times h_n^\alpha$$

$$T_a = 0,0466 \times 42,5^{0,9} = 1,36 \text{ sec.}$$

Batas Atas

$$T < C_u \times T_a$$

$$T < 1,4 \times 1,36 = 1,906 \text{ sec.}$$

Setelah permodelan dilakukan, tahap selanjutnya adalah mengontrol hasil analisis struktur.

Tabel 4. 3 Periode Ragam Getar Frekuensi pada saat kondisi Un-Creak

Mode	Period T	Frequency 1/T	CircFreq w	Eigenvalue w ²
	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
1	1,469	0,681	4,2758	18,2823
2	1,338	0,747	4,6948	22,0408
3	1,293	0,774	4,8607	23,6263
4	0,494	2,023	12,7104	161,5554
5	0,457	2,188	13,7447	188,9158
6	0,44	2,275	14,2946	204,3346
7	0,274	3,652	22,9464	526,5372
8	0,257	3,897	24,4825	599,3919
9	0,25	4,004	25,157	632,8726
10	0,187	5,344	33,5773	1127,4342
11	0,176	5,675	35,6586	1271,5373

Sumber: Hasil Analisis

Dari hasil analisa didapat : TCX = 1,33

TCY = 1,47

Tabel 4. 4 Periode Ragam Getar Frekuensi pada saat kondisi Creak

Mode	Period T	Frequency 1/T	CircFreq w	Eigenvalue w ²
	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
1	2,065	0,484	3,0429	9,2595
2	1,889	0,529	3,3254	11,0586
3	1,853	0,54	3,3902	11,4932
4	0,687	1,456	9,1461	83,6504
5	0,64	1,562	9,816	96,3542
6	0,618	1,619	10,1725	103,4795
7	0,38	2,635	16,554	274,0364
8	0,357	2,801	17,6009	309,7917
9	0,347	2,879	18,089	327,2119
10	0,253	3,946	24,7918	614,6353
11	0,24	4,168	26,1905	685,9435

Sumber: Hasil Analisis

Dari hasil analisa didapat : TCX = 1,89

TCY = 2,07

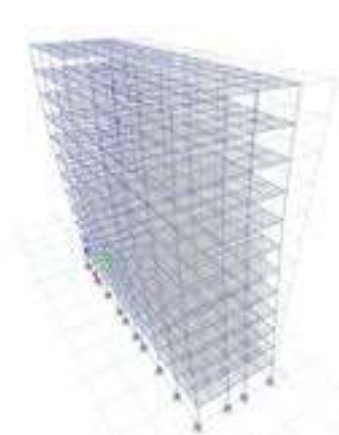
4.4.1 Model Respon Spektrum

Tabel 4. 5 Rasio Model Partisipasi Massa dalam Kondisi Un-crack

Mode	T	Rasio Modal Partisipasi Massa (%)		
		UX	UY	RZ
1	1,47	0	78,54	0,00
2	1,34	0,16	78,54	79,60
3	1,29	79,62	78,54	79,83
4	0,49	79,62	90,7	79,83
5	0,46	84,59	90,7	86,69
6	0,44	91,1	90,7	90,98
7	0,27	91,1	94,45	90,98
8	0,26	92,74	94,45	93,04
9	0,25	94,75	94,45	94,67
10	0,19	94,75	96,61	94,67
11	0,18	95,99	96,61	95,60

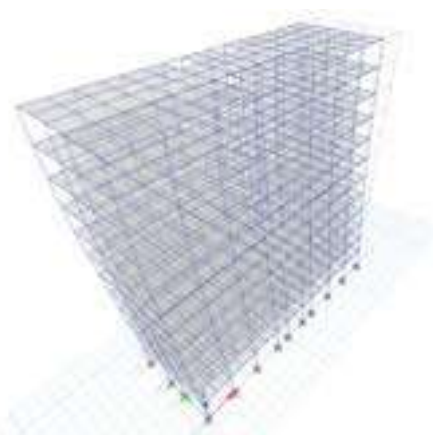
Sumber: Hasil Analisis

Pada Tabel 4.5 menunjukkan pada mode 6, nilai partisipasi massa $\geq 90\%$, yang berarti peninjauan ragam getar memenuhi pasal 7.9.1 pada SNI 2726-2019.



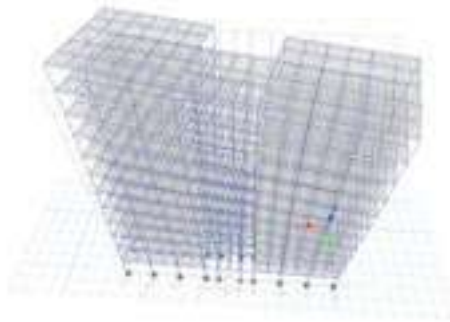
Gambar 4. 25 Mode 1 Transaksi Arah X

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 26 Mode 2 Transaksi Arah Y

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 27 Mode 3 Rotasi

Sumber : Hasil Analisis

4.4.2 Beban Geser Dasar Gempa

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

Tabel 4. 6 Rangkuman Beban Mati dan Beban Hidup berdasarkan Pasal 7.7.2 SNI 1726-2019

JENIS PEMBEBANAN	DATA BEBAN		Total (DL+25%L) (kN)
	BEBAN	REDUKSI	
	(kN)	B. HIDUP	
Plat, Balok & kolom	51157,316	1,00	51.157,32
SIDL	42208,55	1,00	42.208,55
Beban Hidup	14597,27	0,25	3.649,32
	49332,9296	Wt =	97.015,18

Sumber : Analisis Linear, 2025

$$\begin{aligned}
 C_{S(\min)} &= 0,0277 \\
 C_{S(\max)} &= 0,0788 \\
 C_{Sx} &= 0,0455 \\
 V_{nx} &= 4.411,97 \\
 C_{sy} &= 0,0421 \\
 V_{ny} &= 4.088,33
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 7 Base Shear sebelum terkoreksi

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

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 8 Base Shear setelah terkoreksi

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

Sumber : Hasil Analisis

Setelah dilakukan koreksi terhadap nilai respons spektrum, terlihat bahwa nilai gaya geser dasar arah X (V_{nx}) dan arah Y (V_{ny}) yang diperoleh tetap menunjukkan kesesuaian dengan hasil perkalian skala sebelum koreksi.

4.4.3 Simpangan (*Displacement*) Akibat Pengaruh Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.8.6 menyatakan bahwa analisis simpangan struktur yang disebabkan oleh beban gempa harus dilakukan.

Tabel 4. 9 Data simpangan lantai akibat beban lateral

Lokasi	Perpindahan (mm)		Perpindahan (mm)	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
	Ex		Ey	
LT.12	62,487	2,546	0,016	71,199
LT.11	61,001	2,162	0,016	69,177
LT.10	58,482	1,544	0,016	66,098
LT.9	54,878	0,821	0,015	61,921
LT.8	50,312	0,677	0,013	56,757
LT.7	45,038	1,349	0,011	50,73
LT.6	39,017	1,974	0,009	43,946
LT.5	32,791	2,279	0,008	36,874
LT.4	26,232	2,209	0,006	29,335
LT.3	19,217	1,847	0,005	21,295
LT.2	11,927	1,248	0,003	13,006
LT.1	4,934	0,537	0,001	5,212
Base	0	0	0	0

Sumber : Hasil Analisis

4.4.4 Pemeriksaan Story Drifts

Pemeriksaan Story Drift merupakan salah satu tahapan penting dalam evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa, yang bertujuan untuk memastikan bahwa perpindahan relatif antar lantai (interstory drift) masih berada dalam batas aman yang telah ditentukan oleh peraturan. Berdasarkan SNI 1726:2019

Pemeriksaan ini dilakukan dengan membandingkan hasil analisis perpindahan lantai dari pemodelan struktur terhadap ketentuan batas tersebut. Apabila nilai story drift yang terjadi melebihi batas yang diperbolehkan, maka diperlukan perbaikan pada sistem struktur, seperti peningkatan kekakuan elemen atau penambahan sistem penahan gaya lateral.

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

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

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

Rasio Simpangan

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

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

Defleksi Pusat Massa Tingkat

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

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

Perhitungan storyf drift selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 untuk story drifts arah sumbu-X dan Tabel 4.11 untuk Story drifts arah sumbu-Y.

Tabel 4. 10 Story Drift Arah Sumbu X

Tingkat x	Story	Tinggi Tingkat H_x	Story Drift Hasil Analisis		Drift Izin Maks.	Sdx	Drift Izin Maks.	Kontrol
			dxe/hx	dx	Dx		SDx	
		(m)	(mm/mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
LT.12	12	3,50	0,00042	8,17	70,00	343,68	850	Ok.
LT.11	11	3,50	0,00072	13,85	70,00	335,51	780	Ok.
LT.10	10	3,50	0,00103	19,82	70,00	321,65	710	Ok.
LT.9	9	3,50	0,00130	25,11	70,00	301,83	640	Ok.
LT.8	8	3,50	0,00151	29,01	70,00	276,72	570	Ok.
LT.7	7	3,50	0,00172	33,12	70,00	247,71	500	Ok.
LT.6	6	3,50	0,00178	34,24	70,00	214,59	430	Ok.
LT.5	5	3,50	0,00187	36,07	70,00	180,35	360	Ok.
LT.4	4	3,50	0,00200	38,58	70,00	144,28	290	Ok.
LT.3	3	3,50	0,00208	40,10	70,00	105,69	220	Ok.
LT.2	2	3,50	0,00200	38,46	70,00	65,60	150	Ok.
LT.1	1	4,00	0,00123	27,14	80,00	27,14	80	Ok.
Base	0	0	0	0	0	0	0	

Sumber : Hasil Analisis

Pada Hasil Analisis Story drift yang didapat drift arah X tidak boleh melebihi drift izin maksimal

Tabel 4. 11 Story Drift Arah Sumbu Y

Tingkat x	Story	Tinggi Tingkat H_y	Story Drift Hasil Analisis		Drift Izin Maks.	Sdy	Drift Izin Maks.	Kontrol
			dye/hx	dy	Dy		SDy	
		(m)	(mm/mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
LT.12	12	3,50	0,00058	11,12	70,00	391,59	850,00	Ok.
LT.11	11	3,50	0,00088	16,93	70,00	380,47	780,00	Ok.
LT.10	10	3,50	0,00119	22,97	70,00	363,54	710,00	Ok.
LT.9	9	3,50	0,00148	28,40	70,00	340,57	640,00	Ok.
LT.8	8	3,50	0,00172	33,15	70,00	312,16	570,00	Ok.
LT.7	7	3,50	0,00194	37,31	70,00	279,02	500,00	Ok.
LT.6	6	3,50	0,00202	38,90	70,00	241,70	430,00	Ok.
LT.5	5	3,50	0,00215	41,46	70,00	202,81	360,00	Ok.
LT.4	4	3,50	0,00230	44,22	70,00	161,34	290,00	Ok.
LT.3	3	3,50	0,00237	45,59	70,00	117,12	220,00	Ok.
LT.2	2	3,50	0,00223	42,87	70,00	71,53	150,00	Ok.
LT.1	1	4,00	0,00130	28,67	80,00	28,67	80,00	Ok.
Base	0	0	0	0	0	0	0	

Sumber : Hasil Analisis

Pada Hasil Analisis Story drift yang didapat drift arah Y tidak boleh melebihi drift izin maksimal

4.4.5 Beban Geser Dasar Gempa

Tabel 4. 12 Rangkuman Berat Struktur per Lantai

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Beban Mati DL akibat geser gempa			(DL+25%L) kN/m
		Beban Mati kN/m	SIDL kN/m	Live kN/m	
LT.12	42,50	3424,1987	1385,7	429,12	4917,1787
LT.11	39,00	4011,06775	3583,675	1222,65	7900,4053
LT.10	35,50	4011,06775	3583,675	1222,65	7900,4053
LT.9	32,00	4011,0677	3583,675	1222,65	7900,4052
LT.8	28,50	4011,0677	3583,675	1222,65	7900,4052
LT.7	25,00	4008,8292	3583,675	1222,65	7898,1667
LT.6	21,50	4107,6471	3583,675	1222,65	7996,9846
LT.5	18,00	4482,69535	3864,16	1366,45	8688,4679
LT.4	14,50	4523,1062	3864,16	1366,45	8728,8787
LT.3	11,00	4523,1061	3864,16	1366,45	8728,8786
LT.2	7,50	4523,1061	3864,16	1366,45	8728,8786
LT.1	4,00	4633,91175	3864,16	1366,45	8839,6843
Base	0	886,4446	0	0	886,4446
		51.157,32	42.208,55	14.597,27	97.015,18

Sumber : Hasil Analisis

Rangkuman berat struktur per lantai merupakan tahap penting dalam proses perencanaan dan analisis bangunan, karena memberikan gambaran menyeluruh mengenai distribusi massa vertikal pada setiap level struktur.

Tabel 4. 13 Distribusi Gaya Gempa per Lantai Arah Sumbu X

Lantai	Tinggi Lantai	Berat lantai (DL+25%LL)	Momen $W_i \cdot h_i$	C_{vx}	Gaya Geser Tingkat	Geser Lantai F_x	Momen Guling M_{OT-X}
	h_i (m)	W_i (kN)	(kN.m)		F_i (kN)	(kN)	(kN.m)
LT.12	42,50	4.917,18	208.980	0,0984	433,94	433,9	0,0
LT.11	39,00	7.900,41	308.116	0,1450	639,80	1.073,7	1.518,8
LT.10	35,50	7.900,41	280.464	0,1320	582,38	1.656,1	5.276,9
LT.9	32,00	7.900,41	252.813	0,1190	524,96	2.181,1	11.073,3
LT.8	28,50	7.900,41	225.162	0,1060	467,54	2.648,6	18.707,1
LT.7	25,00	7.898,17	197.454	0,0929	410,01	3.058,6	27.977,3
LT.6	21,50	7.996,98	171.935	0,0809	357,02	3.415,7	38.682,6
LT.5	18,00	8.688,47	156.392	0,0736	324,75	3.740,4	50.637,4
LT.4	14,50	8.728,88	126.569	0,0596	262,82	4.003,2	63.728,8
LT.3	11,00	8.728,88	96.018	0,0452	199,38	4.202,6	77.740,1
LT.2	7,50	8.728,88	65.467	0,0308	135,94	4.338,5	92.449,2
LT.1	4,00	8.839,68	35.359	0,0166	73,42	4.412,0	107.634,1
Base	0	886,44	0		0,00	0	125.281,9
		97.015,18	2.124.728,3	1,0	4.412,0		125.281,9

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 14 Distribusi Gaya Gempa per Lantai Arah Sumbu Y

Lantai	Tinggi Lantai h_i (m)	Berat lantai (DL+25%LL) W_i (kN)	Momen $W_i \cdot h_i$ (kN.m)	C_{vy}	Gaya Geser Tingkat F_i (kN)	Geser Lantai F_y (kN)	Momen Guling M_{OT-Y} (kN.m)
LT.12	42,50	4.917,18	208.980	0,0984	402,11	402,11	0,0
LT.11	39,00	7.900,41	308.116	0,1450	592,87	994,98	1.407,4
LT.10	35,50	7.900,41	280.464	0,1320	539,66	1.534,64	4.889,8
LT.9	32,00	7.900,41	252.813	0,1190	486,45	2.021,09	10.261,1
LT.8	28,50	7.900,41	225.162	0,1060	433,25	2.454,34	17.334,9
LT.7	25,00	7.898,17	197.454	0,0929	379,93	2.834,28	25.925,1
LT.6	21,50	7.996,98	171.935	0,0809	330,83	3.165,11	35.845,1
LT.5	18,00	8.688,47	156.392	0,0736	300,93	3.466,03	46.922,9
LT.4	14,50	8.728,88	126.569	0,0596	243,54	3.709,57	59.054,1
LT.3	11,00	8.728,88	96.018	0,0452	184,75	3.894,33	72.037,6
LT.2	7,50	8.728,88	65.467	0,0308	125,97	4.020,30	85.667,7
LT.1	4,00	8.839,68	35.359	0,0166	68,04	4.088,33	99.738,8
Base	0,00	886,44	0	0	0	0	116.092,1
		97.015,18	2.124.728,3	1,00	4.088,33		116.092,1

Sumber : Hasil Analisis

4.4.6 Stabilitas Guling

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

Arah X

$$M_{OT_X} = 125.281,94 \text{ kN-m}$$

$$M_{ST_X} = 1.891.796,08 \text{ kN-m}$$

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

$$1.418.847 \text{ kN-m} > 125.282 \text{ kN-m} \quad \text{Ok.}$$

Arah Y

$$M_{OT_Y} = 116.092,09 \text{ kN-m}$$

$$M_{ST_Y} = 630.598,69 \text{ kN-m}$$

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

$$472.949 \text{ kN-m} > 116.092 \text{ kN-m} \quad \text{Ok.}$$

4.4.7 Pengaruh P Delta

Tabel 4. 15 Pemeriksaan P Delta Arah Sumbu X

Lantai	Tinggi Tingkat h_i (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat P_i (kN)	Story Drift d_x/C_d (m)	Shear story V_i (kN)	q	Kontrol $q \leq q_{min}$	Kontrol $q \leq q_{max}$
LT.12	3,50	5.239,02	5.239,02	0,0015	433,94	0,005	Ok.	ok
LT.11	3,50	8.817,39	14.056,41	0,0025	1.073,74	0,009	Ok.	ok
LT.10	3,50	8.817,39	22.873,80	0,0036	1.656,12	0,014	Ok.	ok
LT.9	3,50	8.817,39	31.691,20	0,0046	2.181,08	0,019	Ok.	ok
LT.8	3,50	8.817,39	40.508,59	0,0053	2.648,63	0,023	Ok.	ok
LT.7	3,50	8.815,15	49.323,74	0,0060	3.058,64	0,028	Ok.	ok
LT.6	3,50	8.913,97	58.237,72	0,0062	3.415,66	0,030	Ok.	ok
LT.5	3,50	9.713,31	67.951,02	0,0066	3.740,41	0,034	Ok.	ok
LT.4	3,50	9.753,72	77.704,74	0,0070	4.003,22	0,039	Ok.	ok
LT.3	3,50	9.753,72	87.458,45	0,0073	4.202,60	0,043	Ok.	ok
LT.2	3,50	9.753,72	97.212,17	0,0070	4.338,54	0,045	Ok.	ok
LT.1	4,00	9.864,52	107.076,69	0,0049	4.411,97	0,030	Ok.	ok
Base	0	886,44	107.963,14	0	0		0	

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 16 Pemeriksaan P Delta Arah Sumbu Y

Tingkat	Tinggi Tingkat h_i (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat P_i (kN)	Story Drift d_y/C_d (m)	Shear story V_i (kN)	q	Kontrol $q \leq q_{min}$	Kontrol $q \leq q_{max}$
LT.12	3,50	5.239,02	5.239,02	0,0020	402,11	0,008	Ok.	ok
LT.11	3,50	8.817,39	14.056,41	0,0031	994,98	0,012	Ok.	ok
LT.10	3,50	8.817,39	22.873,80	0,0042	1.534,64	0,018	Ok.	ok
LT.9	3,50	8.817,39	31.691,20	0,0052	2.021,09	0,023	Ok.	ok
LT.8	3,50	8.817,39	40.508,59	0,0060	2.454,34	0,028	Ok.	ok
LT.7	3,50	8.815,15	49.323,74	0,0068	2.834,28	0,034	Ok.	ok
LT.6	3,50	8.913,97	58.237,72	0,0071	3.165,11	0,037	Ok.	ok
LT.5	3,50	9.713,31	67.951,02	0,0075	3.466,03	0,042	Ok.	ok
LT.4	3,50	9.753,72	77.704,74	0,0080	3.709,57	0,048	Ok.	ok
LT.3	3,50	9.753,72	87.458,45	0,0083	3.894,33	0,053	Ok.	ok
LT.2	3,50	9.753,72	97.212,17	0,0078	4.020,30	0,054	Ok.	ok
LT.1	4,00	9.864,52	107.076,69	0,0052	4.088,33	0,034	Ok.	ok
Base	0	886,44	107.963,14	0	0		0	

Sumber : Hasil Analisis

Pada P-delta simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10, sesuai dengan ketentuan pada SNI 1727:2019 Ps 7.8.7.

4.4.8 Ketidakberaturan Struktur Vertikal (Irregularitas Vertikal)

Ketidakteraturan Struktur Vertikal (Irregularitas Vertikal) merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dan perancangan struktur bangunan, khususnya bangunan bertingkat yang berada di wilayah rawan gempa. Irregularitas vertikal mengacu pada ketidakteraturan atau perubahan mendadak dalam sistem struktural atau kekakuan (stiffness), massa, maupun kekuatan struktur di sepanjang ketinggian bangunan (vertikal)

- Pada ketidak beraturan Tipe 1a

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

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

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

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

- Pada Ketidakberaturan Tipe 1b

Berdasarkan SNI 1726-2012, Tabel 11:

1. Lateral story stiffness < 60% dari tingkat diatasnya, yaitu jika :

$$60\%(\delta_{1e}/h_1) > (\delta_{2e} - \delta_{1e})/h_2$$

2. Lateral story stiffness < 70% dari kekakuan rata-rata tiga tingkat diatasnya,

yaitu jika :

$$70\%(\delta_{1e}/h_1) > 1/3 \left[\frac{(\delta_{2e} - \delta_{1e})}{h_2} + \frac{(\delta_{3e} - \delta_{2e})}{h_3} + \frac{(\delta_{4e} - \delta_{3e})}{h_4} \right]$$

Tabel 4. 17 Iregularitas Vertikal Tipe 1a Arah X

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{xe} (m)	Story Drift Ratio d_{xe}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0015	0,00042	0,70	0,70
LT.11	11	39,00	0,0025	0,00072	0,70	0,70
LT.10	10	35,50	0,0036	0,00103	0,70	0,70
LT.9	9	32,00	0,0046	0,00130	0,70	0,79
LT.8	8	28,50	0,0053	0,00151	0,70	0,87
LT.7	7	25,00	0,0060	0,00172	0,70	0,88
LT.6	6	21,50	0,0062	0,00178	0,70	0,97
LT.5	5	18,00	0,0066	0,00187	0,70	0,95
LT.4	4	14,50	0,0070	0,00200	0,70	0,93
LT.3	3	11,00	0,0073	0,00208	0,70	0,96
LT.2	2	7,50	0,0070	0,00200	0,70	1,04
LT.1	1	4,00	0,0049	0,00123	0,70	1,62
Base	0	0	0	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{xe} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	80% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0015	0,0000	0,80	0,56
LT.11	11	39,00	0,0025	0,0000	0,80	0,56
LT.10	10	35,50	0,0036	0,0000	0,80	0,56
LT.9	9	32,00	0,0046	0,0007	0,80	0,56
LT.8	8	28,50	0,0053	0,0010	0,80	0,68
LT.7	7	25,00	0,0060	0,0013	0,80	0,74
LT.6	6	21,50	0,0062	0,0015	0,80	0,85
LT.5	5	18,00	0,0066	0,0017	0,80	0,89
LT.4	4	14,50	0,0070	0,0018	0,80	0,89
LT.3	3	11,00	0,0073	0,0019	0,80	0,91
LT.2	2	7,50	0,0070	0,0020	0,80	0,99
LT.1	1	4,00	0,0049	0,0020	0,80	1,64
Base	0	0	0	0	0,80	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.17 Iregularitas Vertikal Tipe 1a Arah Y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{ye} (m)	Story Drift Ratio d_{ye}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0020	0,00058	0,70	0,74
LT.11	11	39,00	0,0031	0,00088	0,70	0,74
LT.10	10	35,50	0,0042	0,00119	0,70	0,74
LT.9	9	32,00	0,0052	0,00148	0,70	0,81
LT.8	8	28,50	0,0060	0,00172	0,70	0,86
LT.7	7	25,00	0,0068	0,00194	0,70	0,89
LT.6	6	21,50	0,0071	0,00202	0,70	0,96
LT.5	5	18,00	0,0075	0,00215	0,70	0,94
LT.4	4	14,50	0,0080	0,00230	0,70	0,94
LT.3	3	11,00	0,0083	0,00237	0,70	0,97
LT.2	2	7,50	0,0078	0,00223	0,70	1,06
LT.1	1	4,00	0,0052	0,00130	0,70	1,71
Base	0	0	0	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{ye} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	80% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0020	0,0000	80,00	0,60
LT.11	11	39,00	0,0031	0,0000	80,00	0,60
LT.10	10	35,50	0,0042	0,0000	80,00	0,60
LT.9	9	32,00	0,0052	0,0009	80,00	0,60
LT.8	8	28,50	0,0060	0,0012	80,00	0,69
LT.7	7	25,00	0,0068	0,0015	80,00	0,76
LT.6	6	21,50	0,0071	0,0017	80,00	0,85
LT.5	5	18,00	0,0075	0,0019	80,00	0,88
LT.4	4	14,50	0,0080	0,0020	80,00	0,89
LT.3	3	11,00	0,0083	0,0022	80,00	0,91
LT.2	2	7,50	0,0078	0,0023	80,00	1,02
LT.1	1	4,00	0,0052	0,0023	80,00	1,76
Base	0	0	0	0	80,0	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 18 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah X

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{xe} (m)	Story Drift Ratio d_{xe}/h_i	60% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0015	0,00042	0,60	0,70
LT.11	11	39,00	0,0025	0,00072	0,60	0,70
LT.10	10	35,50	0,0036	0,00103	0,60	0,70
LT.9	9	32,00	0,0046	0,00130	0,60	0,79
LT.8	8	28,50	0,0053	0,00151	0,60	0,87
LT.7	7	25,00	0,0060	0,00172	0,60	0,88
LT.6	6	21,50	0,0062	0,00178	0,60	0,97
LT.5	5	18,00	0,0066	0,00187	0,60	0,95
LT.4	4	14,50	0,0070	0,00200	0,60	0,93
LT.3	3	11,00	0,0073	0,00208	0,60	0,96
LT.2	2	7,50	0,0070	0,00200	0,60	1,04
LT.1	1	4,00	0,0049	0,00123	0,60	1,62
Base	0	0	0	0	0,60	0

Sumber : Hasil Analisis

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{xe} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0015	0,0000	0,70	0,56
LT.11	11	39,00	0,0025	0,0000	0,70	0,56
LT.10	10	35,50	0,0036	0,0000	0,70	0,56
LT.9	9	32,00	0,0046	0,0007	0,70	0,56
LT.8	8	28,50	0,0053	0,0010	0,70	0,68
LT.7	7	25,00	0,0060	0,0013	0,70	0,74
LT.6	6	21,50	0,0062	0,0015	0,70	0,85
LT.5	5	18,00	0,0066	0,0017	0,70	0,89
LT.4	4	14,50	0,0070	0,0018	0,70	0,89
LT.3	3	11,00	0,0073	0,0019	0,70	0,91
LT.2	2	7,50	0,0070	0,0020	0,70	0,99
LT.1	1	4,00	0,0049	0,0020	0,70	1,64
Base	0	0	0	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 19 Iregularitas Vertikal Tipe 1b Arah Y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{ye} (m)	Story Drift Ratio d_{ye}/h_i	60% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0020	0,00058	0,60	0,74
LT.11	11	39,00	0,0031	0,00088	0,60	0,74
LT.10	10	35,50	0,0042	0,00119	0,60	0,74
LT.9	9	32,00	0,0052	0,00148	0,60	0,81
LT.8	8	28,50	0,0060	0,00172	0,60	0,86
LT.7	7	25,00	0,0068	0,00194	0,60	0,89
LT.6	6	21,50	0,0071	0,00202	0,60	0,96
LT.5	5	18,00	0,0075	0,00215	0,60	0,94
LT.4	4	14,50	0,0080	0,00230	0,60	0,94
LT.3	3	11,00	0,0083	0,00237	0,60	0,97
LT.2	2	7,50	0,0078	0,00223	0,60	1,06
LT.1	1	4,00	0,0052	0,00130	0,60	1,71
Base	0	0	0,0000	0	0,60	0

Sumber : Hasil Analisis

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{ye} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	70% Story Drift Ratio	Ratio
LT.12	12	42,50	0,0020	0,0000	0,70	0,60
LT.11	11	39,00	0,0031	0,0000	0,70	0,60
LT.10	10	35,50	0,0042	0,0000	0,70	0,60
LT.9	9	32,00	0,0052	0,0009	0,70	0,60
LT.8	8	28,50	0,0060	0,0012	0,70	0,69
LT.7	7	25,00	0,0068	0,0015	0,70	0,76
LT.6	6	21,50	0,0071	0,0017	0,70	0,85
LT.5	5	18,00	0,0075	0,0019	0,70	0,88
LT.4	4	14,50	0,0080	0,0020	0,70	0,89
LT.3	3	11,00	0,0083	0,0022	0,70	0,91
LT.2	2	7,50	0,0078	0,0023	0,70	1,02
LT.1	1	4,00	0,0052	0,0023	0,70	1,76
Base	0	0,00	0,0000	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan pemeriksaan struktur diatas, dapat dinyatakan bahwa struktur memiliki ketidak beraturan verital 1a dan 1b. Namun, berdasarkan pengecualian pada SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2.2 mengenai ketidak beraturan vertical. Ketidakberaturan struktur vertical tipe 1a dan 1b tidak berlaku jika ada rasio simpangan antar Tingkat yang nilainya lebih besar dari 130% rasio simpangan antar Tingkat diatasnya. Pengecualian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4. 20 Iregularitas Vertikal Tipe 1b Arah X

Tingkat <i>i</i>	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{ye} (m)	Story Drift Ratio d_{ye}/h_i	Rasio 130%	Rasio
LT.12	12	42,50	0,0015	0,000425	1,30	1,43
LT.11	11	39,00	0,0025	0,000720	1,30	1,43
LT.10	10	35,50	0,0036	0,001030	1,30	1,43
LT.9	9	32,00	0,0046	0,001305	1,30	1,27
LT.8	8	28,50	0,0053	0,001507	1,30	1,16
LT.7	7	25,00	0,0060	0,001720	1,30	1,14
LT.6	6	21,50	0,0062	0,001779	1,30	1,03
LT.5	5	18,00	0,0066	0,001847	1,30	1,05
LT.4	4	14,50	0,0070	0,002004	1,30	1,07
LT.3	3	11,00	0,0073	0,002083	1,30	1,04
LT.2	2	7,50	0,0070	0,001998	1,30	0,96
LT.1	1	4,00	0,0049	0,001234	1,30	0,62
Base	0	0	0	0	1,30	0

Sumber : Hasil Analisis

Pada ketidakberaturan vertical yang terjadi tipe 1a dan 1b tidak berlaku dikarenakan pada lantai yang terjadi ketidakberaturan tersebut telah terpenuhi dengan nilai rasio simpangan antar Tingkat diatasnya yang lebih besar dari 130% sesuai yang tertera pada table 4,10 diatas,

Tabel 4. 21 Iregularitas Vertikal Tipe 1b Arah Y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift d_{ye} (m)	Story Drift Ratio d_{ye}/h_i	Rasio 130%	Rasio
LT.12	12	42,50	0,0020	0,000578	1,30	1,36
LT.11	11	39,00	0,0031	0,000880	1,30	1,36
LT.10	10	35,50	0,0042	0,001193	1,30	1,36
LT.9	9	32,00	0,0052	0,001475	1,30	1,24
LT.8	8	28,50	0,0060	0,001722	1,30	1,17
LT.7	7	25,00	0,0068	0,001938	1,30	1,13
LT.6	6	21,50	0,0071	0,002021	1,30	1,04
LT.5	5	18,00	0,0075	0,002154	1,30	1,07
LT.4	4	14,50	0,0080	0,002297	1,30	1,07
LT.3	3	11,00	0,0083	0,002368	1,30	1,03
LT.2	2	7,50	0,0078	0,002227	1,30	0,94
LT.1	1	4,00	0,0052	0,001303	1,30	0,59
Base	0	0	0	0	1,30	0

Sumber : Hasil Analisis

Pada ketidakberaturan vertikal yang terjadi tipe 1a dan 1b tidak berlaku dikarenakan pada lantai yang terjadi ketidakberaturan tersebut telah terpenuhi dengan nilai rasio simpangan antar Tingkat di atasnya yang lebih besar dari 130% sesuai yang tertera pada table 4,10 diatas,

4.4.9 Ketidakberaturan Struktur Horizontal (Iregularitas Horizontal)

Ketidakberaturan struktur horizontal atau *horizontal irregularity* merupakan kondisi di mana distribusi massa, kekakuan, atau kekuatan lateral dari struktur tidak merata dalam arah horizontal pada suatu lantai. Hal ini menyebabkan struktur berpotensi mengalami perilaku dinamis yang tidak merata saat dikenai beban gempa, seperti terjadinya rotasi, torsi, atau konsentrasi deformasi pada elemen tertentu.

Tabel 4. 22 Faktor Pembesaran Torsi Tidak Terduga**Arah X**

Tingkat ke-i	Drift d_A (mm)	Drift d_B (mm)	Story Drift $d_{A,i}$ (mm)	Story Drift $d_{B,i}$ (mm)	Rata-rata d_{AVG} (mm)	d_{max}/d_{avg}
LT.12	62,00	62,00	1,42	1,42	1,42	1,00
LT.11	60,58	60,58	2,41	2,41	2,41	1,00
LT.10	58,17	58,17	3,45	3,45	3,45	1,00
LT.9	54,72	54,72	4,41	4,41	4,41	1,00
LT.8	50,31	50,31	5,28	5,28	5,28	1,00
LT.7	45,03	45,03	5,96	5,96	5,96	1,00
LT.6	39,07	39,07	6,28	6,28	6,28	1,00
LT.5	32,79	32,79	6,56	6,56	6,56	1,00
LT.4	26,23	26,23	7,02	7,02	7,02	1,00
LT.3	19,21	19,21	7,29	7,29	7,29	1,00
LT.2	11,92	11,92	6,99	6,99	6,99	1,00
LT.1	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	1,00
Base	0	0	0	0	0	0

Sumber : Hasil Analisis

Arah Y

LT.12	71,19	71,19	2,02	2,02	2,02	1,00
LT.11	69,17	69,17	3,08	3,08	3,08	1,00
LT.10	66,09	66,09	4,17	4,17	4,17	1,00
LT.9	61,92	61,92	5,17	5,17	5,17	1,00
LT.8	56,75	56,75	6,03	6,03	6,03	1,00
LT.7	50,72	50,72	6,78	6,78	6,78	1,00
LT.6	43,94	43,94	7,07	7,07	7,07	1,00
LT.5	36,87	36,87	7,53	7,53	7,53	1,00
LT.4	29,34	29,34	8,05	8,05	8,05	1,00
LT.3	21,29	21,29	8,29	8,29	8,29	1,00
LT.2	13,01	13,01	7,89	7,89	7,89	1,00
LT.1	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	1,00
Base	0	0	0,00	0	0	0

Sumber : Hasil Analisis

Dalam analisis struktur bangunan tahan gempa, torsi tidak terduga adalah efek torsi tambahan yang muncul akibat ketidakpastian dalam lokasi pusat massa atau distribusi beban lateral. Faktor ini sangat penting karena dapat menimbulkan gaya tambahan yang signifikan pada elemen-elemen struktur, terutama di bangunan dengan ketidakaturan horizontal.

4.5 Kombinasi Beban

Berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019, khususnya pada Pasal 7.4.2, sebelum melangkah lebih jauh ke tahap perancangan komponen struktur atas, sangat penting untuk memastikan bahwa seluruh data pembebanan telah diperoleh melalui proses analisis struktur yang memadai, umumnya menggunakan metode analisis linear statik atau dinamik sesuai kebutuhan dan kompleksitas struktur. Data pembebanan yang dimaksud mencakup beban mati, beban hidup, beban gempa, serta beban-beban lain yang relevan, seperti beban Gempa dan angin apabila diperlukan. Seluruh data ini kemudian dikombinasikan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah ditetapkan dalam peraturan, guna mendapatkan kondisi pembebanan paling kritis yang mungkin terjadi pada struktur selama masa layan bangunan.

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

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

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

Faktor reduksi kekuatan

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

4.6 Desain Struktur Atas

4.6.1 Pelat Lantai

Dalam perancangan pelat lantai, salah satu langkah awal yang sangat penting adalah melakukan pemeriksaan terhadap apakah pelat tersebut telah memenuhi ketentuan teknis dan persyaratan desain yang diatur dalam SNI 2847:2019. Standar ini memberikan pedoman menyeluruh untuk perancangan struktur beton bertulang, termasuk elemen pelat lantai, guna menjamin kekuatan, stabilitas, dan keamanan struktur terhadap beban-beban yang bekerja.

salah satu aspek utama yang perlu diperiksa adalah kecukupan dimensi pelat lantai, khususnya ketebalan pelat. Ketebalan minimum pelat ditentukan berdasarkan panjang bentang efektif dan jenis tumpuan yang digunakan (misalnya pelat dua arah atau satu arah, dengan melakukan seluruh tahapan pemeriksaan secara cermat dan sesuai dengan ketentuan dalam SNI 2847:2019, maka pelat lantai yang dirancang akan memiliki performa struktural yang baik, aman digunakan.

- **Data Meterial**

- Beton

$$F_c = 30 \quad \text{Mpa}$$

$$E_c = 25743 \quad \text{Mpa}$$

- Baja Tulangan

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

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

- **Data Perencanaan**

$$b = 1000 \quad \text{mm} \quad f_c' = 30 \quad \text{MpA}$$

$$h = 120 \quad \text{mm} \quad f_y = 30 \quad \text{MpA}$$

$$d' = 16 \quad \text{mm} \quad b_l = 0,84$$

$$s = 10 \quad \text{mm} \quad \rho\beta = 0,03197$$

$$d_s = 12 \quad \text{mm}$$

$$d = 104 \quad \text{mm}$$

$$\phi = 0,9$$

- **Penulangan Tumpuan**

$$M_{11} = 7,0 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 7.777.778 \text{ N.M}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 2,98 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 189,68 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$187,20 < 189,68 < 2493,35 \quad \text{Memenuhi}$$

Diameter tulangan yang dipakai

$$A_{s1} = 113,10 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan :

D12 - 200

$$A_s = 565,49 \text{ mm}^2$$

Ok

Mn = 23,16 kN.m	>	Mu = 7,0 kN.m	Memenuhi
-----------------	---	---------------	----------

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{11} = 5,0 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 5.555,556 \text{ N.M}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 2,98 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 135,49 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$187,20 < 135,49 \quad \text{Memenuhi}$$

Diameter tulangan yang dipakai

$$A_{s1} = 113,10 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan :

D12 - 200

$$A_s = 565,49 \text{ mm}^2$$

Ok

Mn = 23,19 kN.m	>	Mu = 5,0 kN.m	Memenuhi
-----------------	---	---------------	----------

Dari hasil perhitungan penulangan pada daerah Tumpuan dan Lapangan balok, diperoleh nilai momen nominal (M_n) lebih besar dibandingkan dengan momen terfaktor (M_u), yang berarti bahwa kapasitas lentur penampang telah mampu menahan beban rencana yang bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan penulangan tumpuan telah dilakukan dengan tepat dan telah memenuhi ketentuan yang diatur dalam SNI 2847:2019, khususnya terkait ketentuan desain elemen lentur.

4.6.2 Balok

Dalam perancangan balok, perlu di periksa terlebih dahulu apakah balok yang akan di desain telah memenuhi ketentuan dalam SNI 2847-2019 :

A. Kapasitas Lentur Balok

• Balok B1 Tumpuan

b	= 450 mm	f_c	= 30 Mpa
h	= 650 mm	f_y	= 420 Mpa
d'	= 61 mm	M_u	= 245,1259 kN.m
s	= 40 mm	ϕ	= 0,9
dsk	= 13 mm	M_n	= 272.362.111 N.mm
dt	= 16 mm	β_1	= 0,84
d	= 589 mm	ρ_{bal}	= 0,02985

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 47,22 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 1146,971$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033 \quad \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu} = 0$$

$$A_{smin} = 785,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 5273,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$785,33 < 1146,97 < 5273,95 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan yang dipakai

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

$$A_{s1} = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah Tulangan yang dipakai} = 6 \text{ buah}$$

$$A_s = 1206,372 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$785,33 < 1206,37 < 5273,95 \quad \text{Ok}$$

Mn = 257,26 kN.m	>	Mu = 245,13 kN.m	Memenuhi
------------------	---	------------------	----------

- Balok B1 Lapangan**

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

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

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

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

$$d' = 61 \text{ mm}$$

$$M_u = 148,4178 \text{ kN.m}$$

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

$$\phi = 0,9$$

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

$$M_n = 164.908.667 \text{ N.mm}$$

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

$$\beta_1 = 0,84$$

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

$$\rho_{bal} = 0,02985$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 28,1 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 682,923 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033 \quad \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu} = 0$$

$$A_{smin} = 785,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 5273,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$785,33 < 682,95 < 5273,95 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan yang dipakai

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

$$A_{s1} = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah Tulangan yang dipakai} = 4 \text{ buah}$$

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

Kontrol kecukupan

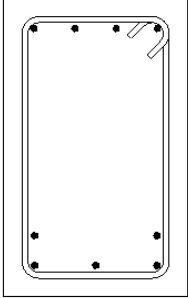
$$785,33 < 804,25 < 5273,95 \quad \text{Ok}$$

$M_n = 174,03 \text{ kN.m}$	$>$	$M_u = 148,42 \text{ kN.m}$	Memenuhi
-----------------------------	-----	-----------------------------	----------

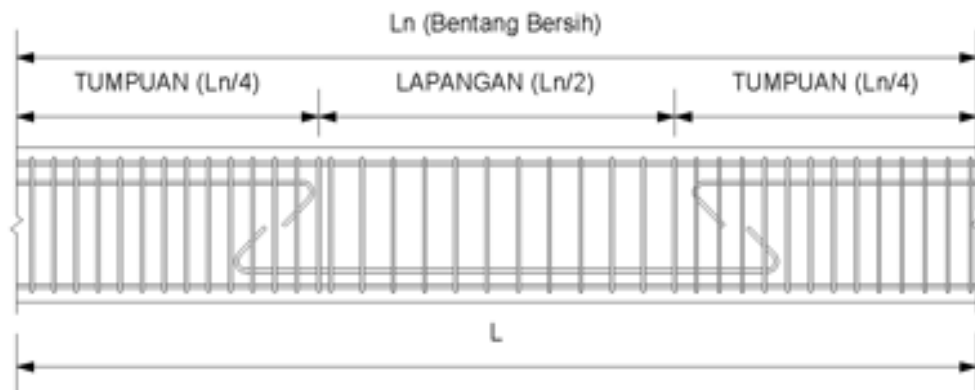
Dari hasil perhitungan penulangan pada daerah Tumpuan dan Lapangan balok, diperoleh nilai momen nominal (M_n) lebih besar dibandingkan dengan momen terfaktor (M_u), yang berarti bahwa kapasitas lentur penampang telah mampu menahan beban rencana yang bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan penulangan tumpuan telah dilakukan dengan tepat dan telah memenuhi ketentuan yang diatur dalam SNI 2847:2019, khususnya terkait ketentuan desain elemen lentur.

- **Desain Pada Balok B1**

Tabel 4. 23 Dimensi Balok B1

BALOK B1	
DIMENSI 400x650mm	
TUMPUAN	LAPANGAN
	
D16- 6bh	D16-5bh
D13-100mm	D13-150mm
S40mm	S40mm

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 28 Detail Pembesian Pada Balok b1

Sumber : Hasil Analisis

Pada Balok direncanakan menggunakan besi berdiameter 16 sebanyak 6 batang di tumpuan dan 5 batang di lapangan. Untuk sengkang, digunakan jarak 100 mm di tumpuan dan 150 mm di lapangan, Perbedaan jumlah batang dan jarak sengkang ini disesuaikan dengan kebutuhan kekuatan momen dan geser di masing-masing lokasi balok, di mana daerah tumpuan umumnya mengalami gaya yang lebih besar dibandingkan daerah lapangan.

• **Balok B2 Tumpuan**

b	= 350 mm	fc	= 30 Mpa
h	= 600 mm	fy	= 420 Mpa
d'	= 61 mm	Mu	= 190,6389 kN.m
s	= 40 mm	φ	= 0,9
dsk	= 13 mm	Mn	= 211.821.000 N.mm
dt	= 16 mm	β1	= 0,84
d	= 539 mm	ρbal	= 0,02985

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 46,0 \text{ mm}$$

$$A_{Spertu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 977,390 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033 \quad \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu} = 0$$

$$A_{smin} = 628,83 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 4222,97 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$628,83 < 977,39 < 4222,97 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan yang dipakai

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

$$A_{s1} = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah Tulangan yang dipakai} = 6 \text{ buah}$$

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

Kontrol kecukupan

$$628,83 < 1206,37 < 4222,97 \quad \text{Ok}$$

Mn = 232,84 kN.m	>	Mu = 190,64 kN.m	Memenuhi
------------------	---	------------------	----------

- **Balok B2 Lapangan**

b	= 350 mm	fc	= 30 Mpa
h	= 600 mm	fy	= 420 Mpa
d'	= 61 mm	Mu	= 95,32 kN.m
s	= 40 mm	φ	= 0,9
dsk	= 13 mm	Mn	= 105.910.444 N.mm
dt	= 16 mm	β1	= 0,84
d	= 539 mm	ρbal	= 0,02985

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 22,5 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 477,810 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033 \quad \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu} = 0$$

$$A_{smin} = 628,83 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 4222,97 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$628,83 < 977,39 < 4222,97 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan yang dipakai

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

$$A_{s1} = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah Tulangan yang dipakai} = 6 \text{ buah}$$

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

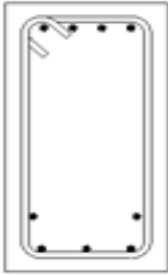
Kontrol kecukupan

$$628,83 < 804,248 < 4222,97 \quad \text{Ok}$$

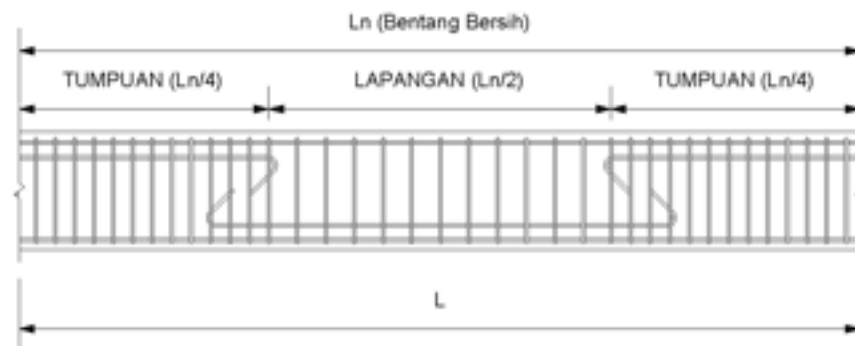
Mn = 158,11 kN.m	>	Mu = 95,32 kN.m	Memenuhi
------------------	---	-----------------	----------

- **Desain Pada Balok B2**

Tabel 4. 24 Dimensi Balok B2

BALOK B2	
DIMENSI 350x600mm	
TUMPUAN	LAPANGAN
	
D16- 6bh	D16-5bh
D13-100mm	D13-150mm
S40mm	S40mm

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 29 Detail Pembesian Pada Balok B2

Sumber : Hasil Analisis

Pada Balok direncanakan menggunakan besi berdiameter 16 sebanyak 6 batang di tumpuan dan 5 batang di lapangan. Untuk sengkang, digunakan jarak 100 mm di tumpuan dan 150 mm di lapangan, Perbedaan jumlah batang dan jarak sengkang ini disesuaikan dengan kebutuhan kekuatan momen dan geser di masing-masing lokasi balok, di mana daerah tumpuan umumnya mengalami gaya yang lebih besar dibandingkan daerah lapangan.

• **Balok B3 Tumpuan**

b	= 200 mm	fc	= 30 Mpa
h	= 400 mm	fy	= 420 Mpa
d'	= 41,5 mm	Mu	= 35,07 kN.m
s	= 40 mm	φ	= 0,9
dsk	= 10 mm	Mn	= 38.966.667 N.mm
dt	= 13 mm	β1	= 0,84
d	= 344 mm	ρbal	= 0,02985

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 23,0 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 279,457 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033 \quad \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu} = 0$$

$$A_{smin} = 229,00 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 1537,86 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$229,00 < 279,457 < 1537,86 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan yang dipakai

$$dt = 13 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah Tulangan yang dipakai} = 4 \text{ buah}$$

$$A_s = 530,929 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$229,00 < 530,93 < 1537,86 \quad \text{Ok}$$

Mn = 64,55 kN.m	>	Mu = 35,07 kN.m	Memenuhi
-----------------	---	-----------------	----------

• **Balok B3 Lapangan**

b	= 200 mm	fc	= 30 Mpa
h	= 400 mm	fy	= 420 Mpa
d'	= 41,5 mm	Mu	= 17,54 kN.m
s	= 40 mm	φ	= 0,9
dsk	= 10 mm	Mn	= 19.483.444 N.mm
dt	= 13 mm	β1	= 0,84
d	= 344 mm	ρbal	= 0,02985

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 11,3 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 137,309 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033 \quad \rho_{min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{perlu} = 0$$

$$A_{smin} = 183,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{smaks} = 1537,86 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan

$$183,08 < 137,309 < 1537,86 \quad \text{Ok}$$

Diameter tulangan yang dipakai

$$dt = 13 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah Tulangan yang dipakai} = 3 \text{ buah}$$

$$A_s = 398,197 \text{ mm}^2$$

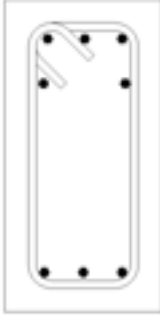
Kontrol kecukupan

$$183,08 < 398,20 < 1537,86 \quad \text{Ok}$$

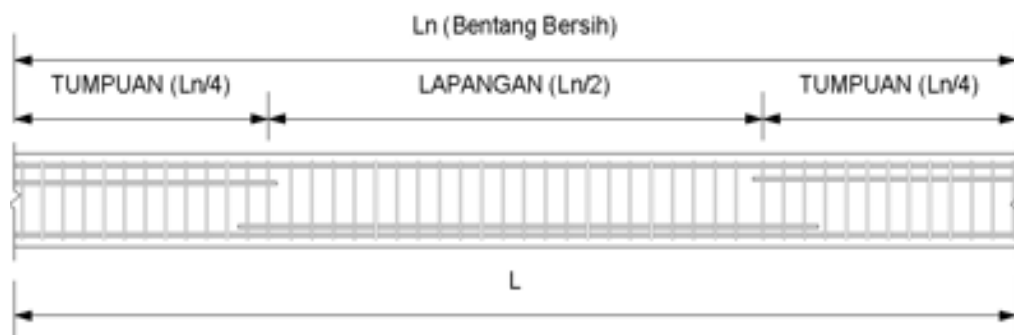
Mn = 49,24 kN.m	>	Mu = 17,54 kN.m	Memenuhi
-----------------	---	-----------------	----------

- **Desain Pada Balok B3**

Tabel 4. 25 Dimensi Balok B3

BALOK B3	
DIMENSI 350x600mm	
TUMPUAN	LAPANGAN
	
D13- 5bh	D13-5bh
D10-100mm	D10-150mm
S 40mm	S 40mm

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 30 Detail Pembesian Pada Balok B3

Sumber : Hasil Analisis

Pada Balok direncanakan menggunakan besi berdiameter 16 sebanyak 5 batang di tumpuan dan 5 batang di lapangan. Untuk sengkang, digunakan jarak 100 mm di tumpuan dan 150 mm di lapangan, Perbedaan jumlah batang dan jarak sengkang ini disesuaikan dengan kebutuhan kekuatan momen dan geser di masing-masing lokasi balok, di mana daerah tumpuan umumnya mengalami gaya yang lebih besar dibandingkan daerah lapangan.

B. Kapasitas Geser Balok

• Geser Balok B1

$$M_u = 245,13 \quad \text{kN.m}$$

$$V_u = 68,15 \quad \text{kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 90.864,93 \quad \text{N}$$

$$\rho_w = 0,005 \quad \text{mm}$$

$$b = 400 \quad \text{mm}$$

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

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

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

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

$$A_v = 265 \quad \text{mm}^2$$

Hitung V_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{b d}{7} = 140.800,68 < 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad \text{Ok}$$

Hitung V_s , sbb

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

$$V_s = 656,706 \quad \text{N}$$

$$\phi V_s = 492,530 \quad \text{N}$$

Kontrol Kecukupan Tulangan Sengkang

$\phi V_n =$	$\phi (V_c + V_s)$
$=$	$633,33 \text{ kN} > V_u \text{ Ok.}$

- **Geser Balok B2**

$$M_u = 190,64 \quad \text{kN.m}$$

$$V_u = 91,98 \quad \text{kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 65.678,768 \quad \text{N}$$

$$\rho_w = 0,005 \quad \text{mm}$$

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

$$h = 600 \quad \text{mm}$$

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

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

$$d = 539 \quad \text{mm}$$

$$A_v = 265 \quad \text{mm}^2$$

Hitung V_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{bd}{7} = 114.742,05 < 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad \text{Ok}$$

Hitung V_s , sbb

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

$$V_s = 600,959 \quad \text{N}$$

$$\phi V_s = 450,719 \quad \text{N}$$

Kontrol Kecukupan Tulangan Sengkang

$\phi V_n =$	$\phi (V_c + V_s)$
$=$	$565,46 \text{ kN} > V_u \text{ Ok.}$

- **Geser Balok B3**

$$M_u = 35,07 \quad \text{kN.m}$$

$$V_u = 17,36 \quad \text{kN}$$

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

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = 23.146,66$$

$$\rho_w = 0,008 \quad \text{mm}$$

$$b = 200 \quad \text{mm}$$

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

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

$$d_{sk} = 10 \quad \text{mm}$$

$$d = 344 \quad \text{mm}$$

$$A_v = 157 \quad \text{mm}^2$$

Hitung V_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{bd}{7} = 41.477,00 < 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad \text{Ok}$$

Hitung V_s , sbb

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

$$V_s = 226,619 \quad \text{N}$$

$$\phi V_s = 169,964 \quad \text{N}$$

Kontrol Kecukupan Tulangan Sengkang

$\phi V_n =$	$\phi (V_c + V_s)$
$=$	$211,44 \text{ kN} > V_u \text{ Ok.}$

4.6.3 Kolom

Dalam perancangan balok, perlu di periksa terlebih dahulu apakah balok yang akan di desain telah memenuhi ketentuan dalam SNI 2847-2019 sebagai berikut :

- **Data Metrial**

- Beton : $F_c = 30$ Mpa

 $E_c = 25743$ Mpa

- Baja Tulangan :

 $F_y = 420$ Mpa

 $F_y = 420$ Mpa

- Properties Penampang

Selimut Beton (s) = 40 mm

Sengkang (dsk) = 13 mm

Tulangan Panjang = 20 mm

- Material Properties

 $f_c = 30$ Mpa

 $E_c = 25743$ Mpa

 $\beta_1 = 0,836$
 $F_y = 420$ Mpa

 $E_s = 200.000$ Mpa

- Redudensi Kekuatan

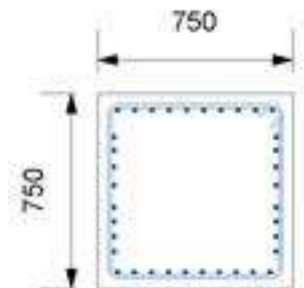
 $\phi_a = 0,80$ (Tekan Sengkang)

 $\phi_b = 0,90$ (Tekan Lentur)

 $\phi_c = 0,65$ (Tekan)

A. Desain Kolom

• Kolom K1



Gambar 4. 31 Dimensi Kolom K1

b	= 750	mm	
h	= 750	mm	
Selimut beton	= 40	mm	
Sengkang	= 13	mm	
Tulangan	= 20	mm	
Σ Tulangan Arah X	= 10	buah	
Σ Tulangan Arah Y	= 10	buah	
d'	= 63,00	mm	
dx	= 687	mm	
dy	= 687	mm	
Spasi Tulangan Arah X	= 69	mm	
Spasi Tulangan Arah Y	= 69	mm	
Σ Tulangan	= 36	buah	
Ast	= 11.309,7	mm ²	
0,1.Ag.f _c	= 1687,5	kN	< Pu

Tabel 4. 26 Diagram Interaksi Kolom Arah X

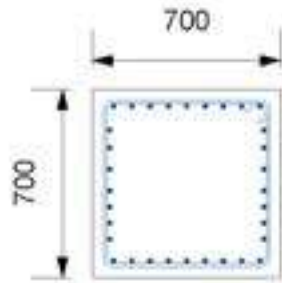
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M3 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	9779	0	156,0463	3951,88	6994	276	0,565
2	9779	98,4					
3	9559	175,2					
4	8111	244,3					
5	6324	295,9					
6	4225	327,3					
7	2864	369,2					
8	1282	371,1					
9	-662	265,9					
10	-2739	121,2					
11	-4276	0					

Tabel 4. 27 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M2 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	9779	0	639,9542	3951,88	6994	1133	0,565
2	9779	403,6					
3	9559	718,6					
4	8111	1002					
5	6324	1214					
6	4225	1342					
7	2864	1514					
8	1282	1522					
9	-662	1091					
10	-2739	496,9					
11	-4276	0					

Pada Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

- **Kolom K2**



Gambar 4. 32 Dimensi Kolom K2

b	= 700	mm	
h	= 700	mm	
Selimut beton	= 40	mm	
Sengkang	= 13	mm	
Tulangan	= 20	mm	
Σ Tulangan Arah X	= 9	buah	
Σ Tulangan Arah Y	= 9	buah	
d'	= 63,00	mm	
dx	= 637	mm	
dy	= 637	mm	
Spasi Tulangan Arah X	= 72	mm	
Spasi Tulangan Arah Y	= 72	mm	
Σ Tulangan	= 32	buah	
Ast	= 10.058,1	mm ²	
$0,1.A_g.f'c$	= 1470	kN	< Pu

Tabel 4. 28 Diagram Interaksi Kolom Arah X

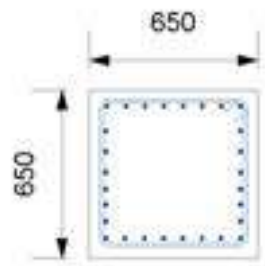
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M3 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	8560	0	172,57	4762,00	7226	262	0,659
2	8560	100,8					
3	8492	185,1					
4	7212	262,3					
5	5557	323					
6	3584	355,6					
7	2258	396,3					
8	726	390,2					
9	-985	271,5					
10	-2707	113,2					
11	-3801	0					

Tabel 4. 29 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M2 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	8560	0	500,70	4762,00	7226	760	0,659
2	8560	292,5					
3	8492	536,9					
4	7212	760,9					
5	5557	937,2					
6	3584	1032					
7	2258	1150					
8	726	1132					
9	-985	787,8					
10	-2707	328,5					
11	-3801	0					

Pada Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

- **Kolom K3**



Gambar 4. 33 Dimensi Kolom K3

b	= 650	mm	
h	= 650	mm	
Selimut beton	= 40	mm	
Sengkang	= 13	mm	
Tulangan	= 20	mm	
Σ Tulangan Arah X	= 8	buah	
Σ Tulangan Arah Y	= 8	buah	
d'	= 63,00	mm	
dx	= 587	mm	
dy	= 587	mm	
Spasi Tulangan Arah X	= 75	mm	
Spasi Tulangan Arah Y	= 75	mm	
Σ Tulangan	= 28	buah	
Ast	= 9.796,5	mm ²	
$0,1 \cdot A_g \cdot f_c$	= 1267,5	kN	< Pu

Tabel 4. 30 Diagram Interaksi Arah X

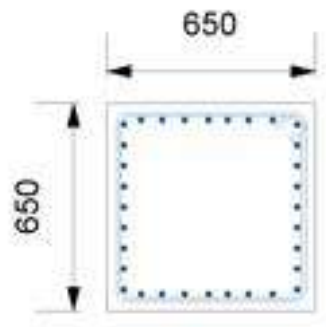
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M3 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	7407	0	190,49	5483,44	6655	231	0,824
2	7407	93,87					
3	7364	176,4					
4	6323	257,2					
5	4811	321,4					
6	2998	351,6					
7	1748	386,9					
8	319,7	372,3					
9	-1170	250,5					
10	-2572	94,79					
11	-3325	0					

Tabel 4. 31 Diagram Interaksi Arah Y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M2 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	7407	0	421,25	5483,44	6655	511	0,824
2	7407	207,6					
3	7364	390,1					
4	6323	568,8					
5	4811	710,7					
6	2998	777,5					
7	1748	855,5					
8	319,7	823,3					
9	-1170	554					
10	-2572	209,6					
11	-3325	0					

Pada Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

- **Kolom K1 Lt6-12**



Gambar 4. 34 Dimensi Kolom K1 Lt 6-12

b	= 650	mm	
h	= 650	mm	
Selimut beton	= 40	mm	
Sengkang	= 13	mm	
Tulangan	= 20	mm	
Σ Tulangan Arah X	= 9	buah	
Σ Tulangan Arah Y	= 9	buah	
d'	= 63,00	mm	
dx	= 587	mm	
dy	= 587	mm	
Spasi Tulangan Arah X	= 66	mm	
Spasi Tulangan Arah Y	= 66	mm	
Σ Tulangan	= 32	buah	
Ast	= 10.053,1	mm ²	
$0,1.A_g.f'_c$	= 1267,5	kN	< Pu

Tabel 4. 32 Diagram Interaksi Arah X

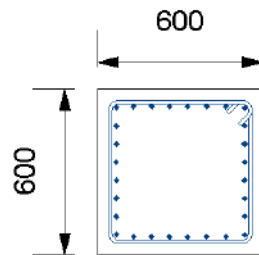
Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M3 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	7665	0	231,84	1987,11	5597	653	0,355
2	7665	208,2					
3	7618	385,1					
4	6550	567,2					
5	4944	711,8					
6	2991	785,5					
7	1578	870					
8	-28,1	831,5					
9	-1632	546					
10	-3069	202,4					
11	-3801	0					

Tabel 4. 33 Diagram Interaksi Arah Y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M2 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	7665	0	122,44	1987,11	5597	345	0,355
2	7665	109,9					
3	7618	203,4					
4	6550	299,6					
5	4944	376					
6	2991	414,8					
7	1578	459,5					
8	-28,1	439,1					
9	-1632	288,4					
10	-3069	106,9					
11	-3801	0					

Pada Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

- **Kolom K2 Lt 6-12**



Gambar 4. 35 Dimensi Kolom K2 Lt 6-12

b	= 600	mm	
h	= 600	mm	
Selimut beton	= 40	mm	
Sengkang	= 13	mm	
Tulangan	= 20	mm	
Σ Tulangan Arah X	= 8	buah	
Σ Tulangan Arah Y	= 8	buah	
d'	= 63,00	mm	
dx	= 537	mm	
dy	= 537	mm	
Spasi Tulangan Arah X	= 68	mm	
Spasi Tulangan Arah Y	= 68	mm	
Σ Tulangan	= 28	buah	
Ast	= 8,796,5	mm ²	
$0,1.A_g.f'c$	= 1080,0	kN	< Pu

Tabel 4. 34 Diagram Interaksi Arah X

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M3 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	6578	0	81,3031	2445,94	5435	181	0,450
2	6578	70,11					
3	6465	126,9					
4	5456	179,7					
5	4137	221,2					
6	2546	243,8					
7	1450	271,4					
8	163,4	265,1					
9	-1191	181,5					
10	-2595	66,94					
11	-3325	0					

Tabel 4. 35 Diagram Interaksi Arah Y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	fPn kN	fMn kN.m	M2 kN.m	Pu kN	fPn kN	fMn kN.m	Rasio
1	6578	0	225,1393	2445,94	5435	500	0,450
2	6578	194,2					
3	6465	351,3					
4	5456	497,5					
5	4137	612,5					
6	2546	675					
7	1450	751,7					
8	163,4	734					
9	-1191	502,6					
10	-2595	185,4					
11	-3325	0					

Pada Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

B. Kapasitas Geser Kolom

• Geser Kolom K1

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 400 \text{ Mpa}$$

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

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

$$d_x = 687 \text{ mm}$$

$$d_y = 687 \text{ mm}$$

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

$$\text{Luas Kolom } A_g = 562,500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$P_u = 3.951,88 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 83,71 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 90,86 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

Geser Arah X

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 352,94 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{s} \\ &= 1.094,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.447,19$	$>$	V_{ux}	Ok
-----------------------	-----	----------	----

Geser Arah Y

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 352,94 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 1.094,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.447,19$	$>$	V_{ux}	Ok
-----------------------	-----	----------	----

- Geser Kolom K2**

f_c	= 30	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 700	mm
h	= 700	mm
dx	= 637	mm
dy	= 637	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom A_g	= 490,000	mm
Tulangan Sengkang	= 13	mm
P_u	= 4.762,00	kN
V_{u-x}	= 146,55	kN
V_{u-y}	= 75,36	kN
ϕ	= 0,75	

Geser Arah X

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 305,50 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 1.014,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.320,10$	$>$	Vux	Ok
-----------------------	-----	-----	----

Geser Arah Y

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 352,94 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,90 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 1,014,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.320,10$	$>$	Vux	Ok
-----------------------	-----	-----	----

• **Geser Kolom K3**

f'_c	= 30	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 650	mm
h	= 650	mm
d_x	= 587	mm
d_y	= 587	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom A_g	= 422,500	mm
Tulangan Sengkang	= 13	mm
P_u	= 5.483,44	kN
V_{u-x}	= 117,30	kN
V_{u-y}	= 127,44	kN
ϕ	= 0,75	

Geser Arah X

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 261,47 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S}$$

$$= 934,97 \text{ kN}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.196,44$	>	V_{ux}	Ok
-----------------------	---	----------	----

Geser Arah Y

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 261,47 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,90 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 934,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.196,44$	$>$	V_{ux}	Ok
-----------------------	-----	----------	----

- Geser Kolom K1 Lt 6-12**

f_c	= 30	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 650	mm
h	= 650	mm
dx	= 587	mm
dy	= 587	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom A_g	= 422,500	mm
Tulangan Sengkang	= 13	mm
P_u	= 1.987,11	kN
V_{u-x}	= 157,73	kN
V_{u-y}	= 87,60	kN
ϕ	= 0,75	

Geser Arah X

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 261,32 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 934,37 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.196,28$	$>$	Vux	Ok
-----------------------	-----	-----	----

Geser Arah Y

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 261,32 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,90 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 934,37 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.196,28$	$>$	Vux	Ok
-----------------------	-----	-----	----

• **Geser Kolom K2 Lt 6-12**

f'_c	= 30	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 600	mm
h	= 600	mm
d_x	= 537	mm
d_y	= 537	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom A_g	= 360,000	mm
Tulangan Sengkang	= 13	mm
P_u	= 2.445,94	kN
V_{u-x}	= 123,10	kN
V_{u-y}	= 120,27	kN
ϕ	= 0,75	

Geser Arah X

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 220,70 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S}$$

$$= 855,33 \text{ kN}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.076,93$	>	V_{ux}	Ok
-----------------------	---	----------	----

Geser Arah Y

Hitung ϕV_c , sbb

$$\phi V_c = \phi \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\phi V_c = 220,70 \text{ kN}$$

Hitung ϕV_s , sbb

Tulangan Geser Terpasang 4D-100

$$A_v = 530,90 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_x}{S} \\ &= 850,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\phi V_n = \phi \cdot (V_c + V_s)$$

$\phi V_n = 1.076,03$	$>$	V_{ux}	Ok
-----------------------	-----	----------	----

4.6.4 Pengekang Kolom (*Confinement*)

Pengekangan kolom dengan sengkang tertutup berfungsi untuk mengekang daerah inti kolom dimana dalam kondisi terkekang, daerah inti kolom akan memiliki perilaku yang daktail untuk tujuan itu, maka SNI 03-2847-2013 mensyaratkan bahwa jumlah tulangan sengkang tertutup yang dipasang pada kolom harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- **Kolom Persegi**

Pasal 21.6.4.4 Luas total penampang sengkang tertutup persegi

tidak boleh kurang dari

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{s_x \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad A_{sh2} = 0,09 \left(\frac{s_x \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right)$$

Dimana:

h_c = lebar penampang inti beton (lebar kolom - 2 x (selimut + 1/2 diameter Sengkang))

A_{ch} = luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar sengkang keserat terluar Sengkang disisi lain

A_g = Luas penampang kolom

f_{yh} = Tegangan leleh sengkang

Pasal 21.6.4.3 Spasi maksimum adalah yang terkecil dari:

- 1/4 dimensi penampang kolom terkecil
- 6 kali diameter tulangan longitudinal yang terkecil
- $s_x \leq 100 + ((350 - h_x)/3)$

Dimana $h_x = 2/3 h_c$

dan nilai s_x tidak perlu $\geq 150\text{mm}$ dan tidak perlu $\leq 100\text{mm}$

Pasal 21.6.4.1 ujung-ujung kolom sepanjang l_o harus dikekang sesuai spasi Pasal 21.6.4.3 dimana l_o diambil dari nilai terbesar dibawah ini:

- Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur
- 1/6 kali tinggi bersih kolom
- 450 mm

- **Confinement Kolom K1**

f'_c	= 30	Mpa
f_{yh}	= 400	Mpa
b	= 750	mm
h	= 750	mm
d	= 687	mm
d'	= 63,0	mm
ds	= 13	mm
dt	= 20	mm
Selimut Beton (s)	= 40	mm
Luas Kolom A_g	= 562,500	mm
Lebar Inti b_c	= 657	mm
Tinggi Inti h_c	= 657	mm
Luas Inti A_{ch}	= 431649	mm

Tulangan Sengkang Arah X

$$A_{sh1}/s_x = 4,48 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 4,43 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,43 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1458,99 \text{ kN} < V_{maks} = 1881,43 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

Tulangan Sengkang Arah Y

$$A_{sh1}/s_x = 4,48 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 4,43 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,43 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1458,99 \text{ kN} < V_{maks} = 1881,43 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

- **Confinement Kolom K2**

$$f'_c = 30 \quad \text{Mpa}$$

$$f_{yh} = 400 \quad \text{Mpa}$$

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

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

$$d = 637 \quad \text{mm}$$

$$d' = 63,0 \quad \text{mm}$$

$$ds = 13 \quad \text{mm}$$

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

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

$$\text{Luas Kolom } A_g = 49,000 \quad \text{mm}^2$$

$$\text{Lebar Inti } b_c = 607 \quad \text{mm}$$

$$\text{Tinggi Inti } h_c = 607 \quad \text{mm}$$

$$\text{Luas Inti } A_{ch} = 398449 \quad \text{mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X

$$A_{sh1}/s_x = 4,51 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 4,10 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,10 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1352,81 \text{ kN} < V_{maks} = 16128,20 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

Tulangan Sengkang Arah Y

$$A_{sh1}/s_x = 4,51 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 4,10 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,10 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1352,81 \text{ kN} < V_{maks} = 16128,20 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

- **Confinement Kolom K3**

$$f'_c = 30 \quad \text{Mpa}$$

$$f_{yh} = 400 \quad \text{Mpa}$$

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

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

$$d = 587 \quad \text{mm}$$

$$d' = 63,0 \quad \text{mm}$$

$$ds = 13 \quad \text{mm}$$

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

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

$$\text{Luas Kolom } A_g = 422,500 \quad \text{mm}^2$$

$$\text{Lebar Inti } b_c = 557 \quad \text{mm}$$

$$\text{Tinggi Inti } h_c = 557 \quad \text{mm}$$

$$\text{Luas Inti } A_{ch} = 310249 \quad \text{mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X

$$A_{sh1}/s_x = 4,53 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1246,62 \text{ kN} < V_{maks} = 1393,22 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

Tulangan Sengkang Arah Y

$$A_{sh1}/s_x = 4,53 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1246,62 \text{ kN} < V_{maks} = 1393,22 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

- **Confinement Kolom K1 Lt 6-12**

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 400 \text{ Mpa}$$

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

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

$$d = 587 \text{ mm}$$

$$d' = 63,0 \text{ mm}$$

$$ds = 13 \text{ mm}$$

$$dt = 20 \text{ mm}$$

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

$$\text{Luas Kolom } A_g = 422,500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar Inti } b_c = 557 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Inti } h_c = 557 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Inti } A_{ch} = 310249 \text{ mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X

$$A_{sh1}/s_x = 4,53 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1246,62 \text{ kN} < V_{maks} = 1393,22 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

Tulangan Sengkang Arah Y

$$A_{sh1}/s_x = 4,53 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,76 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1246,62 \text{ kN} < V_{maks} = 1393,22 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

- **Confinement Kolom K2 Lt 6-12**

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 400 \text{ Mpa}$$

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

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

$$d = 537 \text{ mm}$$

$$d' = 63,0 \text{ mm}$$

$$ds = 13 \text{ mm}$$

$$dt = 20 \text{ mm}$$

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

$$\text{Luas Kolom } A_g = 360,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar Inti } b_c = 507 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Inti } h_c = 507 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Inti } A_{ch} = 257,049 \text{ mm}^2$$

Tulangan Sengkang Arah X

$$A_{sh1}/s_x = 4,57 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,42 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,42 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1140,44 \text{ kN} < V_{maks} = 1176,51 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

Tulangan Sengkang Arah Y

$$A_{sh1}/s_x = 4,57 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/s_x = 3,42 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gunakan Tulangan Geser 4D13-100

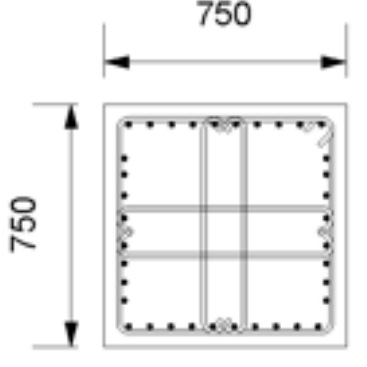
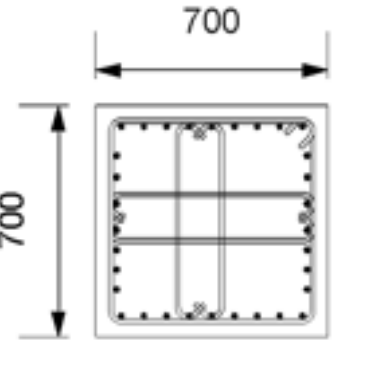
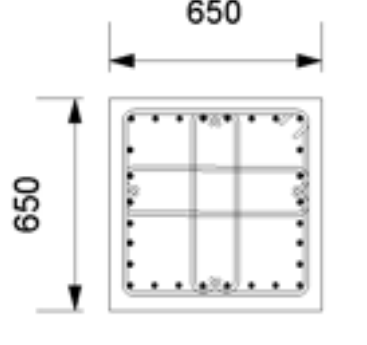
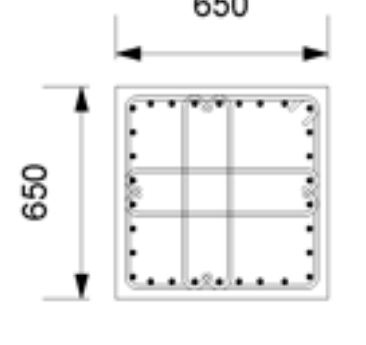
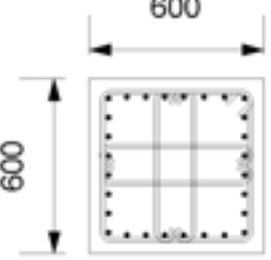
Kontrol

$$A_v/s_x = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,42 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{Ok}$$

$$V_s = 1140,44 \text{ kN} < V_{maks} = 1176,51 \text{ kN} \quad \text{Ok}$$

- **Desain *Confinement***

Tabel 4. 36 Tabel Penulangan Confinement

	
K1 750X750	K2 700X700
D13-bh	D13-bh
	
K3 650X650	K1 Lt 6-12 650x650
D13-bh	D13-bh
	
K2 Lt 6-12 600x600	
D13-bh	

Sumber : Hasil Analisis

4.7 Pembahasan

Dalam perancangan acuan utama yang digunakan adalah SNI 1726:2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non-gedung. Standar ini memberikan panduan dalam menentukan klasifikasi wilayah gempa, tingkat risiko bangunan, serta sistem struktur yang sesuai untuk menghadapi beban seismic, berdasarkan hasil analisis yang mengacu pada SNI 1726:2019 dapat ditarik pembahasannya sebagai berikut :

1. Pada Hasil Analisis (T) mengenai perioda ragam getar dan frekuensi dalam kondisi un-crack, hasil Analisa getar bebas yang diperoleh adalah T_{cx} sebesar 1,3612 sec. dan T_{cy} sebesar 1,4690 sec. dengan nilai maksimum $C_u.T_a$ yang dihasilkan sebesar 1,9606 dan menggunakan $T_x = 1,3612$ sec. dan $T_y = 1,4690$ sec. Berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2 tidak boleh melewati hasil perkalian koefisien untuk batasa atas periode yang dihitung.

Tabel 4. 37 Periode Ragam Getar

Periode Ragam Getar (T)	T_{cx}	T_{cy}
Un-crack	1,33sec	1,47sec
Crack	1,89sec	2,07sec

Sumber: Hasil Analisis

2. Pada Pembebanan Dibagi Menjadi 3 yaitu Beban Mati (Dead load), SIDL, dan L 14.697,27 yang sudah sesuai berdasarkan SNI 1726:2019 ps 7.7.2 berat seismic struktur harus menyertakan beban mati dan lainnya

Tabel 4. 38 Data Pembebanan dalam perencanaan struktur

JENIS PEMBEBANAN	DATA BEBAN		Total (DL+25%L) (kN)
	BEBAN	REDUKSI	
	(kN)	B. HIDUP	
Pelat, Balok, dan Kolom	51157,316	1,00	51.157,32
SIDL	42208,55	1,00	42.208,55
Beban Hidup	14597,27	0,25	3.649,32

Sumber : Hasil Analisis

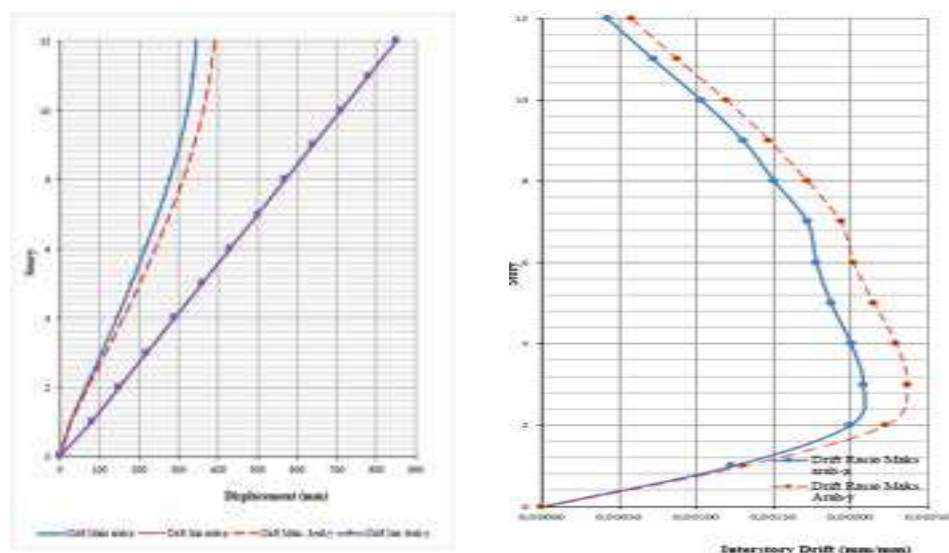
3. Pada Hasil Analisis Base shear setelah terkoreksi nilai V_{nx} dan V_{ny} sudah sesuai 100% sama dengan Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.9.4.1 bila digunakan Analisa Respon Spektrum maka besar geser dasar Harus $\geq 100\%$ V_n untuk arah X dan Y.

Tabel 4. 39 Base Shear Terkoreksi 100%

Base Shear (Kn)	Statik	100 %	Kontrol
V_{nx}	4.412,0	100	Memenuhi
Respon Spektrum	4412,0		
V_{ny}	4.088,3	100	Memenuhi
Respon Spektrum	4088,9115		

Sumber: Hasil Analisis

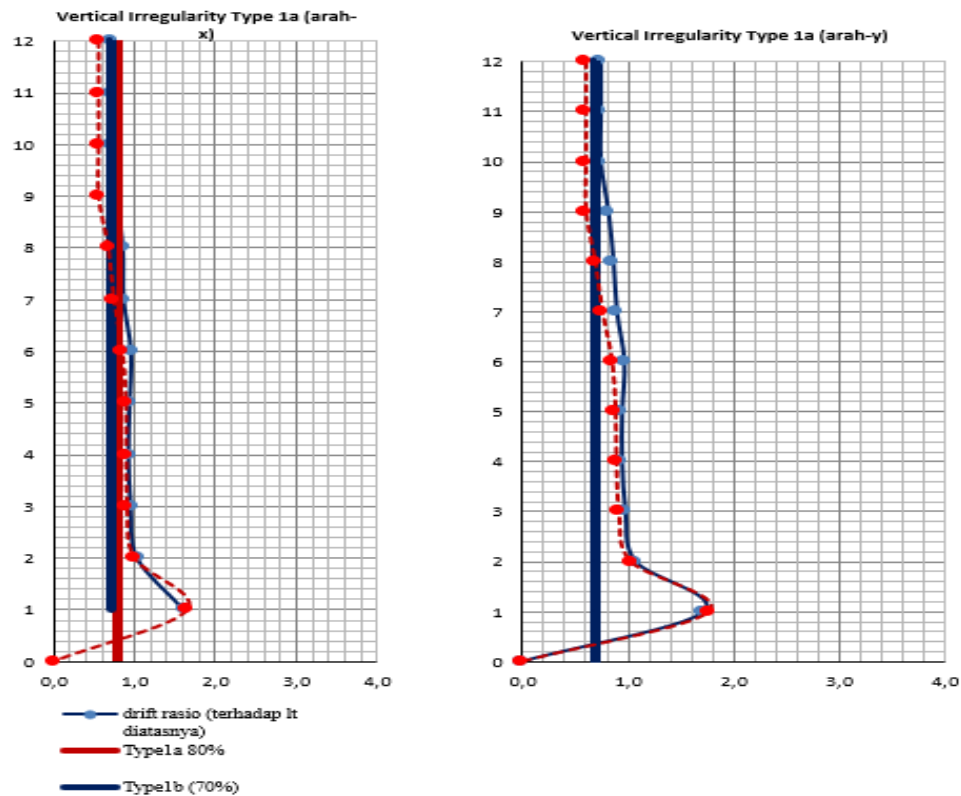
4. Pada Hasil Analisis Masing masing dari jumlah ragam minimum mencapai 90% dari masa aktual arah horizontal di Mode 6 , berdasarkan pada SNI 1726:2019 Ps 7.9.4.1, Analisa diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai masa ragam terkombinasi , Paling sedikit 90% dari masa aktual dari masing-masing arah horizontal ortogonal yang ditinjau.
5. Pada Hasil Analisis Story drift yang didapat drift arah X dan Y tidak boleh melebihi drift izin maksimal F



Gambar 4. 36 Grafik Simpangan atau *Displacement* antar tingkat

Sumber : Hasil analisis

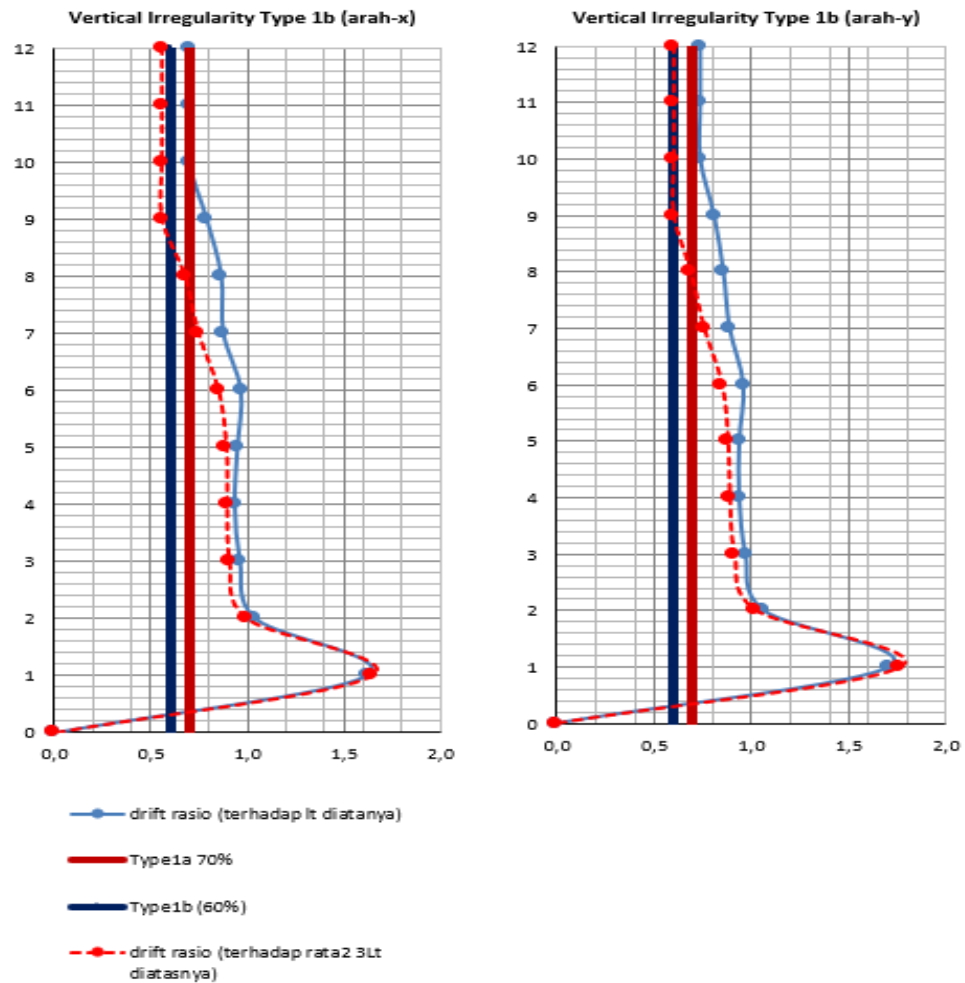
6. Pada hasil Analisis Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya yang telah sesuai Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.8.6



Gambar 4. 37 Grafik Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a

Sumber : Hasil analisis

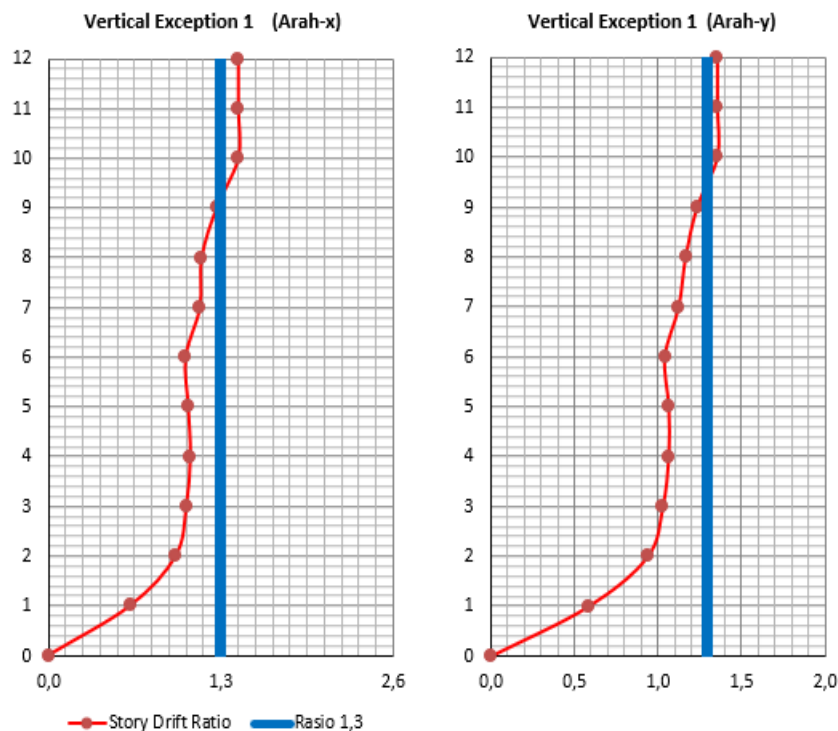
7. Pada Hasil Analisis Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya yang telah sesuai Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.8.6.



Gambar 4. 38 Grafik Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b

Sumber : Hasil analisis

8. Pada Hasil Analisis Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10, sesuai dengan ketentuan pada SNI 1727:2019 Ps 7.8.7.
9. Pada Hasil Analisis menunjukkan bahwa struktur memiliki ketidak beraturan vertical 1a dan 1b, Namun Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.3.2 Tabel 16 Ketidakberaturan Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.



Gambar 4. 39 Grafik Analisis vertical exception

Sumber : Hasil analisis

10. Pada Hasil Analisis ketidakberaturan Torsi tak terduga diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan horizontal, seperti yang diatur pada SNI 1726:2019 Ps 7.8.4.2 seperti Tabel 13. Momen torsi tak terduga (Mta) tidak perlu diperhitungkan pada saat menentukan gaya seismik E.

Untuk desain elemen struktural seperti Pelat Lantai, Balok , dan Kolom digunakan pedoman dari SNI 2847:2019 yang mengatur tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung. Standar ini digunakan dalam menentukan ukuran elemen, jumlah dan penempatan tulangan, serta detailing struktur agar memenuhi syarat kekuatan dan kelenturan, berdasarkan hasil analisis yang mengacu pada SNI 2847:2019 dapat ditarik pembahasanya sebagai berikut :

Tabel 4. 40 Analisis Komponen Struktur Pelat Lantai

Pelat Lantai			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Tumpuan	28,40	7	Memenuhi
Lapangan	28,40	5	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa nilai $M_n > M_u$, yang berarti pelat lantai tersebut telah memiliki kapasitas lentur yang cukup untuk menahan momen akibat beban rencana. Nilai M_n menggambarkan kemampuan maksimum elemen pelat untuk menahan momen sebelum mengalami keruntuhan, sedangkan M_u adalah nilai momen yang bekerja akibat kombinasi beban faktorial yang ditentukan dalam peraturan pembebanan.

Tabel 4. 41 Analisis Komponen Struktur Balok B1

Balok B1			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Kapasitas Lentur			
Tumpuan	257,26	245,13	Memenuhi
Lapangan	215,96	148,42	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Geser	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
	633,33	68,15	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa nilai $M_n > M_u$, yang berarti Balok tersebut telah memiliki kapasitas lentur yang cukup untuk menahan momen akibat beban rencana. Untuk Kapasitas Geser diperoleh bahwa nilai $V_n > V_u$, yang menunjukkan bahwa kapasitas geser penampang telah memenuhi syarat keamanan struktural sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019.

Tabel 4. 42 Analisis Komponen Struktur Balok B2

Balok B2			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Kapasitas Lentur			
Tumpuan	232,84	190,64	Memenuhi
Lapangan	158,11	95,32	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Geser	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
	565,46	91,98	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa nilai $M_n > M_u$, yang berarti Balok tersebut telah memiliki kapasitas lentur yang cukup untuk menahan momen akibat beban rencana. Untuk Kapasitas Geseer diperoleh bahwa nilai $V_n > V_u$, yang menunjukkan bahwa kapasitas geser penampang telah memenuhi syarat keamanan struktural sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019.

Tabel 4. 43 Analisis Komponen Struktur Balok B3

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Kapasitas Lentur			
Tumpuan	83,08	35,07	Memenuhi
Lapangan	67,56	17,54	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Geser	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
	111,17	17,36	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

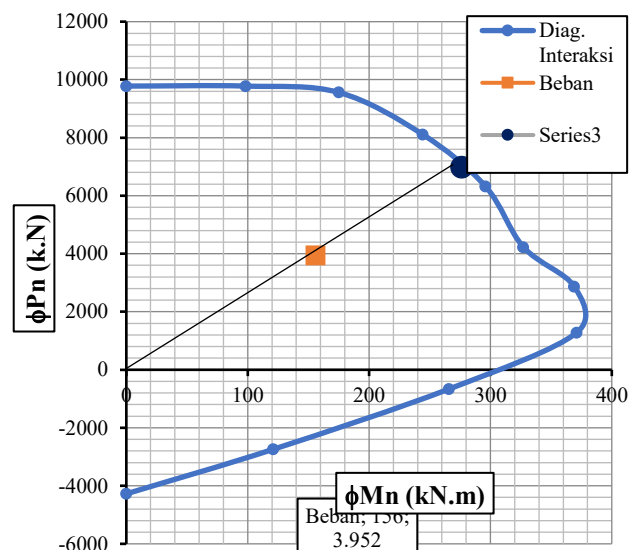
Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa nilai $M_n > M_u$, yang berarti Balok tersebut telah memiliki kapasitas lentur yang cukup untuk menahan momen akibat beban rencana. Untuk Kapasitas Geseer diperoleh bahwa nilai $V_n > V_u$, yang menunjukkan bahwa kapasitas geser penampang telah memenuhi syarat keamanan struktural sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019.

Tabel 4. 44 Analisa Komponen Struktur Kolom K1 75x75

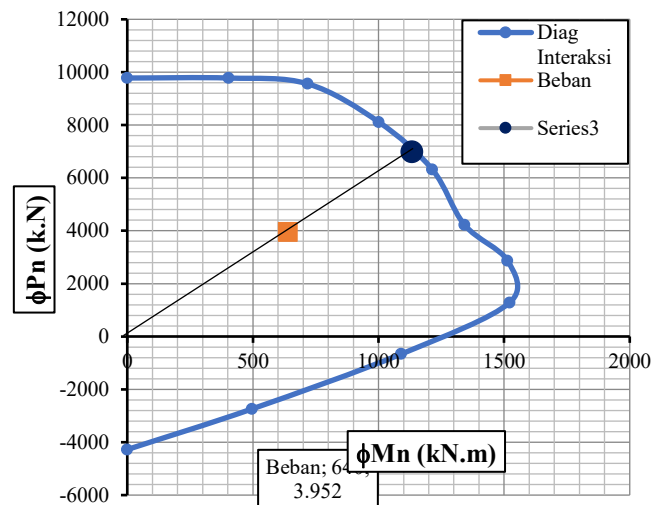
K1			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
Penulangan Kolom			
	1.687,5	3.951,88	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	1447,19	83,71	Memenuhi
Y	1447,19	90,86	Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1458,99	1881,43	Memenuhi
Y	1458,99	1881,43	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Pada hasil analisis Penulangan Kolom didapat Nilai $0,1x A_g x f'_c$ lebih kecil dari nilai Pu, begitu juga dengan kapasitas Geser Kolom Nilai V_n yang harus lebih besar dari Nilai V_u , dan pada desain *confinement* nilai V_s harus lebih Kecil dari V_s Maks yang sudah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019.

**Gambar 4. 40** Diagram interaksi pada kolom Arah X

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 41 Diagram interaksi pada kolom arah Y

Sumber : Hasil Analisis

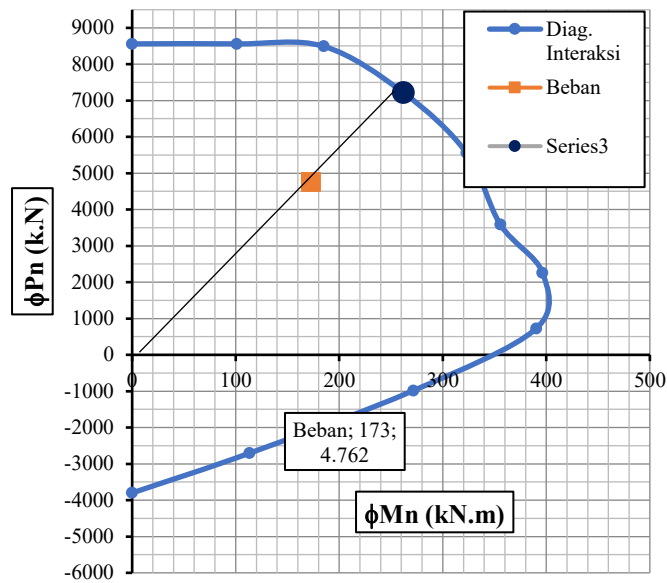
Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

Tabel 4. 45 Analisa Komponen Struktur Kolom K2 70x70

K2			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
Penulangan Kolom			
	1470,0	4.762,0	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	1320,10	146,55	Memenuhi
Y	1320,10	75,36	Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1352,81	1628,20	Memenuhi
Y	1352,81	1628,20	Memenuhi

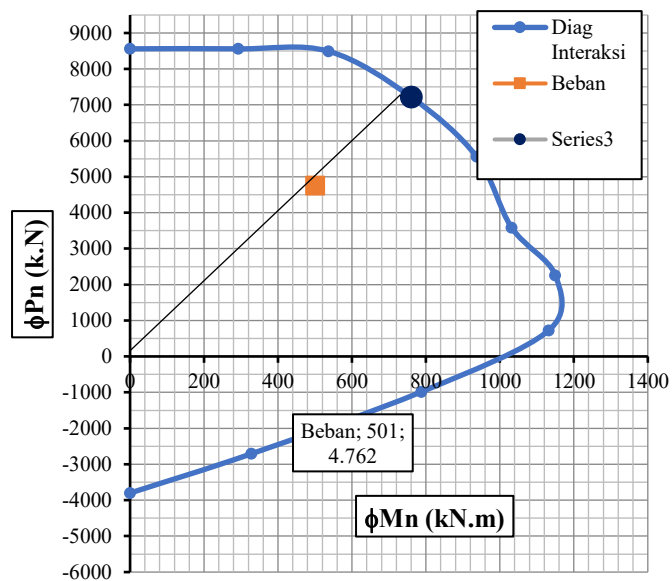
Sumber : Hasil Analisis

Pada hasil analisis Penulangan Kolom didapat Nilai $0,1x A_g x f'_c$ lebih kecil dari nilai Pu, begitu juga dengan kapasitas Geser Kolom Nilai V_n yang harus lebih besar dari Nilai V_u , dan pada desain *confinement* nilai V_s harus lebih Kecil dari V_s Maks yang sudah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019.



Gambar 4. 42 Diagram interaksi pada kolom arah X

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 43 Diagram interaksi pada kolom arah Y

Sumber : Hasil Analisis

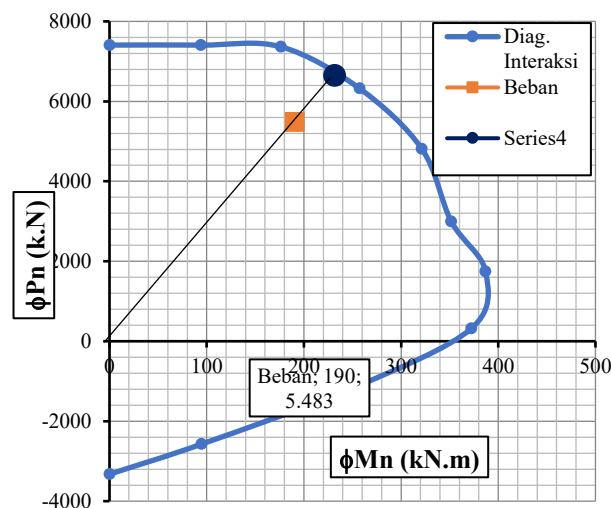
Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai P_n dan M_n tidak melebihi batas kapasitas.

Tabel 4. 46 Analisa Komponen Struktur Kolom K3 65x65

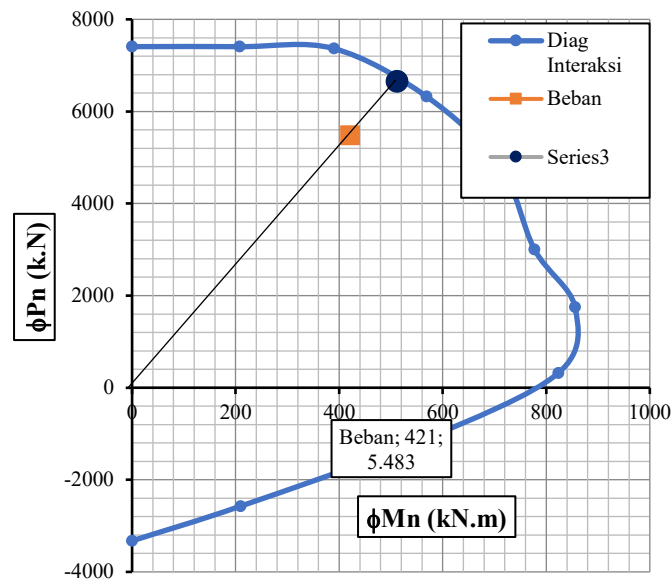
K3			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	P_u (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
Penulangan Kolom			
	1267,5	5.483,44	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	1298,31	117,30	Memenuhi
Y	1298,31	127,44	Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1246,62	1393,22	Memenuhi
Y	1246,62	1393,22	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Pada hasil analisis Penulangan Kolom didapat Nilai $0,1x A_g x f'_c$ lebih kecil dari nilai P_u , begitu juga dengan kapasitas Geser Kolom Nilai V_n yang harus lebih besar dari Nilai V_u , dan pada desain *confinement* nilai V_s harus lebih Kecil dari V_s Maks yang sudah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019.

**Gambar 4. 44** Diagram interaksi pada kolom arah X

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 45 Diagram interaksi pada kolom arah Y

Sumber: Hasil Analisis

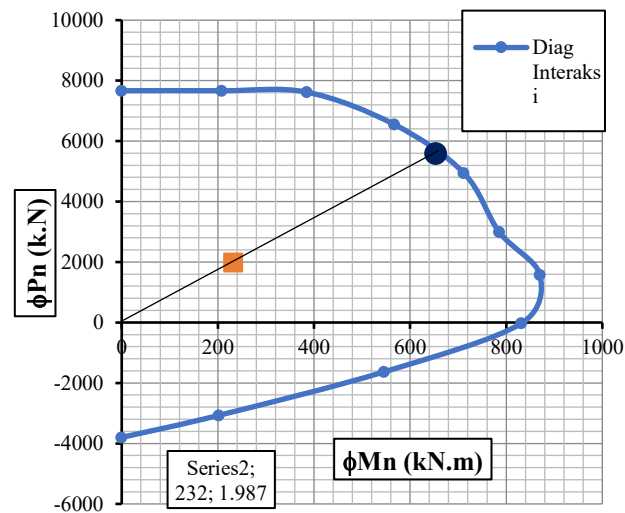
Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai Pn dan Mn tidak melebihi batas kapasitas.

Tabel 4. 47 Analisa Komponen Struktur Kolom K1 Lt 6-12 65x65

K1 LT 6-12			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
Penulangan Kolom			
	1267,5	1.987,11	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	1196,28	155,73	Memenuhi
Y	1196,28	87,60	Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1246,62	1393,22	Memenuhi
Y	1246,62	1393,22	Memenuhi

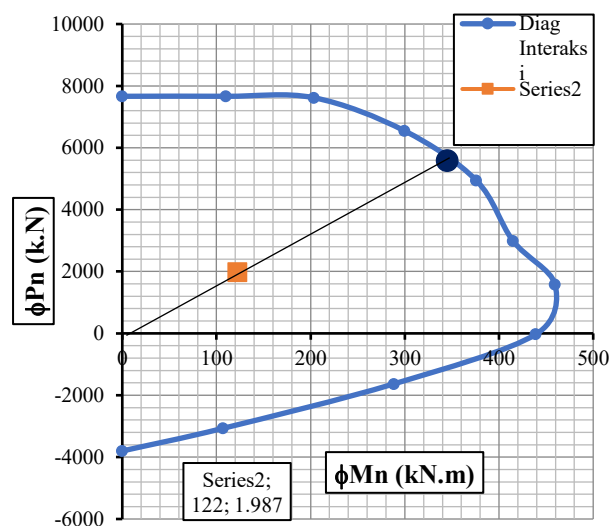
Sumber : Hasil Analisis

Pada hasil analisis Penulangan Kolom didapat Nilai $0,1x A_g x f'_c$ lebih kecil dari nilai P_u , begitu juga dengan kapasitas Geser Kolom Nilai V_n yang harus lebih besar dari Nilai V_u , dan pada desain *confinement* nilai V_s harus lebih Kecil dari V_s Maks yang sudah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019



Gambar 4. 46 Diagram interaksi pada kolom arah X

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 47 Diagram interaksi pada kolom arah Y

Sumber : Hasil Analisis

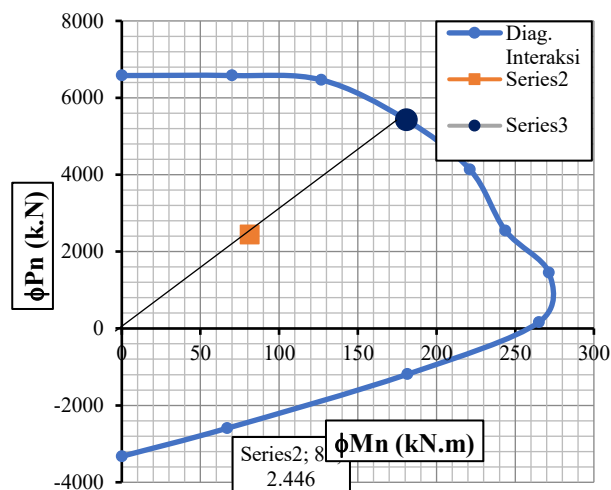
Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai P_n dan M_n tidak melebihi batas kapasitas.

Tabel 4. 48 Analisa Komponen Struktur Kolom K2 Lt 6-12 60x60

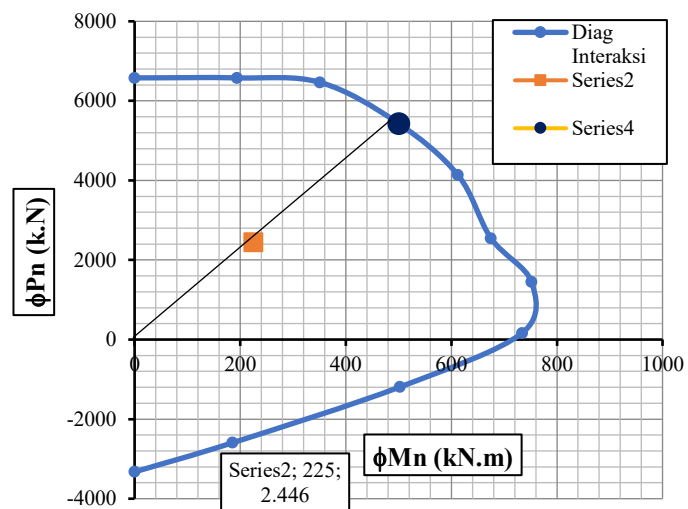
K1 LT 6-12			
Keterangan	Hasil Analisa	Hasil Output (Etabs)	Syarat
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
Penulangan Kolom			
	1080	2.445,94	Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
X	1076,03	123,10	Memenuhi
Y	1076,03	123,10	Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
X	1140,4	1176,51	Memenuhi
Y	1140,4	1176,51	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Pada hasil analisis Penulangan Kolom didapat Nilai $0,1x A_g x f'_c$ lebih kecil dari nilai Pu, begitu juga dengan kapasitas Geser Kolom Nilai V_n yang harus lebih besar dari Nilai V_u , dan pada desain *confinement* nilai V_s harus lebih Kecil dari V_s Maks yang sudah sesuai dengan ketentuan peraturan desain kolom pada SNI 2847:2019

**Gambar 4. 48** Diagram interaksi pada kolom arah X

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4. 49 Diagram interaksi pada kolom arah Y

Sumber: Hasil Analisis

Hasil Analisis Diagram kolom Arah X dan Y didapat Nilai P_n dan M_n tidak melebihi batas kapasitas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur beton bertulang Apartemen 12 Lantai dengan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, dapat ditarik Kesimpulan sebagai berikut:

1. Permodelan Struktur Beton bertulang Apartemen 12 Lantai telah memenuhi syarat syarat dalam perancangan struktur bedasarkan SNI 1726:2019
2. Desain struktur Balok dan Kolom pada perancangan struktur Beton bertulang apartemen 12 Lantai telah sesuai dan memenuhi standar yang tertulis pada SNI 2847:2019

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis pada perancangan Struktur Beton bertulang, berikut ini adalah beberapa saran yang dapat diberikan

1. Perlu dilakukan Analisa lebih dalam mengenai Kinerja Struktur
2. Pada penelitian ini dapat dilanjutkan dengan Perhitungan Struktur Bawah

DAFTAR PUSAKA

- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Alfabeta. Bandung
- Intane, V. L., & Machmoed, S. P. (2023). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Hotel Velins 10 Lantai Di Kota Yogyakarta Dengan Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). *axial: jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, 11(3), 161-172.
- Lewa, S. T. P. (2018). *Perancangan Struktur Atas Gedung Apartemen 10 Lantai di Jakarta Barat* (Doctoral dissertation, UAJY).
- Robbani, Muhammad Hafizhuddin. "Perencanaan Dan Perancangan Apartemen Dengan Ruang Terbuka Hijau Vertikal Di Jakarta."
- Sapta (2012). Tesis Perancangan berbasis kinerja pada struktur bangunan gedung beton bertulang akibat beban gempa. Universitas Sriwijaya Palembang.
- SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahan 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

