

TUGAS AKHIR

**STUDI PERBANDINGAN RESPON SEISMIK PADA GEDUNG
ASIMETRIS DENGAN SRPMM DAN SRPMK
(STUDI KASUS GEDUNG 6 LANTAI)**

***COMPARATIVE STUDY OF SEISMIC RESPONSE IN
ASYMMETRICAL BUILDINGS WITH IMRF AND SMRF
(CASE STUDY OF 6 STOREY BUILDING)***

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



ELVINA EGIE NURFITA SARI

18511055

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

2023

TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN RESPON SEISMIK PADA GEDUNG ASIMETRIS DENGAN SRPMM DAN SRPMK (STUDI KASUS GEDUNG 6 LANTAI)

(COMPARATIVE STUDY OF SEISMIC RESPONSE IN ASYMMETRICAL BUILDINGS WITH IMRF AND SMRF (CASE STUDY OF 6 STOREY BUILDING))

Disusun oleh

ELVINA EGIE NURFITTA SARI

18511055

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil


Diuji pada tanggal 3 Juli 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing


Malik Mushthofa, ST., M.Eng
NIK: 185111302
10/11/23

Penguji I


Mochamad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.
NIK: 855110201
11/11/2023

Penguji II


Jafar S.T., MURP, M.T
NIK: 185111305
10/11/2023

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Yuzalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D (Eng)

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 26 Juni 2023

Yang membuat pernyataan,



Elvina Egie Nurfiti Sari

(18511055)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Waarahmatullahai Wabarakatuh

Alhamdulillah Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Studi Perbandingan Respon Seismik Pada Gedung Asimetris dengan SRPMM Dan SRPMK (Studi Kasus Gedung 6 Lantai). Tugas akhir adalah salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat bimbingan, saran serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Yunalian Muntafi, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Malik Musthofa, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan memberikan masukan pada penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Mochamad Teguh, Prof.Ir., MSCE., Ph.D dan Bapak Jafar, ST., M.T., MURP selaku Dosen Penguji yang telah memeberikan masukan, saran dan mengevaluasi penelitian Tugas Akhir ini agar lebih baik.
4. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberi motivasi dan telah berkorban, baik secara moril maupun material.
5. Teman-teman yang selalu menemani dan memberi motivasi dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen pengajar, asisten, laboran dan staff Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi kegiatan belajar penulis selama masa kuliah.

Akhir kata penulis berharap, semoga tugas akhir ini dapat diterima dengan baik dan bermanfaat untuk pembaca

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, 9 November 2023

Yang membuat pernyataan

Elvina Egie Nurfitasari

(18511055)

ABSTRAK

Letak geografis Indonesia yang berada di perbatasan tiga lempeng tektonik mengakibatkan Indonesia menjadi wilayah rawan gempa bumi yang dapat mengakibatkan berbagai macam kerusakan dan keruntuhan pada bangunan, sehingga diperlukan suatu struktur yang memiliki kekuatan, kekakuan dan mampu meneruskan beban yang menumpu pada suatu titik kemudian diteruskan ke tanah sehingga beban dapat ditahan. Bangunan yang berada pada wilayah dengan resiko gempa perlu dirancang menggunakan sistem penahan gempa. Berdasarkan SNI 03-1726-2019 terdapat beberapa macam sistem penahan gempa salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Berdasarkan SNI 03-2847-2019, Sistem Rangka Pemikul Momen dibagi menjadi 3 yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada lokasi dengan site tertentu perlu dirancang konstruksi menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena memiliki sifat daktail sedang hingga penuh sehingga mampu mengurangi keruntuhan secara tiba-tiba. Tujuan pada tugas akhir ini untuk membandingkan respon seismik pada gedung asimetris dengan SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Hasil dari studi ini adalah nilai simpangan antar lantai, *story drift*, dan P-delta pada SRPMK dan SRPMM memenuhi ketentuan SNI 2847-2019 Pasal 11.5.1.1 dan diperoleh nilai ratio sebesar 1,0 – 1,2 sehingga keduanya masih dalam batas aman dan tidak boros. Nilai *base shear* SRPMM lebih besar 58% dari nilai *base shear* SRPMK, simpangan antar lantai SRPMK lebih besar 38% dari nilai simpangan antar lantai SRPMM, nilai *story drift* SRPMK lebih besar 52% dari nilai *story drift* SRPMM dan nilai P-Delta SRPMK lebih besar 54% dari nilai P-Delta SRPMM.

Kata Kunci: SRPM (Sistem Rangka Pemikul Momen), *SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)*, *SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)*, *simpangan antar lantai*, *story drift*, *P-delta*, *Base Share*

ABSTRACT

Indonesia's geographical location on the border of three tectonic plates causes Indonesia to be an earthquake-prone area that can cause various kinds of damage and collapse in buildings, so a structure that has strength, stiffness and is able to forward the load that rests at a point then forwarded to the ground so that the load can be retained is needed. Buildings located in areas with earthquake risk need to be designed using an earthquake retaining system. Based on SNI 03-1726-2019, there are several types of earthquake resisting systems, one of which is the Moment Resisting Frame (MRF). Based on SNI 03-2847-2019, Moment Resisting Frame is divided into 3 namely Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF), Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF) and Special Moment Resisting Frame (SMRF). In locations with certain sites it is necessary to design construction using the Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF) and the Special Moment Resisting Frame (SMRF) because it has medium to full ductile properties so as to reduce sudden collapse. The purpose of this final project is to compare the seismic response of asymmetric buildings with Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF) and Special Moment Resisting Frame (SMRF). The results of this study are the values of inter-storey deviation, story drift, and P-delta on SMRF and IMRF that meet the provisions of SNI 2847-2019 Article 11.5.1.1 and obtained a ratio value of 1.0 - 1.2 so that both are still within safe limits and are not wasteful. The IMRF base shear value is 58% greater than the SMRF base shear value, the SMRF inter-storey deviation value is 38% greater than the IMRF inter-storey deviation value, the SMRF story drift value is 52% greater than the IMRF story drift value and the SMRF P-Delta value is 54% greater than the IMRF P-Delta value.

Keyword: *Moment Resisting Frame (MRF), Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF), Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF), Special Moment Resisting Frame (SMRF), story drift, P-delta, Base Shear.*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	6
2.2 Perbedaan dan Persamaan Penelitian.....	15
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Beton Bertulang	17
3.2 Prinsip Bangunan Tahan Gempa	27
3.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	28
3.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).....	30
3.2.2.1 Geser Balok SRPMM	33
3.2.2.2 Geser kolom SRPMM	33

3.2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK).....	34
3.2.3.1 Persyaratan Balok Kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	34
3.2.3.2 Persyaratan Tulangan Longitudinal Balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	35
3.2.3.3 Persyaratan Tulangan Transversal Balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	36
3.2.3.4 Persyaratan Kuatan Geser Balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	38
3.2.3.5 Kekuatan Lentur Minimum Kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	38
3.2.3.6 Tulangan Lentur Kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	39
3.2.3.7 Tulangan Transversal pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	39
3.2.3.8 Ketentuan Kekuatan Geser pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	43
3.2.3.9 Joint Rangka Momen Khusus	44
3.2.3.9.1 Peryaratan Umum	44
3.2.3.9.2 Tulangan Transversal.....	45
3.2.3.9.3 Kekuatan Geser.....	45
3.2.3.9.4 Panjang Penyaluran Batang Tulangan Dalam Kondisi Tarik	46
3.3 Struktur Tahan Gempa.....	47
3.3.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan.....	47
3.3.2 Faktor Keutamaan Gempa.....	49
3.3.3 Daktilitas	49
3.3.4 Arah Pembebanan Gempa.....	51
3.4 Koefisien Gempa Dasar (C).....	53
3.4.1 Parameter Percepatan Gempa	54
3.4.2 Kelas Situs.....	54

3.4.3 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektra Berdasarkan Resiko Tertarget (MCE_R)	55
3.4.4 Parameter Percepatan Spektra Desain	57
3.4.5 Desain Respon Spektrum	57
3.4.6 Penentuan Periode Getar (T)	59
3.5 Sistem Pembebanan	61
3.5.1 Beban Mati	62
3.5.2 Beban Hidup	63
3.5.3 Beban Gempa	68
3.5.4 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan	70
3.5.4.1 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	71
3.6 Perencanaan Elemen Struktur	72
3.6.1 Perencanaan Pelat	72
3.6.2 Perencanaan Kolom	73
3.6.2.1 Perencanaan Tulangan Transversal	74
3.7 Penulangan Geser	75
3.8 Ketidakberaturan Horizontal dan Ketidakberaturan Vertikal	76
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	
4.1 Subjek Penelitian	78
4.2 Objek Penelitian	78
4.3 Data Penelitian	79
4.4 <i>Flowchart</i> Penelitian	80
4.4.1 Studi Literatur	82
4.4.2 Pengumpulan Data	82
4.4.3 Analisis Perancang	82
4.4.4 Penyusunan Laporan	82

4.5 Program dan Software.....	82
BAB V ANALISIS PENELITIAN	
5.1 Data Awal Perencanaan	84
5.2 Pembebanan	85
5.3 Kodefikasi	91
5.3.1 Kodefikasi Pelat.....	91
5.3.2 Kodefikasi Balok.....	92
5.3.3 Kodefikasi Kolom	93
5.4 Estimasi Dimensi Struktur	94
5.4.1 Estimasi Dimensi Pelat.....	94
5.4.2 Estimasi Dimensi Balok.....	96
5.4.3 Estimasi Dimensi Kolom	99
5.5 Kombinasi Pembebanan.....	101
5.6 Analisis Struktur	103
5.6.1 Kodefikasi Balok dan Kolom	103
5.6.2 Pemodelan Struktur	106
5.7 Kontrol Persyaratan Bangunan	110
5.8 Desain Penulangan Pelat Lantai dan Atap	141
5.8.1 Penulangan Pelat Lantai.....	141
5.9 Desain Penulangan Pelat Tangga.....	148
5.9.1 Estimasi Tangga.....	148
5.9.2 Analisis Struktur	149
5.9.3 Penulangan Pelat Tangga	150
5.10 Desain Penulangan Balok	155
5.10.1 Desain Tulangan Lentur	156
5.10.2 Desain Tulangan Geser.....	165
5.10.3 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak	172
5.10.4 Desain Tulangan Balok Induk	173

5.10.5 Analisis Kapasitas Momen Tulangan Lentur Balok Induk.....	181
5.10.6 Perhitungan Tulangan Geser Balok Induk.....	184
5.11 Desain Penulangan Kolom	197
5.11.1 Perhitungan Diagram Mn-Pn Kolom.....	197
5.11.2 Checking SCWB.....	211
5.11.3 Perhitungan Lentur Kolom	218
5.11.4 Perhitungan Gaya Geser Kolom	220
5.11.5 Perhitungan Desain Tulangan Geser <i>Beam Coloumn Joint</i>	223
5.12 Tabel Rekapitulasi Rasio	227
5.12.1 Rasio Mn/Mu Balok	227
5.12.2 Rasio Vn/Vu Balok.....	239
5.12.3 Rasio Mn/Mu Kolom.....	244
5.12.4 Rasio Vn/Vu Kolom	244
5.12.5 Rasio Pn/Pu Kolom.....	245
5.13 Grafik Perbandingan SRPMM dan SRPMK.....	246
 BAB VI KESIMPULAN	
6.1 Kesimpulan	250
6.2 Saran	252
DAFTAR PUSTAKA	253

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah.....	33
Gambar 3.2 Contoh Sengkang Tertutup Saling Tumpuk dan Ilustrasi Batasan Pada Spasi Horizontal Maksimum Batang Tulangan Longitudinal yang Ditumpu	36
Gambar 3.3 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom.....	41
Gambar 3.4 Luas joint efektif	46
Gambar 3.5 S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko Tertarget (MCE_R), Kelas situs SD (Tanah Sedang).....	53
Gambar 3.6 Spektrum Respon Desain	58
Gambar 4.1 Lokasi Perencanaan Gedung Rumah Sakit Trisakti.....	78
Gambar 4.2 Denah Bangunan	79
Gambar 4.3 <i>Flowchart</i> Penelitian	80
Gambar 5.1 Denah Bangunan	85
Gambar 5.2 Grafik Respon Spektrum dan Data Gempa Kota Makassar.....	88
Gambar 5.3 Kodefikasi Pelat Lantai	92
Gambar 5.4 Kodefikasi Balok.....	92
Gambar 5.5 Kodefikasi Kolom	93
Gambar 5.6 Dimensi Balok Induk Dua Arah X.....	96
Gambar 5.7 Dimensi Balok Anak Arah X	97
Gambar 5.8 Sketsa Kolom	99
Gambar 5.9 Sketsa Perhitungan Momen Ultimate	151

Gambar 5.10 Sketsa Rasio Tulangan 0,5%	204
Gambar 5.11 Grafik Mn-Pn K1 Arah X SRPMK.....	217
Gambar 5.12 Grafik Mn-Pn K1 Arah X SRPMM	218
Gambar 5.13 Sketsa Rasio Tulangan 0,5%	219
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan <i>Base Shear</i> Total SRPMK dan SRPMM	246
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan <i>Base Shear</i> Perlantai SRPMK dan SRPMM	247
Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Simpangan SRPMK dan SRPMM.....	247
Gambar 5.17 Grafik Perbandingan <i>Story Drift</i> SRPMK dan SRPMM	248
Gambar 5.18 Grafik Perbandingan P-Delta SRPMK dan SRPMM	249

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sekarang dengan Terdahulu	10
Tabel 3.1 Spesifikasi Tulangan Baja	18
Tabel 3.2 Koefisien Distribusi untuk Bentang Ujung.....	21
Tabel 3.3 Tebal Minimum Pelat Satu Arah	21
Tabel 3.4 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm).....	23
Tabel 3.5 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Nonprateganng Dengan Balok Diantara Tumpuan Pada Semua Sisinya.....	24
Tabel 3.6 Persyaratan Desain Struktur Beton Bertulang yang Memikul Beban Gempa	29
Tabel 3.7 Tulangan Transversal Untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	42
Tabel 3.8 Kekuatan Geser Nominal Joint V_n	45
Tabel 3.9 Kategori Resiko Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	48
Tabel 3.10 faktor Keutamaan Gempa	49
Tabel 3.11 Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	52
Tabel 3.12 Kelas Situs	55
Tabel 3.13 Koefisien Situs F_a	56
Tabel 3.14 Koefisien Situs F_v	56
Tabel 3.15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	59
Tabel 3.16 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	59
Tabel 3.17 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik	60
Tabel 3.18 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	61
Tabel 3.19 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan X	61
Tabel 3.20 Daftar Bahan Bangunan	62
Tabel 3.21 Komponen Gedung	63
Tabel 3.22 Daftar Beban Hidup Pada Lantai	64

Tabel 3.23 Faktor Elemen Beban Hidup, K_{LL}	68
Tabel 3.24 Kombinasi Beban	70
Tabel 3.25 faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	71
Tabel 3.26 Ketidakberaturan Horizontal.....	76
Tabel 3.27 Ketidakberaturan Vertikal.....	77
Tabel 5.1 Beban Hidup Interior	87
Tabel 5.2 Beban Hidup Eksterior	88
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Beban Gempa	91
Tabel 5.4 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Pelat SRPMK	95
Tabel 5.5 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Pelat SRPMM.....	96
Tabel 5.6 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Induk SRPMK.....	98
Tabel 5.7 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Anak SRPMK	98
Tabel 5.8 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Induk SRPMM.....	98
Tabel 5.9 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Anak SRPMM.....	99
Tabel 5.10 Rekapitulasi Dimensi Kolom SRPMK	101
Tabel 5.11 Rekapitulasi Dimensi Kolom SRPMM.....	101
Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Comb 6	102
Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Comb 7.....	103
Tabel 5.14 Dimensi Balok, Kolom dan Tangga	104
Tabel 5.15 Momen Inersia	108
Tabel 5.16 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 Arah X	111
Tabel 5.17 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 Arah Y	112
Tabel 5.18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a arah X	113
Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a arah Y.....	114
Tabel 5.20 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 SRPMK.....	115
Tabel 5.21 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 SRPMM.....	115
Tabel 5.22 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah X SRRPMK	116
Tabel 5.23 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah Y SRPMK	116
Tabel 5.24 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah X SRPMM	117
Tabel 5.25 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah Y SRPMM.....	117
Tabel 5.26 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5 SRPMK	118

Tabel 5.27 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5 SRPMM	118
Tabel 5.28 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ex SRPMK	119
Tabel 5.29 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ey SRPMK	120
Tabel 5.30 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ex SRPMM.....	120
Tabel 5.31 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ey SRPMM.....	120
Tabel 5.32 Rekapitulasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4 dan Tipe 5 SRPMK.....	122
Tabel 5.33 Rekapitulasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4 dan Tipe 5 SRPMM.....	122
Tabel 5.34 Modal Periode dan Frekuensi SRPMK.....	124
Tabel 5.35 Modal Periode dan Frekuensi SRPMM.....	125
Tabel 5.36 Simpangan Arah X SRPMK	130
Tabel 5.37 Simpangan Arah Y SRPMK	131
Tabel 5.38 Simpangan Arah X SRPMM	132
Tabel 5.39 Simpangan Arah Y SRPMM	133
Tabel 5.40 Pengaruh P-Delta Arah X SRPMK.....	134
Tabel 5.41 Pengaruh P-Delta Arah Y SRPMK.....	134
Tabel 5.42 Pengaruh P-Delta Arah X SRPMM.....	135
Tabel 5.43 Pengaruh P-Delta Arah Y SRPMM.....	136
Tabel 5.44 Simpangan Arah X SRPMK	138
Tabel 5.45 Pengaruh Arah Y SRPMK.....	138
Tabel 5.46 Simpangan Arah X SRPMM	139
Tabel 5.47 Simpangan Arah Y SRPMM	140
Tabel 5.48 Rekapitulasi Pelat 2 Arah SRPMK.....	146
Tabel 5.49 Rekapitulasi Pelat 2 Arah SRPMM	146
Tabel 5.50 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Tangga SRPMK	149
Tabel 5.51 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Tangga SRPMM	150
Tabel 5.52 Rekapitulasi Penulangan Tangga	155
Tabel 5.53 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Anak SRPMK.....	155
Tabel 5.54 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Anak SRPMM	156
Tabel 5.55 Rekapitulasi Balok Anak SRPMK	170
Tabel 5.56 Rekapitulasi Balok Anak SRPMM	171
Tabel 5.57 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Induk SRPMK.....	172

Tabel 5.58 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Induk SRPMM	172
Tabel 5.59 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMK	189
Tabel 5.60 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMM	193
Tabel 5.61 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 1-3 SRPMK.....	205
Tabel 5.62 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 4-5 SRPMK.....	206
Tabel 5.63 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 6 SRPMK	207
Tabel 5.64 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 1-3 SRPMK.....	208
Tabel 5.65 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 4-5 SRPMK.....	209
Tabel 5.66 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 6 SRPMM.....	210
Tabel 5.67 Rekapitulasi Momen Nominal Balok SRPMK	214
Tabel 5.68 Rekapitulasi Momen Nominal Balok SRPMM	215
Tabel 5.69 Rekapitulasi Pu Kolom SRPMK	216
Tabel 5.70 Rekapitulasi Pu Kolom SRPMM.....	216
Tabel 5.71 Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMK	226
Tabel 5.72 Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMM	226
Tabel 5.73 Rasio Balok Anak Mn/Mu SRPMK	227
Tabel 5.74 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMK.....	229
Tabel 5.75 Rasio Balok Anak Mn/Mu SRPMM.....	233
Tabel 5.76 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMM.....	235
Tabel 5.77 Rasio Vn/Vu Balok Anak SRPMK.....	239
Tabel 5.78 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMK	239
Tabel 5.79 Rasio Vn/Vu Balok Anak SRPMM.....	241
Tabel 5.80 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMM	242
Tabel 5.81 Rasio Mn/Mu Balok Kolom SRPMK.....	244
Tabel 8.82 Rasio Mn/Mu Balok Kolom SRPMM	244
Tabel 5.83 Rasio Vn/Vu Kolom SRPMK.....	244
Tabel 5.84 Rasio Vn/Vu Kolom SRPMM	245
Tabel 5.84 Rasio Pn/Pu Kolom SRPMK	245
Tabel 5.85 Rasio Pn/Pu Kolom SRPMM	246

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kerja Struktur

DAFTAR NOTASI

F_y	= Kuat Tekan Beton
F'_c	= Kuat Leleh Baja
θ	= Faktor Reduksi
U	= Kuat Perlu
h	= Tebal Pelat
β	= Rasio Bentang Bersih Dalam Arah Panjang Terhadap Pendek Pelat
ϕV_n	= Kuat Geser Rencana
E	= Pengaruh Beban Gempa
A_g	= Luas Bruto Penampang Beton
ρ_s	= Rasio Volume Tulangan Spiral
A_{sh}	= Luas Penampang Total Tulangan Sengkang Persegi
V_e	= Gaya Geser Desain
P_u	= Beban Aksial Terfaktor
V	= Beban Gempa Horizontal
W_t	= Berat Total Struktur Bangunan
C	= Koefisien Respons Gempa
I	= Faktor Keutamaan Struktur Bangunan
R	= Koefisien Modifikasi Respons
Ω_o	= Faktor Kuat Lebih Sistem
C_d	= Faktor Pembesar Defleksi
D	= Beban Mati
L	= Beban Hidup
L_r	= Beban Atap
ϕ	= Faktor Reduksi Kekuatan
δ_e	= Deformasi Elastis
δ_p	= Deformasi Plastis

T = Periode Getar
Cu = Periode Batas Atas
Ta = Periode Pendekatan
qd = Beban Mati
ql = Beban Hidup
Pn = Gaya Tekan Nominal
Ag = Luas Penampang Beton
Ast = Luas Total Penampang Tulangan Memanjang
 ϕ = Faktor Reduksi
Ast = Kebutuhan Luas Tulangan (mm²)
 ρ = Rasio Tulangan
Vu = Gaya Geser Optimal (N)
Vc = Gaya Geser yang Dipikul Beton (N)
Vs = Gaya Geser yang Dipikul Tulangan Baja (N)
S = Jarak Antara Tulangan Geser (mm²)

BAB I

LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Kota Makassar merupakan Ibu Kota Sulawesi Selatan yang termasuk dalam jajaran kota terbesar di Indonesia. Berdasarkan Soehaimi (2009), sebagai pintu kawasan Indonesia bagian timur, Makassar memiliki 5 fungsi utama yaitu pemerintahan, pendidikan, industri, pariwisata dan pelayanan sehingga, seiring dengan bertambahnya perkembangan zaman dan diiringi dengan pertumbuhan penduduk maka dibutuhkan sarana dan prasarana yang memadai. Pauzi (2021) mengatakan bahwa pembangunan infrastruktur dalam sebuah negara adalah suatu keharusan karena permasalahan publik yang timbul pada setiap tahunnya akan semakin kompleks sehingga membutuhkan suatu solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut. Namun, minimnya lahan sering kali menghambat pembangunan sehingga gedung bertingkat sebagai solusi untuk meluaskan pembangunan.

Disisi lain berdasarkan Surharjanto (2013), letak geografis Indonesia sebagai pertemuan perbatasan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan Lempeng Australia menyebabkan Indonesia sebagai wilayah rawan gempa bumi yang dapat menyebabkan beragam kerusakan. Dalam merancang sebuah bangunan gedung terutama pada kawasan rawan bencana gempa bumi dibutuhkan perancangan yang matang sehingga apabila terjadi gempa, struktur gempa tidak rusak maupun runtuh. Dalam masa penggunaan gedung struktur harus aman terhadap gempa dan beban lainnya.

Berdasarkan Primadana dan Anwar (2021), struktur merupakan gabungan dari elemen-elemen yang dirakit menjadi satu kesatuan yang utuh. Dimana struktur adalah bagian dari sebuah bangunan lapisan luar yang menutup dan membagi ruang sehingga tercipta suatu lingkungan yang terlindungi. Lapisan

yang membentuk kulit luar disebut dengan dinding, lantai dan atap bangunan yang dikenai berbagai macam beban. Permukaan luar berfungsi untuk melindungi bangunan dari beban iklim seperti salju, angin dan hujan, beban gravitasi dan dampaknya. Beban-beban tersebut sebagian besar mengubah permukaan bangunan sehingga dapat mengakibatkan keruntuhan. Dari hal inilah maka diperlukan suatu struktur untuk memberikan kekuatan dan kekakuan. Selain itu, struktur juga berperan untuk meneruskan beban-beban yang menumpu pada suatu titik kemudian diteruskan ke bagian bawah tanah melalui pondasi sehingga beban tersebut dapat ditahan.

Analisis struktur sebagai bagian penting dalam hal ini karena dari hasil analisis inilah akan didapatkan gaya-gaya dalam seperti momen lentur dan gaya aksial yang nantinya akan digunakan untuk menentukan dimensi dari elemen-elemen struktur yang diharapkan dapat menahan seluruh beban yang sudah dirancang, salah satunya beban gempa yang tiba-tiba dapat terjadi. Sebuah sistem dibutuhkan dalam menganalisis struktur dimana suatu sistem berperan untuk mengabungkan berbagai elemen-elemen secara tiga dimensi yang memiliki fungsi utama untuk memikul beban-beban yang bekerja dan menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Berdasarkan SNI 03-1726-2019 terdapat beberapa macam sistem rangka penahan gempa, salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).

Sistem rangka pemikul momen merupakan suatu sistem rangka ruang yang dirangkai agar komponen-komponen struktur balok, kolom dan joinnya dapat menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial (Almufid dan Santoso, 2021). Berdasarkan Robach dkk. (2014), Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) ketika terjadi gempa bersifat daktail untuk menjaga integritas sehingga dapat mengurangi terjadinya roboh secara tiba-tiba. Berdasarkan SNI 03-2847-2019, Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dibagi menjadi 3 macam yakni:

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Berdasarkan Primadana dan Anwar (2021), Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) merupakan sistem rangka yang harus

memenuhi ketentuan-ketentuan yang tertera pada SNI 2847-2019 pasal 18.3. Sistem rangka ini memiliki tingkat daktilitas terbatas serta hanya dapat digunakan pada bangunan KDS B.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Berdasarkan Primadana dan Anwar (2021), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) merupakan suatu sistem yang tidak hanya harus memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa namun juga harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang tertera pada SNI 2847-2019 pasal 18.4. Sistem ini memiliki daktilitas sedang dan dapat digunakan pada bangunan KDS C.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan suatu sistem rangka yang harus memenuhi ketentuan-ketentuan pada rangka pemikul momen khusus juga memenuhi ketentuan-ketentuan pada SNI 2847-2019 pasal 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan digunakan pada bangunan KDS D,E,dan F.

Keterbatasan lahan tidak hanya mengakibatkan dibangunnya bangunan bertingkat namun juga mengakibatkan bangunan berbentuk asimetris. Berdasarkan Rabbani (2021), pengertian asimetris mengacu kepada geometri bangunan yang memiliki sumbu yang sama. Secara arsitektur, simetris merupakan komponen yang seimbang dengan bentuk dan yang sama pada sisi yang berlawanan dari garis pemisah atau bidang atau sekitar pusat poros.

Berdasarkan Juventrian (2014), titik berat pada bangunan asimetris tidak berada di tengah bangunan, sehingga menimbulkan torsi saat bangunan menerima beban gempa. Ketika bangunan menerima beban yang terlalu besar, maka nilai torsi dan deformasi meningkat sehingga bangunan mengalami inelastis. Akan tetapi, keterbatasan lahan, estetika dan arsitektural mengakibatkan bangunan berbentuk asimetris, irreguler dan

timbul ketidakberaturan pada bangunan. Berdasarkan SNI 1726-2019, bangunan yang berbentuk asimetris horizontal harus memenuhi ketentuan-ketentuan pada pasal 7.3.2.1, 7.3.3.1 hingga 7.3.3.4 dan tabel 13.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada lokasi dengan kondisi site tertentu (KDS B atau C) diizinkan untuk dirancang menggunakan SRPMM atau SRPMK, maka akan dilakukan penelitian mengenai perbandingan volume beton dan tulangan pada gedung asimetris dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada studi ini adalah seberapa besar perbedaan respon seismik yang terdiri dari *base shear*, simpangan antar lantai, *Story drift* dan P-delta dengan SRPMM dan SRPMK pada gedung dengan geometri asimetris.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah adalah untuk mengetahui perbedaan respon seismik yang terdiri dari *base shear*, simpangan antar lantai, *Story drift* dan P-delta dengan SRPMM dan SRPMK pada gedung dengan geometri asimetris.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan referensi kelebihan dan kekurangan dari sisi respon seismik terhadap perbedaan penggunaan sistem struktur SRPMK dan SRPMM.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dilakukan penyederhanaan pemodelan dengan studi kasus Rumah Sakit.
2. Kategori bangunan adalah struktur beton bertulang.

3. Lokasi bangunan berada di Makasar, Sulawesi Selatan.
4. Fungsi bangunan pada studi penelitian ini adalah rumah sakit.
5. Jenis tanah pada lokasi gedung penelitian yaitu tanah sedang.
6. Bentuk bangunan pada studi penelitian adalah asimetris L.
7. Jumlah lantai pada bangunan yang ditinjau adalah 6 lantai.
8. Perancangan desain mengacu pada:
 - SNI 03-1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
 - SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
 - SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasannya.
9. Pemodelan dilakukan menggunakan aplikasi SAP 2000.
10. Penggambaran detail hasil desain menggunakan aplikasi AutoCad.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada sebuah penelitian diperlukan dasar-dasar teori yang mendukung pada bidang yang akan diteliti. Teori-teori tersebut merupakan tinjauan pustaka sebagai acuan serta dasar dalam penelitian perbedaan respon seismik pada gedung asimetris dengan SPRMM dan SPRMK. Berdasarkan tinjauan pustaka didapatkan informasi yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat mendukung dan dapat menjadi referensi dalam penelitian.

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini terdapat beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Berikut adalah penelitian sebelumnya yang dianggap sejenis sehingga dapat dijadikan sebagai studi pustaka.

1. Perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Penelitian yang dilakukan oleh Patrisko Hirel Karison, Servie O.Dapas, dan Rony Pandaleke (2018), berisi tentang merancang elemen-elemen struktur gedung beton bertulang berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang komponen-komponen struktur gedung beton bertulang sehingga menghasilkan produk yang daktil dan mampu menahan gempa ekstim sesuai dengan konsep SRPMK pada SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013.

Penelitian ini menunjukkan hasil sebagai berikut :

- a. Memenuhi standart "*Strong Coloum Weak Beam*" ditinjau dari beberapa kondisi yakni komponen balok sesuai dimensi, kelelahan yang dialami oleh tulangan tekan yang berarti komponen mengalami daktil. Keadaan kuat lentur nominal kolom bernilai lebih tinggi

- b. dibandingkan dengan jumlah kuat lentur nominal balok.
 - c. Elemen balok dan kolom dengan metode penulangan dapat menahan gaya geser yang ditimbulkan dari gempa.
 - d. Ukuran elemen struktur yang direncanakan telah tergolong efektif karena nilai yang dihasilkan pada periode fundamental tekan maksimum.
2. Desain struktur gedung Venetian menggunakan metode SRPMK dan Rancangan Anggaran Biaya lantai 2.

Penelitian yang dilakukan oleh Rumagia Bangun Setiawan (2017) berisikan mengenai rancangan ulang gedung Venetian menggunakan SRPMK, yang awalnya berjumlah 39 lantai, diredesain menjadi 10 lantai tidak menggunakan basemant.

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Memperoleh pemodelan serta pembebanan pada lokasi gempa yang yang lebih kuat.
- b. Memperoleh hasil perhitungan struktur yang berasal dari modifikasi gedung Venetian dengan SRPMK.
- c. Memperoleh hasil RAB lantai 2 yang tepat.
- d. Memperoleh gambar Teknik sesuai dengan hasil perhitungan struktur gedung Venetian dengan SRPMK.

Penelitian ini memiliki hasil sebagai berikut :

- a. Gedung Venetian termasuk kedalam KDS tipe D, sehingga gedung venetian hanya dapat dirancang menggunakan SRPMK.
 - b. Tidak diperlukan dinding geser.
 - c. Gedung Venetian diberi sambungan menjadi 2 bagian.
 - d. RAB It 2 didapatkan sebesar Rp.1.985.340.531.
3. Desain Elemen Struktur Bangunan Bertingkat dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK).

Penelitian yang dilakukan oleh Rusdi Ansyori (2017) ini berisi tentang merancang suatu bangunan gedung dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SKSD) dengan sistem kolom kuat dan balok lemah (*Strong Coloum and Weak Beam*). Penggunaan sistem kolom kuat dan balok lemah bertujuan untuk memberi respon inelastic kepada beban gempa kuat yang menahan struktur dan dapat menanggung proses sendi plastis pada komponen struktur maka struktur akan tetap kokoh meskipun akan mengalami keruntuhan.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk dapat mendesain elemen struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SKSD) yang mengacu pada SNI 03-2847-2013. Komponen struktur yang didesain yakni balok, kolom, olat lantai sambungan balok-kolom serta dinding geser.

Penelitian ini memiliki hasil sebagai berikut :

- a. Pada saat mendesain gedung bertingkat maka harus mempertimbangkan tingkat bahaya gempa pada lokasi gedung agar sitem yang digunakan tepat.
- b. Menghasilkan ukuran kolom, balok tebal plat serta tebal dinding geser sebesar :
 - Kolom lt 1,2, dan 3 : 600x600 mm
 - Kolom lt 4,5, dan 6 : 500x500 mm
 - Kolom lt 7 dan 8 : 400x400 mm
 - Balok utama : 500x300 mm
 - Balok anak : 350x200 mm
 - Tebal plat lantai : 120 mm
 - Tebal dinding geser : 250 mm

- c. Hasil tulangan pada masing-masing komponen struktur sudah memenuhi kriteria yang ada pada SNI 2847:2013 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
- d. Menghasilkan berat baja tulangan pada 1m^3 volume beton sebesar:
- Kolom : 2,4%
 - Balok : 1,5%
 - Plat lantai : 1,3%
 - Dinding geser: 1,7%

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian sekarang serta penelitian terdahulu memiliki beberapa perbedaan maka perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sekarang dengan Terdahulu

Nama Peneliti	Patrisko Hirel Karison, Servie O.Dapas, dan Rony Pandaleke	Rumagia Bangun setiawan	Rusdi Ansyori	Elvina Egie Nurfita Sari
Judul	Perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	Desain struktur gedung Venetian menggunakan metode SRPMK dan Rancangan Anggaran	Desain Elemen Struktur Bangunan Bertingkat dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK).	Studi Perbedaan Volume Beton dan Tulangan Pada Gedung Asimetris dengan SRPMM dan SRPMK
Tahun	2018	2017	2017	2023

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sekarang dengan Terdahulu

Kata Kunci	Daktail, SRPMK, <i>Strong Coloum Weak Beam</i>	Perencanaan Struktur Tahan Gempa, Resoin Spektrum, SRPMK, Beton Bertulang	Struktur Gedung Perkantoran 8 Lantai, SRPMK, SDSK, Rasio Tulangan	
Variabel	Perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	Desain struktur gedung menggunakan metode SRPMK dan Rancangan Anggaran Biaya	Desain Elemen Struktur Bangunan Bertingkat dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK).	Perbedaan Volume Beton dan Tulangan Menggunakan Metode SRPMM dan SRPMK
Hasil	- Syarat <i>strong coloumn weak</i> karena telah	- Gedung Venetian termasuk kedalam KDS D sehingga gedung tersebut	- Dalam merancang gedung bertingkat perlu memperhatikan	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sekarang dengan Terdahulu

<p>Hasil</p>	<ul style="list-style-type: none"> - memenuhi beberapa kriteria seperti komponen balok dengan dimensi yang ada, tulangan tekan telah mengalami kelelahan serta kondisi balok dan kolom memenuhi $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$. Persyaratan mengenai mekanisme penulangan pada 	<ul style="list-style-type: none"> - hanya dapat didesain menggunakan SRPMK. - Gedung Venetian tidak membutuhkan dinding geser. - Gedung Venetian dilatasi menjadi 2 bagian. - Rencana Anggaran Bangunan pada lanate 2 sebesar Rp.1.985.340.531. 	<ul style="list-style-type: none"> tingkat kerawanan gempa untuk menentukan sistem yang cocok digunakan. - Ukuran kolom, balok, tebal pelat dan tebal dinding geser yang dihasilkan adalah : <ul style="list-style-type: none"> a. Kolom lantai 1, 2 dan 3 : 600 x 600 mm b. Kolom lantai 4, 5 dan 6 : 500 x 500 mm 	
---------------------	--	--	--	--

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sekarang dengan Terdahulu

<p>Hasil</p>	<p>komponen kolom dan balok sudah terpenuhi karena mampu menahan gaya geser. Dimensi komponen struktur dalam perancangan sudah efisien hal ini karena periode fundamental sudah maksimum yaitu $T = 0,689$ detik dan tidak melewati batas bawah ($T_{a \text{ min}} = 0,5967$ detik dan</p>		<p>c. Kolom lantai 7 dan 8 : 400 x 400 mm d. Balok utama : 500 x 300 mm e. Balok anak : 350 x 200 mm f. Tebal pelat : 120 mm g. Tebal dinding geser : 250 mm - Tulangan yang dihasilkan sudah sesuai dengan SNI 2847-2013 tentang persyaratan beton</p>	
---------------------	---	--	--	--

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Sekarang dengan Terdahulu

<p>Hasil</p>	<p>batas atas (Ta maks) = 0,8353 detik.</p>		<p>struktural untuk bangunan gedung.</p> <p>a. Berdasarkan perhitungan berat baja tulangan dalam 1 m³ volume beton maka dihasilkan:</p> <p>b. Kolom 2,5%</p> <p>c. Balok 1,5%</p> <p>d. Pelat lantai 1,3%</p> <p>Dinding geser 1,7%</p>	
---------------------	---	--	--	--

2.2 Perbedaan dan Persamaan Penelitian

Berdasarkan tabel 2.1 diatas, maka dapat disimpulkan perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian sekarang berada pada objek penelitian yakni:

- a. Lokasi penelitian berada di Makassar, Sulawesi Selatan.
- b. Acuan yang digunakan dalam penelitian yaitu gedung rumah sakit.
- c. Jumlah lantai dan ketinggian bangunan.
- d. Acuan perancangan menggunakan peraturan terbaru yaitu :
 - SNI 03-1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
 - SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
 - SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasannya.
 - Membandingkan dua metode yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Selain itu terdapat beberapa persamaan dalam penelitian sekarang dan terdahulu yaitu

1. Menggunakan beton bertulang,
2. Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

BAB III

LANDASAN TEORI

Semakin berkembang pesatnya dunia konstruksi yang tidak diimbangi dengan ketersediaan lahan menyebabkan banyaknya dibangun gedung – gedung bertingkat. Dengan tingginya resiko gedung bertingkat sehingga dibutuhkan struktur gedung yang tahan dari keruntuhan terutama keruntuhan yang disebabkan dari gempa karena Indonesia termasuk ke dalam negara yang memiliki tingkat intensitas gempa yang tinggi. Dalam merencanakan bangunan gedung bertingkat pada studi kasus ini mengacu pada SNI 2847-2019, tentang persyaratan beton structural untuk bangunan gedung; SNI 1726-2019, tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung serta SNI 1727-2020, tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

Dalam merencanakan bangunan gedung bertingkat seorang perencana perlu memperhatikan tingkat kekokohan, kekuatan, ekonomis serta berdaya guna. Selain itu, perencana juga perlu memperhatikan material yang cocok digunakan sebagai struktur gedung yang akan dibangun. Material pada bangunan gedung bertingkat dibagi menjadi 2 yaitu beton dan baja. Pada studi kasus ini peneliti menggunakan material gabungan antara beton dengan baja (beton bertulang). Pemilihan kombinasi material didasari dari sifat beton bertulang yang dapat bekerja sama untuk memikul beban yang ada.

Tujuan perancangan pembangunan Gedung Rumah Sakit ini adalah untuk merencanakan bangunan Rumah Sakit yang bermaksud untuk mempermudah pekerja dalam menjalankan pekerjaannya. Bangunan rumah sakit ini dibangun dengan konstruksi beton bertulang dengan dua sistem rangka pemikul yaitu Sistem

Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

3.1 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah gabungan dua jenis bahan yaitu beton polos dan tulangan baja yang diharapkan dapat terciptanya suatu struktur bangunan beton bertulang yang mampu menerima beban-beban yang bekerja pada suatu bangunan. Antonius (2021), menyatakan bahwa pemanfaatan beton bertulang pada dunia konstruksi sering kali ditemukan pada pembangunan perumahan, gedung, jembatan, stadion, perkerasan jalan, bendungan, dinding penahan tanah, terowongan, terowongan yang melintasi lembah (*viaduct*), drainase, tangka air dan sebagainya.

Beton adalah bahan yang memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah, sedangkan tulangan baja memiliki kuat tarik yang tinggi sehingga kombinasi beton dan baja yang optimal (sesuai pada kebutuhan) akan menciptakan suatu bahan konstruksi yang dapat saling bekerjasama dalam menahan gaya-gaya dalam struktur, dimana gaya tekan ditahan oleh beton dan gaya tarik ditahan oleh tulangan baja. Berdasarkan Antonius (2021), pada dasarnya nilai kuat tekan yang tinggi dan nilai kuat tarik yang rendah pada beton, akan menimbulkan keretakan ketika beton menahan beban yang menimbulkan tegangan tarik yang lebih besar dari kuat tariknya. Kekuatan beton dalam memikul gaya tarik yang sangat rendah dapat mengakibatkan keruntuhan secara tiba – tiba.

Berdasarkan Naiboho danTua (2008), beton dan tulangan baja dapat bekerjasama berdasarkan beberapa hal :

- a. Lekatan dimana interaksi antara beton dengan tulangan baja di sekelilingnya yang akan mencegah slip dari baja relatif terhadap beton.
- b. Campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja.
- c. Angka kecepatan memuai yang relatif sama menyebabkan tegangan antara beton dan tulangan baja yang dapat diabaikan di bawah perubahan suhu udara.

Berdasarkan Makshur (2018), Beton adalah campuran antara semen, air, agregat kasar (kerikil atau batu pecah), dan agregat halus (pasir). Akan tetapi, untuk

mengatur karakteristik beton agar sesuai yang diharapkan sering juga ditambahkan bahan tambah kimiawi (admixture) maupun mineral (additive). Parameter dari kuat tekan beton yaitu “f’c”. Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 26.12.1.1 nilai f’c didapatkan dari hasil nilai rata-rata kuat tekan pengujian silinder minimal 2 buah diameter 150 mm tinggi 300 mm atau minimal 3 buah diameter 100 mm tinggi 200 mm yang terbuat dari campuran beton yang sama serta diuji pada beton berumur 28 hari.

Makshur (2018) juga berpendapat bahwa material beton bertulang lainnya adalah tulangan baja. Baja terbuat dari biji besi (Fe) sebagai bahan dasarnya dan karbon (C) sebagai paduan utama. Untuk menghasilkan kuat tarik yang tinggi maka perlu penambahan karbon, akan tetapi dapat mengakibatkan keuletan yang menurun dan baja menjadi getas. Secara umum tulangan baja dibedakan menjadi dua macam yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan ulir. Perbedaan keduanya terletak pada tegangan dan ukuran dimensinya. Tulangan polos memiliki tegangan sebesar 240-280 Mpa, sedangkan tulangan ulir memiliki tegangan sebesar 320-420 Mpa. Kuat leleh (fy) adalah parameter dari kualitas baja.

Tulangan yang biasa ditemukan di pasaran yaitu $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 16$. Sedangkan untuk tulangan ulir hampir semua ukuran ada di pasaran. Akan tetapi berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 20.2.1.1 tulangan yang dapat digunakan sebagai struktur hanyalah tulangan ulir saja, untuk tulangan polos hanya diperbolehkan untuk spiral, baja prategang maupun tulangan geser.

Table 3.1 Spesifikasi Tulangan Baja

Jenis	Simbol	Tegangan Leleh Minimum (Mpa)	Kuat Tarik Minimum (Mpa)	Regangan Patah Minimum (%)
Tulangan	Bj TP 24	235	382	20
Polos	Bj TP 30	294	480	16

Lanjutan Table 3.1 Spesifikasi Tulangan Baja

Tulangan Ulir	Bj TP 24	235	382	18
	Bj TP 30	294	480	14
	Bj TP 35	343	490	18
	Bj TP 40	392	559	16
	Bj TP 50	490	618	12

Sumber: SNI 03-6861.2-2002

Beton bertulang sebagai salah satu material konstruksi memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan material konstruksi lainnya yaitu:

- a. Beton memiliki kuat tekan tinggi
- b. Beton tahan terhadap air dan api dibandingkan dengan material-material lain, pada ban yang terendam air, beton dapat digunakan pilihan utama. Selimut beton akan melindungi beton dari keruntuhan saat terjadi kebakaran.
- c. Suktur beton bertulang sangat kokoh.
- d. Umur beton yang Panjang serta biaya pemeliharaan yang ekonomis,
- e. Beton dapat mudah dicetak ke berbagai bentuk penampang.
- f. Proses pembuatan beton tidak membutuhkan tenaga ahli khusus.

Selain keunggulan-keunggulan diatas, beton bertulang juga memiliki kelemahan yang perlu dipertimbangkan, Adapun bebebrapa kelemahan tersebut yaitu:

- a. Kuat tarik beton berkisar 10-15% dari kuat tekannya.
- b. Waktu pengerjaan beton relative lama.
- c. Beton membutuhkan bekisting, penopang saat pengecoran, dan biaya bekisting yang mencapai dua pertiga dari biaya beton..
- d. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton menyebabkan beton bertulang yang berat.
- e. Kualitas beton dipengaruhi oleh proses pencampuran maupun proses pencetakan.

Berdasarkan Setiawan Agus (2013), saat mendesain struktur secara garis besar harus melakukan dua tahapan yaitu :

- a. Menentukan gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut dengan analisis struktur.
- b. Menentukan dimensi pada tiap-tiap elemen struktur dengan memperhatikan keamanana, stabilitas, dan fungsi dari struktur tersebut.

SNI 03-2847-2019 telah mengatur mengenai desain struktur beton bertulang, dimana konsep yang digunakan berbasis kekuatan. Untuk mememnuhi konsep tersebut maka yang harus dipenuhi adalah :

$$\text{Kuat Rencana} \geq \text{Kuat Perlu}$$

$$\theta \text{ (Kuat Nominal)} \geq U$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 22.1.3, kuat rencana merupakan kuat nominal pada struktur yang dikalikan dengan faktor reduksi (θ). Kuat nominal didapatkan dari perhitungan analisis kekuatan suatu komponen dan kuat perlu (U) didapatkan dari pertimbangan facktor beban sesuai jenis beban yang bekerja pada suatu struktur.

Beton bertulang pada dasarnya perlu memperhatikan perhitungan gaya luar yangmana melibatkan dasar keamanan berupa fakor beban sehingga dapat diketahui nilai kuat perlu (U). sedangkan pada gaya dalam seperti gaya aksial, momen lentur, gaya geser dan momen punter perlu melibatkan dasar keamanan berupa fakor reduksi sehingga didapatkan kuat rencana.

Struktur beton bertulang merupakan gabungan komponen-komponen yang saling berkaitan untuk memikul beban-beban yang ada.masing-masing komponen didesain sedemikian rupa agar tercipta suatu struktur yang aman, ekonomis, dan fungsional. Pada dasarnya beton bertulang terdiri dari beberapa komponen diantaranya yaitu :

- a. Pelat lantai

Berdasarkan Maskhur (2018), pelat lantai berfungsi sebagai sistem struktur dimana elemen horizontal utamanya bekerja untuk meneruskan beban transversal rangka vertikal. Pada dasarnya pelat lantai dan balok dicor bersamaan hingga mecapai struktur yang monolit. Fungsi lain dari pelat lantai yakni sebagai diafragma struktur yang meneruskan gaya – gaya akibat pergerakan tanah yang timbul dari adanya gempa.

Pelat lantai dibagi menjadi 2 yaitu pelat lantai satu arah dan pelat lantai dua arah. Pelat lantai satu arah bekerja untuk meneruskan beban satu arah sedangkan pelat dua arah bekerja untuk meneruskan beban dua arah. Perbedaan keduanya terletak pada perbandingan rasio antara sisi panjang (l_n) dengan sisi terpendek (s_n) pada pelat. Untuk rasio bentang lebih panjang (l_y) dan bentang lebih pendek (l_x) lebih besar dari 2 sehingga dikategorikan sebagai sistem plat dua arah. Sedangkan untuk rasio bentang panjang (l_y) dan bentang pendek (l_x) lebih kecil dari 2 sehingga dikategorikan sebagai sistem pelat satu arah. Berikut ini syarat rasio satu arah dan dua arah adalah sebagai berikut.

- Pelat satu arah : $l_n/s_n \geq 2,0$(3.1)

- Pelat dua arah : $1,0 \leq l_n/s_n \leq 2,0$(3.2)

Tabel 3.2 Koefisien Distribusi untuk Bentang Ujung

	Tepi eksterior tak terkekang	Pelat dengan balok antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok antara tumpuan interior		Tepi eksterior terkekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

Sumber: SNI 2847-2019

SNI 03-2847-2019 telah mengatur mengenai ketebalan pelat lantai. Pada pelat satu arah ketebalan minimum pelat telah ditentukan pada SNI 03-2847-2019 table 7.3.1.1.

Tabel 3.3 Tebal Minimum Pelat Satu Arah

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

Sumber: SNI 03-2847-2019

[1] nilai diatas digunakan untuk beton nominal dan $f_y = 420$ MPa, untuk permasalahan lain ketebalan minimum harus dirancang sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 7.3.1.1.1 sampai dengan 7.3.1.1.3.

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.3.1.1 dan 7.3.1.2, apabila f_y memiliki nilai lebih kecil dari 420 Mpa maka persamaan yang tertera pada table perlu dikalikan dengan $0,4 + f_y/700$. Pelat nonprategang yang dirancang untuk beton ringan dengan nilai w_c 1440 sampai dengan 1840 kg/m^3 maka persamaan yang tertera pada tabel perlu dikalikan dengan :

$$a. 1,65 - 0,0003w_c \dots\dots\dots(3.3)$$

$$b. 1,09 \dots\dots\dots(3.4)$$

Untuk pelat dua arah pada SNI 03-2841-2019 pasal 8.3.1.1 berbunyi : Untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan SNI 03-2847-2019 tabel 8.3.1.1, dan memiliki nilai terkecil antara a) atau b), kecuali Batasan lendutan yang dihitung dari pasal 8.3.2 dipenuhi:

a) Pelat tanpa drop panel sesuai pada SNI 03-2847-2019 pasal 8.2.4.....125 mm

b) Pelat tanpa drop panel sesuai pada SNI 03-2847-2019 pasal 8.2.4.....100 mm

Tabel 3.4 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

f_y , MPa ^[2]	Tanpa <i>drop panel</i> ^[3]			Dengan <i>drop panel</i> ^[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

^[1] ℓ_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)

^[2]Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear

^[3]*Drop panel* sesuai 8.2.4

^[4]Pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7

Sumber: SNI 03-2847-2019

Serta harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah tertera pada SNI 03-2847-2019 tabel 8.3.1.2 sebagai berikut :

- (a) Untuk α_{fm} lebih kecil dari 0,2 harus mengikuti perhitungan pada SNI 03-2847-2019 tabel 8.3.1.1.
- (b) Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 namun tidak lebih besar dari 0,2 h , ketebalan pelat tidak dapat lebih kurang dari perhitungan berikut:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots(3.5)$$

- (c) Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2, ketebalan pelat tidak dapat lebih kurang dari perhitungan berikut :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{400}\right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(3.6)$$

- (d) Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai SNI 03-2847-2019 tabel 8.3.1.2, harus disediakan balok tepi dengan $\alpha_f \geq 0,80$, atau ketebalan minimum harus

memenuhi ketentuan-ketentuan pada SNI 03-2847-2019 tabel 8.3.1.2 bagian (b) dan (d) serta diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

Tabel 3.5 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok Diantara Tumpuan Pada Semua Sisinya

$\alpha_{fm}^{[1]}$	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) ^{[2],[3]}
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d) ^{[2],[3]}
		90	(e)

Sumber: SNI 03-2847-2019

Keterangan :

h = tebal pelat

α_f = rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_{cb} I_b$) terhadap kekakuan lentur pelat ($E_{cs} I_s$) yang dbatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari pelat-pelat yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} \dots \dots \dots (3.7)$$

I_b = momen inersia bruto penampang monoloit balok dan pelat

I_s = momen inersia bruto pelat

α_{fm} = nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel

β = rasio bentang bersih dalam arah Panjang terhadap pendek pelat

F_y = kekuatan leleh tulangan yang diisyaratkan

b. Balok

Berdasarkan Maskhur (2018), balok adalah elemen struktur yang berperan meneruskan beban-beban *tributary* dari pelat lantai ke kolom penyangga vertikal. Balok bekerja untuk menerima momen lentur yang terjadi akibat beban yang berasal dari balok. balok yang tidak mampu menopang beban akan menyebabkan deformasi serta regangan sehingga menimbulkan retakan dan keruntuhan apabila beban yang ditopang terus bertambah.

Berdasarkan Erward (1985), pada dasarnya balok dicor secara monolit dengan slab dan secara structural ditulangi bagian bawah atau dibagian atas dan bawahnya. Karena elemen di cor secara monolit sehingga membentuk penampang balok T untuk tumpuan dalam dan balok L untuk tumpuan tepi.

Balok merupakan elemen struktur yang paling berperan dalam menerima momen lentur. Lentur terjadi akibat beban-beban yang berada di balok, maka balok yang tidak cukup kuat dapat mengakibatkan deformasi dan regangan sehingga menimbulkan retakan pada balok dan diteruskan dengan keruntuhan apabila beban terus bertambah.

Balok dibedakan menjadi dua yaitu balok anak dan balok induk. Pembedanya dipengaruhi oleh panjang balok tersebut. Berikut ini merupakan rumus dalam menentukan dimensi balok berdasarkan SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1.

$$h_{\text{minimum}} = \frac{1}{18,5} xL \dots\dots\dots(3.8)$$

$$b = \frac{1}{2} xh \dots\dots\dots(3.9)$$

keterangan;

h : tinggi balok (mm)

L : panjang bentang balok (mm)

b : lebar balok (mm)

c. Kolom

Kolom berperan sebagai penyangga gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai di atasnya. Kolom juga didesain untuk sebagai pemikul beban kombinasi aksial dan lentur yang ditimbulkan oleh eksentrisitas meskipun

nilainya kecil. Selain itu kolom juga didesain untuk memikul beban lateral yang berasal dari gempa dan angin.

Dalam menentukan dimensi kolom terdapat beberapa persamaan yakni:

$$P = P_I + P_d \dots \dots \dots (3.10)$$

$$P_u \text{ Maks} = Q_u \times \text{Total Lantai} \dots \dots \dots (3.11)$$

$$A_g \text{ Perlu} = \frac{P_u}{\frac{1}{3} x f'c} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$B=H \text{ perlu} = \sqrt{A_g \text{ Perlu}} \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan:

P : Tekanan Ultimate (kN)

P_u Maks : Tekanan Maksimum (kN)

A_g Perlu : Luasan Gross (mm)

B : Lebar Perlu (mm)

H : Tinggi Perlu (mm)

Berdasarkan persyaratan-persyaratn yang tertera pada SNI 03-2847-2019 mengenai dimensi, tulangan dan hal-hal yang berkaitan dengan kolom beton bertulang, berikut ini beberapa persyaratan yang ada di SNI 03-2847-2019:

1. Pasal 10.6.1.1, berbunyi untuk kolom nonprategang dan prategang dengan nilai rata-rata $f_{pe} < 1,6$ MPa, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $,01A_g$ (1% dari luas penampang) dan tidak boleh melebihi $0,08A_g$ (8% dari luas penampang).
2. Pasal 21.2.2, berbunyi nilai factor reduksi kekuatan (ϕ), untuk sengkang spiral sebesar $\phi = 0,75$ dan untuk tulangan lainnya sebesar $\phi = 0,65$.

d. Rangka

Berdasarkan Maskhur (2018), rangka merupakan kombinasi dari berbagai elemen struktur beton bertulang, dan rangka penahan gempa, dalam studi kasus ini yaitu Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang mengacu pada SNI 03-2847-2019.

e. Dinding

Berdasarkan Maskhur (2018), dinding merupakan elemen vertical yang bekerja menyangga beban yang berasal dari gravitasi dan beban lateral. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 11.4.1.4 menyatakan bahwa dinding perlu dirancang untuk beban aksial eksentris serta beban lateral atau beban lain yang bekerja pada dinding tersebut.

3.2 Prinsip Bangunan Tahan Gempa

Berdasarkan Pawirodikromo (2013), gempa bumi adalah getarnya permukaan tanah yang timbul akibat pelepasan energi secara mendadak karena pecah atau slipnya massa batuan yang berada di kerak bumi. Berdasarkan Antonius (2021), beberapa wilayah yang berada di Indonesia kemungkinan terjadi vibrasi yang disebabkan oleh gempa. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam merencanakan desain struktur perlu memperhitungkan gaya gempa. Saat merencanakan struktur tahan gempa pada gedung bertingkat serta pilar jembatan perlu dilakukan pendetailan sehingga menghasilkan elemen struktur yang bersifat daktail dan pada saat gempa tidak terjadi runtuh karena getaran yang timbul diserap oleh elemen struktur.

Berdasarkan Nugraha (2021), bangunan tahan gempa adalah apabila terjadi gempa maka suatu struktur bangunan tersebut tidak mengalami kehancuran. Berdasarkan Antonius (2021), apabila terjadi gempa, dan terjadi kondisi elastis maupun inelastis pada suatu gedung maka gedung tersebut sama – sama terjadi deformasi dengan nilai yang sama. Mengacu pada SNI 1726-2019 tentang Standar Bangunan Tahan Gempa Indonesia, desain struktur bangunan tahan gempa merupakan struktur yang mampu menopang beban yang berasal dari gempa dimana dapat terjadi kerusakan tetapi tidak diijinkan terjadi keruntuhan. Dalam hal ini maka dapat disimpulkan bahwa suatu struktur dapat mengalami deformasi inelastis.

Berdasarkan Pawirodikromo (2013), suatu bangunan yang akan dibangun sebaiknya mengacu pada konsep *Earthquake Resistant Buiding*. *Eartquake Resistant Buiding* merupakan konsep bangunan tahan gempa yang dibangun dengan biaya yang cukup ekonomis. Maka tujuan perancangan bangunan tahan

gempa yaitu untuk mengefisiensikan biaya apabila harus dilakukan perbaikan bangunan yang rusak karena gempa serta meminimalisir terjadinya korban jiwa akibat bangunan runtuh.

Berdasarkan Antonius (2021), bentuk bangunan diusahakan memiliki bentuk yang simetris, hal ini karena bertujuan agar pusat kekakuan relatifnya berdekatan dan dapat terhindar dari eksentrisitas. Bentuk bangunan yang tidak simetris dan terdapat ketidakberaturan struktur dapat menyebabkan konsentrasi tegangan. Apabila ketidakberaturan yang timbul disebabkan dari desain arsitektur atau kebutuhan ruangan maka harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah tertuang pada SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019.

Berdasarkan Pawirodikromo (2013), prinsip dasar bangunan tahan gempa yaitu :

- a. Gempa kecil (*light* atau *Minor Earthquake*), apabila sering terjadi gempa maka suatu struktur bangunan utamanya harus tetap dapat bekerja dengan baik dan tidak boleh rusak.
- b. Gempa menengah (*Moderate Earthquake*), apabila jarang terjadi gempa maka suatu bangunan pada bagian structural dan nonstruktur dapat rusak atau retak namun masih dapat diperbaiki.
- c. Gempa kuat (*Strong Earthquake*), apabila jarang terjadi gempa, bangunan dapat rusak tetapi tidak dapat roboh (*totally collapses*).

3.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Berdasarkan Bulgis dan Sonia (2017), dalam merancang bangunan bertingkat salah satu yang harus diperhatikan adalah keamanan, seperti keamanan pada gempa bumi. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung atau merancang bangunan bertingkat dengan resiko kegempaan. Berdasarkan Iswandi dan Fajar (2014), Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom dan join menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) memiliki beberapa ciri-ciri yaitu :

1. Beban lateral khususnya gempa di transfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom.
2. Hubungan kolom dan balok harus didesain dengan baik agar terbentuk sistem kerja yang baik.
3. Momen dan geser dari beban lateral harus ditambahkan pada struktur dari beban gravitasi.

Sistem Rangka Pemikul dibagi menjadi 3 yakni Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), namun pada penelitian ini sistem yang digunakan yakni Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Berdasarkan Cahyo (2017), Sistem Rangka Pemikul Momen dibedakan sesuai dengan wilayah gempa. Ketika gempa terjadi maka rangka pemikul momen bersifat daktail agar integritas dapat selalu terjaga. Pembagian jenis sistem dapat dilihat pada tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.6 Persyaratan Desain Struktur Beton Bertulang yang Memikul Beban Gempa

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D, E, F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain	Tidak ada	18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktural pracetak		Tidak ada	18.5	18.5 ^[2] , 18.11
Diafragma dan rangka batang (<i>trusses</i>)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik		Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

Sumber : SNI 2847-2019

[1] Tambahan persyaratan yang berada pada pasal 1 hingga 17, 19 hingga 26 dan ACI 318.2 kecuali yang divariasikan oleh pasal 18, 14.1.4 serta berlaku pada KDS D, E, F.

[2] Sebagaimana diizinkan oleh SNI 1726.

3.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Berdasarkan Tajunnisa dkk (2014), sistem rangka pemikul momen menengah merupakan sistem rangka ruang yang komponen – komponen struktur serta joint-jointnya dapat memikul gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser serta aksial. Berdasarkan Karisoh dkk. (2018), SRPMM memiliki beberapa kelebihan seperti arsitektural yang sederhana dan tidak membutuhkan perkuatan yang terlalu banyak, sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah sangat rawan apabila sewaktu-waktu terjadi perubahan cuaca sehingga dapat mempengaruhi kondisi tanah.

Berdasarkan Bulgis dan Sonia (2017), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) memiliki beberapa prinsip diantaranya adalah:

1. Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur
 - keruntuhan geser bersifat mendadak dimana penghuni tidak memiliki kesempatan untuk dapat menyelamatkan diri.
 - Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasarkan kapasitas tulangan lentur terpasang bukan dari hasil analisis struktur.
 - Balok dipaksa runtuh akibat lentur terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur.
2. *Strong column with beam* (kolom kuat balok lemah)
 - Kerusakan dipaksa terjadi pada balok.
 - Hubungan balok dengan kolom harus didesain sesuai pada persyaratan gempa.

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 terdapat terdapat ketentuan-ketentuan untuk Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yaitu:

1. Balok

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.2, balok harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang tertera pada SNI 03-2847-2019 pasal 8.4.2.1 hingga pasal 8.4.2.5. berikut ini merupakan penjelasannya :

- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 8.4.2.1, 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.
- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.2.2, kekuatan momen positif pada muka join tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negative yang disediakan pada muka join tersebut. Baik kekuatan momen negative maupun positif pada sebarang penampang sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu join pada bentang balok yang ditinjau.
- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.2.4, 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 sejangkang pengeang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :
 - a. $d/4$.
 - b. delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi.
 - c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengeang.
 - d. 300 mm.
- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.2.5, sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.

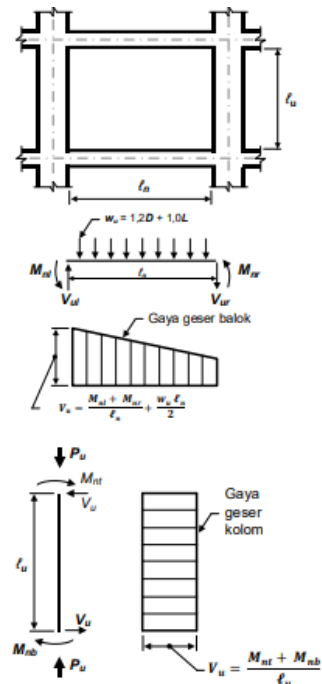
2. Kolom

- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.3.2, 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.

- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.3.3, kedua ujung kolom sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi s_o sepanjang l_o dari muka join. spasi s_o tidak boleh melebihi nilai terkecil dari :
 - a. 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi.
 - b. 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekang.
 - c. Setelah dimensi penampang terkecil kolom.
 - d. 300 mm.

Panjang l_o minimum dari nilai yang terbesar yaitu :

- a. Seperenam tinggi bersih kolom
 - b. Dimensi maksimum penampang kolom
 - c. 450 mm.
- Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.3.4, sengkang pengekang pertama harus ditempatkan lebih dari $s_o/2$ dari muka join.
 - Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.3.5, di luar Panjang l_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi 10.7.6.5.2.
 - Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.3.6, kolom-kolom yang menumu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus harus dipasang tulangan sengkang tertutup dengan spasi s_o , sesuai dengan 18.4.3.3 di sepanjang tinggi penuh kolom-kolom pada tingkat yang terdapat diskontinuitas jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur kolom-kolom tersebut yang terkait dengan pengaruh gempa melebihi $Agf^*c/10$. Jika gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertical pada system pemikul gaya seismic, Batasan $Agf^*c/10$ harus ditingkatkan menjadi $Agf^*c/4$.



Gambar 3.1 Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah

Sumber : SNI 03-2847-2019

3.2.2.1 Geser Balok

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.2.3, kuat geser rencana balok ϕV_n yang menahan pengaruh beban gempa (E) tidak dapat lebih kecil dari nilai:

- Gaya geser terkait mengenai tercapainya M_n pada tiap – tiap ujung joint balok karena gaya lentur yang berbalik arah serta gaya geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- Gaya geser yang didapatkan dari kombinasi beban desain termasuk E, E bernilai dua kali nilai yang telah diisyaratkan pada SNI 1726.

3.2.2.2 Geser kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.4.3.1, kuat geser rencana kolom ϕV_n yang menahan pengaruh gempa (E) tidak dapat lebih kecil dari nilai:

- Jumlah gaya geser yang terkait dengan tercapainya M_n pada muka joint disetiap ujung kolom akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang

konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau sehingga menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.

- b. Gaya geser maksimum yang didapatkan dari kombinasi beban terfaktor termasuk E , dengan $\Omega_0 E$ sebagai pengganti E .

3.2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan Tajunnisa dkk (2014), Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus merupakan sistem rangka ruang dimana komponen-komponen dan join-jointnya memikul gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser serta aksial. Sistem ini memiliki Prinsip *Strong column with beam*, tahan terhadap gaya geser dan membutuhkan pendetailan khusus yang bertujuan untuk menghasilkan struktur yang bersifat daktail serta memastikan respon inelastik akan bersifat daktail. Berdasarkan Karisoh dkk (2018), kelebihan dari sistem ini adalah arsitektural yang sederhana namun dibutuhkan pendetailan yang rumit dikerjakan.

3.2.3.1 Persyaratan Balok Kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berikut ini persyaratan balok pada sistem rangka pemikul momen khusus berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.1 dan 18.6.2 yaitu :

- Persyaratan Dimensi

- a. Nilai gaya tekan aksial terfaktor tidak dapat lebih besar dari nilai $Agf'c/10$.
- b. Bentang bersih pada komponen struktur (l_n) minimal empat kali tinggi efektifnya ($4d$).
- c. Lebar penampang (b_w) harus lebih besar dari $0,3h$ dan 250 mm.
- d. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom.

Keterangan :

Ag : luas bruto penampang beton

- F'_c : kekuatan tekan beton yang diisyaratkan
- b_w : lebar badan, tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran
- H : tebal atau tinggi komponen struktur
- c_1 : dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kapital atau brakit yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan
- c_2 : dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kapital atau brakit yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap c_1

3.2.3.2 Persyaratan Tulangan Longitudinal Balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Balok memiliki fungsi untuk menahan gaya lateral. Balok sering kali didesain menggunakan tulangan rangkap, hal ini bertujuan untuk memanipulasi adanya momen bolak balik pada balok, karena gaya lateral bersifat bolak-balok. Komponen tulangan longitudinal harus memenuhi persyaratan-persyaratan dalam SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 berikut ini:

- a. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2, rasio luasan tulangan lentur pada sisi atas dan bawah kolom harus lebih besar dari :

$$- \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d \dots\dots\dots(3.14)$$

$$- \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d \dots\dots\dots(3.15)$$

Pada balok statis tertentu dengan sayap keadaan Tarik nilai b_w lebih kecil dari b_f dan $2b_w$.

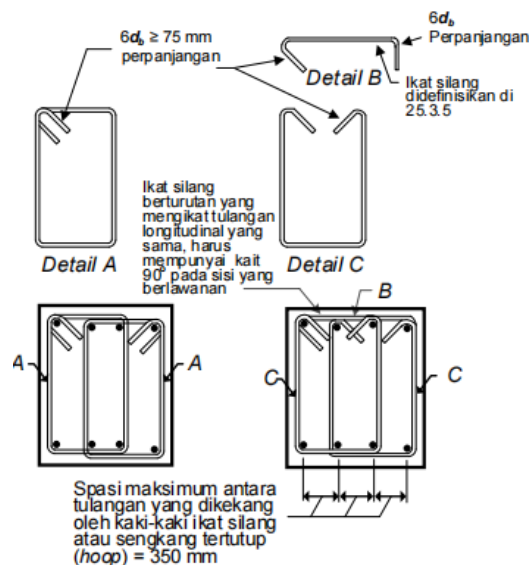
- b. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh lebih kecil dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik pada penampang positif maupun negatif pada sembarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh lebih kecil dari seperempat kekuatan maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

- c. Ketentuan untuk rasio maksimum tulangan lentur adalah $0,025 \cdot bw \cdot d$.
- d. Minimum terdapat 2 buah tulangan menerus baik dari sisi bawah maupun atas bangunan.

3.2.3.3 Persyaratan Tulangan Transversal Balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan SI Laksana (2021), tulangan transversal pada komponen lentur sangat dibutuhkan untuk menahan gaya geser struktur, mengekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral pada tiap-tiap batang tulangan lentur dimana tegangan leleh terbentuk. Saat terjadi gempa maka selimut beton dan sekitarnya akan mengelupas. Sehingga seluruh tulangan transversal pada elemen sistem rangka pemikul momen khusus perlu menggunakan sengkang penutup. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4 terdapat beberapa ketentuan mengenai tulangan transversal yaitu:

- Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut :



Gambar 3.2 Contoh Sengkang Tertutup Saling Tumpang dan Ilustrasi Batasan Pada Spasi Horizontal Maksimum Batang Tulangan Longitudinal yang Ditumpu

Sumber: SNI 2847-2019

- 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 mungkin terjadi karena deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.
 - Pada Sengkang tertutup pertama wajib ditetapkan tidak lebih dari 50 mm dari muka momen struktur penumpu. Nilai jarak sengkang tidak dapat lebih kecil dari nilai terkecil dari :
 - a. $d/4$
 - b. enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan longitudinal samping yang diisyaratkan pada SNI 2847-2019 pasal 9.7.2.3.
 - c. 150 mm.
 - Apabila dibutuhkan sengkang tertutup, batang tulangan lentur utama terdekat kemuka tarik dan tekan harus memiliki tumpuan lateral yang telah ditentukan. Spasi batang tulangan lentur yang tertumpu secara transversal tidak boleh lebih besar dari 350 mm.
 - Apabila sengkang tertutup tidak diperlukan maka sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.
 - Sengkang atau pengikat yang dibutuhkan untuk menahan geser merupakan sengkang sepanjang komponen struktur.
 - Sengkang pada komponen struktur lentur diperbolehkan terbentuk dari dua potongan tulangan yaitu sebuah sengkang yang memiliki kait gempa pada kedua ujungnya dan ditutup oleh pengikat silang. Pengikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan memanjang yang sama harus mempunyai kait 90 derajat pada sisi komponen struktur lentur yang berlawanan. Apabila batang tulangan memanjang yang diamankan oleh pengikat silang dikekang oleh slab hanya pada salah

satu sisi komponen struktur rangka lentur, kait pengikat silang 90 derajat ditempatkan pada sisi tersebut.

3.2.3.4 Persyaratan Kuatan Geser Balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

a. Gaya Desain

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.1, perhitungan gaya geser desain (V_{es}), ditinjau dari gaya-gaya statis pada bagian komponen struktur di antara kedua joint. Momen – momen yang berlawanan arah dengan kekuatan momen lentur maksimum yang kemungkinan terjadi (M_{Pr}), dimisalkan bekerja pada muka – muka joint diberi beban dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentang.

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2, tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam pasal 18.6.4.1, didesain guna menahan geser dengan mengasumsi bahwa $V_c=0$ apabila kedua ketentuan dibawah ini terpenuhi :

- Gaya geser yang disebabkan oleh gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g F'_c / 20$.

3.2.3.5 Kekuatan Lentur Minimum Kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.3, bahwa dalam mendesain suatu kolom harus memenuhi ketentuan-ketentuan pada pasal 18.7.3.2 hingga 18.7.3.3 yaitu :

a. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots \dots \dots (3.16)$$

Keterangan:

- $\sum M_{nc}$ merupakan jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur dihitung agar gaya aksial terfaktornya dapat konsisiten dengan arah

gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

- $\sum M_{nb}$ merupakan jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T, pelat dalam keadaan tarik karena momen-momen di muka joint, tulangan pelat dalam lebar efektif dimisalkan berkontribusi terhadap $\sum M_{nb}$ apabila tulangan pelat tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritisnya.
- Kekuatan lentur dijumlahkan hingga momen-momen kolom berlawanan dengan momen-momen balok.
- Pendekatan ini dikenal dengan konsep kolom kuat balok lemah. Penerapan konsep ini bertujuan agar kolom tidak mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok.

3.2.3.6 Tulangan Lentur Kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan ketentuan-ketentuan yang berlaku pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.4, tulangan lentur kolom harus memenuhi ketentuan:

- SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1, bahwa luas tulangan longitudinal Ast tidak dapat lebih kecil dari $0,01Ag$ dan tidak lebih besar dari $0,06Ag$.
- SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.2, bahwa kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan lonitudinal minimal 6.

3.2.3.7 Tulangan Transversal pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

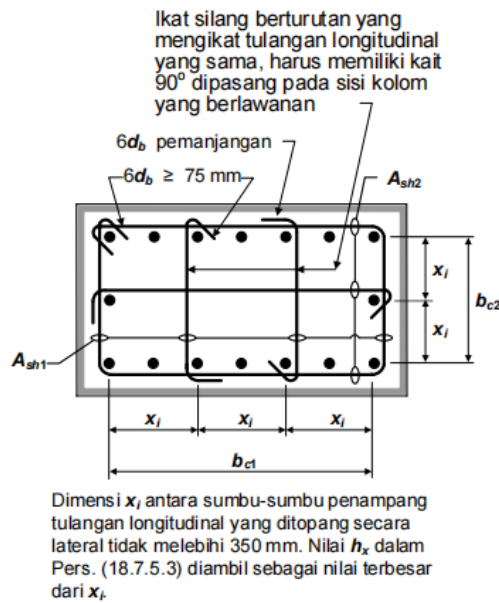
Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5, tulangan transversal harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- Tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_o tiap-tiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi karena perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang l_o tidak boleh lebih kecil dari dari point (a) hingga (c) yaitu:
 - a. Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi

b. Seperenam tinggi bersih kolom

c. 450 mm

- Tulangan transversal terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk, sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi dengan atau tanpa ikat silang. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang dikaitkan ke batang tulangan longitudinal terluar. Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekang. Ikat silang yang berurutan diseling seling diujung sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- Apabila menggunakan sengkang pengekang persegi atau ikat silang, tulangan transversal berguna sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal. Tulangan diatur sedemikian rupa agar spasi h_x antar tulangan longitudinal sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak dapat lebih besar dari 350 mm.
- Saat $P_u > 0,3Agf'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ Mpa}$ pada kolom dengan sengkang pengekang, tiap-tiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom perlu memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang atau kait gempal dan nilai h_x tidak dapat lebih dari 200 mm. P_u adalah gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk E .



Gambar 3.3 Contoh Penulangan Transversal pada Kolom

Sumber: SNI 2847-2019

Keterangan:

Dimensi x_i dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak dapat melebihi 350 mm.

- Spasi tulangan transversal tidak dapat melebihi nilai terkecil dari ketentuan

(a) hingga (c):

- a. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
- b. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- c. S_o dihitung menggunakan persamaan:

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \dots \dots \dots (3.17)$$

Nilai S_o tidak boleh lebih besar dari 10 mm dan lebih kecil dari 100 mm.

- Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengekang k_n dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

a. $k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \dots \dots \dots (3.18)$

b. $k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \dots \dots \dots (3.19)$

Keterangan :

n_1 : jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal disekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengegang atau kait seismik.

Tabel 3.7 Tulangan Transversal Untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku
A_{sh}/sbc untuk sengkang pengegang persegi	$P_u \leq 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengegang lingkaran	$P_u \leq 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e) dan (f)

Sumber: SNI 2847-2019

- Ketentuan jumlah tulangan transversal:

- a. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat (ρ_s) tidak dapat lebih kecil dari persamaan berikut ini:

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \dots \dots \dots (3.20)$$

Dan tidak dapat kurang dari:

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f_c'}{f_y} \dots \dots \dots (3.21)$$

f_y merupakan kuat leleh tulangan spiral, tidak boleh diambil lebih dari 400 MPa.

- b. Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} , tidak dapat lebih kecil dari yang diisyaratkan dari persamaan dibawah ini.

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sbc f_c'}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_c} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (3.22)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{s_b c f'_c}{f_y} \dots \dots \dots (3.23)$$

- c. Luar panjang l_o yang ditetapkan dalam diatas, kolom harus mengandung tulangan spiral atau sengkang yang memenuhi persyaratan dengan spasi pusat ke pusat (s), tidak lebih dari yang terkecil enam kali diameter batang tulangan kolom longitudinal terkecil dan 150 mm.
- d. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tidak menerus seperti dinding harus sesuai dengan ketentuan-ketentuan dibawah ini.
- Tulangan transversal perlu disediakan sepanjang tinggi keseluruhannya pada semua tingkat dibawah diskontinuitas, apabila gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur berhubungan dengan pengaruh gempa, melebihi $Agf'c/10$. Jika gaya desain diperbesar untuk menghitung kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batasan $Agf'c/10$ perlu ditingkatkan menjadi $Agf'c/4$.
 - Tulangan transversal harus menerus ke dalam komponen struktur tak menerus paling kecil sejarak dengan l_d . penentuan l_d berdasarkan syarat untuk batang tulangan kolom longitudinal terbesar. Apabila ujung bawah kolom berhenti pada suatu dinding, tulangan transversal harus menerus ke dalam dinding minimal l_d dari batang tulangan kolom longitudinal terbesar di titik pemutusan. Jika kolom berhenti pada pondasi tapak, setempat atau penutup tiang pondasi, tulangan transversal harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam pondasi tapak, setempat atau penutup tiang pondasi.
- e. Jika selimut beton di luar tulangan pengekang lebih dari 100 mm, tulangan transversal tambahan perlu disediakan. Selimut beton untuk tulangan transversal tambahan tidak dapat lebih besar dari 300 mm.

3.2.3.8 Ketentuan Kekuatan Geser pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- a. Gaya Desain

SNI 03-2847-2019 pasal 18.7.6.1.1, gaya geser desain V_e perlu ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka joint pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya joint perlu ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi M_{pr} di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut tidak dapat melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint sesuai M_{pr} balok yang merangka ke joint. Nilai V_e tidak dapat lebih kecil dari geser terfaktor sesuai analisis struktur.

b. Tulangan Transversal

SNI 03-2847-2019 pasal 18.7.6.2.1, tulangan transversal sepanjang l_o didesain untuk menahan gaya geser dengan V_c diasumsika sama dengan 0 apabila (1) dan (2) terjadi:

1. Gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang l_o .
2. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$

3.2.3.9 Joint Rangka Momen Khusus

3.2.3.9.1 Peryaratan Umum

- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.2.1, gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsi tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,2f_y$.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.2.2, tulangan longitudinal balok yang dihentikan didalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan didalam tarik dan tekan.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.2.3, jika tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tidak dapat lebih kecil dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal. Dimensi beton ringan tidak dapat kurang dari 26 kali dimensi tulangan.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.2.4, Tinggi joint h tidak dapat lebih kecil dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada joint tersebut dan yang

menyebabkan geser pada joint sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

3.2.3.9.2 Tulangan Transversal

- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.3.2, jika pada keempat sisi joint ada balok yang merangka dan jika lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom sehingga jumlah tulangan diperbolehkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang diperbolehkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.3.3, tulangan longitudinal balok yang berada di luar inti kolom dikekang oleh tulangan transversal yang menembus kolom dengan spasi. Apabila pengekang tidak diberikan oleh balok yang merangka ke dalam joint.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.3.4, jika tulangan momen negatif balok menggunakan tulangan berkepala yang berhenti di dalam joint sehingga ujung atas kolom perlu diteruskan diatas joint setidaknya setinggi h . untuk alternatif, tulangan balok perlu dikekang pada muka atas joint oleh tulangan joint vertikal tambahan.

3.2.3.9.3 Kekuatan Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.4.1, bahwa kekuatan geser V_n joint perlu sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 3.8 Kekuatan Geser Nominal Joint V_n

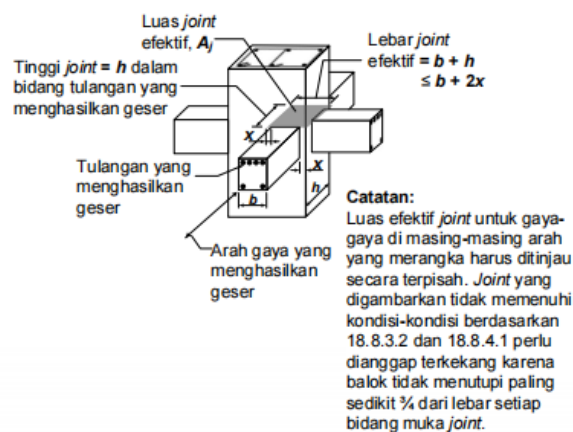
Konfigurasi Joint	V_n
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya ^[1]	$1,7\lambda\sqrt{f_c'}A_j^{[2]}$
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan ^[1]	$1,2\lambda\sqrt{f_c'}A_j^{[2]}$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f_c'}A_j^{[2]}$

^[1] Mengacu pada 18.8.4.2

^[2] λ diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Nilai A_j berdasarkan 18.8.4.3

Sumber : SNI 2847-2019

- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.4.2, suatu muka joint dianggap terkekang oleh balok jika lebar balok paling tidak tiga perempat dari lebar efektif joint. Perpanjangan balok yang melewati balok muka joint setidaknya sama dengan tinggi balok h dianggap memberikan kekangan pada muka joint.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.4.3, luas penampang efektif dalam suatu joint A_j , perlu dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint perlu sebesar lebar kolom (h). lebar joint efektif perlu selebar kolom kecuali jika ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh lebih besar dari ketentuan (1) dan (2):
 1. Lebar balok ditambah tinggi joint.
 2. Dua kali jarak tegakk lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.



Gambar 3.4 Luas joint efektif

Sumber: SNI 2847-2019

3.2.3.9.4 Panjang Penyaluran Batang Tulangan Dalam Kondisi Tarik

- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.5.1, tulangan D10-D36 ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran (l_{dh}). Beton normal (l_{dh}) tidak dapat lebih kecil dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm. untuk beton ringan tidak boleh lebih kecil dari nilai terbesar antara $10d_b$ dan 190 mm.

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_c}} \dots \dots \dots (3.24)$$

Keterangan:

Nilai λ : 0,75 (beton ringai)

Nilai λ : 1,0 (beton normal)

Kait standar perlu diletakkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas dengan kait ditekuk ke dalam joint.

- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.5.2, spasi bersih antar tulangan diizinkan setidaknya $3d_b$.
- Tulangan D10-D36, panjang penyaluran tulangan tarik l_d untuk tulangan lurus tidak dapat lebih kecil dari nilai terbesar antara (1) dan (2):
 1. 2,5 kali panjang, jika beton yang dicor dibawah tulangan tersebut tidak lebih dari 300 mm.
 2. 3,25 kali panjang, jika tinggi beton yang dicor bersamaan dibawah batang tulangan lebih dari 300 mm.
- SNI 03-2847-2019 pasal 18.8.5.4, tulangan lurus yang berhenti pada joint harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas l_d yang tidak terletak didalam inti terkekang perlu diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.

3.3 Struktur Tahan Gempa

3.3.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019, faktor kategori resiko struktur bangunan gedung dibagi menjadi 4 sesuai dengan tipe pemanfaatan bangunan serta resiko yang timbul berdasarkan preferensinya.

Tabel 3.9 Kategori Resiko Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Lanjutan Tabel 3.9 Kategori Resiko Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber : SNI 1726-2019

3.3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Bangunan memiliki tingkat resiko yang berbeda-beda sehingga nilai faktor keutamaan gempanya juga berbeda-beda, nilai factor keutamaan gempa inilah yang digunakan sebagai pengali. Berdasarkan SNI 1726-2019 kategori resiko dikelompokkan menjadi 4 kelompok, sesuai dengan tabel yang ada dibawah.

Tabel 3.10 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726-2019

3.3.3 Daktilitas

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), struktur pada bangunan dianggap bersifat elastis sempurna, dimana jika struktur mengalami perubahan bentuk atau berderformasi sebanyak 1 mm oleh beban sebesar 1 ton, maka struktur akan berderformasi sebanyak 2 mm apabila dibebani

oleh beban sebesar 2 ton. Hubungan antara deformasi dan beban inilah yang disebut dengan elastis sempurna berupa hubungan linier.

Apabila deformasi dikurangi hingga nol maka deformasi pada struktur akan menjadi nol atau hilang. Sedangkan beban diberikan pada arah yang berlawanan dengan arah beban awal maka deformasi akan bernilai negatif pula dan besarnya akan sebanding dengan besaran beban. Hal tersebut dinamai dengan deformasi elastis.

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), Deformasi elastis adalah situasi ketika beban dihilangkan maka deformasi tersebut juga akan hilang dan struktur akan kembali ke bentuk semula. Pada prinsipnya, apabila beban bekerja pada struktur tahap awal yang terjadi adalah struktur akan berdeformasi secara elastis. Jika beban yang bekerja terus bertambah besar maka setelah batas elastis dari bahan struktur dilampaui, struktur akan berdeformasi secara plastis (inelastis). Dengan begitu struktur akan mengalami deformasi elastis dan deformasi plastis. Apabila beban yang bekerja pada struktur dihilangkan maka sebagian deformasi saja yang akan hilang atau disebut deformasi elastis (δe), sedangkan untuk deformasi yang bersifat permanen disebut dengan deformasi plastis (δp).

Untuk struktur bangunan yang daktail, beban besar yang berasal dari gempa tidak akan mengakibatkan keruntuhan, hal itu karena beban gempa adalah beban dinamik yang arahnya berbolak-balik. Beban gempa besar akan menyebabkan deformasi permanen karena kerusakan pada elemen-elemen struktur seperti balok dan kolom. Meskipun elemen-elemen struktur mengalami kerusakan, namun tidak menyebabkan struktur runtuh.

Berdasarkan Rusdi Ansyori (2017), dalam merancang dan mendesain suatu bangunan terdapat beberapa istilah yang perlu diperhatikan diantaranya seperti :

a. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan struktur saat terjadi simpangan paska elastik yang besar secara berkali-kali yang disebabkan oleh beban gempa bumi sehingga menimbulkan kelelahan pertama. Dengan mempertahankan kekuatan dan kekakuan maka struktur tersebut dapat tetap berdiri meskipun berada di ambang

keruntuhan. Salah satu yang berpengaruh pada besar atau kecilnya beban gempa yang bekerja pada suatu struktur bangunan adalah daktilitas.

b. Faktor daktilitas

Faktor daktilitas merupakan rasio antara simpangan maksimum sstruktur gedung ketika mencapai berada di ambang keruntuhan serta simpangan gedung sedang terjadi pelepasan pertama di dalam struktur gedung.

c. Daktil penuh

Daktilitas penuh merupakan tingkat daktilitas dimana strukturnya dapat mengalami simpangan paska elastik ketika berada di ambang keruntuhan yang paling besar, dengan nilai faktor daktilitas sebesar 5.3.

d. Daktil parsial

Daktil parsial merupakan tingkat daktilitas dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0-5,3.

e. Elastik penuh

Elastik penuh merupakan tingkat daktilitas dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1.

3.3.4 Arah Pembebanan Gempa

a. Pengaruh Beban Gempa Horizontal

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), pengaruh beban gempa horizontal dapat bekerja pada masing-masing arah dari sumbu utama bangunan atau pada kedua arah sumbu utama dari struktur bangunan secara bersamaan. Bekerjanya beban gempa secara bersamaan sangat membahayakan kekuatan struktur. Sehingga untuk meminimalisir dampak tersebut unsur-unsur vertikal utama (kolom) dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan gaya horizontal harus dirancang sedemikian rupa agar tetap kuat 100% apabila menerima beban gempa dalam satu arah sumbu utama bangunan, dikombinasi dengan pengaruh 30% apabila menerima beban gempa dalam arah tegak lurus.

b. Faktor R, Ω_0 , dan Cd dalam Perancangan Sistem Penahan Gaya Gempa

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), semakin tinggi suatu bangunan maka peran aksi gaya lateral akan semakin berarti, sehingga perlu adanya sistem penahan gaya gempa yang digunakan sesuai dengan batasan

sistem struktur dan batasan ketinggian struktur. Berikut ini beberapa faktor yang mempengaruhi sistem penahan gaya gempa yaitu :

- Koefisien modifikasi respons (R)
- Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)
- Koefisien amplifikasi defleksi (Cd)

Apabila terdapat sistem penahan gaya gempa yang berbeda maka diizinkan untuk digunakan, tetapi masing-masing nilai R , Ω_0 , dan Cd harus dikenakan pada setiap sistem. Jika sistem struktur memiliki kombinasi vertikal dengan arah yang sama, maka harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut :

1. Apabila struktur bagian bawah memiliki koefisien modifikasi respons R yang lebih kecil, maka koefisien desai (R , Ω_0 , dan Cd) untuk struktur bagian atas dapat digunakan untuk menghitung gaya dan simpangan antar lantai. Gaya yang dikirim dari struktur atas harus diperbesar dengan cara mengalikannya dengan perbandingan $R_{\text{terbesar}}:R_{\text{terkecil}}$.
2. Apabila struktur bagian atas memiliki koefisien modifikasi respons R yang lebih kecil, maka koefisien desai (R , Ω_0 , dan Cd) struktur atas harus digunakan untuk kedua struktur atas maupun struktur bawah. Seperti pada tabel 3.16.

Tabel 3.11 Faktor R , Ω_0 , dan Cd untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon (R^*)	faktor kuat lebih sistem (Ω_0)	faktor pembesaran defleksi (Cd)	Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka Pemikul Momen								
1. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726-2019

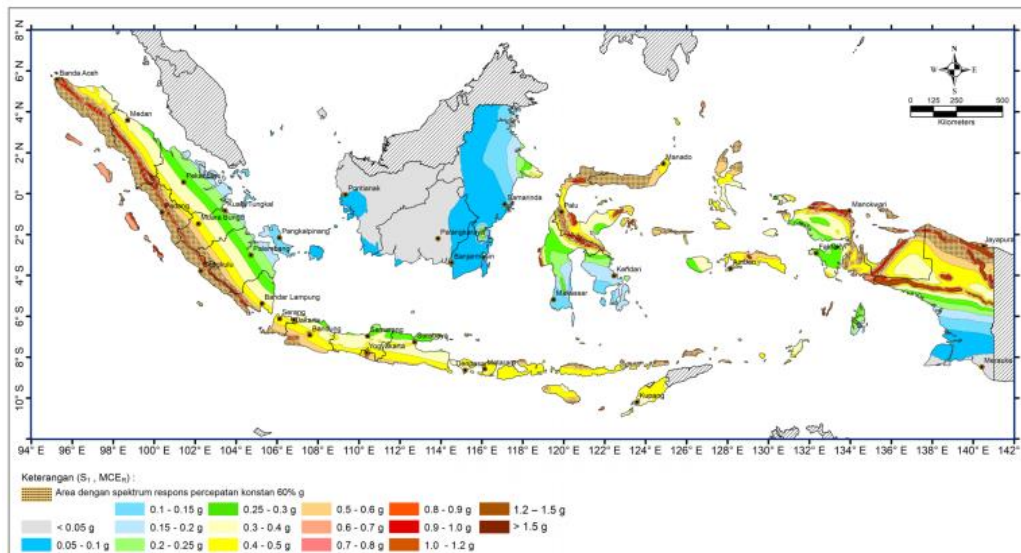
dimana:

- a : Koefisien modifikasi respon (R) untuk digunakan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya – gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.
- b : Apabila nilai pada tabel factor kuat lebih (Ω_0) lebih besar atau sama dengan 2,5 sehingga Ω_0 diperbolehkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.
- c : Faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) untuk penggunaan 0,0 dan 0.
- d = TB = tidak dibatasi dan TI = tidak diizinkan.

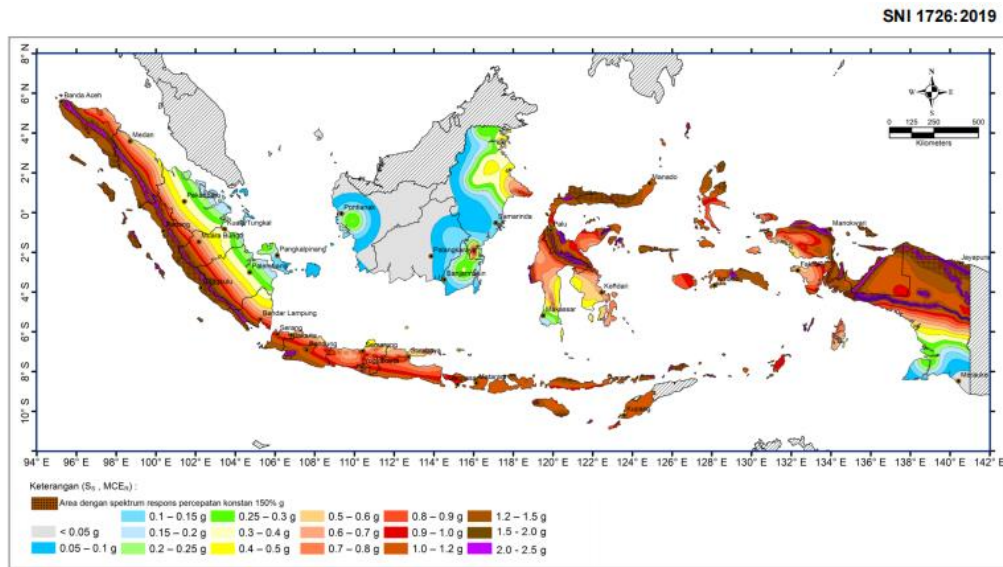
3.4 Koefisien Gempa Dasar (C)

Faktor wilayah gempa adalah salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya beban yang bekerja pada struktur bangunan. Sehingga besar kecilnya beban gempa juga tergantung pada lokasi sebuah bangunan akan didirikan. Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 3.5.

SNI 1726:2019



Gambar 16 – Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_s gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

Gambar 3.5 S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko Tertarget (MCE_R), Kelas situs SD (Tanah Sedang)

3.4.1 Parameter Percepatan Gempa

Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan dasar pada periode 1 detik (S_1), ditetapkan berdasarkan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 tahun) yang dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

3.4.2 Kelas Situs

Penentuan Kelas situs mengacu pada SNI 1726-2019 dimana sifat tanah, perlu dilakukan pengelompokan yang dibagi menjadi 5 yakni SA, SB, SC, SD, dan SF. Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), profil tanah harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Apabila tidak diketahui sifat tanah secara spesifik maka digunakan SE, kecuali pemerintah sekitar memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs daerah setempat.

Tabel 3.12 Kelas Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.3 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektra Berdasarkan Resiko Tertarget (MCE_R)

Faktor amplifikasi seismik periode 0,2 detik dan 1 detik dibutuhkan untuk dapat menentukan respon spektra gempa (MCE_R) di permukaan tanah. Faktor amplifikasi terdiri dari faktor amplifikasi percepatan pada getaran periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi percepatan mewakili periode 1 detik (Fv) yang berasal dari hubungan antara percepatan gempa dan kelas situs.

Untuk mendapatkan parameter respon spektrum pada permukaan tanah dapat digunakan rumus dibawah ini.

$$S_{MS} : Fa \cdot S_s \dots \dots \dots (3.25)$$

$$S_{M1} : Fv \cdot S_1 \dots \dots \dots (3.26)$$

dimana :

S_s : parameter respon spektral maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik.

S_1 : parameter respon spektral maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=1$ detik.

Tabel 3.13 Koefisien Situs Fa

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

Sumber: SNI 1726 – 2016

Keterangan:

[a] S_s: Situs yang emebutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 3.14 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respon spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	S _s ^(a)					

Sumber: SNI 1726 – 2016

Keterangan:

[a] S_s: Situs yang emebutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

3.4.4 Parameter Percepatan Spektra Desain

Perhitungan percepatan spectral desain pada periode pendek (S_{DS}) serta pada periode 1 detik (S_{D1}) berdasarkan persamaan yang tertera pada SNI 1726-2019 pasal 6.3 sebagai berikut:

$$S_{DS} : \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$S_{D1} : \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (3.28)$$

dimana:

S_{DS} : parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek.

S_{D1} : parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik.

S_{MS} : parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek dengan pengaruh klasifikasi situs.

S_{M1} : parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik dengan pengaruh klasifikasi situs.

3.4.5 Desain Respon Spektrum

Berdasarkan Widodo (2001), respon spektrum merupakan suatu spektrum yang ditampilkan dalam bentuk grafik antara periode getar struktur T dengan respon maksimum sesuai rasio redaman dan gempa tertentu. Respon spektrum dapat berupa simpangan maksimum, kecepatan maksimum atau percepatan maksimum masa struktur.

Respon struktur dibagi menjadi dua jenis yaitu respon spektrum elastik dan inelastik. Spektrum elastik adalah suatu respon yang didasari dari respon elastik suatu struktur sedangkan spektrum inelastik (desain respon Spektrum) adalah respon spektrum yang diturunkan dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu.

Berdasarkan SNI 1726-2019 respon spektrum mengacu pada gambar 3.5 kurva desain serta mengikuti ketentuan-ketentuan dibawah ini.

- a. Jika periode lebih kecil dari T_0 , spektrum respon desain percepatan desain (S_a) menggunakan rumus dibawah ini.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (3.29)$$

b. Jika periode lebih besar atau sama dengan T_0 serta lebih kecil atau sama dengan T_s , maka spektrum respon percepatan desain (S_a) sama desan S_{DS} .

c. Jika periode yang lebih besar dari T_s , namun lebih kecil dari atau sama dengan T_L maka respons spektral percepatan desain (S_a) menggunakan rumus berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (3.30)$$

d. Jika periode lebih besar dari T_1 , maka respon spectral percepatan desain (S_a) menggunakan rumus dibawah ini.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots \dots \dots (3.31)$$

dimana:

S_{DS} : parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek.

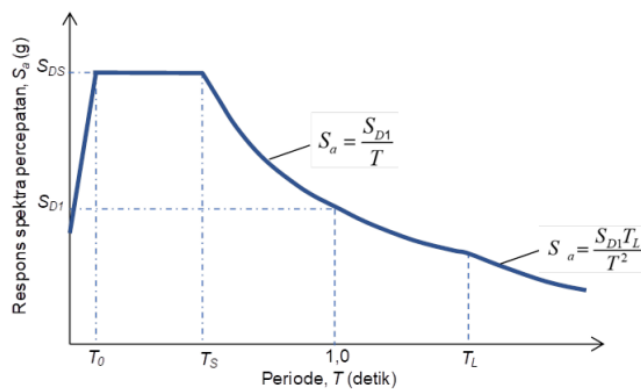
S_{D1} : parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik.

T : periode getar fundamental.

T_0 : $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_s : $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_L : peta transisi periode Panjang.



Gambar 3.6 Spektrum Respon Desain

Sumber: 1726-2019

Penentuan nilai katagori desain seismik berdasarkan kategori resiko pada suatu struktur. Berdasarkan SNI 1726-2019, suatu struktur bangunan harus memenuhi kategori desain seismik sesuai ketentuan-ketentuan berikut ini.

- a. Suatu struktur yang termasuk dalam kategori I,II, dan III dengan nilai $S_1 \geq 0,75$ masuk kedalam kategori resiko seismik E.
- b. Suatu struktur yang termasuk dalam kategori IV dengan nilai $S_1 \geq 0,75$ masuk kedalam kategori resiko seismik F.

Pada tabel 3.20 dan tabel 3.21 ditetapkan kategori desain seismik bangunan berdasarkan parameter percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik sebagai berikut.

Tabel 3.15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Tabel 3.16 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

Pengertian mengenai kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726-2019 adalah sebagai berikut ini.

- Kategori Desain Seismik (KDS) A dan B

Suatu bangunan yang masuk kedalam kategori A dan B dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) atau Sistem Dinding Rangka Biasa (SDSB).

- Kategori Desain Seismik (KDS) C

Suatu bangunan yang masuk kedalam kategori C dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) atau Sistem Dinding Rangka Biasa (SDSB).

- Kategori Desain Seismik (KDS) D

Suatu bangunan yang masuk kedalam kategori D dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau Sistem Dinding Rangka Khusus (SDSK).

- Kategori Desain Seismik (KDS) E dan F

Suatu bangunan yang masuk kedalam kategori E dan F dirancang sesuai dengan peraturan yang berlaku pada kategori desain sismik D.

Tabel 3.17 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

Tingkat Resiko Kegempaan	Kategori Desain Seismik (KDS)	Syarat
Rendah	A dan B	SRPM B/M/K SDS B/K
Menengah	C	SRPM M/K SDS B/K
Tinggi	D, E dan F	SRPM K SDS K

Sumber: SNI 1726-2019

3.4.6 Penentuan Periode Getar (T)

Periode fundamental struktur (T) didapatkan dari peninjauan hasil analisis struktur. Berdasarkan SNI 1726-2019 persyaratan mengenai periode fundamental yang dipergunakan sebagai perhitungan tidak dapat lebih dari batas

atas periode fundamental pendekatan dari hasil perkalian koefisien periode batas atas (C_u) dengan periode pendekatan (T_a). Periode fundamental dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots \dots \dots (3.32)$$

dimana :

h_n : Ketinggian struktur bangunan gedung diatas dasar hingga ketinggian tertentu.

C_t dan x : Ditentukan sesuai dengan tabel 3.23.

Tabel 3.18 Koefisien untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

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

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 3.19 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Sumber : SNI 1726-2019

3.5 Sistem Pembebanan

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), beban merupakan gabungan gaya-gaya yang bekerja pada suatu luasan struktur.

Berdasarkan arahnya beban dibedakan menjadi dua yaitu

- a. Beban vertikal (gravitasi)

Mencangkup beban mati (*load*), beban hidup (*live*) dan beban beban air hujan.

b. Beban horizontal (lateral)

Mencangkup beban gempa (*earthquake*), beban angin (*wind load*) serta tekanan tanah dan air tanah.

3.5.1 Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727-2020 beban mati merupakan seluh beban terpasang yang berasal dari bahan kontruksi bangunan gedung termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung, komponen arsitektur dan struktural lainnya serta peralatan layanan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Untuk beban mati diperlukan berat bahan serta kontruksi yang sebenarnya, dengan persyaratan, apabila tidak terdapat informasi yang jelas maka menggunakan nilai yang telah disetujui oleh pihak berwenang. Dalam merancang desain beban mati diperlukan berat peralatan layanan tetap termasuk beban maksimum pengisi peralatan layanan tetap. Komponen peralatan layanan tetap beraneka ragam yakni, kandungan cairan serta tempat yang dapat dipindahkan, tidak dapat digunakan untuk gaya yang mengakibatkan kondisi terguling, tergelincir serta terangkat.

Berat satuan dari beberapa material dan komponen bangunan ditentukan berdasarkan ketentuan-ketentuan yang telah tertera dalam SNI 1727-2020.

Tabel 3.20 Daftar Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas I)	1000 kg/m ³
Pasir (kering udara)	1600 kg/m ³

Sumber: SNI 1727-2020

Tabel 3.21 Komponen Gedung

Komponen Bangunan	Berat
Spesi dari semen per cm tebal	21 kg/m^3
Dinding bata merah ½ batu	250 kg/m^3
Atap genting	50 kg/m^3
Penutup lantai ubin per tebal	24 kg/m^3

Sumber: SNI 1727-2020

3.5.2 Beban Hidup

Berdasarkan Ansyori (2017), beban hidup merupakan beban yang ditimbulkan oleh pengguna bangunan atau yang bukan termasuk beban pada lantai yang berasal dari barang yang dapat berpindah, mesin serta peralatan yang bukan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan serta dapat diganti selama masa hidup dari bangunan tersebut. Dengan begitu akan menimbulkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap bangunan tersebut. Untuk atap yang dianggap beban hidup yaitu air hujan baik akibat genangan maupun tekanan jatuh butiran air.

Berdasarkan SNI 1727-2020, beban hidup terdapat ketentuan dapat direduksi. Peraturan mereduksi beban hidup sudah ada sejak Peraturan Beban untuk Rumah dan Gedung tahun 1987. Didalam peraturan tersebut pasal 2.1.2.5 terdapat penjelasan mengapa beban hidup dapat direduksi, yang berbunyi:

Ayat 1: Agar tercapainya peluang persentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur pemikul suatu gedung selama umur gedung tersebut, bergantung pada bagian atau unsur struktur yang ditinjau dan bergantung pula pada penggunaan gedung itu dan untuk apa beban hidup tersebut ditinjau. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil, maka untuk hal-hal yang disebut dalam ayat 2,3, dan 4 dari pasal ini dianggap tidak efektif sehingga dapat direduksi.

Ayat 2: Pada perencanaan balok-balok induk dan portal-portal dari sistem struktur pemikul beban dari suatu gedung maka untuk memperhitungkan peluang terjadinya nilai-nilai beban hidup yang berubah-ubah, beban hidup terbagi merata dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi.

Apabila dilihat pada SNI 1727-2020, tidak terdapat kalimat penjelasan mengenai reduksi beban hidup namun terdapat pasal 4.7 mengenai reduksi beban hidup. Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 14.7.1 yang berbunyi: kecuali untuk beban hidup merata pada atap, semua beban hidup terdistribusi merata minimum lainnya dalam tabel 4.3-1 atau tabel dapat dilihat tabel 3.11 dibawah ini.

Tabel 3.22 Daftar Beban Hidup Pada Lantai

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 (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
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)		
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat 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)		4.14
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	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 <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Lanjutan Tabel 3.22 Daftar Beban Hidup Pada Lantai

Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat 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 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal	4.11.2
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	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 (2,87)	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 harus 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, biliard, 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)		

Lanjutan Tabel 3.22 Daftar Beban Hidup Pada Lantai

Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng 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					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	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, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
	berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka				
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 sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel		-	-	300 (1,33)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan					

Lanjutan Tabel 3.22 Daftar Beban Hidup Pada Lantai

Sekolah					
Ruang kelas	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Scuffes, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika dipfukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Sumber : SNI 1727-2020, tabel 4.3-1

Pada tabel diatas tertera hunian atau penggunaan yang beban hidupnya diizinkan untuk direduksi. SNI 1727-2020 Pasal 4.7.2 mengatakan bahwa komponen struktur yang memiliki nilai K_{LLA_T} sebesar 400 ft^2 ($37,16 \text{ m}^2$) atau lebih maka diizinkan untuk direduksi dengan persamaan dibawah ini:

Dalam SI:

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LLA_T}}} \right) \dots \dots \dots (3.33)$$

Keterangan:

L_o : Beban hidup dasar yang dapat dilihat pada SNI 1727-2020, tabel 4.3-1

A_T : Luas tributari

K_{LL} : Faktor elemen beban hidup yang dapat dilihat pada SNI 1727-2020, tabel 4.7-1 atau tabel dapat dilihat tabel 3.12 dibawah ini.

Tabel 3.23 Faktor Elemen Beban Hidup, K_{LL}

Elemen	K_{LL}^a
Kolom interior	4
Kolom eksterior tanpa <i>slab</i> kantilever	4
Kolom tepi dengan <i>slab</i> kantilever	3
Kolom sudut dengan <i>slab</i> kantilever	2
Balok tepi tanpa <i>slab</i> kantilever	2
Balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut diatas:	
Balok tepi dengan <i>slab</i> kantilever	
Balok kantilever	
<i>Slab</i> satu arah	1
<i>Slab</i> dua arah	
Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	

Selain nilai di atas, K_{LL} diizinkan dihitung tersendiri.

Sumber : SNI 1727-2020

3.5.3 Beban Gempa

Berdasarkan Laksana (2021), beban gempa merupakan beban yang berasal dari gempa bumi sehingga mengakibatkan pergerakan tanah yang dapat mempengaruhi struktur bangunan. Berdasarkan Ikbal Delfieno Primadana dan Khoirul Anwar (2021), Nilai beban gempa ditentukan dari

- Besarnya probabilitas beban yang dilampaui dalam kurun waktu tertentu,
- tingkat daktilitas struktur,
- kekuatan lebih yang ada pada struktur tersebut.

Berdasarkan SNI 1726-2019, besarnya beban gempa rencana yang diperhitungkan bekerja pada struktur adalah gempa rencana sedang. Sehingga apabila terjadi gempa kuat maka gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dapat melampaui gaya dalam yang sudah diperhitungkan selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 2%. Berdasarkan Ansyori (2017), gaya dalam merupakan gaya yang berasal dari respon struktur terhadap gaya luar atau pembebanan.

Berdasarkan Ikbal Delfieno Primadana dan Khoirul Anwar (2021), massa pada struktur gedung bertingkat berpusat pada lantai-lantai bangunan sehingga beban gempa akan terdistribusi pada setiap lantai. Selain itu besarnya gaya gempa pada gedung bertingkat juga mengacu pada ketinggian tingkat tersebut

dari permukaan tanah. Besaran beban gempa horizontal V yang bekerja pada struktur bangunan, dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{W_t \times C \times I}{R} \dots \dots \dots (3.34)$$

Keterangan :

V : Beban gempa dasar nominal

W_t : Berat total struktur bangunan, sebagai jumlah dari beban :

3. Beban mati total dari struktur bangunan gedung,
4. Apabila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar $0,5 \text{ kPa}$,
5. Pada gudang-gudang dan tempat-tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan,
6. Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan.

C : koef. Respons gempa yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur. C didapat dari diagram respon spektrum yang sebelumnya telah dihitung waktu getar struktu,

I : faktor keutamaan struktur bangunan

R : faktor reduksi gempa

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perhitungan analisis beban gempa berdasarkan SNI 1729-2019 yaitu :

a. Geografis

Perencanaan beban gempa disesuaikan dengan lokasi pembangunan gedung tersebut akan dibangun, karena disetiap wilayah memiliki percepatan batuan dasar yang berbeda-beda.

b. Faktor Keutamaan Gempa

Penentuan faktor keutamaan gempa berdasarkan dengan tipe pemanfaatan gedung yang akan dibangun, dimana gedung yang memiliki tingkat resiko I hingga II faktor keutamaan gempanya bernilai 1, gedung yang memiliki tingkat resiko III faktor keutamaan gempanya bernilai 1,25 dan gedung yang memiliki tingkat resiko IV factor keutamaan gempanya bernilai 1,5.

c. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dinilai dari tingkat yang paling rendah hingga paling tinggi yang dilambangkan dengan A, B, C,D,E,F.

d. Sistem Penahan Seismik

Terdapat faktor reduksi gempa atau koefisien modifikasi respon, faktor kuat lebih sistem, serta faktor pembesar defleksi (cd) yang beragam.

3.5.4 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 5.3, kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor dalam SNI 2847-2019 tabel 5.3., dengan pengecualian dan tambahan dalam SNI 2847-2019 pasal 5.3.3 hingga 5.3.12. berdasarkan Ikbal Delfiero Primadanan dan Khoirul Anwar (2021), kuat perlu merupakan kekuatan pada sebuah komponen struktur atau penampang yang dibutuhkan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi.

Ketentuan-ketentuan kombinasi beban telah diatur dalam SNI 2847-2019 tabel 5.3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.24 Kombinasi Beban

Kombinasi beban	Persamaan	Beban utama
$U = 1,4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	(5.3.1c)	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	(5.3.1e)	E
$U = 0,9D + 1,0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0,9D + 1,0E$	(5.3.1g)	E

Sumber: SNI 2847-2019

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

Lr : Beban Atap

R : Beban Hujan

W : beban akibat angin

E : pengaruh beban akibat gempa

3.5.4.1 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan adalah bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan seperti yang telah tertera pada SNI 2847-2019 tabel 21.2.1. faktor reduksi digunakan untuk mendapatkan kondisi paling buruk pada saat pelaksanaan apabila ada perbedaan mutu.

Tabel 3.25 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya atau elemen struktur	ϕ	Pengecualian
a) Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b) Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c) Torsi	0,75	-
d) Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e) Zona angkur pascataik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
f) Bracket dan korbrel	0,75	-
g) <i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h) Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tank	0,90	-
i) Beton polos	0,60	-
j) Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

Sumber : SNI 2847-2019

3.6 Perencanaan Elemen Struktur

3.6.1 Perencanaan Pelat

Pelat beton bertulang merupakan struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang dengan bidang arah horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus dengan bidang struktur tersebut. Berdasarkan Asroni (2010), ketebalan pelat lebih kecil jika dibandingkan dengan bentang panjang atau lebar bidangnya.

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), Pelat menerus pada prinsipnya harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan susunan beban. Jika pelat ditumpu pada keempat sisinya, maka pelat tersebut secara efektif memiliki bentang dalam dua arah. Untuk pelat yang bersifat bujur sangkar dan keempat sisi tumpuannya memiliki tahanan yang sama, maka beban akan sama ke dua arah. Jika pelat berbentuk persegi panjang, maka lebih dari setengah bebannya akan dipikul oleh arah yang lebih pendek dan lebih kaku. Apabila bentang yang satu jaraknya lebih jauh dibandingkan dengan bentang yang lain, maka sebagian besar beban akan dipikul oleh arah yang pendek dan pelat dirancang seperti jika memiliki bentang dalam satu arah.

Pelat-pelat beton bersifat sebagai bagian-bagian konstruksi lentur dan perencanaannya seperti balok, walaupun secara umum pelat lebih sederhana jika dibandingkan balok, hal ini disebabkan karena :

- a. Lebar pelat telah tertentu dan didalam perhitungan dipakai satuan lebar sebesar 1 m,
- b. Tegangan geser didalam pelat memiliki nilai rendah kecuali jika terdapat beban terpusat yang berat,
- c. Jarang diperlukan tulangan tekan.

Berdasarkan Delfiero Primadana dan Anwar (2021), pembebanan pada pelat dibagi menjadi dua yaitu beban mati (qD) dan beban hidup (qL), yang dikalikan dengan faktor pembebanan sehingga menjadi beban terfaktor qU ($1,2 \cdot qD + 1,6qL$). Perhitungan tulangan pelat didasarkan pada momen yang terjadi akibat beban terfaktor. Rumus dalam mencari momen tumpuan pada pelat yaitu:

$$M_x = \alpha \times q \times L_x^2 \dots \dots \dots (3.35)$$

$$M_y = \alpha \times q \times L_y^2 \dots \dots \dots (3.36)$$

Berdasarkan Ikbal Delfiero Primadana dan Khoirul Anwar (2021), koefisien α yang digunakan berasal dari kondisi ujung-ujung L_x dan L_y . berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung tulangan:

$$- A_s = \frac{M_u}{\phi \times j d \times f_y} \dots \dots \dots (3.37)$$

- Rumus tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \dots \dots \dots (3.38)$$

- Rumus momen nominal :

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (3.39)$$

3.6.2 Perencanaan Kolom

Berdasarkan Nawy (1990), kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka yang memikul beban pada balok. Kolom bertugas untuk meneruskan beban-beban elevasitas ke elevasi yang berada di bawahnya hingga sampai ke tanah melalui pondasi. Kolom adalah tekan sehingga keruntuhan pada suatu kolom adalah titik kritis yang dapat menimbulkan keruntuhan lantai yang bersangkutan dan juga runtuh batas total seluruh struktur.

Berdasarkan Primadana dan Anwar (2021), perhitungan kekuatan kolom didasari dari kemampuan kapasitas penampang kolom. Dimana kapasitas penampang kolom dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan antara beban aksial dengan momen lentur pada kondisi batas. Pada setiap titik kurva menunjukkan hubungan antara P dengan M sebagai kapasitas penampang terhadap suatu garis netral.

Kombinasi beban pada kolom bila diplot maka akan berada dalam diagram interaksi dari kolom sehingga beban tersebut dapat dipikul oleh kolom, dan begitu juga sebaliknya, jika suatu kombinasi beban (P dan M) berada di luar diagram maka kapasitas kolom tidak dapat terpenuhi. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 10.3.6.2 merupakan ketentuan-ketentuan mengenai besarnya gaya aksial:

- Untuk kolom dengan spiral:

$$\phi P_{n(max)} = 0,85 \phi (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}) \dots \dots \dots (3.40)$$

- Untuk kolom dengan sengkang :

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi(0,85f'c(Ag - Ast) + fy \cdot Ast) \dots\dots\dots(3.41)$$

Keterangan :

P_n : gaya tekan nominal

A_g : luas penampang beton

A_{st} : luas total penampang tulangan memanjang

Berikut merupakan ketentuan-ketentuan untuk menghitung besarnya beban aksial dan momen :

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.42)$$

$$M_{n_x} = \frac{M_{u_x}}{\phi} \dots\dots\dots(3.43)$$

$$M_{n_y} = \frac{M_{u_y}}{\phi} \dots\dots\dots(3.44)$$

$$Absis = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots(3.45)$$

$$Ordinat = \frac{P_u}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots(3.46)$$

$$A_{st_{tot}} = A_s \cdot A_g \dots\dots\dots(3.47)$$

$$N = A_{st_{tot}} / A_{st} \dots\dots\dots(3.48)$$

Keterangan :

M_{n_x} : momen arah sumbu x

M_{n_y} : momen arah sumbu y

M_u : momen yang bekerja pada kolom (Nmm)

P_u : gaya aksial yang bekerja pada kolom (N)

ϕ : faktor reduksi (tekan 0,65 dan tarik 0,8)

A_{st} : kebutuhan luas tulangan (mm^2)

ρ : rasio tulangan

n : kebutuhan jumlah tulangan (batang)

3.6.2.1 Perencanaan Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.4 dijelaskan bahwa luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak dapat lebih kecil dari dari salah satu yang terbesar antara dua persamaan dibawah ini.

$$- A_{sh} = 0,3 \times \left(\frac{s \times bc \times fc}{fy} \right) \times \left(\frac{Ag}{Ach} - 1 \right) \dots \dots \dots (3.49)$$

$$- A_{sh} = \frac{0,09 \times s \times bc \times fc}{fy} \dots \dots \dots (3.50)$$

3.7 Penulangan Geser

Berdasarkan Primadana dan Anwar (2021), untuk menentukan gaya geser (V_e) perlu dilakukan peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-mukan pertemuan (*join*) pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya *join* ditentukan dengan kekuatan momen maksimum (M_{pr}) di setiap ujung kompone struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *join* berdasarkan M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam *join*.

$$- V_n = V_e / \phi \dots \dots \dots (3.51)$$

Dimana V_n tidak boleh lebih besar dari :

a. Untuk *join* yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka:

$$1,7 \sqrt{f'_c} \cdot A_j \dots \dots \dots (3.52)$$

b. Untuk *join* yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka:

$$1,2 \sqrt{f'_c} \cdot A_j \dots \dots \dots (3.53)$$

c. Untuk kasus-kasus lainnya :

$$1 \sqrt{f'_c} \cdot A_j \dots \dots \dots (3.54)$$

$$- V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \cdot bw \dots \dots \dots (3.55)$$

Apabila $V_u \geq \phi \cdot V_c$ maka diperlukan tulangan geser

$$- V_s = V_n - V_c \dots \dots \dots (3.56)$$

$$- S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots \dots \dots (3.57)$$

Keterangan:

V_e : gaya geser yang terjadi pada struktur (N)

V_u : gaya geser optimal untuk perencanaan (N)

V_c : gaya geser yang dipikul beton (N)

V_s : gaya geser yang dipikul tulangan baja (N)

A_v : luas satu tulangan (mm^2)

S : jarak antara tulangan geser (mm^2)

3.8 Ketidakberaturan Horizontal dan Ketidakberaturan Vertikal

Suatu struktur gedung yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan, dianggap memiliki ketidakberaturan horizontal maupun vertikal, seperti pada tabel 3.25 dan 3.26 berikut.

Tabel 3.26 Ketidakberaturan Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 3.26 Ketidakberaturan Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber: SNI 1726-2019

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yaitu suatu proses menganalisis dan mengidentifikasi variable yang dilakukan secara sistematis sehingga menghasilkan atau menjawab pertanyaan-pertanyaan tertentu. Dalam studi kasus ini langkah – langkah yang dilakukan adalah pengumpulan data yang dibutuhkan yang dilanjutkan dengan pemodelan struktur. Dari hasil pemodelan akan dilakukan pengolahan data, berdasarkan data tersebut maka dapat ditarik kesimpulan dari studi kasus yang dilakukan.

4.1 Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini yaitu membandingkan respon seismik pada gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengan (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.2 Objek Penelitian

Perancangan gedung sebagai Rumah Sakit ini berlokasi di Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Lokasi Perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Perencanaan Gedung Rumah Sakit Trisakti

Sumber: Google Earth (2023)

4.3 Data Penelitian

Data yang digunakan ditentukan di awal perencanaan. Berikut ini adalah data penelitian struktur:

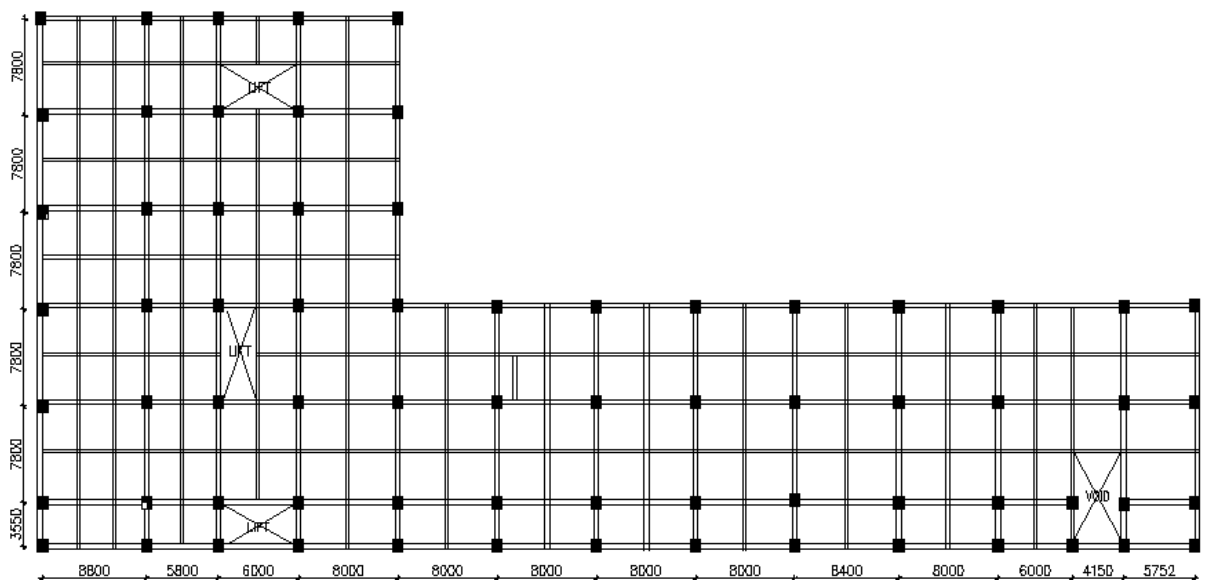
a. Data Umum Bangunan

Fungsi bangunan	: Rumah Sakit
Lokasi	: Makassar, Sulawesi Selatan
Jenis Tanah	: Tanah Sedang
Tinggi bangunan	: 25,2 m
Tinggi lantai 1-6	: 4,2 m
Jumlah lantai	: 6 lantai
Jenis Material Konstruksi	: Beton Bertulang

b. Parameter Struktur dan Material

Mutu beton ($f'c$)	: 30 MPa
Tegangan Leleh baja (f_y)	: 420 MPa
Tebal Pelat	: 130 mm

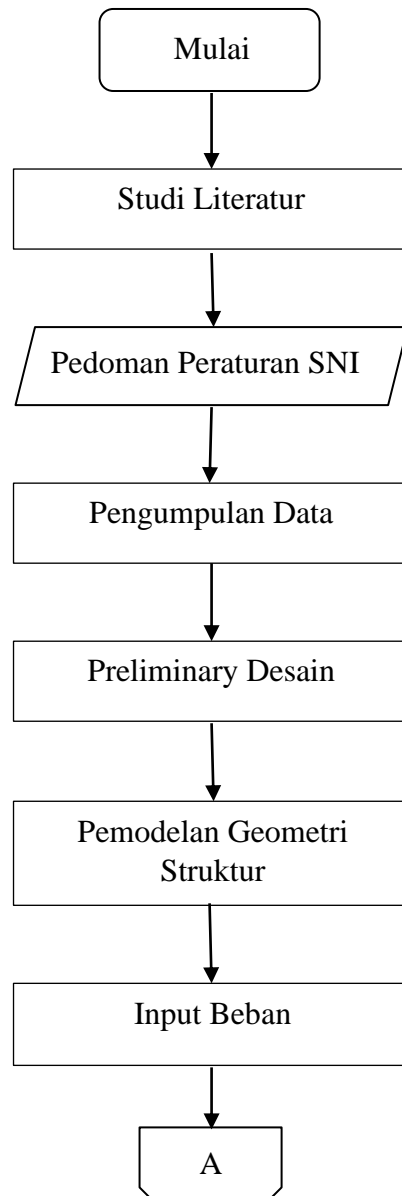
Berikut ini merupakan rencana denah perancangan gedung Rumah Sakit Trisakti.

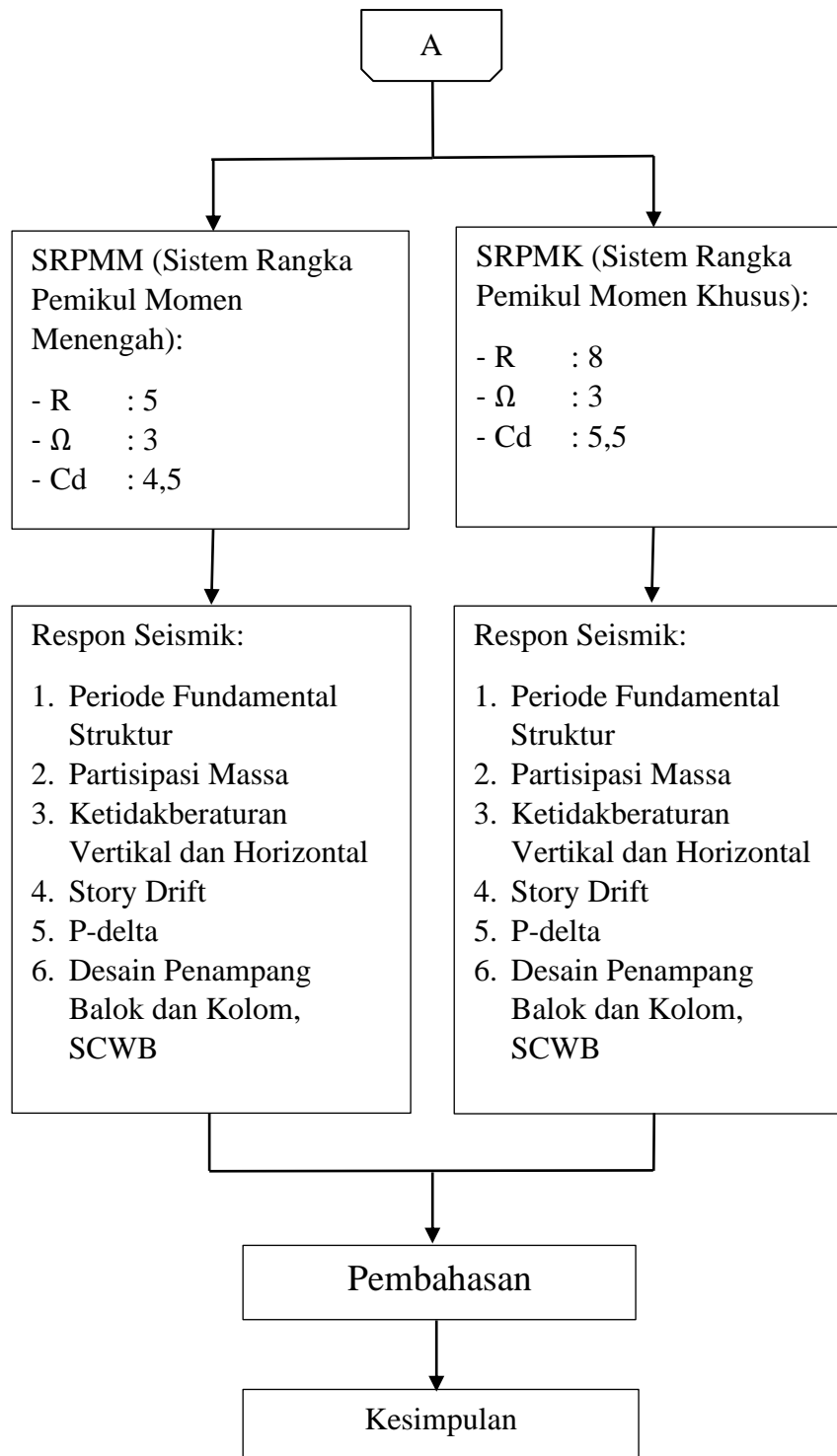


Gambar 4.2 Denah Bangunan

4.4 *Flowchart* Penelitian

Flowchart (bagan alir) adalah urutan langkah penelitian agar mendapatkan hasil perancangan sesuai dengan yang diharapkan. *Flowchart* berfungsi untuk memperjelas serta mempermudah peneliti dalam hal tahapan – tahapan penelitian. *Flowchart* studi kasus ini dapat dilihat sebagai berikut.





Gambar 4.3 *Flowchart* Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian diatas maka dapat diuraikan metodologi perancangan Gedung Rumah Sakit Trisakti sebagai berikut:

4.4.1 Studi Literatur

Dalam proses merancang Gedung Rumah Sakit Trisakti digunakan acuan-acuan perancangan sebagai berikut:

1. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
2. SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
3. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

4.4.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang didapatkan berupa *shop drawing* bangunan Rumah Sakit Akademik Trisakti. Data tersebut akan dijadikan pemodelan dalam bentuk 3D dengan bantuan aplikasi SAP 2000. Hasil pemodelan akan dilanjutkan dengan analisis perhitungan menggunakan excel.

4.4.3 Analisis Perancangan

a. Preliminari Desain

b. Perancangan Struktur Atas

dalam merancang struktur atas perlu perhitungan secara urut, berikut ini merupakan urutan dalam menghitung struktur atas bangunan:

- Merancang dimensi struktur
- Menghitung R (nilai koefisien modifikasi respon), Ω (faktor kuat lebih sistem) dan Cd (factor pembesaran defleksinya) pada tiap-tiap sistem
- Menghitung respon seismik
- Mendesain penampang balok dan kolom
- SCWB

4.4.4 Penyusunan Laporan

Dalam Tugas Akhir, hasil dari perancangan dan perhitungan struktur gedung Rumah Sakit Trisakti disusun dalam sebuah laporan yang sistematis.

4.5 Program dan Software

Pada studi kasus ini program yang digunakan untuk membantu proses penelitian untuk mempermudah dan mempercepat dalam menyelesaikan masalah adalah sebagai berikut:

- a. SAP 2000, digunakan untuk pemodelan struktur dalam bentuk 3D.

- b. Microsoft Excel, digunakan untuk menghitung serta menganalisis data hasil dari output SAP 2000.
- c. AutoCad, digunakan untuk menggambar detail bangunan.

BAB V

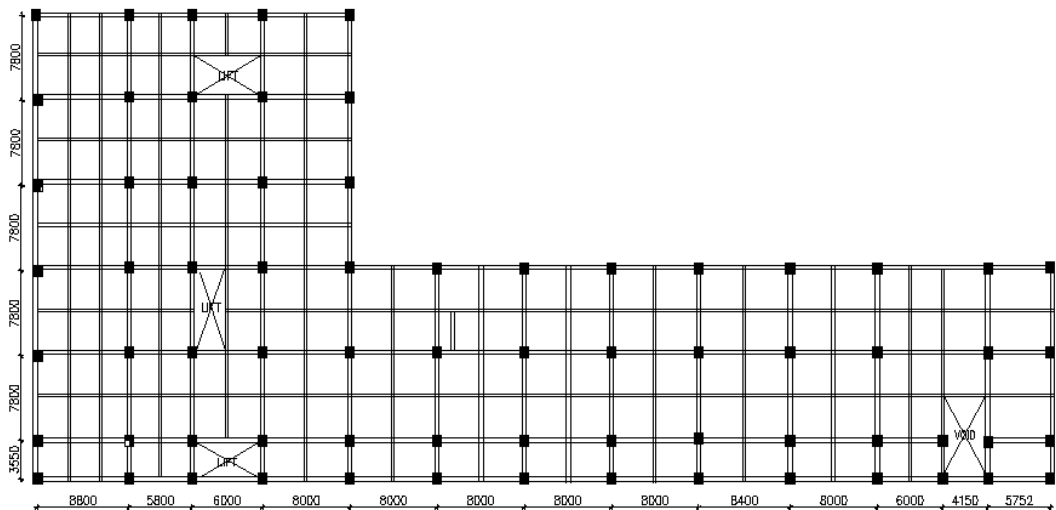
ANALISIS PENELITIAN

5.1 Data Awal Perencanaan

Berikut merupakan data awal perancangan struktur gedung Rumah Sakit Trisakti:

Fungsi bangunan	: Rumah Sakit
Bentuk bangunan	: Asimetris Horizontal 2 Arah (Letter L)
Tinggi bangunan	: 25,2 m
Luas bangunan	: 2402,24 m ²
Panjang bangunan	: 92,9 m
Lebar bangunan	: 42,55 m
Jumlah lantai	: 6 lantai
Mutu beton ($f'c$)	: 30 MPa
Mutu baja (f_y)	: 420 MPa

Bangunan terletak di Makassar, Sulawesi Selatan dengan kondisi tanah sedang, dengan ketinggian antar lantainya 4,2 meter. Bangunan akan disimulasikan dengan dua sistem yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) untuk diketahui perbedaan respon seismiknya. Konfigurasi balok induk dan balok anak bangunan dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Denah Bangunan

5.2 Pembebanan

Beban berasal dari suatu gaya atau aksi yang didapat dari berat seluruh bangunan, penghuni, barang-barang yang berada dalam bangunan, dampak lingkungan, selisih perpindahan serta gaya kekang yang timbul dari perubahan dimensi. Pembebanan adalah salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisis suatu struktur bangunan agar tidak terjadi kesalahan dalam perencanaan beban yang dapat menimbulkan kesalahan fatal pada hasil desain bangunan. Dibawah ini merupakan beban yang diperhitungkan untuk merancang struktur bangunan, dimana besaran nilai beban-bebannya sesuai dengan ketentuan yang tertera pada SNI 1727-2020.

a. Beban Mati Tambahan (QD)

Beban mati merupakan berat seluruh bangunan yang terpasang. Berikut ini adalah beban mati dari berat seluruh bangunan material dan komponen struktur sesuai dengan ketentuan SNI 1727-2020.

1. Pembebanan Pelat Lantai

- Spesi:

Tebal	= 30 mm
Berat Volume	= 21 kg/m ²
Berat Lantai	= 63 kg/m ²

- Pasir:
 - Tebal = 50 mm
 - Berat Volume = 1600 kg/m³
 - Berat Lantai = 80 kg/m²
- Keramik 50x50
 - Berat Lantai = 17 kg/m²
- Rangka Plafond
 - Berat Lantai = 5 kg/m²
- Plafond
 - Berat Lantai = 9 kg/m²
- MEP
 - Berat Lantai = 30 kg/m²
- Partisi
 - Berat Lantai = 100 kg/m²

Dari data diatas didapatkan total ADL lantai sebesar 304 Kg/m² atau 2,9822 kN/m².

2. Pembebanan Pelat Atap

- Spesi:
 - Tebal = 30 mm
 - Berat Volume = 21 kg/m²
 - Berat Lantai = 63 kg/m²
- Rangka Plafond
 - Berat Lantai = 5 kg/m²
- Plafond
 - Berat Lantai = 9 kg/m²
- MEP
 - Berat Lantai = 30 kg/m²

Dari data diatas didapatkan total ADL atap sebesar 107 kg/m² atau 1,04967 kN/m².

3. Pembebanan Dinding ½ bata sebesar 250 kg/m².

b. Beban Hidup (QL)

Beban hidup merupakan beban yang berasal dari pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lain selain beban konstruksi dan beban lingkungan. Seperti penjelasan 3.3.2 mengenai reduksi beban hidup berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan reduksi beban hidup sesuai SNI 1727-2020.

Diketahui:

$$K_{LL} = 4$$

$$A_T = 7,8 \times 8$$

$$= 62,4 \text{ m}$$

Rumus untuk menghitung reduksi beban hidup dapat dilihat pada persamaan 3.25.

Tabel 5.1 Beban Hidup Interior

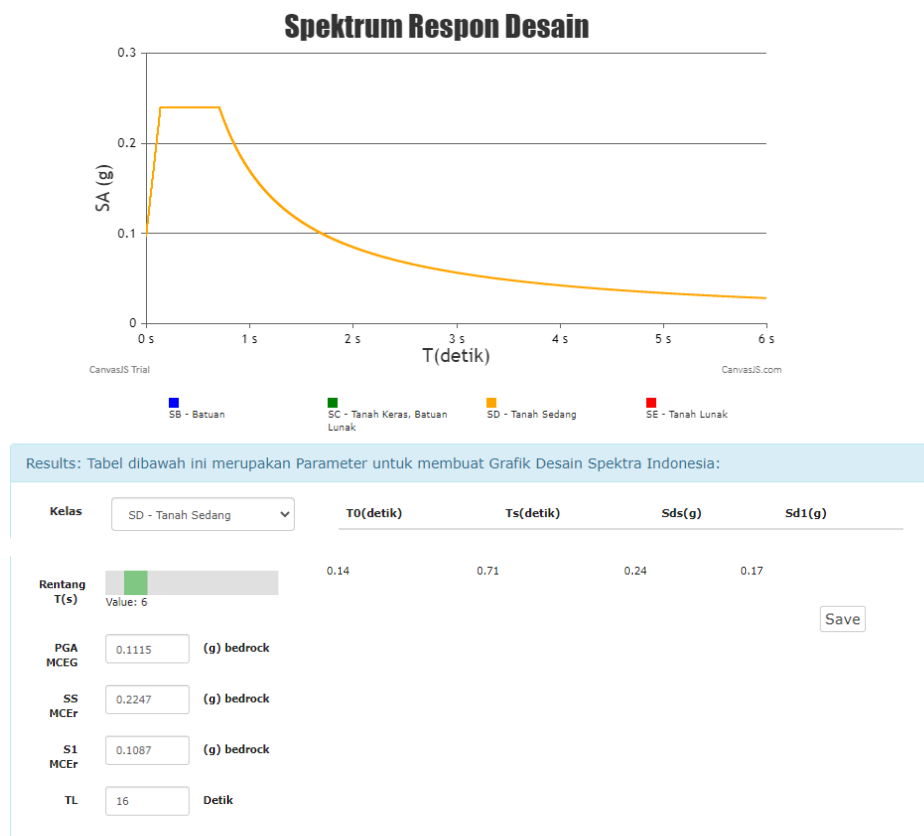
Beban Hidup		Tereduksi
Penggunaan	Lo	KLL
	kN/m ²	
R. Pasien	1,92	1,0354
Koridor Lt.1	4,79	2,5831
Koridor diatas lantai 1	3,83	2,0654
R. Operasi	2,87	1,5477
R. Manajemen	2,4	1,2942
Lobi	4,79	2,5831
Roof Tank	15	8,0890
Gudang/R.Mesin	4,79	2,5831
Balkon	3,83	2,0654
Atap	0,96	0,5177

Tabel 5.2 Beban Hidup Eksterior

Beban Hidup		Tereduksi
Penggunaan	Lo	KLL
	kN/m ²	
R. Pasien	1,92	1,0354
Koridor Lt.1	4,79	2,5831
Koridor diatas lantai 1	3,83	2,0654
Balkon	3,83	2,0654
Atap	0,96	0,5177

c. Beban Gempa

Berdasarkan <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> klasifikasi beban gempa yang berada di Makassar dengan keadaan tanah sedang didapatkan grafik respon spektrum dan data gempa seperti pada Gambar 5.2 dibawah ini.



Gambar 5.2 Grafik Respon Spektrum dan Data Gempa Kota Makassar

Setelah didapat data-data diatas, selanjutnya dilakukan perhitungan beban gempa sebagai berikut ini.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- a. Kategori resiko bangunan = IV
- b. I_e = 1,5
- c. KDS = C
- d. R = 8
- e. Cd = 5,5
- f. Ω = 3
- g. T_a = $C_t \times H_n^x$
 $= 0,0466 \times 25,2^{0,9}$
 $= 0,8504$ detik
- h. $T_a \text{ max}$ = $1,4 \times T_a$
 $= 1,4 \times 0,8504$
 $= 1,19$ detik
- i. T SAP kondisi retak = 1,7 detik
- j. C_{s1} = $\frac{SD_{sr}}{R \times I_e}$
 $= \frac{0,24}{8 \times 1,5}$
 $= 0,045$ g
- k. $C_{s \text{ max}}$ = $\frac{SD_{1r}}{T \times \frac{R}{I_e}}$
 $= \frac{0,17}{8 \times 1,5}$
 $= 0,01875$ g
- l. $C_{s \text{ min}}$ = $0,044 \times SD_{sr} \times I_e$
 $= 0,044 \times 0,24 \times 1,5$
 $= 0,01584$ g
- m. $C_{s \text{ pakai}}$ = 0,01875 g
- n. Nilai V = $C_{s \text{ Pakai}} \times W$
 $= 0,01875 \times 135642,38$
 $= 2543,294652$ kN

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

- a. Kategori resiko bangunan = IV
- b. I_e = 1,5
- c. KDS = C
- d. R = 5
- e. C_d = 4,5
- f. Ω = 3
- g. T_a = $C_t \times H_n^x$
 $= 0,0466 \times 25,2^{0,9}$
 $= 0,8504$ detik
- h. $T_a \text{ max}$ = $1,4 \times T_a$
 $= 1,4 \times 0,8504$
 $= 1,19$ detik
- i. T SAP kondisi retak = 1,33 detik
- j. C_{s1} = $\frac{SD_{sr}}{\frac{R}{I_e}}$
 $= \frac{0,24}{\frac{5}{1,5}}$
 $= 0,075$ g
- k. $C_{s \text{ max}}$ = $\frac{SD_{1r}}{T \times \frac{R}{I_e}}$
 $= \frac{0,17}{\frac{5}{1,5}}$
 $= 0,03829$ g
- l. $C_{s \text{ min}}$ = $0,044 \times SD_{sr} \times L_e$
 $= 0,044 \times 0,24 \times 1,5$
 $= 0,01584$ g
- m. $C_{s \text{ pakai}}$ = 0,03829 g
- n. Nilai V = $C_{s \text{ Pakai}} \times W$
 $= 0,03829 \times 158268,40$
 $= 6059,37138$ kN

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Beban Gempa

	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
R	8	5
Cd	5,5	4,5
Ω	3	3
T	0,8504 detik	0,8504 detik
Ta Max	1,19 detik	1,19 detik
T SAP	1,7 detik	1,33 detik
Cs1	0,045 g	0,075 g
Cs Max	0,01875 g	0,03829 g
Cs Min	0,01584 g	0,01584 g
Cs Pakai	0,01875 g	0,03829 g
Nilai V	2543,294652 kN	6059,37138 kN

5.3 Kodefikasi

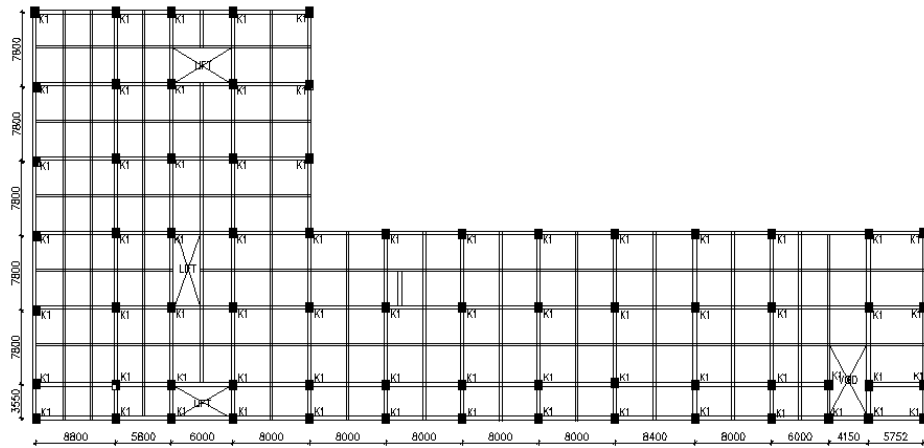
Kodefikasi adalah penamaan yang bertujuan untuk mempermudah dalam membaca gambar. Semakin kompleks suatu bangunan maka elemen strukturnya semakin beragam sehingga kodefikasi sangat berpengaruh untuk membedakan elemen.

5.3.1 Kodefikasi Pelat

Kodefikasi pada pelat dibedakan menjadi dua yaitu pelat lantai dan pelat atap yang kemudian dibagi kembali menjadi 2 yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah tetapi pada perancangan ini semua pelat masuk kedalam pelat dua arah. Berikut ini merupakan gambar kodefikasi pelat.

5.3.3 Kodefikasi Kolom

Kolom dibedakan menjadi dua yaitu kolom external dan kolom internal, tetapi pada perancangan ini kolom dibedakan sesuai dengan beban yang ditopang. Berikut ini merupakan gambar kodefikasi kolom.



Gambar 5.5 Kodefikasi Kolom

Keterangan:

- K1 Lt 1-3 : Kolom 1 Lantai 1 - 3
- K1 Lt 4-5 : Kolom 1 Lantai 4 - 5
- K1 Lt Atap : Kolom 1 Lantai Atap

5.4 Estimaasi Dimensi Struktur

Untuk merancang suatu struktur diperlukan perhitungan-perhitungan yang perlu diperhatikan, salah satunya yaitu dimensi elemen struktur. Berikut merupakan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan dimensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

5.4.1 Estimasi Dimensi Pelat

Pelat dibedakan menjadi dua yaitu pelat lantai dan pelat atap selain itu pelat dibagi menjadi pelat satu arah dan pelat dua arah tetapi pada perancangan ini semua pelat masuk kedalam pelat dua arah. Perhitungan estimasi pelat adalah sebagai berikut:

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- Pelat lantai lobi dua arah (PL1)

$$\frac{Ly}{Lx} = \frac{3900}{2933,33}$$

$$= 1,330$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai perbandingan antara bentang panjang dan bentang pendek sebesar 1,330 dimana nilai tersebut lebih kecil dari 2, sehingga PL1 termasuk kedalam kategori tipe pelat dua arah.

a. Menentukan nilai didapatkan rasio bentang bersih (β)

$$\begin{aligned} - L_{ny} &= L_y - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kanan}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kiri}\right) \\ &= 3900 - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar BIX}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar B6X}\right) \\ &= 3900 - \left(\frac{1}{2} \times (350 + 250)\right) \\ &= 3600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - L_{nx} &= L_x - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kanan}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar balok tumpuan kiri}\right) \\ &= 2933,333 - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar B3Y}\right) - \left(\frac{1}{2} \times \text{lebar B6Y}\right) \\ &= 2933,333 - \left(\frac{1}{2} \times (300 + 250)\right) \\ &= 2658,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \beta &= \frac{L_{ny}}{L_{nx}} \\ &= \frac{3600}{2658,33} \\ &= 1,354 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan rasio bentang bersih (β) pada PL1 sebesar 1,354.

b. Menentukan nilai kekakuan (αm)

$$\begin{aligned} - X_{m1} &= \frac{E b_1 \times I b_1}{E p_1 \times I p_1} = \frac{\frac{1}{12} \times 300 \times 500^3}{\frac{1}{12} \times 3900 \times 125^3} \\ &= 4,923 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - X_{m2} &= \frac{E b_1 \times I b_1}{E p_2 \times I p_2} = \frac{\frac{1}{12} \times 350 \times 650^3}{\frac{1}{12} \times 2933,33 \times 125^3} \\ &= 16,777 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - X_{m3} &= \frac{E b_2 \times I b_2}{E p_1 \times I p_1} = \frac{\frac{1}{12} \times 250 \times 400^3}{\frac{1}{12} \times 3900 \times 125^3} \\ &= 2,101 \end{aligned}$$

$$- X_{m4} = \frac{E b_2 \times I b_2}{E p_2 \times I p_2} = \frac{\frac{1}{12} \times 250 \times 400^3}{\frac{1}{12} \times 2933,33 \times 125^3}$$

$$= 2,793$$

$$- \alpha m \text{ rerata} = \frac{X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + X_{m4}}{4}$$

$$= \frac{4,923 + 16,777 + 2,101 + 2,793}{4}$$

$$= 6,648$$

Dari perhitungan diatas αm rerata didapatkan sebesar 6,648, dimana αm lebih besar dari 2 sehingga perhitungan Hmin sebagai berikut:

$$- H_{min} = L n y x \left(\frac{0,8 + \frac{F_y}{1400}}{36 + (9 \times \beta)} \right)$$

$$= L n y x \left(\frac{0,8 + \frac{F_y}{1400}}{36 + (9 \times 1,354)} \right)$$

$$= 82,177 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai Hmin sebesar 82,177 mm dan tebal pelat yang dipakai (hpakai) sebesar 130 mm. Perhitungan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sama seperti perhitungan SRPMK diatas sehingga didapat hasil seperti pada tabel rekapitulasi estimasi dimensi pelat dibawah ini.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Pelat SRPMK

No	Kode	Tipe Pelat	Hmin	Hpakai
			mm	mm
1.	PL1 Lobi	Pelat dua arah	82,177	130
2.	PL2 Koridor Lt 1	Pelat dua arah	90,428	130
3.	PL3 R. Pasien	Pelat dua arah	90,428	130
4.	PL4 R. Manajemen	Pelat dua arah	90,428	130
5.	PL5 R. Operasi	Pelat dua arah	90,428	130
6.	PL5 Rooftank	Pelat dua arah	83,121	130

Tabel 5.5 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Pelat SRPMM

No	Kode	Tipe Pelat	Hmin	Hpakai
			mm	mm
1.	PL1 Lobi	Pelat dua arah	79,689	130
2.	PL2 Koridor Lt 1	Pelat dua arah	87,983	130
3.	PL3 R. Pasien	Pelat dua arah	87,983	130
4.	PL4 R. Manajemen	Pelat dua arah	87,983	130
5.	PL5 R. Operasi	Pelat dua arah	87,983	130
6.	PL5 Rooftank	Pelat dua arah	80,637	130

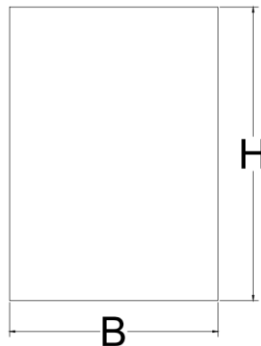
5.4.2 Estimasi Dimensi Balok

Perhitungan dimensi balok mengacu pada SNI 2847-2019, dapat dilihat pada persamaan 3.8 dan 3.9. Berikut ini merupakan langkah – langkah dalam menentukan dimensi balok

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- Balok Induk Dua Arah

Berdasarkan gambar 5.4 panjang bentang pada B1X sebesar 8800 mm. Berikut merupakan sketsa dimensi B1X dapat dilihat pada Gambar 5.6.

**Gambar 5.6 Dimensi Balok Induk Dua Arah X**

Adapun perhitungan untuk balok induk dua arah X (B1X) sebagai berikut.

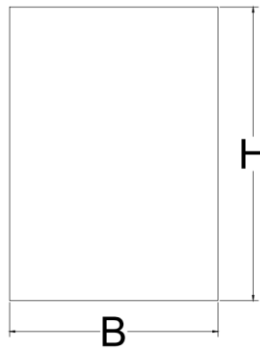
$$\begin{aligned}
 h &= \frac{1}{16} x L \\
 &= \frac{1}{16} x 8800
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 550 \text{ mm} \\
 b &= \frac{1}{2} x h \\
 &= \frac{1}{2} x 550 \\
 &= 275 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan dimensi pada B1X, dengan tinggi pakai sebesar 650 mm dan lebar (b) pakai sebesar 350 mm.

- Balok anak dua arah

Berdasarkan gambar 5.4 panjang bentang pada B6X sebesar 8800 mm. Berikut merupakan sketsa dimensi B1X dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Dimensi Balok Anak Arah X

Adapun perhitungan untuk balok anak dua arah X (B6X) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{1}{12} x L \\
 &= \frac{1}{12} x 4400 \\
 &= 366,667 \text{ mm} \\
 b &= \frac{1}{2} x h \\
 &= \frac{1}{2} x 366,667 \\
 &= 183,333 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan dimensi pada B6X, dengan tinggi pakai sebesar 400 mm dan lebar (b) pakai sebesar 250 mm. Perhitungan estimasi dimensi balok induk dan anak SRPMM sama seperti perhitungan SRPMK diatas, sehingga didapatkan nilai dimensi balok induk dan balok anak seperti pada tabel rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Induk SRPMK

NO	Kode	L	H	B	Hpakai	Bpakai
		mm	mm	mm	mm	mm
1.	B1	8800	550	275	650	350
2.	B2	8000	500	250	600	350
3.	B3	7800	487,5	243,75	500	300
4.	B4	5800	362,5	181,25	500	300
5.	B5	3550	221,9	110,94	550	300

Tabel 5.7 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Anak SRPMK

NO	Kode	L	H	B	Hpakai	Bpakai
		mm	mm	mm	mm	mm
1.	B6X	4400	366,67	183,33	400	250
2.	B6Y	3900	325	162,5	400	250

Tabel 5.8 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Induk SRPMM

NO	Kode	L	H	B	Hpakai	Bpakai
		mm	mm	mm	mm	mm
1.	B1	8800	550	275	700	450
2.	B2	8000	500	250	700	450
3.	B3	7800	487,50	243,75	600	400
4.	B4	5800	362,50	181,25	600	400
5.	B5	3550	221,88	110,94	600	400

Tabel 5.9 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok Anak SRPMM

NO	Kode	L	H	B	Hpakai	Bpakai
		mm	mm	mm	mm	mm
1.	B6X	4400	366,67	183,33	500	350
2.	B6Y	3900	325	162,50	500	350

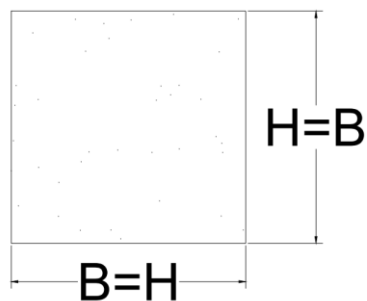
5.4.3 Estimasi Dimensi Kolom

Berdasarkan gambar 5.5 kolom dibedakan menjadi 2 yaitu K1 dan K2. Dalam menentukan dimensi kolom terdapat beberapa persamaan-persamaan yang dapat dilihat pada persamaan 3.10 hingga 3.12. Berikut ini merupakan contoh perhitungan dalam mencari dimensi kolom.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- Kolom 1 (K1)

Berdasarkan gambar 5.5 dapat diketahui letak dimensi kolom K1. Berikut merupakan sketsa dimensi K1 dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.8 Sketsa Kolom

Adapun contoh perhitungan untuk kolom (K1) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P \text{ Lantai} &= P \text{ lantai total} \\
 &= 47,465 + 33,070 + 44,636 + 658,704 + 37,972 \\
 &= 821,850 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Atap} &= P \text{ atap total} \\
 &= 47,465 + 33,070 + 44,639 + 359,472 \\
 &= 484,646 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u \text{ Lantai} &= P \text{ lantai} \times \text{jumlah lantai} \\
 &= 821,850 \times 1 \\
 &= 821,850 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u \text{ Atap} &= P \text{ atap} \times \text{jumlah lantai} \\
 &= 484,646 \times 1 \\
 &= 484,646 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u \text{ Maks} &= P_u \text{ Lantai} + P_u \text{ Atap} \\
 &= 821,850 + 484,646 \\
 &= 1306,496 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_g \text{ perlu} &= \frac{P_u}{\frac{1}{3} \times F_c'} \\
 &= \frac{1306,496}{\frac{1}{3} \times 30} \\
 &= 0,13065 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B=H \text{ Perlu} &= \sqrt{A_g \text{ Perlu}} \\
 &= \sqrt{0,13065} \\
 &= 0,361 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B=H \text{ Pakai} &= 0,65 \text{ m} \\
 &= 650 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek penampang terhadap lebar maksimum.

$$B \text{ min} = 350 \text{ mm}$$

$$B \text{ min} < B=H \text{ kolom}$$

$$350 \text{ mm} < 650 \text{ mm} \quad (\text{Sesuai})$$

Perhitungan estimasi dimensi kolom SRPMM sama seperti perhitungan diatas, sehingga didapatkan nilai estimasi dimensi kolom sesuai dengan tabel rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Dimensi Kolom SRPMK

No	Kode	H pakai	B pakai
		mm	mm
1.	K1	0,65	0,65
2.	K2	0,65	0,65

Tabel 5.11 Rekapitulasi Dimensi Kolom SRPMM

No	Kode	H pakai	B pakai
		mm	mm
1.	K1	0,65	0,65
2.	K2	0,65	0,65

5.5 Kombinasi Pembebanan

Hal – hal yang perlu dilakukan dalam kombinasi bangunan adalah sebagai berikut ini.

- a. Menghitung kombinasi pembebanan

Adapun 19 beban kombinasi pembebanan yang diinput kedalam SAP 2000 sesuai dengan ketentuan yang tertera dalam SNI 1726-2019 yaitu:

1. Comb 1 = 1,4D
2. Comb 2 = 1,2D + 1,6L + 0,5 Lr
3. Comb 3 = 1,2D + 1L + 1,6 Lr
4. Comb 6.1 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₁ + L
5. Comb 6.2 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₂ + L
6. Comb 6.3 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₃ + L
7. Comb 6.4 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₄ + L
8. Comb 6.5 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₅ + L
9. Comb 6.6 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₆ + L
10. Comb 6.7 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₇ + L
11. Comb 6.8 = (1,2 + 0,2Sds) D + 1ρE₈ + L
12. Comb 7.1 = (0,9 + 0,2Sds) D + 1ρE₁

13. Comb 7.2 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_2$
 14. Comb 7.3 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_3$
 15. Comb 7.4 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_4$
 16. Comb 7.5 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_5$
 17. Comb 7.6 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_6$
 18. Comb 7.7 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_7$
 19. Comb 7.8 = $(0,9 + 0,2Sds) D + 1\rho E_8$

Agar mempermudah dalam menginput kedalam SAP 2000, maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu sesuai dengan Sds pada kombinasi 6 dan 7. Nilai Sds diambil dari perhitungan respon spektrum.

$$Sds = 0,24 g$$

$$\rho = 1,0$$

Nilai ρ sebesar 1 karena memenuhi persyaratan SNI 1726-2020 Tabel 15 karena tidak lebih dari 33%. Dimana, portal arah Y terjadi sendi plastis di satu buah balok tunggal akan mengurangi kekuatan tingkat maksimum 3%, sedangkan pada portal arah X terjadi sendi plastis di satu buah balok tunggal akan mengurangi kekuatan tingkat maksimum 1%.

Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Comb 6

Comb	Nilai Dasar						
	D	0,2 Sds D	D Total	Adead	Ex	Ey	L
6.1	1,2	0,048	1,248	1,248	0,3	1	1
6.2	1,2	0,048	1,248	1,248	0,3	-1	1
6.3	1,2	0,048	1,248	1,248	-0,3	1	1
6.4	1,2	0,048	1,248	1,248	-0,3	-1	1
6.5	1,2	0,048	1,248	1,248	1	0,3	1
6.6	1,2	0,048	1,248	1,248	-1	0,3	1
6.7	1,2	0,048	1,248	1,248	1	-0,3	1
6.8	1,2	0,048	1,248	1,248	-1	-0,3	1

Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Comb 7

Comb	Nilai Dasar					
	D	0,2 Sds D	D Total	Adead	Ex	Ey
7.1	0,9	0,048	0,852	0,852	0,3	1
7.2	0,9	0,048	0,852	0,852	0,3	-1
7.3	0,9	0,048	0,852	0,852	-0,3	1
7.4	0,9	0,048	0,852	0,852	-0,3	-1
7.5	0,9	0,048	0,852	0,852	1	0,3
7.6.	0,9	0,048	0,852	0,852	-1	0,3
7.7	0,9	0,048	0,852	0,852	1	-0,3
7.8	0,9	0,048	0,852	0,852	-1	-0,3

5.6 Analisis Struktur

5.6.1 Kodefikasi Balok dan Kolom

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam memberikan kombinasi pada balok dan kolom kedalam SAP 2000.

- Input material yang digunakan kedalam SAP 2000.

1. Klik: *Define* → *Material*
2. Klik: *Add New Material*

Input 3 material yaitu beton, baja tulangan F_y 420 Mpa dan baja tulangan F_y 240 Mpa.

3. Membuat penampang balok, kolom dan pelat tangga sesuai dengan dimensi yang sudah ditentukan.

Klik: *Define* → *Section Properties* → *Frame Section* → *Add New Properties*.

4. Tulis nama yang sesuai pada bagian *section name* dan input data sesuai dengan data berikut ini.

Tabel 5.14 Dimensi Balok, Kolom dan Tangga

Kodefikasi	B (mm)	H (mm)
B1X	350	650
B2X	350	600
B3Y	300	500
B4X	300	500
B1Y	350	650
B5Y	300	500
B4Y	300	500
B6X	250	400
B6Y	250	400
B7Y	200	400
K1	650	650
K2	650	650
Pelat Tangga	300	130

Contoh pengisian data frame section properties pada BIX sebagai berikut ini.

- Isi *section name* dengan balok atau kolom yang akan diinput seperti B1X.
- Isi dimesi sesuai dengan yang telah ditentukan yaitu 0,65 x 0,35 m.
- Klik *concrete reinforcement*.
- Isi bagian *rebar material* dimana, *Longitudinal bars* merupakan tulangan pokok (F_y 420), dan *confirnement bars* merupakan tulangan sengkang (f_y 240).
- Pilih *design type beam* untuk balok.
- Isi bagian *concrete cover to longitudinal rebar center* (tebal selimut beton) sebesar 0,06 m.
- Klik OK apabila langkah-langkah diatas telah dilakukan, maka properti B1X telah jadi. Untuk menambahkan penampang balok yang lain maka klik *add copy property* dan ubah bagian dimensi (*depth* dan *width*) sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya.

- Untuk pengisian data *frame section properties* pada kolom, klik *add new properti* lalu isi bagian *section name* seperti (K1) dan dimensi sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya (1 x 0,8).
 - Setelah itu klik *concrete reinforcement* pada bagian *rebar material* isi tulangan pokok (Fy 420) dan tulangan sengkang (Fy 240).
 - Pada *design type*, klik *coloumn* untuk kolom dan pada bagian *reinforcement configuration* pilih *rectangular*.
 - *Clear cover for confinement bars* (selimut beton) sebesar 0,04 mm. setelah langkah-langkah diatas telah dilakukan klik OK, maka properti K1 telah jadi. Untuk menambahkan penampang kolom yang lain maka klik *add copy property* dan ubah bagian dimensi (*depth* dan *width*) sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya.
 - Untuk pengisian data *frame section properties* pada pelat tangga, klik *add new properti* lalu pilih *rectangular*.
 - Untuk pelat tangga, isi bagian *section name* dengan nama “Pelat Tangga” dan input dimensi sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya (0,3 x 1,4).
 - Setelah itu klik *concrete reinforcement* pada bagian *rebar material* isi tulangan pokok (Fy 420) dan tulangan sengkang (Fy 240).
 - Pada *design type*, klik *beam* untuk pelat tangga.
 - Isi pada bagian *concrete cover long to longitudinal rebar center* (selimut beton) sebesar 0,04 mm. setelah langkah-langkah diatas telah dilakukan klik OK, maka *properti* pelat tangga telah jadi.
5. Membuat penampang pelat lantai dan pelat atap dengan menyesuaikan dimensi sesuai yang sudah dirancang sebelumnya. Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan penampang pelat lantai dan pelat atap:
- a. Pelat Lantai
- Klik: *Define* → *Section Properties* → *Area Section* → *Add New Section*.
- Untuk membuat pelat lantai, langkah awah yang dilakukan adalah mengisi nama pada *section name* dengan nama “Pelat Lantai”. Pilih tipe pelat *shell-thin* lalu isi material beton (F’c 30 Mpa).
 - Isi bagian *thickness* dengan ketebalan pelat sebesar 0,13 m lalu klik OK.

b. Pelat Atap

- Untuk membuat pelat atap, langkah awal yang dilakukan adalah mengisi nama pada *section name* dengan nama "Pelat Atap". Pilih tipe pelat *shell-thin* lalu isi material beton ($F'c$ 30 Mpa).
- Isi bagian *thickness* dengan ketebalan pelat sebesar 0,13 m lalu klik OK.

5.6.2 Pemodelan Struktur

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam memodelkan struktur dalam SAP 2000.

SAP 2000 → *New Model* → Pilih Satuan Kn,m,c → *3D Frame*

- Isi bagian *open frame bulding dimension* sesuai dengan denah rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Isi 6 Pada bagian *number of stories* sesuai dengan jumlah lantai. *Number of bays* arah X sebesar 8 dan *Number of bays* Y sebesar 5. Untuk *bay width* arah X sebesar 8 dan *bay width* Y sebesar 7,8. Setelah semua telah terisi maka klik OK.
- *Edit grid* agar sesuai dengan rencana.
- Membuat balok anak dan balok balkon dengan *repliacate* sehingga hasil pemodelan akan menjadi seperti gambar dibawah ini.
- Mendefinisikan balok dan kolom sesuai ketentuan yang telah dibuat sebelumnya kedalam SAP 2000.

Klik: *Define* → *Section Properties* → *Frame Section*.

- Selanjutnya aplikasikan penampang kolom balok dan pelat sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan.

Klik: *Select kolom atau balok* → *Assign* → *frame* → *frame section*.

- Pada dasarnya tumpuan pondasi yang akan digunakan adalah sendi karena goyangan struktur ketika ada beban gempa akan menjadi goyangan *beam sway* (goyangan balok). *Beam sway* akan terjadi ketika kolom bagian dasar, atas *pilecap* terjadi sendi plastis. Sehingga pada dasar kolom pada lantai satu diasumsikan sebagai tumpuan sendi bukan tumpuan jepit, karena diharapkan *beam sway* (goyangan balok) ketika struktur mengalami goyangan gempa yang besar. Ketika terjadi beban gempa kecil maka kolom belum terjadi sendi plastis (tidak mengalami

retak), kolom masih baik-baik saja dan penampang masih utuh tidak ada rotasi yang cukup besar pada bangunan, akibatnya pada fase pertama bangunan masih bekerja seperti kantilever tanpa terjadi *swing*. Namun, ketika kolom sudah mengalami sendi plastis maka akan terjadi *beam sway* (goyangan balok) yang kemudian akan menimbulkan efek *Strong Coloumn With Beam* (sendi-sendi plastis pada area balok induk) yang diharapkan mampu menyerap beban gempa. Berikut ini merupakan langkah-langkah memberi tumpuan jepit pada SAP 2000.

Klik: *Assign* → *Joint* → *Restraints*.

b. Berikut ini merupakan langkah-langkah input pembebanan kedalam SAP 2000.

- Input *load patterns*: Klik: *Define* → *Load Pattern*.

• *Dead* → *Type = Dead* → *Self Weight = 1 (modify)*

• *Adead* → *Type = Dead* → *Self Weight = 0 (add)*

• *Live* → *Type = Live* → *Self Weight = 0 (add)*

• *Live Roof* → *Type = Live Roof* → *Self Weight = 0 (add)*

- Input beban mati dan beban hidup. Berikut ini langkah-langkah memilih tipe pelat yang akan diberi beban.

Klik: *Select* → *Area Section* → *Klik arean section yang akan diselect.*

- Input beban sesuai dengan pelat yang sudah dipilih.

Klik: *Assign* → *Area Loads* → *Uniform to Frame (shell)*.

- Input beban mati setelah itu ulangi untuk pembebanan beban hidup.

- Masukkan beban dinding perimeter.

Klik: *Select* balok yang akan diberi dinding perimeter → *Assign*

Frame Load → *Distributed*.

c. Menginput *I-Crack*, Diafragma, Periode Getaar Bangunan dan Torsi Tak

Terduga.

1. *I-Crack*

I-crack berfungsi untuk mensimulasikan penampang retak dari struktur yang sudah dibuat sebelumnya. *I-crack* disiapkan agar apabila terjadi beban gempa yang besar, struktur masih bisa terjadi sendi-sendi plastis. Sendi plastis merupakan kondisi struktur yang mengalami kondisi plastis atau tulangnya sudah leleh dan kondisinya berubah dari hampir jepit berubah menjadi sendi. Berdasarkan kaidah

SNI 2847-2019, Tabel 6.6.3.1.1 (a) cara memodelkan *I-crack* adalah mengalikannya dengan faktor reduksi.

Tabel 5.15 Momen Inersia

Modulus Elastis	E_c
Momen Inersia	
Balok	0,35 I
Kolom	0,70 I
Dinding: - Tak Retak	0,70 I
- Retak	0,35 I
Pelat dasar dan Lantai Dasar	0,25 I
Luas	1,0 A_g

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam SAP 2000.

- Berikut ini merupakan langkah—langkah dalam mengubah inersia balok.

Klik: *Define* → *Section Propertie* → *Frame Section* → Pilih Balok
→ *Modify* → *Set Modify* Isi → bagi inersia balok sebesar 0,35.

- Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam mengubah inersia kolom.

Klik: *Define* → *Section Propertie* → *Frame Section* → Pilih Balok
Modify → *Set Modify* → Isi bagian inersia balok sebesar 0,7.

2. Periode Getaran Bangunan

Periode pada tiap-tiap bangunan berbeda tergantung seperti apa struktur bangunan yang didesain. Setelah dilakukan analisis menggunakan SAP 2000 maka, periode getaran (T_{sap}) akan dibandingkan dengan periode natural (T). Periode getar bangunan merupakan periode getar alami dari sebuah bangunan yang diprediksi apabila periode getaran sama dengan periode natural maka bangunan akan beresonansi dengan getaran tersebut. Berikut ini merupakan ketentuan-ketentuan untuk menentukan nilai T yaitu:

- Apabila $T_c > C_u T_a$, digunakan $T = C_u T_a$
- Apabila $T_a < T_c < C_u T_a$, digunakan $T = T_c$
- Jika $T_c < T_a$, digunakan $T = T_a$

Berikut ini merupakan data-data yang diperoleh dari analisis SAP 2000.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

T I-Crack (SAP)	= 1,26 detik
T tanpa I-Crack (SAP)	= 1,7 detik
Ta min	= $C_t h_n^x$ = $0,466 \times (25,2^{0,9})$ = 0,850 detik
Cu	= 1,4 karena $S_d1 \geq 0,4$
Ta max	= $1,4 \times Ta$ = 1,19 detik

Berdasarkan perhitungan diatas sehingga dapat disimpulkan bahwa $T_c > CuTa$, maka periode yang digunakan adalah 1,19 detik. Perhitungan periode pada SRPMM sama seperti perhitungan diatas.

Keterangan: nilai Cu, Ct dan x didapat dari tabel 3.23 dan 3.24.

3. Torsi Tidak Terduga

Torsi tidak terduga terjadi berasal dari adanya eksentrisitas antara pusat masa dengan pusat kekakuan. Hal tersebut terjadi karena jika terjadi goyangan struktur akibat gempa maka struktur penahan gaya seismik atau penampang kolom akan mengalami keretakan. Sehingga akan mengakibatkan perubahan antara pusat masa dan pusat kekakuan lantai. Torsi tidak terduga dimodelkan dengan menggeser pusat masa permasing-masing lantai sejauh 5% dari dimensi struktur yang tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan. Pergeseran pusat masa terjadi untuk mengakomodasi inersia crack. Berikut ini langkah-langkah untuk mengetahui gaya geser dalam SAP 20000:

- Klik : Define → Load Patterns → Isi bagian Ex dan Ey Static
Quake → User → Load.
- Langkah selanjutnya klik: Modify Lateral Load Patter → Apply at
Center of Mass → Additional Ecc.Ratio : 5%.

5.7 Kontrol Persyaratan Bangunan

Untuk memodelkan suatu struktur perlu dilakukan kontrol persyaratan bangunan sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada SNI 1726-2019 yang dapat dilihat pada tabel 3.26.

1. Ketidakberaturan Vertikal

Berikut ini merupakan Ketidakberaturan vertikal dan horizontal tipe 1: kekakuan tingkat, dan kekakuan tingkat berlebih.

Tabel 5.16 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 Arah X

Lantai	Z	F _x	F _x Akumulatif	U ₂	Δi	K	Cek		Cek	
	(mm)	(kN)	V _z (kN)	(mm)	(mm)	(Kn/m)	70%K _{i+1}	Status	80%(avgK _{i+3})	Status
6	21000	1	1	17,217	1,230	0,813	0,000	Regular	0,000	Regular
5	16800	1	2	15,986	2,236	0,894	0,569	Regular	0,650	Regular
4	12600	1	3	13,750	3,179	0,944	0,626	Regular	0,683	Regular
3	8400	1	4	10,572	3,889	1,029	0,661	Regular	0,707	Regular
2	4200	1	5	6,683	4,098	1,220	0,720	Regular	0,764	Regular
1	0	1	6	2,585	2,585	2,321	0,854	Regular	0,851	Regular

Tabel 5.17 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 Arah Y

Lantai	Z	Fx	Fx Akumulatif	U2	Δi	K	Cek		Cek	
	(mm)	(kN)	Vz (kN)	(mm)	(mm)	(Kn/m)	70%Ki+1	Status	80%(avgKi+3)	Status
6	21000	1	1	20,909	1,822	0,549	0,000	Regular	0,000	Regular
5	16800	1	2	19,087	2,918	0,685	0,384	Regular	0,439	Regular
4	12600	1	3	16,169	3,953	0,759	0,480	Regular	0,494	Regular
3	8400	1	4	12,217	4,688	0,853	0,531	Regular	0,532	Regular
2	4200	1	5	7,529	4,752	1,052	0,597	Regular	0,613	Regular
1	0	1	6	2,777	2,777	2,161	0,737	Regular	0,711	Regular

Tabel 5.18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah X

Lantai	Z	F _x	F _x Akumulatif	U ₂	Δ <i>i</i>	K	Cek		Cek	
	(mm)	(kN)	V _z (kN)	(mm)	(mm)	(Kn/m)	70% K _{i+1}	Status	80%(avgK _{i+3})	Status
6	21000	1	1	13,752	0,976	1,025	0,000	Regular	0,000	Regular
5	16800	1	2	12,776	1,785	1,120	0,717	Regular	0,820	Regular
4	12600	1	3	10,991	2,533	1,184	0,784	Regular	0,858	Regular
3	8400	1	4	8,459	3,092	1,294	0,829	Regular	0,888	Regular
2	4200	1	5	5,367	3,263	1,532	0,906	Regular	0,960	Regular
1	0	1	6	2,103	2,103	2,853	1,073	Regular	1,069	Regular

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a arah Y

Lantai	Z	F _x	F _x Akumulatif	U ₂	Δi	K	Cek		Cek	
	(mm)	(kN)	V _z (kN)	(mm)	(mm)	(Kn/m)	70%K _{i+1}	Status	80%(avgK _{i+3})	Status
6	23000	1	1	16,238	1,419	0,705	0,000	Regular	0,000	Regular
5	17800	1	2	14,818	2,271	0,881	0,493	Regular	0,564	Regular
4	13600	1	3	12,548	3,059	0,981	0,617	Regular	0,634	Regular
3	9400	1	4	9,489	3,612	1,108	0,686	Regular	0,684	Regular
2	5200	1	5	5,877	3,671	1,362	0,775	Regular	0,792	Regular
1	0	1	6	2,206	2,206	2,720	0,953	Regular	0,920	Regular

- Berikut ini merupakan Ketidakberaturan Vertikal tipe 2: Massa (Berat).
- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 SRPMK

Joint	Berat	Cek	
lantai	W (kN)	150% W_{i+1}	Status
6	18847,369	0,000	Regular
5	23359,002	28271,054	Regular
4	23359,002	35038,504	Regular
3	23359,002	35038,504	Regular
2	23359,002	35038,504	Regular
1	23359,002	35038,504	Regular
Total	135642,381		

- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Tabel 5.21 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 SRPMM

Joint	Berat	Cek	
lantai	W (kN)	150% W_{i+1}	Status
6	22698,414	0,000	Regular
5	27113,998	34047,621	Regular
4	27113,998	40670,997	Regular
3	27113,998	40670,997	Regular
2	27113,998	40670,997	Regular
1	27113,998	40670,997	Regular
Total	158268,404		

➤ Berikut ini merupakan Ketidakberaturan Vertikal tipe 3: Geometri Vertikal.

Tabel 5.22 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah X SRPMK

Joint lantai	Δ_i (m)	Δ_i/Δ_{i+1}	Status
6	92,9	0,000	-
5	92,9	120,77	Regular
4	92,9	120,77	Regular
3	92,9	120,77	Regular
2	92,9	120,77	Regular
1	92,9	120,77	Regular

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah Y SRPMK

Joint lantai	Δ_i (m)	Δ_i/Δ_{i+1}	Status
6	42,55	0,000	-
5	42,55	55,315	Regular
4	42,55	55,315	Regular
3	42,55	55,315	Regular
2	42,55	55,315	Regular
1	42,55	55,315	Regular

Tabel 5.24 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah X SRPMM

Joint lantai	Δ_i (m)	Δ_i/Δ_{i+1}	Status
6	92,9	0,000	-
5	92,9	120,77	Regular
4	92,9	120,77	Regular
3	92,9	120,77	Regular
2	92,9	120,77	Regular
1	92,9	120,77	Regular

Tabel 5.25 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah Y SRPMM

Joint lantai	Δ_i (m)	Δ_i/Δ_{i+1}	Status
6	42,55	0,000	-
5	42,55	55,315	Regular
4	42,55	55,315	Regular
3	42,55	55,315	Regular
2	42,55	55,315	Regular
1	42,55	55,315	Regular

➤ Untuk ketidakberaturan tipe 4 yaitu diskontinuitas bidang vertikal pemikul gaya lateral merupakan regular karena tidak dijumpai kolom portal yang diskontinuitas dari atap hingga pilecap.

➤ Berikut ini merupakan Ketidakberaturan Vertikal type 5: tingkat lemah.

- Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Ta1 = 0,850 detik

Ta2 (CuTa) = 1,19 detik

Ta SAP2000 (Icrack) = 1,7 detik

Ta SAP2000 (Crack) = 1,26 detik

Ta Icrack berfungsi untuk mensimulasikan penampang retak dari struktur yang sudah rancang sebelumnya. Icrack disiapkan agar apabila terjadi beban gempa yang besar, struktur masih bisa terjadi sendi-sendi plastis.

$$T_a \text{ diambil} = 1,19 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} K_2 &= K_1 + (T_2 - T_1)/2 \\ &= 1 + ((1,26 - 0,5)/(2,5 - 0,5) \times (2 - 1)) \\ &= 1,38 \end{aligned}$$

Perhitungan Ketidakberaturan Vertikal tipe 5 SRPMM sama seperti perhitungan diatas, sehingga didapat nilai sesuai dengan tabel rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 5.26 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5 SRPMK

Lantai	W (kN)	h	K	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
6	18847,369	21	1,38	1258674,315	0,332	0,332	0,000	Regular
5	23359,002	16,8	1,38	1146518,588	0,303	0,635	1,911	Regular
4	23359,002	12,6	1,38	770842,487	0,204	0,839	1,320	Regular
3	23359,002	8,4	1,38	440513,991	0,116	0,955	1,139	Regular
2	23359,002	4,2	1,38	169253,755	0,045	1,000	1,047	Regular
1	23359,002	0	1,38	0,000	0,000	1,000	1,000	Regular
Total	135642,381							
Berat SAP	133122,568							
Error (%)	1,858							

Tabel 5.27 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5 SRPMM

Lantai	W (kN)	h	K	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
6	22698,414	21	1,239	987241,831	0,324	0,324	0,000	Regular
5	27113,998	16,8	1,239	894407,758	0,294	0,617	1,906	Regular
4	27113,998	12,6	1,239	626206,717	0,205	0,823	1,333	Regular
3	27113,998	8,4	1,239	378890,955	0,124	0,947	1,151	Regular
2	27113,998	4,2	1,239	160506,609	0,053	1,000	1,056	Regular

Lanjutan Tabel 5.27 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5 SRPMM

Lantai	W (kN)	h	K	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
1	27113,998	0	1,239	0,000	0,000	1,000	1,000	Regular
Total	158268,404							
Berat SAP	157252,807							
Error (%)	0,642							

2. Ketidakberaturan Horizontal

Dalam mendesain suatu struktur kategori desain seismik sebagaimana yang tertera pada SNI 1726-2019, harus memenuhi ketentuan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam Gambar 3.25.

a. Ketidakberaturan Horizontal Type 1: Torsi

Tabel 5.28 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ex SRPMK

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	ΔAvg	ΔMax	$\frac{\Delta Max}{\Delta Avg}$	Status
6	0,009	0,011	0,001	0,001	0,001	0,001	1,145	Regular
5	0,008	0,010	0,001	0,002	0,001	0,002	1,130	Regular
4	0,007	0,009	0,002	0,002	0,002	0,002	1,127	Regular
3	0,005	0,007	0,002	0,003	0,002	0,003	1,125	Regular
2	0,003	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003	1,118	Regular
1	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	1,096	Regular

Tabel 5.29 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ey SRPMK

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	ΔAvg	ΔMax	$\Delta Max / \Delta Avg$	Status
6	0,012	0,015	0,001	0,001	0,001	0,001	1,097	Regular
5	0,011	0,013	0,002	0,002	0,002	0,002	1,097	Regular
4	0,009	0,011	0,002	0,003	0,003	0,003	1,109	Regular
3	0,007	0,008	0,003	0,003	0,003	0,003	1,109	Regular
2	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	1,104	Regular
1	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	1,085	Regular

Tabel 5.30 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ex SRPMM

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	ΔAvg	ΔMax	$\Delta Max / \Delta Avg$	Status
6	0,011	0,014	0,001	0,001	0,001	0,001	1,142	Regular
5	0,010	0,013	0,002	0,002	0,002	0,002	1,127	Regular
4	0,009	0,011	0,002	0,003	0,002	0,003	1,125	Regular
3	0,007	0,008	0,002	0,003	0,003	0,003	1,123	Regular
2	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	1,117	Regular
1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	1,093	Regular

Tabel 5.31 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Arah Ey SRPMM

Lantai	δA	δB	ΔA	ΔB	ΔAvg	ΔMax	$\Delta Max / \Delta Avg$	Status
6	0,014	0,017	0,001	0,002	0,002	0,002	1,085	Regular
5	0,013	0,016	0,002	0,003	0,002	0,003	1,098	Regular
4	0,011	0,013	0,003	0,003	0,003	0,003	1,113	Regular
3	0,008	0,010	0,003	0,004	0,004	0,004	1,109	Regular
2	0,005	0,006	0,003	0,004	0,003	0,004	1,106	Regular
1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	1,082	Regular

b. Ketidakberaturan Horizontal Type 2: Sudut Dalam

Karena layout gedung asimetris tipe L dan memiliki sudut dalam, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketidakberaturan horizontal type 2 dalam kondisi irreguler.

➤ Arah X

$$L_x = 92,9 \text{ m}$$

$$P_x = 64,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} 15\% \times L_x &= 15\% \times 92,9 \text{ m} \\ &= 13,935 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Status} = \text{Irreguler (karena yang terjadi } 64,3 \text{ m)}$$

➤ Arah Y

$$L_y = 42,55 \text{ m}$$

$$P_y = 23,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} 15\% \times L_y &= 15\% \times 42,55 \text{ m} \\ &= 6,3825 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Status} = \text{Irreguler (karena yang terjadi } 23,4 \text{ m)}$$

➤ Ketidakberaturan Horizontal Type 3: Diskontinuitas Diaphragm

$$A \text{ Void Total} = 99,02 \text{ m}^2$$

$$A \text{ Luas Diaphragma} = 2383,84 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A \text{ Void} &= \left(\frac{99,02}{2383,84} \right) \times 5\% \\ &= 4,15\% \end{aligned}$$

$$\text{Status} = \text{Reguler (Karena lebih dari } 5\%)$$

➤ Ketidakberaturan Horizontal Type 4: pergeseran tegak lurus

Karena gedung yang dirancang tegak lurus sehingga termasuk kedalam reguler.

➤ Ketidakberaturan Horizontal Type 5: non paralel

Karena gedung yang dirancang merupakan paralel maka termasuk kedalam reguler.

Berikut ini merupakan rekapitulasi ketidakberaturan horizontal yaitu:

**Tabel 5.32 Rekapitulasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4 dan Tipe 5
SRPMK**

Rekapitulasi Ketidakberaturan	
Type	Horizontal
1	Regular
2	Regular
3	Regular
4	Regular
5	Regular
6	Regular

**Tabel 5.33 Rekapitulasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4 dan Tipe 5
SRPMM**

Rekapitulasi Ketidakberaturan	
Type	Horizontal
1	Regular
2	Regular
3	Regular
4	Regular
5	Regular
6	Regular

c. Analisis Model Respon Spektrum

Berikut merupakan langkah-langkah dalam menganalisis beban model spektrum untuk beban gempa dinamik.

1. Mendefinisikan Respon Spektrum

Diketahui data perhitungan respon spektrum:

Ss : 0,2247

S1 : 0,1087
 Tl : 16 detik
 Kelas Situs : C

2. Medefinisikan Load Case Respon Spektrum

Diketahui:

- Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

$$\begin{aligned}
 I &= 1,5 \\
 R &= 8 \\
 \text{Scale Factor } \left(\frac{I}{R}\right) &= \frac{1,5}{8} \\
 &= 0,1875 \text{ g} \\
 &= 0,1875 \times 9,81 \\
 &= 1,839
 \end{aligned}$$

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

$$\begin{aligned}
 I &= 1,5 \\
 R &= 5 \\
 \text{Scale Factor } \left(\frac{I}{R}\right) &= \frac{1,5}{5} \\
 &= 0,3 \text{ g} \\
 &= 0,3 \times 9,81 \\
 &= 2,943
 \end{aligned}$$

3. Input Modal Analisis

4. Cek Model Combination CQC

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.3. kombinasi ragam dibedakan menjadi 2 yaitu CQC (metode kombinasi kuadrat lengkap) dan SRSS (metode akar kuadrat jumlah kuadrat). Suatu struktur digolongkan CQC apabila selisih periodenya berdekatan atau kurang dari 15%. Jika selisih periode lebih dari 15% maka digolongkan SRSS.

Setelah melakukan langkah-langkah diatas maka didapatkan data-data dari hasil report nilai analisa modal dengan *number of mode* sebesar 30 sebagai berikut:

Tabel 5.34 Modal Periode dan Frekuensi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Selisih (%)	Avg
Text	Text	Unitless	Sec		
MODAL	Mode	1	1,263	8%	5%
MODAL	Mode	2	1,160	8%	
MODAL	Mode	3	1,066	63%	
MODAL	Mode	4	0,392	8%	
MODAL	Mode	5	0,360	6%	
MODAL	Mode	6	0,337	13%	
MODAL	Mode	7	0,294	23%	
MODAL	Mode	8	0,225	7%	
MODAL	Mode	9	0,210	7%	
MODAL	Mode	10	0,197	5%	
MODAL	Mode	11	0,186	9%	
MODAL	Mode	12	0,170	0%	
MODAL	Mode	13	0,169	0%	
MODAL	Mode	14	0,169	0%	
MODAL	Mode	15	0,168	0%	
MODAL	Mode	16	0,168	0%	
MODAL	Mode	17	0,168	0%	
MODAL	Mode	18	0,167	0%	
MODAL	Mode	19	0,167	1%	
MODAL	Mode	20	0,166	0%	
MODAL	Mode	21	0,166	0%	
MODAL	Mode	22	0,166	0%	
MODAL	Mode	23	0,165	0%	
MODAL	Mode	24	0,165	0%	
MODAL	Mode	25	0,165	0%	
MODAL	Mode	26	0,165	0%	
MODAL	Mode	27	0,165	0%	
MODAL	Mode	28	0,164	0%	
MODAL	Mode	29	0,164	0%	
MODAL	Mode	30	0,164	0%	

Berdasarkan tabel diatas didapatkan hasil selisih modal periode rata-rata tiap lantai sebesar 5%, yang tergolong dalam kategori yang berdekatan maka modal combinationnya termasuk kedalam type CQC (Complete Quadratic Combination).

Tabel 5.35 Modal Periode dan Frekuensi Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Selisih (%)	Avg
Text	Text	Unitless	Sec		
MODAL	Mode	1	0,978	8%	5%
MODAL	Mode	2	0,905	7%	
MODAL	Mode	3	0,842	64%	
MODAL	Mode	4	0,306	5%	
MODAL	Mode	5	0,289	2%	
MODAL	Mode	6	0,284	6%	
MODAL	Mode	7	0,267	25%	
MODAL	Mode	8	0,201	17%	
MODAL	Mode	9	0,166	5%	
MODAL	Mode	10	0,158	5%	
MODAL	Mode	11	0,150	10%	
MODAL	Mode	12	0,135	1%	
MODAL	Mode	13	0,134	0%	
MODAL	Mode	14	0,134	0%	
MODAL	Mode	15	0,133	1%	
MODAL	Mode	16	0,132	0%	
MODAL	Mode	17	0,131	1%	
MODAL	Mode	18	0,130	1%	
MODAL	Mode	19	0,129	2%	
MODAL	Mode	20	0,126	0%	
MODAL	Mode	21	0,126	0%	
MODAL	Mode	22	0,126	0%	
MODAL	Mode	23	0,126	1%	
MODAL	Mode	24	0,125	0%	
MODAL	Mode	25	0,125	0%	
MODAL	Mode	26	0,125	1%	
MODAL	Mode	27	0,124	0%	
MODAL	Mode	28	0,124	0%	
MODAL	Mode	29	0,124	0%	
MODAL	Mode	30	0,123	0%	

Berdasarkan tabel diatas didapatkan hasil selisih modal periode rata-rata tiap lantai sebesar 5%, yang tergolong dalam kategori yang berdekatan maka modal combinationnya termasuk kedalam type CQC (Complete Quadratic Combination).

d. Simpangan Antar Lantai dan Penskalaan Gaya Gempa

- Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- Contoh Perhitungan Simpangan Antar Lantai

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 S1 &= 0,109 \\
 I &= 1,5 \\
 R &= 8 \\
 W \text{ (Berat Bangunan)} &= 135642,38 \text{ kN} \\
 C_s &= \frac{0,5 \times 0,170}{\frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,016 \\
 C_s \times w &= 0,016 \times 135642,38 \\
 &= 2161,800 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

➤ Contoh perhitungan Penskalaan Gaya Gempa

$$T \text{ SAP 2000 kondisi retak} = 1,7 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
 C_{s1} &= \frac{SDsr}{\frac{R}{Ie}} \\
 &= \frac{0,24}{\frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,045 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{s \text{ max}} &= \frac{SDsr}{T \times \frac{R}{Ie}} \\
 &= \frac{0,17}{1,19 \times \frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,027 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{s \text{ pakai}} &= \frac{SDsr}{T \times \frac{R}{Ie}} \\
 &= \frac{0,17}{1,19 \times \frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,027 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai V} &= C_{s \text{ pakai}} \times \text{Berat Bangunan Total} \\
 &= 0,027 \times 135814,931 \\
 &= 3635,995 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_t R_{sx} \text{ (SAP 2000)} = 4963,1010 \text{ kN}$$

$$V_t R_{sy} \text{ (SAP 2000)} = 4351,464 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{FS Simpangan } x &= \frac{V}{V_t R_{sx}} \\ &= \frac{3635,995}{4963,101} \\ &= 0,733 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FS Simpangan } y &= \frac{V}{V_t R_{sy}} \\ &= \frac{3635,995}{4351,464} \\ &= 0,836 \end{aligned}$$

- Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

➤ Contoh Perhitungan Simpangan Antar Lantai

Diketahui:

$$S1 = 0,109$$

$$I = 1,5$$

$$R = 5$$

$$W \text{ (Berat Bangunan)} = 158268,40 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{0,5 \times 0,170}{\frac{5}{1,5}} \\ &= 0,026 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \times w &= 0,026 \times 158268,40 \\ &= 4035,844 \text{ kN} \end{aligned}$$

➤ Contoh perhitungan Penskalaan Gaya Gempa

$$T \text{ SAP 2000 kondisi retak} = 1,332 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} C_{s1} &= \frac{SD_{sr}}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,24}{\frac{5}{1,5}} \\ &= 0,072 \text{ g} \end{aligned}$$

$$C_{s \text{ max}} = \frac{SD_{sr}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,17}{1,39 \times \frac{5}{1,5}}$$

$$= 0,043 \text{ g}$$

$$\text{Cs min} = 0,044 \times \text{SDs} \times \text{Le}$$

$$= 0,044 \times 0,24 \times 1,5$$

$$= 0,016 \text{ g}$$

$$\text{Cs pakai} = \frac{SDsr}{T \times \frac{R}{le}}$$

$$= \frac{0,17}{1,39 \times \frac{5}{1,5}}$$

$$= 0,043 \text{ g}$$

$$\text{Nilai V} = \text{Cs pakai} \times \text{Berat Bangunan Total}$$

$$= 0,043 \times 158440,953$$

$$= 6786,771 \text{ kN}$$

$$\text{Vt Rsx (SAP 2000)} = 7453,291 \text{ kN}$$

$$\text{Vt Rsy (SAP 2000)} = 6585,38 \text{ kN}$$

$$\text{FS Simpangan x} = \frac{V}{Vt Rsx}$$

$$= \frac{6786,771}{7453,291}$$

$$= 0,911$$

$$\text{FS Simpangan y} = \frac{V}{Vt Rsy}$$

$$= \frac{6786,771}{6585,38}$$

$$= 1,031$$

e. Analisis Simpangan Pada Pusat Massa

Berikut merupakan contoh perhitungan simpangan antar lantai arah X.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

$$\begin{aligned}
 - U1 &= \text{simpangan antar lantai (SAP)} \times \frac{cd}{le} \\
 &= 0,025 \times 0,279 \\
 &= 0,091 \text{ m} \\
 - \Delta &= U1 \text{ lantai } x - U1 \text{ lantai } x-1 \\
 &= 0,091 - 0,080 \\
 &= 0,011 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Persamaan Δ_{ijin} ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 17.2.1 tabel 20. Untuk kategori resiko IV pada jenis semua struktur lainnya digunakan rumus Δ_{ijin} yaitu $0,010hx$. Berikut ini merupakan contoh perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 - \Delta_{ijin} &= hx \times 0,01 \\
 &= 4,2 \times 0,01 \\
 &= 0,042 \text{ m} \\
 - \text{Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)} \\
 - U1 &= \text{simpangan antar lantai (SAP)} \times \frac{cd}{le} \\
 &= 0,014 \times \frac{5,5}{1,5} \\
 &= 0,041 \text{ m} \\
 - \Delta &= U1 \text{ lantai } x - U1 \text{ lantai } x-1 \\
 &= 0,041 - 0,040 \\
 &= 0,001 \text{ m} \\
 - \Delta_{ijin} &= hx \times 0,01 \\
 &= 4,2 \times 0,01 \\
 &= 0,042 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi dari perhitungan checking simpangan antar lantai.

Tabel 5.36 Simpangan Arah X SRPMK

Lantai	Output Case	U1	F Skala	Cd/I	U1	Δ	Hx	Δ_{ijin}	ρ	Δ_{ijin}/ρ	Status
		m			m	m	m				
6	ExRs	0,025	0,279	3,667	0,091	0,011	4,2	0,042	1	0,042	OK
5	ExRs	0,022	0,279	3,667	0,080	0,014	4,2	0,042	1	0,042	OK
4	ExRs	0,018	0,279	3,667	0,066	0,017	4,2	0,042	1	0,042	OK
3	ExRs	0,013	0,279	3,667	0,049	0,018	4,2	0,042	1	0,042	OK
2	ExRs	0,008	0,279	3,667	0,031	0,018	4,2	0,042	1	0,042	OK
1	ExRs	0,004	0,279	3,667	0,013	0,013	4,2	0,042	1	0,042	OK

Tabel 5.37 Simpangan Arah Y SRPMK

Lantai	Output Case	U2	F Skala	Cd/I	U2	Δ	Hx	Δ_{ijin}	ρ	Δ_{ijin}/ρ	Status
		m			m	m	m				
6	EyRs	0,026	0,318	3,667	0,097	0,012	4,2	0,042	1	0,042	OK
5	EyRs	0,023	0,318	3,667	0,084	0,015	4,2	0,042	1	0,042	OK
4	EyRs	0,019	0,318	3,667	0,070	0,018	4,2	0,042	1	0,042	OK
3	EyRs	0,014	0,318	3,667	0,052	0,019	4,2	0,042	1	0,042	OK
2	EyRs	0,009	0,318	3,667	0,032	0,018	4,2	0,042	1	0,042	OK
1	EyRs	0,004	0,318	3,667	0,013	0,013	4,2	0,042	1	0,042	OK

Tabel 5.38 Simpangan Arah X SRPMM

Lantai	Output Case	U1	F Skala	Cd/I	U1	Δ	Hx	Δ_{ijin}	ρ	Δ_{ijin}/ρ	Status
		m			m	m	m				
6	ExRs	0,014	0,346	3	0,041	0,001	4,2	0,042	1	0,042	OK
5	ExRs	0,013	0,346	3	0,040	0,006	4,2	0,042	1	0,042	OK
4	ExRs	0,011	0,346	3	0,034	0,009	4,2	0,042	1	0,042	OK
3	ExRs	0,008	0,346	3	0,025	0,011	4,2	0,042	1	0,042	OK
2	ExRs	0,005	0,346	3	0,015	0,010	4,2	0,042	1	0,042	OK
1	ExRs	0,002	0,346	3	0,005	0,005	4,2	0,042	1	0,042	OK

Tabel 5.39 Simpangan Arah Y SRPMM

Lantai	Output Case	U1	F Skala	Cd/I	U2	Δ	Hx	Δ_{ijin}	ρ	Δ_{ijin}/ρ	Status
		m			m	m	m				
6	EyRs	0,016	0,392	3	0,049	0,003	4,2	0,042	1	0,042	OK
5	EyRs	0,015	0,392	3	0,046	0,008	4,2	0,042	1	0,042	OK
4	EyRs	0,013	0,392	3	0,038	0,010	4,2	0,042	1	0,042	OK
3	EyRs	0,009	0,392	3	0,028	0,012	4,2	0,042	1	0,042	OK
2	EyRs	0,005	0,392	3	0,016	0,011	4,2	0,042	1	0,042	OK
1	EyRs	0,002	0,392	3	0,005	0,005	4,2	0,042	1	0,042	OK

f. Pengaruh P-Delta

Berikut ini merupakan pengaruh P-Delta yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini yaitu:

Tabel 5.40 Pengaruh P-Delta Arah X SRPMK

Lt	Joint	Px	Vx	le	Cd	θ	θ_{maks}	Status 1	Status 2
	Text	kN	kN						
6	435	20359,05	1158,211	1,5	5,5	0,012	0,121	OK	NO P-delta
5	434	46957,71	2402,033	1,5	5,5	0,018	0,121	OK	NO P-delta
4	433	73556,37	3385,181	1,5	5,5	0,023	0,121	OK	NO P-delta
3	432	100155	4154,433	1,5	5,5	0,029	0,121	OK	NO P-delta
2	431	126753,7	4702,901	1,5	5,5	0,031	0,121	OK	NO P-delta
1	5	153586,5	4964,965	1,5	5,5	0,027	0,121	OK	NO P-delta

Tabel 5.41 Pengaruh P-Delta Arah Y SRPMK

Lt	Joint	Px	Vx	le	Cd	θ	θ_{maks}	Status 1	Status 2
	Text	kN	kN						
6	435	20359,05	1094,673	1,5	5,5	0,015	0,121	OK	NO P-delta
5	434	46957,71	2174,724	1,5	5,5	0,021	0,121	OK	NO P-delta

Lanjutan Tabel 5.41 Pengaruh P-Delta Arah Y SRPMK

Lantai	Joint	Px	Vx	le	Cd	θ	θ_{maks}	Status 1	Status 2
	Text	kN	kN						
4	433	73556,37	2992,681	1,5	5,5	0,028	0,121	OK	NO P-delta
3	432	100155	3632,849	1,5	5,5	0,035	0,121	OK	NO P-delta
2	431	126753,7	4109,77	1,5	5,5	0,038	0,121	OK	NO P-delta
1	5	153586,5	4344,933	1,5	5,5	0,031	0,121	OK	NO P-delta

Tabel 5.42 Pengaruh P-Delta Arah X SRPMM

Lantai	Joint	Px	Vx	le	Cd	θ	θ_{maks}	Status 1	Status 2
	Text	kN	kN						
6	5	24380,76	1689,703	1,5	4,5	0,001	0,148	OK	NO P-delta
5	456	55001,12	3560,365	1,5	4,5	0,007	0,148	OK	NO P-delta
4	447	85621,49	5091,337	1,5	4,5	0,012	0,148	OK	NO P-delta
3	442	116241,9	6282,326	1,5	4,5	0,015	0,148	OK	NO P-delta
2	437	146862,2	7093,627	1,5	4,5	0,016	0,148	OK	NO P-delta
1	432	177716,7	7456,69	1,5	4,5	0,010	0,148	OK	NO P-delta

Tabel 5.43 Pengaruh P-Delta Arah Y SRPMM

Lantai	Joint	Px	Vx	le	Cd	θ	θ_{maks}	Status 1	Status 2
	Text	kN	kN						
6	5	24380,76	1582,499	1,5	4,5	0,004	0,148	OK	NO P-delta
5	456	55001,12	3233,236	1,5	4,5	0,010	0,148	OK	NO P-delta
4	447	85621,49	4542,921	1,5	4,5	0,016	0,148	OK	NO P-delta
3	442	116241,9	5554,735	1,5	4,5	0,020	0,148	OK	NO P-delta
2	437	146862,2	6255,833	1,5	4,5	0,020	0,148	OK	NO P-delta
1	432	177716,7	6573,714	1,5	4,5	0,011	0,148	OK	NO P-delta

g. Checking Penskalaan Gaya Gempa

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam mengecek penskalaan gaya gempa.

Klik: Run Program → Show Table → Analysis Results →
 Struktur Output → Base Reactions → Select Load Case
 Select beban gempa respon spektrum serta beban gempa static
 → Ok.

Dari hasil running beban gempa dan beban statik arah X dan Y didapatkan hasil sebagai berikut ini:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- $E_x R_s$ = 4963,101 kN
- $E_y R_s$ = 4351,464 kN
- ΔE_x = V/V_{tx}
 = 3631,376/4963,101
 = 0,732

$$\begin{aligned}
 - \Delta E_y &= V/V_{ty} \\
 &= 3631,376/4351,464 \\
 &= 0,835 \\
 - \text{Faktor skala } R_s &= I_e/R \\
 &= 1,5/8 \\
 &= 0,1875 \times 9,81 \\
 &= 1,839 \\
 - \text{Sistem Rangka Pemikul Momem Menengah (SRPMM)} \\
 E_x R_s &= 7453,291 \text{ kN} \\
 E_y R_s &= 6585,380 \text{ kN} \\
 \Delta E_x &= V/V_{tx} \\
 &= 6779,380/7453,291 \\
 &= 0,910 \\
 \Delta E_y &= V/V_{ty} \\
 &= 6779,380/6585,38 \\
 &= 1,029 \\
 \text{Faktor skala } R_s &= I_e/R \\
 &= 1,5/5 \\
 &= 0,3 \times 9,81 \\
 &= 2,943
 \end{aligned}$$

h. Checking Simpangan Antar Lantai

Untuk mengecek simpangan antar lantai perlu mengalikan nilai ΔE_x dan nilai ΔE_y dengan nilai Δ pada perhitungan simpangan antar lantai sebelumnya. Berikut merupakan hasil nilai simpangan antar lantai:

Tabel 5.44 Simpangan Arah X SRPMK

Lantai	Joint	OutputCase	U1	FS	Cd/I	U1	Δ	hsx	Δ ijin	ρ	Δ ijin/ ρ	Status
	Text	Text	m			m	m	m	m	m	m	
6	435	ExRS	0,025	0,279	3,667	0,091	0,011	4,2	0,042	1	0,042	OK
5	434	ExRS	0,022	0,279	3,667	0,080	0,014	4,2	0,042	1	0,042	OK
4	433	ExRS	0,018	0,279	3,667	0,066	0,017	4,2	0,042	1	0,042	OK
3	432	ExRS	0,013	0,279	3,667	0,049	0,018	4,2	0,042	1	0,042	OK
2	431	ExRS	0,008	0,279	3,667	0,031	0,018	4,2	0,042	1	0,042	OK
1	5	ExRS	0,004	0,279	3,667	0,013	0,013	4,2	0,042	1	0,042	OK

Tabel 5.45 Simpangan Arah Y SRPMK

Lantai	Joint	OutputCase	U2	FS	Cd/I	U2	Δ	hsx	Δ ijin	ρ	Δ ijin / ρ	Status
	Text	Text	m	FS	Cd/I	m	m	m	m	m	m	
6	435	EyRS	0,026	0.318	3,667	0,097	0,012	4.2	0.042	1	0.042	OK
5	434	EyRS	0,023	0.318	3,667	0,084	0,015	4.2	0.042	1	0.042	OK
4	433	EyRS	0,019	0.318	3,667	0,070	0,018	4.2	0.042	1	0.042	OK
3	432	EyRS	0,014	0.318	3,667	0,052	0,019	4.2	0.042	1	0.042	OK

Lanjutan Tabel 5.45 Simpangan Arah Y SRPMK

Lantai	Joint	OutputCase	U2	FS	Cd/I	U2	Δ	hsx	Δ ijin	ρ	Δ ijin / ρ	Status
	Text	Text	m	FS	Cd/I	m	m	m	m	m	m	
2	431	EyRS	0,009	0.318	3,667	0.032	0.018	4.2	0.042	1	0.042	OK
1	5	EyRS	0,004	0.318	3,667	0.013	0.013	4.2	0.042	1	0.042	OK

Tabel 5.46 Simpangan Arah X SRPMM

Lantai	Joint	OutputCase	U1	FS	Cd/I	U1	Δ	hsx	Δ ijin	ρ	Δ ijin / ρ	Status
	Text	Text	m			m	m	m	m	m	m	
6	5	ExRS	0,014	0.346	3	0,041	0,001	4.2	0.042	1	0.042	OK
5	456	ExRS	0,013	0.346	3	0,040	0,006	4.2	0.042	1	0.042	OK
4	447	ExRS	0,011	0.346	3	0,034	0,009	4.2	0.042	1	0.042	OK
3	442	ExRS	0,008	0.346	3	0,025	0,011	4.2	0.042	1	0.042	OK
2	437	ExRS	0,005	0.346	3	0,015	0,010	4.2	0.042	1	0.042	OK
1	432	ExRS	0,002	0.346	3	0,005	0,005	4.2	0.042	1	0.042	OK

Tabel 5.47 Simpangan Arah Y SRPMM

Lantai	Joint	OutputCase	U2	FS	Cd/I	U2	Δ	hsx	Δ ijin	ρ	Δ ijin / ρ	Status
	Text	Text	m			m	m	m	m	m	m	
6	5	ExRS	0,016	0.392	3	0,049	0,003	4.2	0.042	1	0.042	OK
5	456	ExRS	0,015	0.392	3	0,046	0,008	4.2	0.042	1	0.042	OK
4	447	ExRS	0,013	0.392	3	0,038	0,010	4.2	0.042	1	0.042	OK
3	442	ExRS	0,009	0.392	3	0,028	0,012	4.2	0.042	1	0.042	OK
2	437	ExRS	0,005	0.392	3	0,016	0,011	4.2	0.042	1	0.042	OK
1	432	ExRS	0,002	0.392	3	0,005	0,005	4.2	0.042	1	0.042	OK

5.8 Desain Penulangan Pelat Lantai dan Atap

5.8.1 Penulangan Pelat Lantai

Berdasarkan gambar 5.1 pelat lantai hanya memiliki satu tipe yaitu tipe pelat dua arah dengan dua daerah yang berbeda yakni daerah tumpuan dan daerah lapangan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan penulangan pelat lantai dua arah daerah tumpuan arah x.

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

➤ Penulangan Pelat Lantai Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 Fc' &= 30 \text{ MPa} \\
 Ec &= 4700 \times \sqrt{Fc'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \\
 &= 25742,960 \text{ MPa} \\
 Ey &= 200000 \text{ MPa} \\
 Fy1 &= Dpokok > 12 \\
 &= 420 \text{ MPa} \\
 Fy2 &= Dpokok < 12 \\
 &= 240 \text{ MPa (yang digunakan)} \\
 \beta &= 0,85 - ((Fc' - 28)/7) \times 0,05 \\
 &= 0,85 - ((30 - 28)/7) \times 0,05 \\
 &= 0,836 \\
 \epsilon_{cu} &= 0,003 \\
 \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_y} \\
 &= \frac{240}{200000} \\
 &= 0,001 \\
 L_y &= 3900 \text{ mm} \\
 L_x &= 2900 \text{ mm} \\
 D_{pokok} &= 13 \text{ mm} \\
 D_{susut} &= 10 \text{ mm} \\
 H_{pelat} &= 130 \text{ mm} \\
 S_b &= 20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ds &= 26,5 \text{ mm} \\
 d &= 103,5 \text{ mm} \\
 Qu &= 1,2 Qd + 1,6 Ql \\
 &= (1,2 \times 6,043) + (1,6 \times 2,583) \\
 &= 11,384 \text{ kN/m}^2 \\
 \frac{Ly}{Lx} &= 1,345 \text{ (pelat 2 arah)} \\
 \frac{1}{2} BI1Y &= \frac{1}{2} \times 300 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 \frac{1}{2} BI2X &= \frac{1}{2} \times 300 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 Lnx &= Lx - \left(\frac{1}{2} BI1Y + \frac{1}{2} BI2X \right) \\
 &= 2900 - (150 + 150) \\
 &= 2600 \text{ mm} \\
 Mu \text{ tum (-)} &= \frac{1}{16} \times Qu \times Ln^2 \\
 &= \frac{1}{16} \times 11,384 \times 2,9^2 \\
 &= 5,984 \text{ kNm} \\
 Mu \text{ lap (+)} &= \frac{1}{10} \times Qu \times Ln^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 11,384 \times 2,9^2 \\
 &= 9,574 \text{ kNm} \\
 Mu \text{ tum (-)} &= \frac{1}{16} \times Qu \times Ln^2 \\
 &= \frac{1}{16} \times 11,384 \times 2,9^2 \\
 &= 5,984 \text{ kNm} \\
 Vu &= 0,5 \times Qu \times Ln \\
 &= 0,5 \times 11,384 \times 2,9 \\
 &= 16,51 \text{ kN} \\
 \emptyset \text{ geser} &= 0,75 \\
 Vn &= 0,17 \times \sqrt{f'c} \times bw \times d
 \end{aligned}$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 103,5$$

$$= 96,372 \text{ kN}$$

Perhitungan pada daerah tumpuan

$$Mu \text{ tum (-)} = 5,984 \text{ kNm}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$Mn = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$= \frac{5,984}{0,9}$$

$$= 6,649 \text{ kNm}$$

$$= 6648846,048 \text{ Nmm}$$

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

$$d = 103,5 \text{ mm}$$

mencari nilai a dengan persamaan $Mn = (0,85 \times fc' \times a \times b) \times (d - \frac{a}{2})$

$$a = 0,85 \times fc' \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1000$$

$$= 25500 a^2$$

$$b = -1,7 \times 35 \times b \times d$$

$$= -1,7 \times 35 \times 1000 \times 103,5$$

$$= -5278500 a$$

$$c = 2Mn$$

$$= 2 \times 6648846,048$$

$$= 13297692,1$$

$$a1 = \frac{(-b^2 + (b^2 - 4xaxc))}{2 \times a}$$

$$= \frac{(-(-5278500 a)^2 + ((-5278500 a)^2 - 4 \times 25500 a^2 \times 13297692,1))}{2 \times 25500 a^2}$$

$$= 204,449 \text{ mm}$$

$$a2 = \frac{(-b^2 - (b^2 - 4xaxc))}{2 \times a}$$

$$= \frac{(-(-5278500 a)^2 - ((-5278500 a)^2 - 4 \times 25500 a^2 \times 13297692,1))}{2 \times 25500 a^2}$$

$$= 2,551 \text{ mm}$$

$$a = 2,551 \text{ mm (diambil yang terkecil)}$$

$$\begin{aligned}
Ts &= As \times Fy \\
Cc &= 0,85 \times fc' \times b \times d \\
As \text{ min 1} &= 0,002 \times Ag \\
&= 0,002 \times 130 \times 1000 \\
&= 260 \text{ mm}^2 \\
As \text{ tulangan pokok} &= (0,85 \times fc' \times a \times b) / Fy \\
&= (0,85 \times 30 \times 2,551 \times 1000) / 240 \\
&= 271,006 \text{ mm}^2 \\
As \text{ balance} &= 0,85 \times \beta \times \frac{fc}{Fy} + \frac{600}{(600+fy)} \times (b \times d) \\
&= 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{240} + \frac{600}{(600+240)} \times (1000 \times 103,5) \\
&= 6564,461 \text{ mm}^2 \\
As \text{ maks} &= 0,75 \times Asb \\
&= 0,75 \times 6564,461 \\
&= 4923,346 \text{ mm}^2 \\
As \text{ pakai} &= 271,006 \text{ mm}^2 \\
As \text{ tulangan} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\
&= 0,25 \times \pi \times 13^2 \\
&= 132,732 \text{ mm}^2 \\
s &= \frac{As \text{ tul} \times b}{As \text{ pakai}} \\
&= \frac{132,732 \times 1000}{271,006} \\
&= 489,776 \text{ mm} \\
S \text{ terpasang} &= 250 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Checking tulangan pokok:

$$\begin{aligned}
\text{Luas tulangan yang terpasang} &= \frac{b}{s \text{ digunakan}} \times As \text{ tulangan} \\
&= \frac{1000}{250} \times 132,732 \\
&= 530,929 \text{ mm}^2 \\
\text{Kontrol jarak antar tulangan, } s \leq 2h &= 2 \times d \\
&= 2 \times 130
\end{aligned}$$

$$= 260 \text{ mm}$$

Kontrol jarak antar tulangan, $s \leq 450$ = 450 (OK)

Didapatkan tulangan pokok = P13-250

As susut = $0,02 \times b \times h$
= $0,02 \times 1000 \times 130$
= 260 mm^2

As tulangan = $0,5 \times \pi \times d^2$
= $0,5 \times \pi \times 13^2$
= $132,732 \text{ mm}^2$

S susut = $\frac{As \text{ tulangan} \times b}{As \text{ pakai}}$
= $\frac{132,732 \times 1000}{260}$
= 510,509 mm

S susut terpasang = 450 mm

Checking tulangan susut:

Kontrol jarak tulangan susut, $s \leq 5h$ = 5d
= 5×130
= 650 mm (ok)

Kontrol jarak antar tulangan, $s \leq 450$ = 450 (OK)

Didapatkan tulangan susut = P10-450

Untuk perhitungan dimensi pelat lantai dua arah daerah lapangan langkah-langkahnya sama dengan perhitungan diatas, perbedaannya terletak pada bagian momennya sehingga didapatkan hasil penulangan lapangan sebagai berikut:

Didapatkan tulangan pokok = P13-250

Didapatkan tulangan susut = P10-450

Perhitungan penulangan pelat lantai SRPMM sama seperti perhitungan SRPMK diatas, sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel rekapitulasi dibawah ini.

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Tabel 5.48 Rekapitulasi Pelat 2 Arah SRPMK

REKAPITULASI PELAT 2 ARAH									
Jenis Pelat	Tebal Pelat (mm)	Tulangan Tumpuan Pokok	Tulangan Lapangan Pokok	Tulangan Tumpuan Susut	Tulangan Lapangan Susust	Ly	Lx	Lny	Ln _x
Plat Koridor LT 1	130	P13-250	P13-300	P10-450	P10-450	3900	2900	2600	2600
Plat Koridor Diatas Lt 1	130	P13-250	P13-300	P10-450	P10-450	3900	2900	2650	2650
Plat R.Pasien	130	P13-250	P13-350	P10-450	P10-450	4400	3900	3625	3625
Plat Atap	130	P13-250	P13-350	P10-450	P10-450	4400	3900	3625	3625

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Tabel 5.49 Rekapitulasi Pelat 2 Arah SRPMM

REKAPITULASI PELAT 2 ARAH									
Jenis Pelat	Tebal Pelat (mm)	Tulangan Tumpuan Pokok	Tulangan Lapangan Pokok	Tulangan Tumpuan Susut	Tulangan Lapangan Susust	Ly	Lx	Lny	Ln _x
Plat Koridor LT 1	130	P13-250	P13-300	P10-450	P10-450	3900	2900	2500	2500

Lanjutan Tabel 5.49 Rekapitulasi Pelat 2 Arah SRPMM

REKAPITULASI PELAT 2 ARAH									
Jenis Pelat	Tebal Pelat (mm)	Tulangan Tumpuan Pokok	Tulangan Lapangan Pokok	Tulangan Tumpuan Susut	Tulangan Lapangan Susust	Ly	Lx	Lny	Ln timer
Plat Koridor Diatas Lt 1	130	P13-250	P13-300	P10-450	P10-450	3900	2900	2500	2500
Plat R.Pasien	130	P13-250	P13-200	P10-450	P10-450	4400	3900	3475	3475
Plat Atap	130	P13-250	P13-300	P10-450	P10-450	4400	3900	3475	3475

5.9 Desain Penulangan Pelat Tangga

Pada daerah tangga memiliki 3 bordes dan tinggi lantai yang sama, maka pada struktur bangunan ini memiliki desain tangga. Berikut ini merupakan contoh perhitungan tangga.

5.9.1 Estimasi Tangga:

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi lantai} &= 4,2 \text{ m} \\
 \text{Lebar antrade (a)} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi oprade (s)} &= 0,17 \text{ m} \\
 \text{Syarat} &= 2s + a \\
 &= 64 \text{ cm (memenuhi)} \\
 \\
 \text{Kemiringan tangga} &= \frac{\text{Antrede}}{\text{Optrede}} \\
 &= \frac{30}{17} \\
 &= 0,57 \text{ cm} \\
 &= 0,0057 \text{ m} \\
 \\
 \text{Panjang horizontal} &= 4,7 \text{ m} \\
 \text{Lebar bordes} &= 1,3 \text{ m} \\
 \text{Lebar bordes bersih} &= \text{lebar bordes} + \text{Antrede} \\
 &= 1,3 + 0,3 \\
 &= 1,6 \text{ m} \\
 \\
 \text{Panjang plat miring (SAP)} &= 6,5 \text{ m} \\
 \text{Panjang bordes} &= 4,15 \text{ m} \\
 \text{Total panjang plat miring} &= \text{lebar bordes bersih} + \text{panjang pelat miring} \\
 &= 1,6 + 6,5
 \end{aligned}$$

$$= 8,1 \text{ m}$$

Tebal pelat miring = total panjang plat miring / Jumlah anak tangga

$$= 8,1/24$$

$$= 0,34$$

$\text{Cos } \alpha = 29,54$

Beban anak tangga ekivalen $T_i = 0,5 \times \text{Optrede} \times \text{Cos } \alpha$

$$= 0,5 \times 0,17 \times 29,54$$

$$= 0,07 \text{ cm}$$

qDL tangga = $B \times t_1 \times \gamma_{\text{beton}}$

$$= 1,675 \times 0,07 \times 24$$

$$= 2,97 \text{ kN/m}$$

5.9.2 Analisis Struktur

Dari hasil analisis SAP 2000 didapatkan nilai momen sebagai berikut:

Tabel 5.50 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Tangga SRPMK

Lantai	Plat Tangga		Comb	V2
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	
1	220,35	64,71	10,78	-148,45
2	166,39	36,35	37,04	-172,79
3	160,62	11,59	32,02	169,17
4	159,64	11,23	32,17	-168,53
5	159,30	11,40	31,83	-168,01
6	29,28	13,84	161,40	167,67

Tabel 5.51 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Tangga SRPMM

Lantai	Plat Tangga		Comb	V2
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	
1	213,14	102,74	106,57	-178,97
2	220,33	102,10	110,16	-190,96
3	216,82	92,85	108,41	199,79
4	211,65	91,73	105,82	193,55
5	198,89	88,53	99,44	178,85
6	195,09	101,12	97,55	156,23

5.9.3 Penulangan Pelat Tangga

Dalam Perancangan gedung ini terdapat dua daerah penulangan tangga yakni daerah penulangan tumpuan dan daerah penulangan lapangan. Berikut ini adalah contoh perhitungan penulangan pelat tangga pada daerah tumpuan dan lapangan.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

➤ Penulangan Pelat Tangga

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

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{F_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F_{y1} &= D_{\text{pokok}} > 12 \\ &= 420 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{y2} &= D_{\text{pokok}} < 12 \\ &= 240 \text{ MPa (yang digunakan)} \end{aligned}$$

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

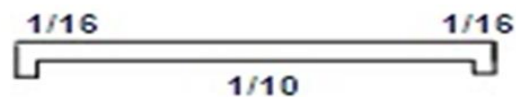
$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_y}$$

$$= \frac{240}{200000}$$

$$= 0,001$$

$L_y = 3400 \text{ mm}$
 $L_x = 700 \text{ mm}$
 $D_{\text{pokok}} = 13$
 $D_{\text{susut}} = 10$
 $H_{\text{pelat}} = 130 \text{ mm}$
 $S_b = 20 \text{ mm}$
 $d_s = 26,5 \text{ mm}$
 $d = 103,5 \text{ mm}$
 $\frac{L_y}{L_x} = 4,857 \text{ (pelat 1 arah)}$



Gambar 5.9 Sketsa Perhitungan Momen Ultimate

$Mu \text{ tum (-)} = \frac{1}{16} \times Qu \times L^2$
 $= \frac{1}{16} \times 11,384 \times 1400^2$
 $= 1,395 \text{ kNm}$

$Mu \text{ lap (+)} = \frac{1}{10} \times Qu \times L^2$
 $= \frac{1}{10} \times 11,384 \times 1400^2$
 $= 2,231 \text{ kNm}$

$Mu \text{ tum (-)} = \frac{1}{16} \times Qu \times L^2$
 $= \frac{1}{16} \times 11,384 \times 1400^2$
 $= 1,395 \text{ kNm}$

$Vu = 0,5 \times Qu \times L$
 $= 0,5 \times 11,384 \times 1400^2$
 $= 7,97 \text{ kN}$

$\emptyset \text{ geser} = 0,75$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 103,5 \\
 &= 96,372 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada daerah tumpuan

$$M_u \text{ tum (-)} = 1,395 \text{ kNm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{1,395}{0,9} \\
 &= 1,55 \text{ kNm} \\
 &= 1549552,71 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

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

$$d = 103,5 \text{ mm}$$

mencari nilai a dengan persamaan $M_n = (0,85 \times f_c' \times a \times b) \times (d - \frac{a}{2})$

$$\begin{aligned}
 a &= 0,85 \times f_c' \times b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 1000 \\
 &= 25500 a^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= -1,7 \times 35 \times b \times d \\
 &= -1,7 \times 35 \times 1000 \times 103,5 \\
 &= -5278500 a
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= 2M_n \\
 &= 2 \times 1549552,71 \\
 &= 774776,3527
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{(-b^2 + (b^2 - 4xaxc))}{2 \times a} \\
 &= \frac{-(-5278500 a)^2 + ((-5278500 a)^2 - 4x25500 a2x774776,3527)}{2 \times 25500 a^2} \\
 &= 206,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{(-b^2 - (b^2 - 4xaxc))}{2 \times a} \\
 &= \frac{-(-5278500 a)^2 - ((-5278500 a)^2 - 4x25500 a2x774776,3527)}{2 \times 25500 a^2} \\
 &= 0,147 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= 0,197 \text{ (diambil yang terkecil)} \\
 T_s &= A_s \times F_y \\
 &= 240 \times 15,61 \\
 &= 374,54 \\
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times b \times d \\
 &= 0,85 \times 30 \times 0,147 \times 1000 \\
 &= 3745,54 \\
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 240} \times 1000 \times 103,5 \\
 &= 590,513 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ balance}} &= 0,85 \times \beta \times \frac{f_c}{F_y} + \frac{600}{(600+f_y)} \times (b \times d) \\
 &= 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{240} + \frac{600}{(600+240)} \times (1000 \times 103,5) \\
 &= 6564,461 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ maks}} &= 0,75 A_{s_b} \\
 &= 0,75 \times 6564,461 \\
 &= 4923,346 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ pakai}} &= 260 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ tulangan}} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times 103,5^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2 \\
 s &= \frac{A_{s \text{ tul } \times b}}{A_{s \text{ pakai}}} \\
 &= \frac{132,732 \times 1000}{260} \\
 &= 510,51 \text{ mm}^2 \\
 S \text{ terpasang} &= 250 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Checking tulangan pokok:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan yang terpasang} &= \frac{b}{s \text{ digunakan}} \times A_{s \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000}{250} \times 132,732 \\
 &= 530,929
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol jarak antar tulangan, } s \leq 2h &= 2 \times h \\
 &= 2 \times 130 \\
 &= 260 \text{ mm} \\
 \text{Kontrol jarak antar tulangan, } s \leq 450 &= 450 \text{ (OK)} \\
 \text{Didapatkan tulangan pokok} &= \mathbf{P13-250} \\
 \text{As susut} &= 0,02 \times b \times h \\
 &= 0,02 \times 1000 \times 130 \\
 &= 260 \text{ mm}^2 \\
 \text{As tulangan} &= 0,5 \times \pi \times d^2 \\
 &= 0,5 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 132,73 \text{ mm}^2 \\
 \text{S susut} &= \frac{\text{As tulangan} \times b}{\text{As pakai}} \\
 &= \frac{132,73 \times 1000}{260} \\
 &= 510,51 \text{ mm}^2 \\
 \text{S susut terpasang} &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Checking tulangan susut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol jarak tulangan susut, } s \leq 5h &= 5h \\
 &= 5 \times 130 \\
 &= 650 \text{ mm (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol jarak antar tulangan, } s \leq 450 = 450 \text{ (OK)}$$

$$\text{Didapatkan tulangan susut} = \mathbf{P10-450}$$

Untuk perhitungan dimensi pelat lapangan satu arah langkah-langkahnya sama dengan perhitungan diatas, perbedaannya terletak pada bagian momennya sehingga didapatkan hasil penulangan lapangan sebagai berikut:

$$\text{Didapatkan tulangan pokok} = \mathbf{P13-350}$$

$$\text{Didapatkan tulangan susut} = \mathbf{P10-450}$$

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan perhitungan pelat tangga

Tabel 5.52 Rekapitulasi Peulangan Pelat Tangga

Jenis Pelat	Tebal Pelat	Kebutuhan Tulangan Pokok		Kebutuhan Tulangan Susut	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Pelat Tangga Lt 1	130 mm	P13-250	P10-450	P13-350	P10-450
Pelat Tangga Diatas Lt 1	130 mm	P13-250	P13-450	P13-350	P10-450

5.10 Desain Penulangan Balok

Balok anak dibedakan menjadi 2 macam yaitu B6X dan B6Y. Ketika mendesain tulangan balok dibutuhkan nilai momen dan V_u (Gaya Geser) pada tiap-tiap balok yang akan ditinjau. Untuk mendesain tulangan lentur dan tulangan geser balok diperlukan nilai V_u (Gaya Geser) pada tiap-tiap balok yang akan ditinjau. Berikut ini merupakan rekapitulasi nilai momen dan V_u (Gaya Geser).

Tabel 5.53 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Anak SRPMK

	Tumpuan	Lapangan	V_u (kN)	
	Mu- (kNm)	Mu+ (kNm)	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
Lantai 1	77,56	22,84	69,30	48,33
Lantai 2	73,54	23,03	58,54	48,20
Lantai 3	73,01	23,24	59,01	48,67
Lantai 4	72,62	23,53	59,01	48,67
Lantai 5	72,28	23,62	59,01	48,67
Lantai 6	40,50	5,81	47,12	36,78

Tabel 5.54 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Anak SRPMM

	Tumpuan	Lapangan	Vu (kN)	
	Mu- (kNm)	Mu+ (kNm)	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
Lantai 1	109,16	78,56	194,01	163,69
Lantai 2	115,53	81,35	192,25	162,89
Lantai 3	114,23	92,85	192,26	162,87
Lantai 4	108,91	81,09	192,26	162,87
Lantai 5	117,07	79,11	192,05	162,66
Lantai 6	71,00	61,85	166,29	149,06

5.10.1 Desain Tulangan Lentur

Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan tulangan lentur balok.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

1. BA6X (Lantai 1)

a. Desain Tulangan Tumpuan Negatif

$$B = 200 \text{ mm}$$

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

$$D_{\text{pokok}} = 16 \text{ mm}$$

$$D_{\text{begel}} = 8 \text{ mm}$$

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

$$S_{\text{pasi Tulangan}} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d_s &= S_b + D_{\text{begel}} + (0,5 \times D_{\text{pokok}}) \\ &= 40 + 8 + (0,5 \times 16) \\ &= 56 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diasumsikan 1 lapis, apabila saat pengecekan jarak tulangan (s) < 25 mm, asumsi diubah menjadi 2 lapis.

$$\begin{aligned} d &= H - d_s \\ &= 350 - 56 \\ &= 294 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Fc' &= 30 \text{ MPa} \\
 Fy &= 420 \text{ MPa} \\
 \beta 1 &= 0,85 - \left(\frac{fc' - 28}{7} \right) \times 0,05 \\
 &= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0,05 \\
 &= 0,849 \\
 Mu- &= 77,56 \text{ kNm (SAP 2000)} \\
 Mn &= \frac{Mu-}{0,9} \\
 &= \frac{77,56}{0,9} \\
 &= 86,180 \text{ kNm} \\
 &= 86179555,56 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Mencari tinggi balok tekan:

$$\begin{aligned}
 a &= 1 \\
 b &= -2 \times d \\
 &= -2 \times 294 \\
 &= -588 \\
 c &= \frac{2 \times Mn}{0,85 \times fc' \times B} \\
 &= \frac{2 \times 86179555,56}{0,85 \times 30 \times 200} \\
 &= 33795,904 \\
 a1 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 33795,904})}{2 \times 1} \\
 &= 4761,486 \text{ mm} \\
 a2 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 33795,904})}{2 \times 1} \\
 &= 64,566 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a \text{ pakai} &= 64,566 \text{ mm} \\
 Cc &= 0,85 \times f_c' \times B \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 64,566 \\
 &= 329285,094 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \frac{Cc}{f_y} \\
 &= \frac{329285,094}{420} \\
 &= 784,012 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min 1} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times B \times d}{4 \times f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{30} \times 200 \times 294}{4 \times 420} \\
 &= 191,703 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min 2} &= \frac{1,4 \times B \times d}{f_y} \\
 &= \frac{1,4 \times 200 \times 294}{420} \\
 &= 196 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As min pakai diambil dari nilai max antara As min 1 dan As min 1, sehingga yang digunakan adalah As min 2 sebesar 196 mm².

$$\begin{aligned}
 \text{As max} &= \frac{0,85 \times f_c' \times d \times \frac{3}{8} \times \beta_1 \times B}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 294 \times \frac{3}{8} \times 0,849 \times 200}{420} \\
 &= 1136,025 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai diambil nilai tertinggi dari As perlu dan As min pakai, sehingga As yang digunakan sebesar 784,012 mm².

$$\begin{aligned} \text{As 1} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \text{dpokok}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As digunakan}}{\text{As 1}} \\ &= \frac{784,012}{201,062} \\ &= 3,899 \text{ buah} \\ &= 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek jarak} &= \frac{B - (2 \times sb) - (2 \times \text{dbegel}) - (n \times \text{dpokok})}{n-1} \\ &= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 8) - (3 \times 16)}{3-1} \\ &= 28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga, asumsi awal memakai 1 lapis benar karena jaraknya > 25 mm.

$$\begin{aligned} \text{As tarik} &= \frac{1}{4} \times n \times \pi \times \text{dpokok}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,186 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Desain Tulangan Positif Tumpuan

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

$$\begin{aligned} ds &= Sb + \text{Dbegel} + (0,5 \times \text{Dpokok}) \\ &= 40 + 8 + (0,5 \times 16) \\ &= 56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= H - ds \\ &= 350 - 56 \end{aligned}$$

$$= 294 \text{ mm}$$

$$M_{u+} = 46,854 \text{ kNm (SAP 2000)}$$

$$M_n = \frac{M_{u-}}{0,9}$$

$$= \frac{46,854}{0,9}$$

$$= 52,06 \text{ kNm}$$

$$= 52060000 \text{ Nmm}$$

$$a = 1$$

$$b = -2 \times d$$

$$= -2 \times 294$$

$$= -588$$

$$c = \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f_c' \times B}$$

$$= \frac{2 \times 52060000}{0,85 \times 30 \times 200}$$

$$= 20415,69$$

$$a_1 = \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a}$$

$$= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 20415,69})}{2 \times 1}$$

$$= 550,94 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a}$$

$$= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 20415,69})}{2 \times 1}$$

$$= 37,06 \text{ mm}$$

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

$$= 0,85 \times 30 \times 200 \times 37,06$$

$$= 188984,66 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{Cc}{fy} \\ &= \frac{188984,66}{420} \\ &= 449,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 1} &= \frac{\sqrt{fc'} \times B \times d}{4 \times fy} \\ &= \frac{\sqrt{30'} \times 200 \times 294}{4 \times 420} \\ &= 191,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 2} &= \frac{1,4 \times B \times d}{fy} \\ &= \frac{1,4 \times 200 \times 294}{420} \\ &= 196 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As min pakai yang diambil dari nilai max antara As min 1 dan As min 1, sehingga yang digunakan adalah As min 2 sebesar 196 mm².

$$\begin{aligned} \text{As max} &= \frac{0,85 \times fc' \times d \times \frac{3}{8} \times \beta_1 \times B}{fy} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 294 \times \frac{3}{8} \times 0,849 \times 200}{420} \\ &= 1136,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

As pakai diambil nilai tertinggi dari As perlu dan As min pakai, sehingga As yang digunakan sebesar 449,96 mm².

$$\begin{aligned} \text{As 1} &= \frac{1}{4} \times \pi \times dpokok^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 201,062 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{As \text{ digunakan}}{As 1} \\
 &= \frac{49,96}{201,062} \\
 &= 2,24 \text{ buah} \\
 &= 3 \text{ buah} \\
 \text{Cek jarak} &= \frac{B - (2 \times sb) - (2 \times dbegel) - (n \times dpokok)}{n-1} \\
 &= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 8) - (3 \times 16)}{3-1} \\
 &= 28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga, asumsi awal memakai 1 apis benar karena jaraknya $> 25 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned}
 \text{As desak} &= \frac{1}{4} \times n \times \pi \times dpokok^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 603,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Desain Tulangan Positif Lapangan

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

$$ds = Sb + Dbegel + (0,5 \times Dpokok)$$

$$= 40 + 8 + (0,5 \times 16)$$

$$= 56 \text{ mm}$$

$$d = H - ds$$

$$= 350 - 56$$

$$= 294 \text{ mm}$$

$$Mu+ = 22,842 \text{ kNm (SAP 2000)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{0,9} \\
 &= \frac{22,842}{0,9} \\
 &= 25,38 \text{ kNm} \\
 &= 25379555,56 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$a = 1$$

$$\begin{aligned}
 b &= -2 \times d \\
 &= -2 \times 294 \\
 &= -588
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f_c' \times B} \\
 &= \frac{2 \times 25379555,56}{0,85 \times 30 \times 200} \\
 &= 9952,77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 9952,77})}{2 \times 1} \\
 &= 570,56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 9952,77})}{2 \times 1} \\
 &= 17,44 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times B \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 37,06 \\
 &= 188984,66 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{Cc}{fy} \\ &= \frac{188984,66}{420} \\ &= 449,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 1} &= \frac{\sqrt{fc'}xBxd}{4 \times fy} \\ &= \frac{\sqrt{30'}x200x294}{4 \times 420} \\ &= 191,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min 2} &= \frac{1,4xBxd}{fy} \\ &= \frac{1,4x200x294}{420} \\ &= 196 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As min pakai yang diambil dari nilai max antara As min 1 dan As min 1, sehingga yang digunakan adalah As min 2 sebesar 196 mm².

$$\begin{aligned} \text{As max} &= \frac{0,85 \times fc' \times d \times \frac{3}{8} \times \beta 1 \times B}{fy} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 294 \times \frac{3}{8} \times 0,849 \times 200}{420} \\ &= 1136,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai diambil nilai tertinggi dari As perlu dan As min pakai, sehingga As yang digunakan sebesar 449,96 mm².

$$\begin{aligned} \text{As 1} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \text{dpokok}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{\text{As digunakan}}{\text{As 1}}$$

$$= \frac{449,96}{201,062}$$

$$= 2,24 \text{ buah}$$

$$= 3 \text{ buah}$$

$$\text{Cek jarak} = \frac{B - (2 \times sb) - (2 \times dbegel) - (n \times dpokok)}{n-1}$$

$$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 8) - (3 \times 16)}{3-1}$$

$$= 45,24 \text{ mm}$$

d. Desain Tulangan Negatif Lapangan

$$n = \frac{As \text{ min pakai}}{As 1}$$

$$= \frac{196}{201,062}$$

$$= 0,92 \text{ buah}$$

$$= 2 \text{ buah}$$

Untuk hasil dari perhitungan desain tulangan lentur balok BA6X yaitu 3D16 pada tumpuan atas dan tumpuan bawah. Sedangkan untuk tulangan lentur daerah lapangan atas sebesar 2D16 dan 3D16 bagian bawah. Perhitungan tulangan lentur balok anak SRPMM sama seperti perhitungan diatas.

5.10.2 Desain Tulangan Geser

Berikut ini merupakan contoh langkah-langkah perhitungan desain tulangan geser pada balok anak.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

1. BA6X (Lantai 1)

$$L \text{ balok} = 2,934 \text{ m}$$

$$= 2934 \text{ mm}$$

$$B \text{ balok kiri} = 0,1 \text{ m}$$

$$B \text{ balok kanan} = 0,125 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
L_{\text{netto}} &= L_{\text{balok}} - 0,5 (b_{\text{kolom kiri}} + b_{\text{kolom kanan}}) \\
&= 2,934 - \left(\frac{0,1}{2} + \frac{0,125}{2} \right) \\
&= 2,822 \text{ m} \\
L_{\text{plastis}} &= 2 \times \frac{H}{1000} \\
&= 2 \times \frac{350}{1000} \\
&= 0,700 \text{ m} \\
L_{\text{luar plastis}} &= L_{\text{netto}} - (2 \times L_{\text{plastis}}) \\
&= 2,822 - (2 \times 0,700) \\
&= 1,422 \text{ m} \\
KL_{\text{tengah}} &= L_{\text{plastis}} + (0,5 \times L_{\text{luar Plastis}}) \\
&= 0,700 + (0,5 \times 1,422) \\
&= 1,411 \text{ m} \\
M_{\text{kap-}} &= 38,100 \text{ kNm} \\
M_{\text{kap+}} &= 83,353 \text{ kNm} \\
B_{\text{balok}} &= 200 \text{ mm} \\
H_{\text{balok}} &= 350 \text{ mm} \\
F_c' &= 30 \text{ MPa} \\
F_y &= 240 \text{ MPa} \\
d_{\text{sengkang}} &= 8 \text{ mm} \\
&= 0,8 \text{ cm} \\
\Phi &= 0,75 \\
d &= H - d_s \\
&= 350 - 56 \\
&= 294 \text{ mm} \\
d_{\text{tul. pokok}} &= 16 \text{ mm} \\
&= 1,6 \text{ cm} \\
\text{- Daerah Sendi Plastis} \\
V_{g-} &= -22,258 \text{ kN} \\
V_{g+} &= 26,258 \text{ kN} \\
V_E/V_{\text{sway}} &= (M_{\text{kap}^+} + M_{\text{kap}^-}) / L_{\text{netto}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (83,355 + 38,100) / 2,822 \\
 &= 43,05 \\
 \text{Vu 1} &= \text{VE/VSway} + \text{Vg-} \\
 &= 43,05 + (-22,258) \\
 &= 20,79 \text{ kN} \\
 \text{Vu 2} &= \text{VE/VSway} + \text{Vg+} \\
 &= 43,05 + 26,258 \\
 &= 69,30 \text{ kN} \\
 \text{Vu Pakai} &= 69,30 \text{ kN} \\
 \\
 \text{Vc} &= \left(\frac{1}{16}\right) x \sqrt{f'c'} x b x d / 1000 \\
 &= \left(\frac{1}{16}\right) x \sqrt{30} x 200 x 294 / 1000 \\
 &= 53,667 \text{ kN} \\
 \\
 \text{S minimum 1} &= d/4 \\
 &= 294/4 \\
 &= 73,5 \text{ mm} \\
 \text{S minimum 2} &= 6 x d.pokok \\
 &= 6 x 16 \\
 &= 96 \text{ mm} \\
 \text{S minimum 3} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{S pakai} &= 100 \text{ mm} \\
 n &= 3 \text{ kaki} \\
 \text{Asv} &= (0,25 x \pi x dsengkang^2) x n \\
 &= (0,25 x \pi x 8^2) x 3 \\
 &= 150,80 \text{ mm}^2 \\
 \text{Vs} &= \text{Asv} x \text{Fy} x d / s \\
 &= 150,80 x 240 x 294 / (100 x 1000) \\
 &= 106,40 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75(0 + 106,40) \\
 &= 79,80 \text{ kN} \\
 \text{Cek} &= V_n > V_u \\
 &= 79,80 > 69,30 \text{ (OK)} \\
 S \text{ pakai} &= 3D8-100 \text{ mm} \\
 \text{- Luar Sendi Plastis} \\
 \text{Lokasi luar sendi plastis} &= 2 \times h \text{ balok} / 1000 \\
 &= 2 \times 350 / 1000 \\
 &= 0,7 \\
 V_{g-} &= -9,273 \text{ kN} \\
 V_{g+} &= 5,282 \text{ kN} \\
 V_E/V_{sway} &= (M_{kap^+} + M_{kap^-}) / L_{netto} \\
 &= (83,355 + 38,100) / 2,822 \\
 &= 43,05 \\
 V_u 1 &= V_E/V_{sway} + V_{g-} \\
 &= 43,05 + (-9,273) \\
 &= 33,77 \text{ kN} \\
 V_u 2 &= V_E/V_{sway} + V_{g+} \\
 &= 43,05 + (5,282) \\
 &= 48,33 \text{ kN} \\
 V_u \text{ pakai} &= 48,33 \text{ kN} \\
 n &= 2 \text{ kaki} \\
 A_{sv} &= (0,25 \times \pi \times d_{sengkang}^2) \times n \\
 &= (0,25 \times \pi \times 8^2) \times 2 \\
 &= 100,531 \text{ mm}^2 \\
 S \text{ minimum 1} &= d/2 \\
 &= 294/2 \\
 &= 147 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{\text{minimum 3}} &= 150 \text{ mm} \\
S_{\text{pakai}} &= 150 \text{ mm} \\
V_s &= A_{sv} \times F_y \times d / s \\
&= 100,531 \times 240 \times 294 / (150 \times 1000) \\
&= 47,29 \text{ kN} \\
V_c &= \left(\frac{1}{16}\right) \times \sqrt{f_c'} \times b \times d / 1000 \\
&= \left(\frac{1}{16}\right) \times \sqrt{30} \times 200 \times 294 / 1000 \\
&= 53,667 \text{ kN} \\
V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
&= 0,75(53,667 + 47,29) \\
&= 75,72 \text{ kN} \\
\text{Cek} &= V_n > V_u \\
&= 75,72 > 48,33 \text{ (OK)} \\
S_{\text{pakai}} &= 2D8-150 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Untuk perhitungan tulangan geser balok anak SRPMM sama seperti pada perhitungan SRPMK diatas, sehingga didapatkan nilai rekapitulasi perhitungan penulangan balok anak SRPMK dan SRPMM dibawah ini.

Tabel 5.55 Rekapitulasi Balok Anak SRPMK

REKAP TULANGAN BALOK ANAK								
No.	Kode Balok	Lantai	Tulangan Lentur Tumpuan		Tulangan Lentur Lapangan		Kebutuhan Tulangan Geser	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
1	BA6X	1	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
2		2	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
3		3	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
4		4	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
5		5	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
6		6	2D16	2D16	2D16	2D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
7	BA6Y	1	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
8		2	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
9		3	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
10		4	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
11		5	3D16	3D16	2D16	3D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm
12		6	2D16	2D16	2D16	2D16	3D8-100 mm	2D8-150 mm

Tabel 5.56 Rekapitulasi Balok Anak SRPMM

REKAP TULANGAN BALOK ANAK								
No.	Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		Kebutuhan Tulangan Geser	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
1	BI6X	1	4D16	3D16	3D16	3D16	3D8-100 mm	3D8-100 mm
2		2	4D16	3D16	3D16	3D16	3D8-100 mm	3D8-100 mm
3		3	4D16	3D16	3D16	3D16	3D8-100 mm	3D8-100 mm
4		4	4D16	3D16	3D16	3D16	3D8-100 mm	3D8-100 mm
5		5	4D16	3D16	3D16	3D16	3D8-100 mm	3D8-200 mm
6		6	3D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm
7	BI3Y	1	4D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm
8		2	4D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm
9		3	4D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm
10		4	4D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm
11		5	4D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm
12		6	3D16	3D16	3D16	3D16	2D8-200 mm	2D8-200 mm

5.10.3 Desain Tulangan Balok Induk

Balok induk dibedakan menjadi 5 macam yaitu B1, B2, B3, B4, dan B5. Ketika mendesain tulangan balok induk dibutuhkan nilai momen dan V_u (Gaya Geser) pada tiap-tiap balok yang akan ditinjau. Selain itu, balok induk perlu redistribusi momen untuk memenuhi nilai sesuai dengan ketentuan yang tertera pada SNI 2847-2019. Berikut ini merupakan rekapitulasi momen dan gaya geser pada balok induk.

Tabel 5.57 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Induk SRPMK

	Tumpuan	Lapangan	V_u (kN)	
	Mu- (kNm)	Mu+ (kNm)	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
Lantai 1	386,09	204,85	374,69	342,48
Lantai 2	398,61	196,32	362,38	331,16
Lantai 3	391,80	197,78	358,67	327,44
Lantai 4	379,70	198,96	341,33	310,10
Lantai 5	364,46	199,31	335,60	304,38
Lantai 6	213,55	111,49	231,08	221,89

Tabel 5.58 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Balok Induk SRPMM

	Tumpuan	Lapangan	V_u (kN)	
	Mu- (kNm)	Mu+ (kNm)	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
Lantai 1	400,14	356,81	366,77	328,96
Lantai 2	393,23	349,12	366,77	328,96
Lantai 3	386,39	346,80	366,77	328,96
Lantai 4	377,21	344,15	355,75	318,90
Lantai 5	365,54	341,04	355,75	318,90
Lantai 6	235,99	264,52	256,31	231,83

5.10.4 Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok Induk

Sebagai contoh perhitungan tulangan lentur, digunakan balok (B1) lantai 1 sebagai contoh perhitungan. Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungannya.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

a. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok Momen Positif Tumpuan

Diketahui:

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

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

$$M_{u+} = 411,83 \text{ kNm}$$

$$\theta_{\text{pokok}} = 22 \text{ mm}$$

$$\theta_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm}$$

- Dimensi Balok

Dari perhitungan estimasi balok sebelumnya didapatkan dimensi balok sebagai berikut:

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

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

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

$$\begin{aligned} d_s &= S_b + \theta_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \theta_{\text{pokok}} \\ &= 40 + 10 + 22 + \frac{1}{2} 25 \\ &= 84,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d = d_t &= H - d_s \\ &= 600 - 84,5 \\ &= 515,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \times 0,05 \\ &= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0,05 \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9$$

$$M_n = \frac{M_{u+}}{\phi}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{411,83}{0,9} \\
&= 457,59 \text{ kNm} \\
&= 457585555,56 \text{ Nmm} \\
a &= 1 \\
b &= -2 \times d \\
&= -2 \times 515,5 \\
&= -1031 \\
c &= \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f'c' \times B} \\
&= \frac{2 \times 457585555,56}{0,85 \times 30 \times 300} \\
&= 119630,21 \\
a1 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times a \times c})}{2 \times a} \\
&= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 119630,21})}{2 \times 1} \\
&= 897,74 \text{ mm} \\
a2 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
&= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 119630,21})}{2 \times 1} \\
&= 133,26 \text{ mm} \\
a \text{ pakai} &= 133,26 \text{ mm} \\
Cc &= 0,85 \times f'c' \times B \times a \\
&= 0,85 \times 30 \times 300 \times 133,26 \\
&= 1019412,76 \text{ N} \\
\text{As Perlu} &= \frac{Cc}{Fy} \\
&= \frac{1019412,76}{420} \\
&= 2427,17 \text{ mm}^2 \\
\text{As min 1} &= \frac{\sqrt{F'c'}}{4Fy} \times B \times d \\
&= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 300 \times 515,5 \\
&= 504,20 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min 2} &= \frac{1,4 \times B \times d}{F_y} \\
 &= \frac{1,4 \times 300 \times 515,5}{420} \\
 &= 515,50 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Digunakan} &= 2427,17 \text{ mm}^2 \\
 \text{As1D} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \\
 &= 380,133 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{\text{As digunakan}}{\text{As1D}} \\
 &= \frac{2427,17}{380,133} \\
 &= 6,39 \approx 6 \text{ buah} \\
 \text{tulangan baris 1 (n1)} &= 6 \text{ Buah tulangan (Asumsi)} \\
 s &= \frac{b-2 \times sb-2 \times dbeg-el-nxdpokok}{(n-1)} \\
 &= \frac{300-2 \times 40-2 \times 10-6 \times 22}{(6-1)} \\
 &= 13,60 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)} \\
 \text{As desak} &= \frac{1}{4} \times n \times \pi \times dpokok^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 6 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok Momen Negatif Tumpuan

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 F_y &= 420 \text{ MPa} \\
 F_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 M_u &= 386,09 \text{ kNm} \\
 \theta_{pokok} &= 22 \text{ mm} \\
 \theta_{senggang} &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Dimensi Balok

Dari perhitungan estimasi balok sebelumnya didapatkan dimensi balok sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H &= 600 \text{ mm} \\
 B &= 300 \text{ mm} \\
 S_b &= 40 \text{ mm} \\
 d_s &= S_b + \theta_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \theta_{\text{pokok}} \\
 &= 40 + 10 + \frac{1}{2} 40 + 22 \\
 &= 84,5 \text{ mm} \\
 d = d_t &= H - d_s \\
 &= 600 - 84,5 \\
 &= 515,5 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{f'c - 28}{7} \right) \times 0,05 \\
 &= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0,05 \\
 &= 0,84 \\
 \phi &= 0,9 \\
 M_n &= \frac{M_u -}{\phi} \\
 &= \frac{386,09}{0,9} \\
 &= 428,99 \text{ kNm} \\
 &= 428990777,78 \text{ Nmm} \\
 a &= 1 \\
 b &= -2 \times d \\
 &= -2 \times 515,5 \\
 &= -1031 \\
 c &= \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f'c \times B} \\
 &= \frac{2 \times 428990777,78}{0,85 \times 30 \times 300} \\
 &= 112154,45 \\
 a_1 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 112154,45})}{2 \times 1} \\
 &= 907,40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 112154,45})}{2 \times 1} \\
 &= 123,60 \text{ mm} \\
 a \text{ pakai} &= 123,60 \text{ mm} \\
 Cc &= 0,85 \times f_c' \times B \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 123,60 \\
 &= 945538,16 \text{ N} \\
 \text{As Perlu} &= \frac{Cc}{F_y} \\
 &= \frac{945538,16}{420} \\
 &= 2251,28 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min 1} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{4F_y} \times B \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 300 \times 515,5 \\
 &= 504,20 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min 2} &= \frac{1,4 \times B \times d}{F_y} \\
 &= \frac{1,4 \times 300 \times 515,5}{420} \\
 &= 515,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Digunakan} &= 2251,28 \text{ mm}^2 \\
 \text{As1D} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \\
 &= 380,133 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{\text{As digunakan}}{\text{As1D}} \\
 &= \frac{2251,28}{380,133} \\
 &= 5,92 \approx 6 \text{ buah} \\
 s &= \frac{b - 2 \times sb - 2 \times db_{\text{gel}} - n \times dp_{\text{okok}}}{(n-1)} \\
 &= \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 22}{(6-1)}
 \end{aligned}$$

$$= 67 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

$$\begin{aligned} \text{As desak} &= \frac{1}{4} \times n \times \pi \times d_{\text{pokok}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 6 \times \pi \times 22^2 \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok Momen Positif Lapangan

Diketahui:

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

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

$$M_{u+} = 204,85 \text{ kNm}$$

$$\theta_{\text{pokok}} = 22 \text{ mm}$$

$$\theta_{\text{senggang}} = 10 \text{ mm}$$

Dari perhitungan estimasi balok sebelumnya didapatkan dimensi balok sebagai berikut:

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

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

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

$$d_s = S_b + \theta_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \theta_{\text{pokok}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} 40 + 22$$

$$= 84,5 \text{ mm}$$

$$d = dt = H - d_s$$

$$= 600 - 84,5$$

$$= 515,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \times 0,05$$

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

$$= 0,84$$

$$\phi = 0,9$$

$$M_n = \frac{M_{u-}}{\phi}$$

$$= \frac{204,85}{0,9}$$

$$\begin{aligned}
&= 227,61 \text{ kNm} \\
&= 227610555,56 \text{ Nmm} \\
a &= 1 \\
b &= -2 \times d \\
&= -2 \times 515,5 \\
&= -1031 \\
c &= \frac{2 \times Mn}{0,85 \times f_c' \times B} \\
&= \frac{2 \times 227610555,56}{0,85 \times 30 \times 300} \\
&= 59506,03 \\
a_1 &= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
&= \frac{(-6 + \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 59506,03})}{2 \times 1} \\
&= 969,63 \text{ mm} \\
a_2 &= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4ac})}{2 \times a} \\
&= \frac{(-6 - \sqrt{6^2 - 4 \times 1 \times 59506,03})}{2 \times 1} \\
&= 61,37 \text{ mm} \\
a \text{ pakai} &= 61,37 \text{ mm} \\
Cc &= 0,85 \times f_c' \times B \times a \\
&= 0,85 \times 30 \times 300 \times 61,37 \\
&= 469475,11 \text{ N} \\
\text{As Perlu} &= \frac{Cc}{F_y} \\
&= \frac{469475,11}{420} \\
&= 1117,81 \text{ mm}^2 \\
\text{As min 1} &= \frac{\sqrt{F_c'}}{4F_y} \times B \times d \\
&= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 300 \times 515,5 \\
&= 504,20 \text{ mm}^2 \\
\text{As min 2} &= \frac{1,4 \times B \times d}{F_y}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,4 \times 300 \times 515,5}{420} \\
 &= 515,50 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Digunakan} &= 515,50 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Max} &= (0,85 \times f_c' \times d \times 3/8 \times \beta_1 \times B) / F_y \\
 &= (0,85 \times 30 \times 515,5 \times 3/8 \times 0,84 \times 300) / 420 \\
 &= 2942,59 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Pakai} &= 1117,81 \\
 \text{As1D} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi 22^2 \\
 &= 380,13 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{\text{As pakai}}{\text{As1D}} \\
 &= \frac{1117,81}{380,13} \\
 &= 2,94 \approx 3 \text{ buah} \\
 s &= \frac{b-2 \times sb-2 \times dbegel-nxdpokok}{(n-1)} \\
 &= \frac{300-2 \times 40-2 \times 10-3 \times 22}{(3-1)} \\
 &= 13,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok Momen Negatif Lapangan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As min pakai}}{\text{Asd}} \\
 &= \frac{515,5}{380,133} \\
 &= 1,36 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tulangan lentur SRPMM sama seperti contoh perhitungan tulangan lentur SRPMK diatas.

5.10.5 Analisis Kapasitas Momen Tulangan Lentur Balok Induk

a. Analisis Kapasitas Momen Tulangan Lentur Balok Daerah Tumpuan

Untuk mengkonfirmasi apakah asumsi-asumsi awal yang digunakan sudah sesuai dalam mendesain tulangan lentur balok, langkah selanjutnya adalah menganalisis kapasitas momen tulangan lentur balok. Berikut ini adalah contoh perhitungannya.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

a. Analisis Kapasitas Momen Negatif Tulangan Lentur B11X

Diketahui:

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

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

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

$$D_{\text{pokok Tarik}} = 22 \text{ mm}$$

$$D_{\text{pokok Tekan}} = 22 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\beta_1 = 0,84$$

$$E_s = 200000$$

1) Titik Berat Tulangan Tarik (d_s)

$$\begin{aligned} d_s &= S_b + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \times 25 + \emptyset_{\text{pokok}} \\ &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 + 22 \\ &= 84,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= H - d_s \\ &= 600 - 84,5 \\ &= 515,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) Titik Berat Tulangan Tekan (d')

$$\begin{aligned} d_s &= S_b + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \times 25 + \emptyset_{\text{pokok}} \\ &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 + 22 \\ &= 84,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= H - d_s \\
 &= 600 - 84,5 \\
 &= 515,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3) Mengecek Tulangan sudah leleh atau belum

Tulangan Pakai Tekan = 6D22

Tulangan Pakai Tarik = 6D22

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan tekan (As')} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 6 \\
 &= 2280,80
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan tarik (As)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 6 \\
 &= 2280,80
 \end{aligned}$$

$$\sum F_H = 0$$

$$C_s + C_c - T_s = 0$$

Asumsi As' leleh

$$(0,85 \times F_c' \times a \times B) + (F_y \times A_s') - (A_s \times F_y) = 0$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(A_s \times F_y) - (A_s' \times F_y)}{(0,85 \times F_c' \times B)} \\
 &= \frac{((2280,80 \times 420) - (2280,80 \times 420))}{(0,85 \times 30 \times 300)} \\
 &= 31,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{31,31}{0,84} \\
 &= 37,46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{s'} &= \frac{a-d'}{a} \times 0,003 \\
 &= \frac{31,31-84,5}{31,31} \times 0,003 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= \frac{420}{200000} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$\varepsilon_s' < \varepsilon_y$, sehingga tulangan belum leleh.

4) Blok Tekan yang Sesungguhnya (a)

$$0,85.Fc' \cdot a \cdot B + E.0,003.As' \cdot ((a - \beta_1.d')/a) - As.Fy = 0$$

$$0,85.Fc' \cdot a^2 \cdot B + E.0,003.As' \cdot a - E.0,003.As' \cdot \beta_1.d' - As.Fy \cdot a = 0$$

$$0,85.Fc' \cdot B \cdot a^2 + (E.0,003 \cdot As' - As \cdot Fy) \cdot a - E.0,003.As' \cdot \beta_1.d' = 0$$

$$\begin{aligned} A &= 0,85 \times Fc' \times B \times a^2 \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 31,31^2 \\ &= 7650 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= (E \times 0,003 \times As' - As \times Fy) \cdot a \\ &= (2280,80 \times 0,003 \times 200000) - (2280,80 \times 420) \cdot 1,25 \\ &= 171059,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= E \times 0,003 \times As' \times \beta_1 \times d' \\ &= 84,50 \times 0,003 \times 200000 \times 0,84 \times 2280,80 \\ &= -96638966,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-171059,72 + \sqrt{171059,72^2 - 4 \times 7650 \times (-96638966,95)}}{2 \times 7650} \\ &= 101,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a \text{ pakai} = 101,77 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{101,77}{0,84} \\ &= 121,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

5) Menghitung Regangan Tarik Baja Terluar

$$\begin{aligned} \varepsilon_s' &= \frac{c \times d_{tarik}}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{121,77 - 84,5}{121,77} \times 0,003 \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

Karena $\varepsilon_t < \varepsilon_y$ sehingga tulangan belum leleh.

6) Kapasitas Momen Tulangan Rangkap

$$\begin{aligned}
 F_s &= E_s \times \frac{(a-d') \times \beta_1}{a} \times 0,003 \\
 &= 0,001 \times 200000 \\
 &= 183,66 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{\text{kap-}} &= M_{n1} + M_{n2} \\
 M_{\text{kap-}} &= C_c \times (d - 1/2a) + C_s \times (d-d') \\
 M_{\text{kap-}} &= 0,85 \times F_c' \times a \times B \times (d-1/2a) + F_s \times A_s' \times (d-d') \\
 M_1 &= 0,85 \times 30 \times 101,77 \times 300 \times (515,5 - (1/2 \times 101,77)) \\
 &= 361718210,87 \text{ Nmm} \\
 M_2 &= F_s \times A_s' \times (d-d') \\
 &= 2280,80 \times 183,66 \times (515,5 - 84,5) \\
 &= 180539744,48 \text{ Nmm} \\
 M_{\text{kap-}} &= 361718210,87 + 180539744,48 \\
 &= 542257955,34 \text{ Nmm} \\
 &= 542,26 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$M_{\text{kap-}} > \phi M_n$, sehingga kapasitas momen aman.

Langkah – langkah perhitungan kapasitas momen positif sama seperti langkah-langkah perhitungan kapasitas momen negatif, sehingga didapatkan nilai sebagai berikut:

$$M_{\text{kap+}} = 542,26 \text{ kNm}$$

$M_{\text{kap-}} > \phi M_n$, sehingga kapasitas momen aman.

Untuk perhitungan kapasitas momen SRPMM sama seperti contoh perhitungan kapasitas momen SRPMK diatas.

5.10.6 Perhitungan Tulangan Geser Balok Induk

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam menghitung tulangan geser balok.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

1. Perhitungan Tulangan Geser Balok Daerah Sendi Plastis

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 L \text{ balok} &= 8,8 \text{ m} \\
 &= 8800 \text{ mm} \\
 B \text{ balok kiri} &= 0,65 \text{ m} \\
 B \text{ balok kanan} &= 0,65 \text{ m} \\
 L \text{ netto} &= L \text{ balok} - 0,5 (b \text{ kolom kiri} + b \text{ kolom kanan}) \\
 &= 8,8 - \frac{0,65}{2} + \frac{0,65}{2} \\
 &= 8,15 \text{ m} \\
 L \text{ plastis} &= 2 \times \frac{H}{1000} \\
 &= 2 \times \frac{H}{1000} \\
 &= 1,2 \text{ m} \\
 L \text{ luar plastis} &= L \text{ netto} - (2 \times L \text{ plastis}) \\
 &= 8,15 - (2 \times 1,2) \\
 &= 5,75 \text{ m} \\
 KL \text{ tengah} &= L \text{ plastis} + (0,5 \times L \text{ luar Plastis}) \\
 &= 1,2 + (0,5 \times 5,75) \\
 &= 4,075 \text{ m} \\
 M_{kap-} &= 542,26 \text{ kNm} \\
 M_{kap+} &= 542,26 \text{ kNm} \\
 B \text{ balok} &= 300 \text{ mm} \\
 H \text{ balok} &= 600 \text{ mm} \\
 F_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 F_y &= 420 \text{ MPa} \\
 d \text{ sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 &= 1 \text{ cm} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 d &= H - ds \\
 &= 600 - 84,5 \\
 &= 515,5 \text{ mm} \\
 d \text{ tul. pokok} &= 22 \text{ mm} \\
 &= 2,2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Daerah Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 V_{g-} &= -227,51 \text{ kN} \\
 V_{g+} &= 241,62 \text{ kN} \\
 V_{E/V_{sway}} &= (M_{kap^+} + M_{kap^-}) / L_{netto} \\
 &= (542,26 + 542,26) / 8,15 \\
 &= 133,07 \\
 V_{u1} &= V_{E/V_{sway}} + V_{g-} \\
 &= 133,07 + (-227,51) \\
 &= -94,44 \text{ kN} \\
 V_{u2} &= V_{E/V_{sway}} + V_{g+} \\
 &= 133,07 + 241,62 \\
 &= 374,69 \text{ kN} \\
 V_{u \text{ Pakai}} &= 374,69 \text{ kN} \\
 V_c &= \left(\frac{1}{16}\right) \times \sqrt{f_c'} \times b \times d / 1000 \\
 &= \left(\frac{1}{16}\right) \times \sqrt{30} \times 300 \times 515,5 / 1000 \\
 &= 141,175 \text{ kN} \\
 S_{\text{minimum 1}} &= d/4 \\
 &= 515,5/4 \\
 &= 128,88 \text{ mm} \\
 S_{\text{minimum 2}} &= 6 \times d. \text{ pokok} \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm} \\
 S_{\text{minimum 3}} &= 150 \text{ mm} \\
 S_{\text{pakai}} &= 100 \text{ mm} \\
 n &= 3 \text{ kaki} \\
 A_{sv} &= (0,25 \times \pi \times dsengkang^2) \times n \\
 &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 3 \\
 &= 235,62 \text{ mm}^2 \\
 V_s &= A_{sv} \times F_y \times d / s
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 235,62 \times 240 \times 515,5 / (100 \times 1000) \\
 &= 510,14 \text{ kN} \\
 V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75(0 + 510,14) \\
 &= 382,60 \text{ kN} \\
 \text{Cek} &= V_n > V_u \\
 &= 382,60 > 374,69 \\
 \text{S pakai} &= 3D10-100 \text{ mm} \\
 &\text{- Luar Sendi Plastis} \\
 \text{Lokasi luar sendi plastis} &= 2 \times h \text{ balok} / 1000 \\
 &= 2 \times 600 / 1000 \\
 &= 1,2 \\
 V_{g-} &= -197,14 \text{ kN} \\
 V_{g+} &= 209,41 \text{ kN} \\
 V_{u1} &= V_E / V_{Sway} + V_{g-} \\
 &= 133,07 + (-197,14) \\
 &= -64,07 \text{ kN} \\
 V_{u2} &= V_E / V_{Sway} + V_{g+} \\
 &= 133,07 + (209,41) \\
 &= 342,48 \text{ kN} \\
 V_{u \text{ pakai}} &= 342,48 \text{ kN} \\
 n &= 3 \text{ kaki} \\
 A_{sv} &= (0,25 \times \pi \times d_{sengkang}^2) \times n \\
 &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 3 \\
 &= 235,62 \text{ mm}^2 \\
 S_{\text{minimum 1}} &= d/2 \\
 &= 515,52 \\
 &= 257,75 \text{ mm} \\
 S_{\text{minimum 3}} &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ pakai} &= 150 \text{ mm} \\
 V_s &= A_{sv} \times F_y \times d / s \\
 &= 235,62 \times 240 \times 515,5 / (150 \times 1000) \\
 &= 340,09 \text{ kN} \\
 V_c &= \left(\frac{1}{16}\right) \times \sqrt{f'c} \times b \times d / 1000 \\
 &= \left(\frac{1}{16}\right) \times \sqrt{30} \times 300 \times 515,5 / 1000 \\
 &= 141,18 \text{ kN} \\
 V_n &= \Phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75(141,18 + 340,09) \\
 &= 360,95 \text{ kN} \\
 \text{Cek} &= V_n > V_u \\
 &= 360,95 > 342,48 \\
 S \text{ pakai} &= 3D10-150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tulangan geser balok induk SRPMM sama seperti pada perhitungan SRPMK diatas, sehingga didapatkan nilai rekapitulasi perhitungan penulangan balok induk SRPMK dan SRPMM dibawah ini.

Tabel 5.59 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMK

REKAP TULANGAN BALOK INDUK													
Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
B1	1	6D22	6D22	2D22	3D22	520,47	433,84	542,26	542,26	300	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	2	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	3	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	4	6D22	5D22	2D22	3D22	533,67	375,81	432,99	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	5	6D22	5D22	2D22	3D22	533,67	375,81	432,99	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	6	4D22	4D22	2D22	2D22	398,83	302,55	261,70	390,13	350	650	2D10-100 mm	2D10-150 mm

Lanjutan Tabel 5.59 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMK

Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
B2	1	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	2	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	3	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	4	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	5	6D22	5D22	2D22	3D22	533,67	375,81	432,99	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	6	5D22	4D22	2D22	2D22	398,87	270,62	325,99	350,20	350	600	3D10-100 mm	2D10-150 mm

Lanjutan Tabel 5.59 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMK

Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
B3	1	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	4D10-100 mm	3D10-150 mm
	2	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	3	7D22	5D22	2D22	3D22	593,28	375,81	533,16	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	4	6D22	5D22	2D22	3D22	533,67	375,81	432,99	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	5	6D22	5D22	2D22	3D22	533,67	375,81	432,99	485,38	350	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	6	5D22	4D22	2D22	2D22	398,87	270,62	325,99	350,20	300	500	3D10-100 mm	2D10-150 mm

Lanjutan Tabel 5.59 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMK

REKAP TULANGAN BALOK INDUK													
Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Lentur Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
B4	1	7D22	5D22	2D22	3D22	568,99	375,81	533,16	485,38	300	500	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	2	7D22	5D22	2D22	3D22	568,99	375,81	533,16	485,38	300	500	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	3	7D22	5D22	2D22	3D22	568,99	375,81	533,16	485,38	300	500	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	4	7D22	5D22	2D22	3D22	568,99	375,81	533,16	485,38	300	500	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	5	7D22	5D22	2D22	3D22	568,99	375,81	533,16	485,38	300	500	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	6	5D22	4D22	2D22	2D22	387,74	270,62	325,99	350,20	300	500	3D10-100 mm	3D10-150 mm

Tabel 5.60 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMM

REKAP TULANGAN BALOK INDUK													
Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Geser Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
BI1X	1	5D22	3D22	4D22	5D22	587.31	284.81	468.43	370.40	450	700	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	2	5D22	3D22	3D22	4D22	587.31	284.81	468.43	370.40	450	700	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	3	5D22	3D22	3D22	4D22	587.31	284.81	468.43	370.40	450	700	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	4	5D22	3D22	3D22	4D22	587.31	284.81	468.43	370.40	450	700	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	5	5D22	3D22	3D22	4D22	587.31	284.81	468.43	370.40	450	700	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	6	3D22	3D22	3D22	3D22	414.97	284.81	214.18	369.86	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm

Lanjutan Tabel 5.60 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMM

REKAP TULANGAN BALOK INDUK													
Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Geserr Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
BI2X	1	5D22	3D22	3D22	5D22	569.92	284.81	468.43	370.40	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm
	2	5D22	3D22	3D22	4D22	569.92	284.81	468.43	370.40	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm
	3	5D22	3D22	3D22	4D22	569.92	284.81	468.43	370.40	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm
	4	5D22	3D22	3D22	4D22	569.92	284.81	468.43	370.40	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm
	5	5D22	3D22	3D22	4D22	569.92	284.81	468.43	370.40	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm
	6	3D22	3D22	3D22	3D22	396.66	284.81	214.18	369.86	450	700	2D10-100 mm	2D10-150 mm

Lanjutan Tabel 5.60 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMM

REKAP TULANGAN BALOK INDUK													
Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Geserr Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
BI3Y	1	6D22	3D22	2D22	5D22	530.35	235.66	487.20	306.91	400	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	2	6D22	3D22	2D22	5D22	530.35	235.66	487.20	306.91	400	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	3	6D22	3D22	2D22	5D22	530.35	235.66	487.20	306.91	400	600	3D10-100 mm	3D10-150 mm
	4	6D22	3D22	2D22	5D22	530.35	235.66	487.20	306.91	400	600	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	5	6D22	3D22	2D22	5D22	530.35	235.66	487.20	306.91	400	600	3D10-100 mm	2D10-150 mm
	6	4D22	2D22	2D22	4D22	396.93	159.61	321.67	214.30	400	600	2D10-100 mm	2D10-150 mm

Lanjutan Tabel 5.60 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk SRPMM

REKAP TULANGAN BALOK INDUK													
Kode Balok	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Tul. Geserr Lapangan		ϕ Mn Tumpuan (kNm)		ϕ Mkap Tumpuan (kNm)		Dimensi		Kebutuhan Tulangan Geser	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	ϕ Mn-	ϕ Mn+	ϕ Mkap-	ϕ Mkap+	B	H	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis
BI4X	1	6D22	3D22	2D22	5D22	517.03	235.66	487.20	306.91	400	600	4D10-100 mm	3D10-150 mm
	2	6D22	3D22	2D22	5D22	517.03	235.66	487.20	306.91	400	600	4D10-100 mm	3D10-150 mm
	3	6D22	3D22	2D22	5D22	517.03	235.66	487.20	306.91	400	600	4D10-100 mm	3D10-150 mm
	4	6D22	3D22	2D22	5D22	517.03	235.66	487.20	306.91	400	600	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	5	6D22	3D22	2D22	5D22	517.03	235.66	487.20	306.91	400	600	4D10-100 mm	4D10-150 mm
	6	4D22	2D22	2D22	4D22	382.58	159.61	321.67	214.30	400	600	3D10-100 mm	2D10-150 mm

5.11 Desain Penulangan Kolom

5.11.1 Perhitungan Diagram Mn-Pn Kolom

Berikut ini contoh langkah perhitungan diagram Mn-Pn Kolom K1.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Diketahui:

1. Lebar penampang kolom (b) = 700 mm
2. Tinggi penampang kolom (h) = 750 mm
3. Kuat tekan beton (f_c') = 30 MPa
4. Tegangan leleh baja (f_y) = 420 MPa
5. Diameter tulangan pokok kolom = 25 mm
6. Diameter sengkang kolom = 13 mm
7. Selimut beton (sb) = 40 mm
8. d' = $sb + dsengkang + \frac{1}{2} \times dpokok$
 $= 40 + 13 + \frac{1}{2} \times 25$
 $= 65,5 \text{ mm}$
9. d = $h - d'$
 $= 750 - 65,5$
 $= 684,5 \text{ mm}$
10. A_g = $b \times h$
 $= 750 \times 700$
 $= 525000 \text{ mm}^2$
11. A_{st} = $2\% \times A_g$
 $= 2\% \times 525000$
 $= 2625 \text{ mm}^2$
12. $A_s = A_{s'}$ = $\frac{1}{2} A_{st}$
 $= \frac{1}{2} 2625$
 $= 1312,50 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 13. E_y &= \frac{f_y}{200000} \\
 &= \frac{420}{200000} \\
 &= 0,0021 \\
 14. C_{balance} &= \frac{600 \times d}{600 + f_y} \\
 &= \frac{600 \times 684,5}{600 + 420} \\
 &= 402,65 \\
 15. \beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05 (f_c - 28)}{7} \\
 &= 0,85 - \frac{0,05 (30 - 28)}{7} \\
 &= 0,84
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam membuat diagram momen ultimit dan gaya aksial kolom ultimit.

a. Kondisi konsentris

Kondisi konsentris merupakan kondisi ketika beban bekerja di titik berat potongan kolom (beban aksial momen), hal tersebut mengakibatkan tidak adanya momen.

$$\begin{aligned}
 P_n \max &= 0,80 \times 0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times F_y \\
 &= 0,80 \times 0,85 \times 30 \times (525000 - 2625) + 2625 \times 420 \\
 &= 11758,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan ketentuan-ketentuan nilai reduksi (Φ).

- Jika nilai $\epsilon_s \leq \epsilon_y$, sehingga nilai $\Phi = 0,65$
- Jika nilai $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, sehingga nilai $\Phi = 0,9$
- Jika nilai $\epsilon_s \leq \epsilon_y$ dan $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, sehingga nilai $\Phi = 0,65 + ((\epsilon_s - \epsilon_y) \times \frac{250}{3})$

Karena pada keadaan seimbang maka nilai $\epsilon_s \leq \epsilon_y$, sehingga nilai $\Phi = 0,65$.

$$\begin{aligned}
 P_u &= \Phi \times P_n \\
 &= 0,65 \times 11758,95 \\
 &= 7643,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Kondisi patah desak

Supaya tidak terjadi patah desak, dibutuhkan faktor pengali $C_b > 1$ seperti 1,1. Berikut ini merupakan contoh perhitungannya.

$$c = 1,1 \times 402,647$$

$$= 442,9 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,84 \times 442,9$$

$$= 370,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s' &= \frac{c-d'}{c} \varepsilon_c \\ &= \frac{684,50-442,9}{442,9} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,0016 \geq \varepsilon_y = 0,002 \text{ sehingga baja tarik sudah leleh.}$$

Karena hasil yang didapatkan tidak $\leq f_y$ sehingga digunakan $f_s' = 420 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan tarik (fs)} &= \frac{600 \times (d-c)}{c} \\ &= \frac{600 \times (684,5-442,9)}{750} \\ &= 327,3 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z1 &= \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} a \\ &= \frac{1}{2} 750 - \frac{1}{2} 370,1 \\ &= 189,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= \frac{1}{2} H - d' \\ &= \frac{1}{2} 750 - 65,5 \\ &= 309,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3 &= d - \frac{1}{2} H \\ &= 684,5 - \frac{1}{2} 750 \\ &= 309,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + (A_s' \times f_y) - (A_s \times f_s) \leq P_n \text{ max} \\ &= (0,85 \times 30 \times 370,1 \times 700 + 1312,5 \times 420 - 1312,5 \times \\ &\quad (327,3)/1000 \\ &= 6729 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{C_c \times Z1 + C_s \times C2 + T_s \times Z3}{10^6} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 370,1 \times 700 \times 189,9 + 1312,5 \times 420 \times 309,5 + 1312,5 \times (-52,4) \times 327,3}{10^6} \end{aligned}$$

$$= 1558,424 \text{ kNm}$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= 0,65 \times M_n \\ &= 0,65 \times 1558,424 \\ &= 1012,976 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi P_n &= 0,65 \times P_n \\ &= 0,65 \times 6729 \\ &= 4373,747 \text{ kN}\end{aligned}$$

c. Kondisi *Balance*

Agar kondisi seimbang dibutuhkan faktor pengali $C_b = 1$. Berikut ini contoh langkah perhitungannya.

$$\begin{aligned}c &= 1 \times 402,647 \\ &= 402,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,84 \times 402,6 \\ &= 336,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(684,5-402,6)}{402,6} \times 0,003\end{aligned}$$

$$= 0,0021 \geq \epsilon_y = 0,002 \text{ sehingga baja tarik sudah leleh.}$$

Karena baja tarik sudah leleh maka $f_s = f_y = 420 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}\text{Tulangan tarik (fs)} &= \frac{600 \times (d-c)}{c} \\ &= \frac{600 \times (684,5-402,6)}{402,6} \\ &= 420 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Karena hasil yang didapatkan tidak $\leq f_y$ sehingga digunakan $f_s' = 420 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}Z_1 &= \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} a \\ &= \frac{1}{2} 750 - \frac{1}{2} 336,5 \\ &= 206,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} H - d'$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} 750 - 65,5 \\
 &= 309,5 \text{ mm} \\
 Z3 &= d - 1/2H \\
 &= 684,5 - \frac{1}{2} 750 \\
 &= 309,5 \text{ mm} \\
 Pn &= Cc + (As' \times fy) - (As \times fs) \leq Pn \text{ max} \\
 &= (0,85 \times 30 \times 336,5 \times 700 + 1312,5 \times 420 - \\
 &1312,5 \times 420)/1000 \\
 &= 6006 \text{ kN} \\
 Mn &= \frac{Cc \times Z1 + Cs \times C2 + Ts \times Z3}{10^6} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 336,5 \times 700 \times 206,8 + 1312,5 \times 420 \times 309,5 + 1312,5 \times 420 \times 309,5}{10^6} \\
 &= 1583,071 \text{ kNm} \\
 \Phi &= 0,65 \\
 \Phi Mn &= 0,65 \times Mn \\
 &= 0,65 \times 1583,071 \\
 &= 1029 \text{ kNm} \\
 \Phi Pn &= 0,65 \times Pn \\
 &= 0,65 \times 6006 \\
 &= 3904,22 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Kondisi Patah Tarik

Agar kondisi tidak terjadi patah tarik dibutuhkan faktor pengali $C_b < 1$ seperti 0,2. Berikut ini contoh langkah perhitungannya.

$$\begin{aligned}
 c &= 0,2 \times 402,647 \\
 &= 80,5 \text{ mm} \\
 a &= \beta_1 \times c \\
 &= 0,84 \times 80,5 \\
 &= 67,3 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(684,5-80,5)}{80,5} \times 0,003 \\
 &= 0,0023 \geq \epsilon_y = 0,002 \text{ sehingga baja tarik sudah leleh.}
 \end{aligned}$$

Karena baja tarik sudah leleh maka $f_s = f_y = 420$ Mpa

$$\begin{aligned} \text{Tulangan tarik (fs)} &= \frac{600 \times (d-c)}{c} \\ &= \frac{600 \times (684,5 - 80,5)}{80,5} \\ &= 4500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Karena hasil yang didapatkan tidak $\leq f_y$ sehingga digunakan $f_s' = 420$ Mpa

$$\begin{aligned} Z1 &= \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} a \\ &= \frac{1}{2} 750 - \frac{1}{2} 67,3 \\ &= 341,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= \frac{1}{2} H - d' \\ &= \frac{1}{2} 750 - 65,5 \\ &= 309,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3 &= d - \frac{1}{2} H \\ &= 684,5 - \frac{1}{2} 750 \\ &= 309,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pn &= Cc + (As' \times f_y) - (As \times f_s) - Pn \text{ max} \\ &= (0,85 \times 30 \times 67,3 \times 700 + 1312,5 \times \\ &111,980 - 1312,5 \times 420) / 1000 \\ &= 797 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Cc \times Z1 + Cs \times C2 + Ts \times Z3}{10^6} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 67,3 \times 700 \times 341,4 + 1312,5 \times 111,980 \times 309,5 + 1312,5 \times 420 \times 309,5}{10^6} \\ &= 626,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned} \Phi Mn &= 0,65 \times Mn \\ &= 0,65 \times 626,16 \\ &= 563,55 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi Pn &= 0,65 \times Pn \\ &= 0,65 \times 797 \\ &= 717,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kondisi Lentur Murni

Kondisi lentur murni merupakan kondisi dimana hanya terdapat momen, beban aksial = 0 maka perhitungannya seperti analisis balok tulangan rangkap dengan tulangan desak belum leleh.

$$\begin{aligned} c &= 0,13 \times 402,647 \\ &= 51,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,84 \times 51,4 \\ &= 43 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(684,5-51,4)}{51,4} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,03694 \leq \epsilon_y = 0,002 \text{ sehingga baja tarik belum leleh.}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan tarik (fs)} &= \frac{600 \times (d-c)}{c} \\ &= \frac{600 \times (51,4-65,5)}{51,4} \\ &= -164,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena hasil yang didapatkan tidak $\leq f_y$ sehingga digunakan $f_s' = 420 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} Z1 &= \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} a \\ &= \frac{1}{2} 750 - \frac{1}{2} 43 \\ &= 353,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= \frac{1}{2} H - d' \\ &= \frac{1}{2} 750 - 65,5 \\ &= 309,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3 &= d - \frac{1}{2} H \\ &= 684,5 - \frac{1}{2} 750 \\ &= 309,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + (A_s' \times f_y) - (A_s \times f_s) \leq P_n \text{ max} \\ &= (0,85 \times 30 \times 43 \times 700 + 1312,5 \times (- \\ &164,368) - 1312,5 \times 420) / 1000 \\ &= 0 \text{ kN} \end{aligned}$$

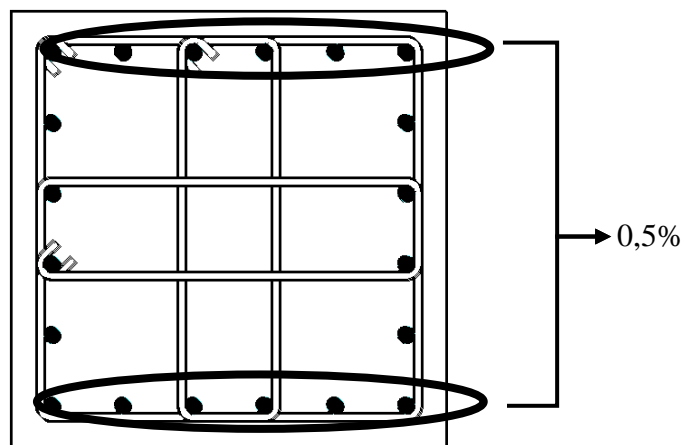
$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{C_c \times Z_1 + C_s \times C_2 + T_s \times Z_3}{10^6} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 43 \times 700 \times 353,5 + 1312,5 \times (-164,368) \times 309,5 \times 1312,5 \times 420 \times 309,5}{10^6} \\
 &= 374,983 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned}
 \Phi M_n &= 0,65 \times M_n \\
 &= 0,65 \times 374,983 \\
 &= 337,485 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi P_n &= 0,65 \times P_n \\
 &= 0,65 \times 0 \\
 &= 0 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Diagram Mn-Pn Kolom SRPMM sama seperti perhitungan SRPMK diatas, sehingga didapatkan rekapitulasi nilai Mu dan Pu kolom arah X dan Y SRPMK dan SRPMM dengan rasio tulangan 0,5% pada tabel dibawah ini.



Gambar 5.10 Sketsa Rasio Tulangan 0,5%

Tabel 5.61 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 1-3 SRPMK

Kondisi	C (mm)		a (mm)	fs'		fs		Z1	Z2	Z3	Pn (kN)		Mn (kNm)	et	φ	φMn	φPn
	n.Cb			hitung	ambil	hitung	ambil	(1/2*H-1/2*a)	(1/2*H-d')	d-1/2*H	hitung	diambil					
konsentris	~	~		420	420	420,0	420,0	0	0	0	11758,95	11758,95	0	0,0000	0,65	0,000	7643,32
pth desak	1,86	750,00	626,79	547,60	420	-52,40	-52,40	61,61	309,50	309,50	11808	11758,95	838,59	-0,0003	0,65	545,09	7643,32
	1,80	724,76	605,70	545,78	420	-33,33	-33,33	72,15	309,50	309,50	11407	11407	937,15	-0,0002	0,65	609,15	7414,34
	1,70	684,50	572,05	542,59	420	0,00	0,00	88,98	309,50	309,50	10762	10762	1079,16	0,0000	0,65	701,45	6995,48
	1,60	644,24	538,40	539,00	420	37,50	37,50	105,80	309,50	309,50	10112	10112	1202,64	0,0002	0,65	781,72	6573,07
	1,50	603,97	504,75	534,93	420	80,00	80,00	122,63	309,50	309,50	9456	9456	1307,94	0,0004	0,65	850,16	6146,39
	1,40	563,71	471,10	530,28	420	128,57	128,57	139,45	309,50	309,50	8792	8792	1395,50	0,0006	0,65	907,07	5714,53
	1,30	523,44	437,45	524,92	420	184,62	184,62	156,28	309,50	309,50	8117	8117	1465,88	0,0009	0,65	952,82	5276,29
	1,20	483,18	403,80	518,66	420	250,00	250,00	173,10	309,50	309,50	7431	7431	1519,84	0,0013	0,65	987,90	4830,09
1,10	442,91	370,15	511,27	420	327,27	327,27	189,93	309,50	309,50	6729	6729	1558,42	0,0016	0,65	1012,98	4373,75	
Balance	1,00	402,65	336,50	502,40	420	420,00	420,00	206,75	309,50	309,50	6006	6006	1583,07	0,0021	0,65	1029,00	3904,22
Patah tarik	0,90	362,38	302,85	491,55	420	533,33	420,00	223,58	309,50	309,50	5406	5406	1549,84	0,0027	0,70	1083,11	3777,87
	0,80	322,12	269,20	477,99	420	675,00	420,00	240,40	309,50	309,50	4805	4805	1496,40	0,0034	0,76	1137,13	3651,53
	0,70	281,85	235,55	460,57	420	857,14	420,00	257,23	309,50	309,50	4205	4205	1422,74	0,0043	0,84	1192,86	3525,19
	0,60	241,59	201,90	437,33	420	1100,00	420,00	274,05	309,50	309,50	3604	3604	1328,87	0,0055	0,90	1195,99	3243,50
	0,50	201,32	168,25	404,79	404,79	1440,00	420,00	290,88	309,50	309,50	2983	2983	1208,62	0,0072	0,90	1087,75	2684,95
	0,40	161,06	134,60	355,99	355,99	1950,00	420,00	307,70	309,50	309,50	2319	2319	1054,50	0,0098	0,90	949,05	2086,72
	0,30	120,79	100,95	274,65	274,65	2800,00	420,00	324,53	309,50	309,50	1611	1611	866,96	0,0140	0,90	780,26	1450,06
	0,20	80,53	67,30	111,98	111,98	4500,00	420,00	341,35	309,50	309,50	797	797	626,16	0,0225	0,90	563,55	717,32
Lentur murni	0,13	51,42	42,97	-164,37	-164,37	7387,94	420,00	353,52	309,50	309,50	0	0	374,98	0,0369	0,90	337,48	0,00

Tabel 5.62 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 4-5 SRPMK

Kondisi	C (mm)		a (mm)	fs'		fs		Z1	Z2	Z3	Pn (kN)		Mn (kNm)	et	φ	φMn	φPn
	n.Cb			hitung	ambil	hitung	ambil	(1/2*H-1/2*a)	(1/2*H-d')	d-1/2*H	hitung	diambil					
konsentris	~	~		420	420	420	420,0	0	0	0	9463,155	9463,155	0	0,00000	0,65	0,000	6151,051
pth desak	1,89	650,00	543,21	539,54	420	-60,46	-60,46	53,39	259,50	259,50	9511	9463,16	579,29	-0,00030	0,65	376,54	6151,05
	1,80	618,88	517,21	536,50	420	-33,33	-33,33	66,40	259,50	259,50	9052	9052	675,18	-0,0002	0,65	438,86	5883,52
	1,70	584,50	488,48	532,76	420	0,00	0,00	80,76	259,50	259,50	8540	8540	769,01	0,0000	0,65	499,86	5551,06
	1,60	550,12	459,74	528,56	420	37,50	37,50	95,13	259,50	259,50	8024	8024	850,31	0,0002	0,65	552,70	5215,75
	1,50	515,74	431,01	523,80	420	80,00	80,00	109,50	259,50	259,50	7503	7503	919,28	0,0004	0,65	597,53	4877,00
	1,40	481,35	402,27	518,36	420	128,57	128,57	123,86	259,50	259,50	6976	6976	976,24	0,0006	0,65	634,56	4534,08
	1,30	446,97	373,54	512,07	420	184,62	184,62	138,23	259,50	259,50	6440	6440	1021,56	0,0009	0,65	664,02	4186,03
	1,20	412,59	344,81	504,75	420	250,00	250,00	152,60	259,50	259,50	5895	5895	1055,76	0,0013	0,65	686,24	3831,57
1,10	378,21	316,07	496,09	420	327,27	327,27	166,96	259,50	259,50	5337	5337	1079,53	0,0016	0,65	701,70	3468,94	
Balance	1,00	343,82	287,34	485,70	420	420,00	420,0	181,33	259,50	259,50	4763	4763	1093,85	0,0021	0,65	711,00	3095,71
Patah tank	0,90	309,44	258,60	473,00	420	533,33	420,0	195,70	259,50	259,50	4286	4286	1069,07	0,0027	0,70	747,12	2995,53
	0,80	275,06	229,87	457,12	420	675,00	420,0	210,06	259,50	259,50	3810	3810	1030,61	0,0034	0,76	783,17	2895,35
	0,70	240,68	201,14	436,71	420	857,14	420,0	224,43	259,50	259,50	3334	3334	978,46	0,0043	0,84	820,36	2795,17
	0,60	206,29	172,40	409,50	409,50	1100,00	420,0	238,80	259,50	259,50	2846	2846	909,75	0,0055	0,90	818,77	2561,83
	0,50	171,91	143,67	371,39	371,39	1440,00	420,0	253,17	259,50	259,50	2330	2330	819,79	0,0072	0,90	737,81	2096,98
	0,40	137,53	114,94	314,24	314,24	1950,00	420,0	267,53	259,50	259,50	1793	1793	710,92	0,0098	0,90	639,83	1614,01
	0,30	103,15	86,20	218,99	218,99	2800,00	420,0	281,90	259,50	259,50	1216	1216	577,92	0,0140	0,90	520,13	1094,83
	0,20	68,76	57,47	28,49	28,49	4500,00	420,0	296,27	259,50	259,50	539	539	405,13	0,0225	0,90	364,62	485,09
Lentur murni	0,14	48,31	40,37	-213,53	-213,53	6659,64	420,0	304,81	259,50	259,50	0	0	260,56	0,0333	0,90	234,51	0,00

Tabel 5.63 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 6 SRPMK

Kondisi	C (mm)		a (mm)	fs'		fs		Z1	Z2	Z3	Pn (kN)		Mn (kNm)	et	φ	φMn	φPn
	n.Cb			hitung	ambil	hitung	ambil	(1/2*H-1/2*a)	(1/2*H-d')	d-1/2*H	hitung	diambil					
konsentris	~	~		420	420	420	420	0	0	0	9463,155	9463,155	0	0,00000	0,65	0,000	6151,05
pth desak	1,89	650,00	543,21	539,54	420	-60,46	-60,46	53,39	259,50	259,50	9511	9463,16	579,29	0,00	0,65	376,54	6151,05
	1,80	618,88	517,21	536,50	420	-33,33	-33,33	66,40	259,50	259,50	9052	9052	675,18	0,00	0,65	438,86	5883,52
	1,70	584,50	488,48	532,76	420	0,00	0,00	80,76	259,50	259,50	8540	8540	769,01	0,00	0,65	499,86	5551,06
	1,60	550,12	459,74	528,56	420	37,50	37,50	95,13	259,50	259,50	8024	8024	850,31	0,00	0,65	552,70	5215,75
	1,50	515,74	431,01	523,80	420	80,00	80,00	109,50	259,50	259,50	7503	7503	919,28	0,00	0,65	597,53	4877,00
	1,40	481,35	402,27	518,36	420	128,57	128,57	123,86	259,50	259,50	6976	6976	976,24	0,00	0,65	634,56	4534,08
	1,30	446,97	373,54	512,07	420	184,62	184,62	138,23	259,50	259,50	6440	6440	1021,56	0,00	0,65	664,02	4186,03
	1,20	412,59	344,81	504,75	420	250,00	250,00	152,60	259,50	259,50	5895	5895	1055,76	0,00	0,65	686,24	3831,57
	1,10	378,21	316,07	496,09	420	327,27	327,27	166,96	259,50	259,50	5337	5337	1079,53	0,00	0,65	701,70	3468,94
Balance	1,00	343,82	287,34	485,70	420	420,00	420	181,33	259,50	259,50	4763	4763	1093,85	0,00	0,65	711,00	3095,71
Patah tank	0,90	309,44	258,60	473,00	420	533,33	420	195,70	259,50	259,50	4286	4286	1069,07	0,00	0,70	747,12	2995,53
	0,80	275,06	229,87	457,12	420	675,00	420	210,06	259,50	259,50	3810	3810	1030,61	0,00	0,76	783,17	2895,35
	0,70	240,68	201,14	436,71	420	857,14	420	224,43	259,50	259,50	3334	3334	978,46	0,00	0,84	820,36	2795,17
	0,60	206,29	172,40	409,50	409,49530	1100,00	420	238,80	259,50	259,50	2846	2846	909,75	0,01	0,90	818,77	2561,83
	0,50	171,91	143,67	371,39	371,39435	1440,00	420	253,17	259,50	259,50	2330	2330	819,79	0,01	0,90	737,81	2096,98
	0,40	137,53	114,94	314,24	314,24294	1950,00	420	267,53	259,50	259,50	1793	1793	710,92	0,01	0,90	639,83	1614,01
	0,30	103,15	86,20	218,99	218,99059	2800,00	420	281,90	259,50	259,50	1216	1216	577,92	0,01	0,90	520,13	1094,83
	0,20	68,76	57,47	28,49	28,48589	4500,00	420	296,27	259,50	259,50	539	539	405,13	0,02	0,90	364,62	485,09
Lentur murni	0,14	48,31	40,37	-213,53	-213,52708	6659,64	420	304,81	259,50	259,50	0	0	260,56	0,03	0,90	234,51	0,00

Tabel 5.64 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 1-3 SRPMM

Kondisi	C (mm)		a (mm)	fs'		fs		Z1	Z2	Z3	Pn (kN)		Mn (kNm)	et	φ	φMn	φPn
	n.Cb			hitung	ambil	hitung	ambil	(1/2*H-1/2*a)	(1/2*H-d')	d-1/2*H	hitung	diambil					
konsentris	~	~		420	420	420,0	420,0	0	0	0	14334,7	14334,72	0	0,0000	0,65	0,000	9317,57
pth desak	1,85	800,00	668,57	550,88	420	-49,13	-49,13	65,71	334,50	334,50	14389,46	14334,72	1094,76	-0,0002	0,65	711,59	9317,57
	1,80	777,71	649,94	549,47	420	-33,33	-33,33	75,03	334,50	334,50	13984,11	13984,11	1201,75	-0,0002	0,65	781,14	9089,67
	1,70	734,50	613,83	546,49	420	0,00	0,00	93,08	334,50	334,50	13194,18	13194,18	1390,40	0,0000	0,65	903,76	8576,21
	1,60	691,29	577,72	543,15	420	37,50	37,50	111,14	334,50	334,50	12397,58	12397,58	1554,68	0,0002	0,65	1010,54	8058,43
	1,50	648,09	541,62	539,36	420	80,00	80,00	129,19	334,50	334,50	11592,98	11592,98	1695,04	0,0004	0,65	1101,77	7535,44
	1,40	604,88	505,51	535,03	420	128,57	128,57	147,25	334,50	334,50	10778,67	10778,67	1812,05	0,0006	0,65	1177,83	7006,13
	1,30	561,68	469,40	530,03	420	184,62	184,62	165,30	334,50	334,50	9952,40	9952,40	1906,46	0,0009	0,65	1239,20	6469,06
	1,20	518,47	433,29	524,20	420	250,00	250,00	183,35	334,50	334,50	9111,18	9111,18	1979,28	0,0013	0,65	1286,53	5922,27
	1,10	475,26	397,19	517,31	420	327,27	327,27	201,41	334,50	334,50	8250,95	8250,95	2031,86	0,0016	0,65	1320,71	5363,12
Balance	1,00	432,06	361,08	509,04	420	420,00	420,00	219,46	334,50	334,50	7365,99	7365,99	2066,12	0,0021	0,65	1342,98	4787,89
Patah tarik	0,90	388,85	324,97	498,93	420	533,33	420,00	237,52	334,50	334,50	6629,39	6629,39	2024,15	0,0027	0,70	1414,58	4632,95
	0,80	345,65	288,86	486,30	420	675,00	420,00	255,57	334,50	334,50	5892,79	5892,79	1955,58	0,0034	0,76	1486,07	4478,01
	0,70	302,44	252,75	470,06	420	857,14	420,00	273,62	334,50	334,50	5156,19	5156,19	1860,42	0,0043	0,84	1559,82	4323,07
	0,60	259,24	216,65	448,40	420	1100,00	420,00	291,68	334,50	334,50	4419,59	4419,59	1738,66	0,0055	0,90	1564,79	3977,63
	0,50	216,03	180,54	418,08	418,08	1440,00	420,00	309,73	334,50	334,50	3679,92	3679,92	1589,28	0,0072	0,90	1430,35	3311,93
	0,40	172,82	144,43	372,60	372,60	1950,00	420,00	327,78	334,50	334,50	2870,55	2870,55	1389,98	0,0098	0,90	1250,98	2583,50
	0,30	129,62	108,32	296,80	296,80	2800,00	420,00	345,84	334,50	334,50	2012,68	2012,68	1147,86	0,0140	0,90	1033,08	1811,41
	0,20	86,41	72,22	145,20	145,20	4500,00	420,00	363,89	334,50	334,50	1033,52	1033,52	838,58	0,0225	0,90	754,72	930,17
Lentur murni	0,12	52,87	44,18	-143,34	-143,34	7735,64	420,00	377,91	334,50	334,50	0,00	0,00	488,69	0,0387	0,90	439,82	0,00

Tabel 5.65 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 4-5 SRPMM

Kondisi	C (mm)		a (mm)	fs'		fs		Z1	Z2	Z3	Pn (kN)		Mn (kNm)	et	φ	φMn	φPn
	n.Cb			hitung	ambil	hitung	ambil	(1/2*H-1/2*a)	(1/2*H-d')	d-1/2*H	hitung	diambil					
konsentris	~	~		420	420	420,00	420,00	0,00	0,00	0,00	12598,88	12598,875	0	0,00000	0,65	0,000	8189,27
pth desak	1,86	750,00	626,79	547,60	420	-52,40	-52,40	61,61	309,50	309,50	12652	12598,88	898,494	-0,0003	0,65	584,02	8189,27
	1,80	724,76	605,70	545,78	420	-33,33	-33,33	72,15	309,50	309,50	12221	12221	1004,094	-0,0002	0,65	652,66	7943,94
	1,70	684,50	572,05	542,59	420	0,00	0,00	88,98	309,50	309,50	11531	11531	1156,239	0,0000	0,65	751,56	7495,16
	1,60	644,24	538,40	539,00	420	37,50	37,50	105,80	309,50	309,50	10835	10835	1288,542	0,0002	0,65	837,55	7042,57
	1,50	603,97	504,75	534,93	420	80,00	80,00	122,63	309,50	309,50	10131	10131	1401,366	0,0004	0,65	910,89	6585,42
	1,40	563,71	471,10	530,28	420	128,57	128,57	139,45	309,50	309,50	9420	9420	1495,177	0,0006	0,65	971,87	6122,71
	1,30	523,44	437,45	524,92	420	184,62	184,62	156,28	309,50	309,50	8697	8697	1570,585	0,0009	0,65	1020,88	5653,17
	1,20	483,18	403,80	518,66	420	250,00	250,00	173,10	309,50	309,50	7962	7962	1628,403	0,0013	0,65	1058,46	5175,10
1,10	442,91	370,15	511,27	420	327,27	327,27	189,93	309,50	309,50	7209	7209	1669,740	0,0016	0,65	1085,33	4686,16	
Balance	1,00	402,65	336,50	502,40	420	420,00	420,00	206,75	309,50	309,50	6436	6436	1696,148	0,0021	0,65	1102,50	4183,09
Patah tank	0,90	362,38	302,85	491,55	420	533,33	420,00	223,58	309,50	309,50	5792	5792	1660,542	0,0027	0,70	1160,47	4047,72
	0,80	322,12	269,20	477,99	420	675,00	420,00	240,40	309,50	309,50	5148	5148	1603,281	0,0034	0,76	1218,36	3912,35
	0,70	281,85	235,55	460,57	420	857,14	420,00	257,23	309,50	309,50	4505	4505	1524,364	0,0043	0,84	1278,06	3776,99
	0,60	241,59	201,90	437,33	420	1100,00	420,00	274,05	309,50	309,50	3861	3861	1423,792	0,0055	0,90	1281,41	3475,18
	0,50	201,32	168,25	404,79	404,792	1440,00	420,00	290,88	309,50	309,50	3196	3196	1294,946	0,0072	0,90	1165,45	2876,74
	0,40	161,06	134,60	355,99	355,990	1950,00	420,00	307,70	309,50	309,50	2484	2484	1129,823	0,0098	0,90	1016,84	2235,78
	0,30	120,79	100,95	274,65	274,653	2800,00	420,00	324,53	309,50	309,50	1726	1726	928,884	0,0140	0,90	836,00	1553,64
	0,20	80,53	67,30	111,98	111,980	4500,00	420,00	341,35	309,50	309,50	854	854	670,889	0,0225	0,90	603,80	768,56
Lentur murni	0,13	51,42	42,97	-164,37	-164,368	7387,94	420,00	353,52	309,50	309,50	0	0	401,768	0,0369	0,90	361,59	0,00

Tabel 5.66 Rekapitulasi Perhitungan Pn dan Mn K1 LT 6 SRPMM

Kondisi	C (mm)		a (mm)	fs'		fs		Z1	Z2	Z3	Pn (kN)		Mn (kNm)	et	φ	φMn	φPn
	n.Cb			hitung	ambil	hitung	ambil	(1/2*H-1/2*a)	(1/2*H-d')	d-1/2*H	hitung	diambil					
konsentris	~	~		420	420	420,00	420,0	0	0	0	12598,88	12598,88	0	0,00000	0,65	0,000	8189,27
pth desak	1,86	750,00	626,79	547,60	420	-52,40	-52,4	61,61	309,50	309,50	12652	12598,88	898,49	-0,0003	0,65	584,02	8189,27
	1,80	724,76	605,70	545,78	420	-33,33	-33,3	72,15	309,50	309,50	12221	12221	1004,09	-0,0002	0,65	652,66	7943,94
	1,70	684,50	572,05	542,59	420	0,00	0,0	88,98	309,50	309,50	11531	11531	1156,24	0,0000	0,65	751,56	7495,16
	1,60	644,24	538,40	539,00	420	37,50	37,5	105,80	309,50	309,50	10835	10835	1288,54	0,0002	0,65	837,55	7042,57
	1,50	603,97	504,75	534,93	420	80,00	80,0	122,63	309,50	309,50	10131	10131	1401,37	0,0004	0,65	910,89	6585,42
	1,40	563,71	471,10	530,28	420	128,57	128,6	139,45	309,50	309,50	9420	9420	1495,18	0,0006	0,65	971,87	6122,71
	1,30	523,44	437,45	524,92	420	184,62	184,6	156,28	309,50	309,50	8697	8697	1570,59	0,0009	0,65	1020,88	5653,17
	1,20	483,18	403,80	518,66	420	250,00	250,0	173,10	309,50	309,50	7962	7962	1628,40	0,0013	0,65	1058,46	5175,10
1,10	442,91	370,15	511,27	420	327,27	327,3	189,93	309,50	309,50	7209	7209	1669,74	0,0016	0,65	1085,33	4686,16	
Balance	1,00	402,65	336,50	502,40	420	420,00	420,0	206,75	309,50	309,50	6436	6436	1696,15	0,0021	0,65	1102,50	4183,09
Patah tank	0,90	362,38	302,85	491,55	420	533,33	420,0	223,58	309,50	309,50	5792	5792	1660,54	0,0027	0,70	1160,47	4047,72
	0,80	322,12	269,20	477,99	420	675,00	420,0	240,40	309,50	309,50	5148	5148	1603,28	0,0034	0,76	1218,36	3912,35
	0,70	281,85	235,55	460,57	420	857,14	420,0	257,23	309,50	309,50	4505	4505	1524,36	0,0043	0,84	1278,06	3776,99
	0,60	241,59	201,90	437,33	420	1100,00	420,0	274,05	309,50	309,50	3861	3861	1423,79	0,0055	0,90	1281,41	3475,18
	0,50	201,32	168,25	404,79	404,79	1440,00	420,0	290,88	309,50	309,50	3196	3196	1294,95	0,0072	0,90	1165,45	2876,74
	0,40	161,06	134,60	355,99	355,99	1950,00	420,0	307,70	309,50	309,50	2484	2484	1129,82	0,0098	0,90	1016,84	2235,78
	0,30	120,79	100,95	274,65	274,65	2800,00	420,0	324,53	309,50	309,50	1726	1726	928,88	0,0140	0,90	836,00	1553,64
	0,20	80,53	67,30	111,98	111,98	4500,00	420,0	341,35	309,50	309,50	854	854	670,89	0,0225	0,90	603,80	768,56
Lentur murni	0,13	51,42	42,97	-164,37	-164,37	7387,94	420,0	353,52	309,50	309,50	0	0	401,77	0,0369	0,90	361,59	0,00

5.11.2 Checking SCWB

Untuk memenuhi ketentuan bangunan tahan gempa maka suatu bangunan yang dirancang harus memenuhi ketentuan yang ada pada SCWB (*Strong Column With Beam*) yaitu $\sum Mu \text{ kolom} \geq 1,2 \times \sum Mu \text{ balok}$. Berikut ini merupakan contoh perhitungan M_n balok.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

a. Momen Nominal Positif B2

Diketahui:

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

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

$$d_s = 84,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= (H - d_s) \\ &= 600 - 84,5 \\ &= 515,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

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

Tulangan Terpasang

$$D- = 22$$

$$n = 5 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times n \\ &= 380,133 \times 5 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \times F_y &= 1900,66 \times 420 \\ &= 798278,69 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= (A_s \times F_y) / (0,85 \times f_c \times b) \\ &= 798278,69 / (0,85 \times 30 \times 350) \\ &= 89,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times F_y \times (d - \frac{a}{2})) \\ &= (798278,69 (515,50 - \frac{89,44}{2})) \\ &= 375812449,46 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$= 375,81 \text{ kNm}$$

b. Momen Nominal Negatif B4

Diketahui:

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

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

$$d_s = 84,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= (H - d_s) \\ &= 650 - 84,5 \\ &= 515,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

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

Tulangan Terpasang

$$D- = 22$$

$$n = 7 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} L_n &= L_{\text{balok}} - 400 - 400 \\ &= 8000 - 400 - 400 \\ &= 7200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal Pelat} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S_w &= 3900 - 175 - 125 \\ &= 3600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_f 1 &= b + 8 \times \text{tebal plat} \\ &= 350 + 8 \times 150 \\ &= 1550 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_f 2 &= b + \frac{L_n}{2} \\ &= 350 + \frac{7200}{2} \\ &= 1250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_f 3 &= b + \frac{S_w}{2} \\ &= 350 + \frac{3600}{2} \\ &= 2150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$B_f \text{ pakai} = 1250 \text{ mm}$$

Tulangan Pelat

$$P- = 10$$

$$S- = 200$$

$$n = \frac{Bf}{s}$$

$$= \frac{1250}{200}$$

$$= 6,25 \approx 7 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{As pelat} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 7 \\ &= 549,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As balok} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 22^2 \times 7 \\ &= 2660,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Total} &= \text{As pelat} + \text{As balok} \\ &= 549,78 + 2660,93 \\ &= 3210,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As x Fy} &= 3210,71 \times 420 \\ &= 1348497,23 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= (\text{As x Fy}) / (0,85 \times f_c \times b) \\ &= 1348497,23 / (0,85 \times 30 \times 350) \\ &= 151,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= (\text{As x Fy} \times (d - \frac{a}{2})) \\ &= (1348497,23 \times (515,50 - \frac{151,09}{2})) \\ &= 593276665,19 \text{ Nmm} \\ &= 593,28 \text{ knm} \end{aligned}$$

Untuk Perhitungan Mn balok SRPMM sama seperti perhitungan Mn balok SRPMK diatas, sehingga didapatkan nilai Mn balok SRPMK dan SRPMM sesuai pata tabel rekapitulasi perhitungan Mn balok dan Pu kolom dibawah ini

Tabel 5.67 Rekapitulasi Momen Nominal Balok SRPMK

Kode Balok	Lantai	Momen Nominal (kNm)	
		Mn+	Mn-
B1	1	433,84	520,47
	2	375,81	593,28
	3	375,81	593,28
	4	375,81	533,67
	5	375,81	533,67
	6	302,55	398,83
B2	1	375,81	593,28
	2	375,81	593,28
	3	375,81	593,28
	4	375,81	593,28
	5	375,81	533,67
	6	270,62	398,87
B3	1	375,81	593,28
	2	375,81	593,28
	3	375,81	593,28
	4	375,81	533,67
	5	375,81	533,67
	6	270,62	398,87
B4	1	375,81	568,99
	2	375,81	568,99
	3	375,81	568,99
	4	375,81	568,99
	5	375,81	568,99
	6	270,62	387,74

Tabel 5.68 Rekapitulasi Momen Nominal Balok SRPMM

Kode Balok	Lantai	Momen Nominal (kNm)	
		Mn+	Mn-
B1	1	284,81	587,31
	2	284,81	587,31
	3	284,81	587,31
	4	284,81	587,31
	5	284,81	587,31
	6	284,81	414,97
B2	1	284,81	569,92
	2	284,81	569,92
	3	284,81	569,92
	4	284,81	569,92
	5	284,81	569,92
	6	284,81	396,66
B3	1	235,66	530,35
	2	235,66	530,35
	3	235,66	530,35
	4	235,66	530,35
	5	235,66	530,35
	6	159,61	396,93
B4	1	235,66	517,03
	2	235,66	517,03
	3	235,66	517,03
	4	235,66	517,03
	5	235,66	517,03
	6	159,61	382,58

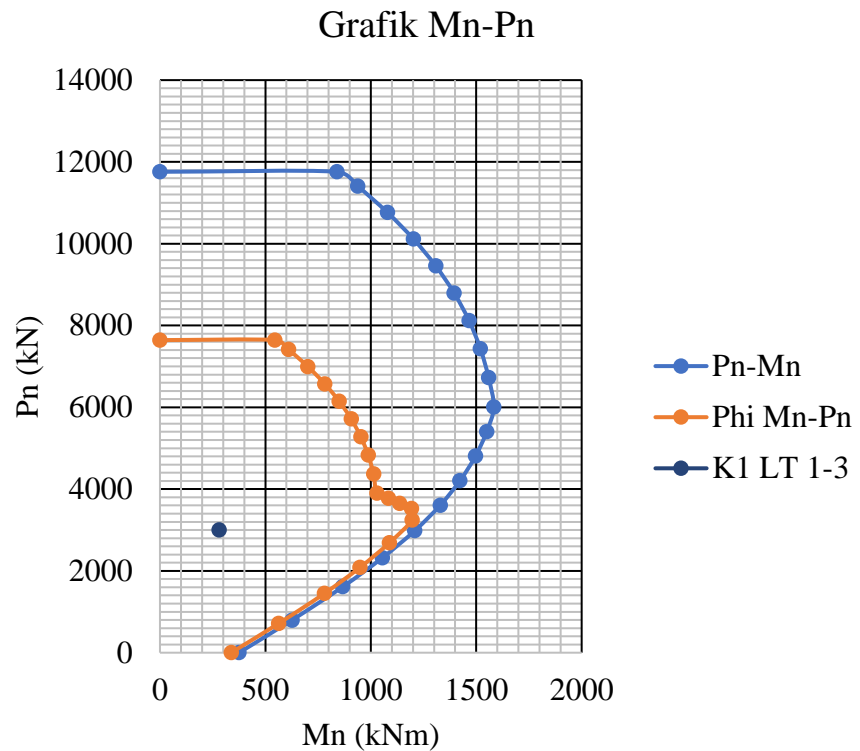
Tabel 5.69 Rekapitulasi Pu Kolom SRPMK

Kode Balok	Lantai	Pu Kolom X		Pu Kolom Y		Mn Kolom X (kN)	Mn Kolom Y (kN)
		Atas (kN)	Bawah (kN)	Atas (kN)	Bawah (kN)		
K1	1~3	3751,34	4616,58	3751,34	4616,58	3600	3580
	4~5	1293,87	2092,25	1293,87	2092,25	1290	1290
	6	587,35	1345,91	587,35	1345,91	965	970

Tabel 5.70 Rekapitulasi Pu Kolom SRPMM

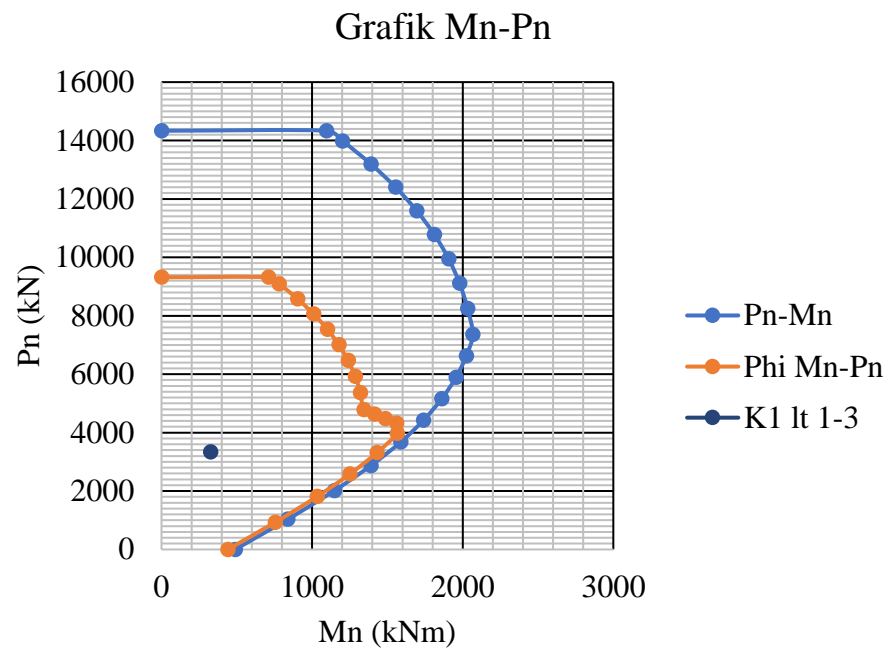
Kode Balok	Lantai	Pu Kolom X		Pu Kolom Y		Mn Kolom X (kN)	Mn Kolom Y (kN)
		Atas (kN)	Bawah (kN)	Atas (kN)	Bawah (kN)		
K1	1~3	4159.56	5131.90	4159.56	5131.90	2890	2890
	4~5	1478.87	2343.86	1478.87	2343.86	1830	1830
	6	695.00	1556.62	695.00	1556.62	1390	1390

Sebagai contoh perhitungan, berikut merupakan grafik Mn-Pn pada kolom 1 lantai 1 arah X.



Gambar 5.11 Grafik Mn-Pn K1 Arah X SRPMK

Dari grafik diatas didapatkan nilai Mn sebesar 1710 kNm dan 1890 kNm, apabila kedua Mn itu dijumlahkan maka didapatkan nilai sebesar 3600 kNm. Untuk nilai $1,2 \times \sum Mn$ balok B1 sebesar 1133,765 kNm. Sesuai dengan ketentuan pada SCWB bahwa $\sum Mn$ kolom $\geq 1,2 \times \sum Mn$ balok, maka nilai Pn kolom sudah memenuhi ketentuan yang berlaku dan dapat dikatakan aman.



Gambar 5.12 Grafik Mn-Pn K1 Arah X SRPMM

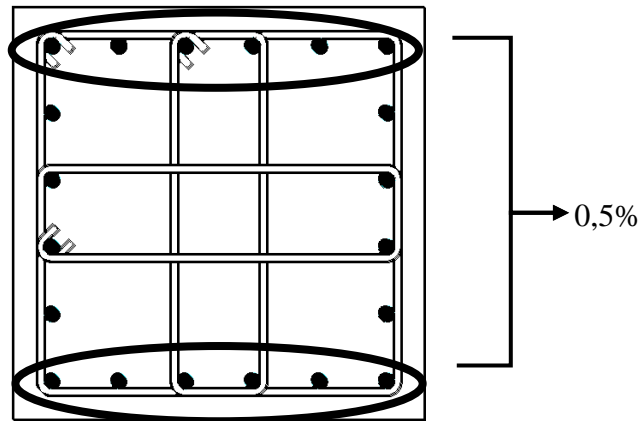
Dari grafik diatas didapatkan nilai Mn sebesar 1565 kNm dan 1325, apabila kedua Mn itu dijumlahkan maka didapatkan nilai sebesar 2890 kNm. Untuk nilai $1,2 \times \sum Mn$ balok B1 sebesar 962,21 kNm. Sesuai dengan ketentuan pada SCWB bahwa $\sum Mn$ kolom $\geq 1,2 \times \sum Mn$ balok, maka nilai Pn kolom sudah memenuhi ketentuan yang berlaku dan dapat dikatakan aman.

5.11.3 Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Berikut ini merupakan contoh langkah-langkah perhitungan Tulangan lentur kolom.

- Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus K1 Arah X (SRPMK)

$$\text{Rasio} = 0,5\%$$



Gambar 5.13 Sketsa Rasio Tulangan 0,5%

$$\begin{aligned}
 A_g &= 525000 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ perlu} &= \text{Rasio} \times A_g \\
 &= 0,5\% \times 525000 \\
 &= 2625 \text{ mm}^2 \\
 A_{s1} \text{ tulangan} &= 0,25 \times \pi \times D_b^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 490,874 \text{ mm}^2 \\
 T. \text{Perlu} &= \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_{s1} \text{ Tulangan}} \\
 &= \frac{2625}{490,874} \\
 &= 5,348 \text{ buah} \\
 T. \text{ Terpasang} &= 6 \text{ buah} \\
 \text{Tulangan Lentur} &= 6D25
 \end{aligned}$$

Untuk langkah-langkah perhitungan tulangan lentur kolom SRPMM sama seperti perhitungan tulangan lentur kolom SRPMK diatas.

5.11.4 Perhitungan Gaya Geser Kolom

Berikut ini merupakan contoh langkah-langkah perhitungan gaya geser kolom.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus K1 (SRPMK)

1. Menghitung nilai L_o

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

$$H_{lantai} = 4200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_u &= H_{lantai} - H_{balok} \\ &= 4200 - 600 \\ &= 3600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek 1} &= L_o > H_{kolom} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek 2} &= L_o > \frac{1}{6} \times L_u \\ &= L_o > \frac{1}{6} \times 3600 \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek 3} &= L_o > 450 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_o \text{ max} = 600 \text{ mm}$$

- **DAERAH SENDI PLASTIS**

2. Menghitung nilai sengkang

$$B \text{ kolom} = 750 \text{ mm}$$

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

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

Trial kaki sengkang

$$\text{Kaki sengkang} = 3 \text{ kaki}$$

$$h_x = \frac{B \text{ kolom} - 2 \times S_b - 2 \times \emptyset \text{ sengkang} - d_b}{(n \text{ kaki} - 1)}$$

$$= \frac{750 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 25}{(3 - 1)}$$

$$= 309,5 \text{ mm}$$

$$B_c = H_x \times (\text{kaki sengkang} - 1)$$

$$= 309,5 \times (3 - 1)$$

$$= 619 \text{ mm}$$

$$P_u = 4616,58 \text{ kNm}$$

$$A_g \times F_c' \times 0,3 = (750 \times 700 \times 30 \times 0,3)/1000$$

$$= 4725 > p_u \text{ (Ok)}$$

$$\text{Cek } h_x \leq 350 \text{ mm (OK)}$$

3. Menghitung spasi (s)

Menentukan s

$$\text{Diameter pokok} = 25 \text{ mm}$$

$$S_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$= 100 + \frac{350 - 309,50}{3}$$

$$= 113,50 \text{ mm}$$

$$\text{Cek 1 } s \leq S_0 = 113,50 \text{ (OK)}$$

$$\text{Cek 2 } s \leq 150 = 150 \text{ (OK)}$$

$$\text{Cek 3 } s \leq 100 = 100 \text{ (OK)}$$

$$\text{Cek 4 } s \leq \frac{1}{4} \times B_c$$

$$= \frac{1}{4} \times 619$$

$$= 154,75 \text{ (OK)}$$

$$\text{Cek 1 } s \leq 6 \times d_b$$

$$= 6 \times 25$$

$$= 150 \text{ (OK)}$$

$$S \text{ pakai} = 100$$

4. Menghitung luasan penampang sengkang

$$\emptyset \text{ sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$A_{shx} = A_{shy}$$

$$B_c = H_{kolom} - 2 \times s_b - 2 \times \emptyset \text{ sengkang} - d_b$$

$$= 700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 25$$

$$= 569 \text{ mm}$$

$$A_{sh1} = 0,3 \times (S_{pakai} \times b_c \times \frac{f_{c'}}{f_y}) \times \left(\left(\frac{B_c \times H}{B_c \times B_c} - 1 \right) \right)$$

$$= 0,3 \times (100 \times 569 \times \frac{30}{420}) \times ((\frac{750 \times 700}{569 \times 569} - 1))$$

$$= 824,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash2} = 0,09 \times (\frac{\text{Spakai} \times bc \times fc'}{fy})$$

$$= 0,09 \times (\frac{100 \times 569 \times 30}{420})$$

$$= 397,93 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash3} = 458,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash pakai} = 397,93 \text{ mm}^2$$

5. Menghitung luas sengkang

$$A_{vx} = A_{vy}$$

$$A_{vx} = \text{kaki sengkang} \times 0,25 \times \pi \times \emptyset \text{ sengkang}^2$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 13^2$$

$$= 398,20 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek 1} = A_{vx} > \text{ashpakai (OK)}$$

6. Melakukan cek terhadap gaya

$$V_e = 584,27 \text{ kN}$$

$$d = H_{\text{kolom}} - S_b - \emptyset \text{ sengkang} - 0,5 \times D_b$$

$$= 700 - 40 - 13 - 0,5 \times 25$$

$$= 684,50 \text{ mm}$$

$$P_u = 4616,58 \text{ kN}$$

$$A_g \times f_c' \times 5\% = (750 \times 700 \times 30 \times 5\%) / 1000$$

$$= 787,50 \text{ kN}$$

$$\text{Cek} = P_u < A_g \times f_c' \times 5\% (V_c \text{ terhitung})$$

Sehingga nilai v_c dihitung sesuai dengan SNI

$$V_c = 0,17 \times (1 + (\frac{P_u \times 1000}{14 \times H_{\text{kolom}} \times B_{\text{kolom}}})) \times \sqrt{f_c'} \times$$

$B_{\text{kolom}} \times d$

$$= 0,17 \times (1 + (\frac{4616,58 \times 1000}{14 \times 750 \times 700})) \times \sqrt{30'} \times 700 \times$$

684,50

$$= 726,38 \text{ kN}$$

$$\text{Cek 2} = V_c > V_e \text{ (OK)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan tulangan pakai sebesar **3D13-100 mm**.

- **DAERAH LUAR SENDI PLASTIS**

1. Menentukan Spasi

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

$$\text{Cek1} = s \leq 6dB = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Cek2} = s \leq 150 = 150 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

2. Checking gaya

$$V_e = 584,27 \text{ kN}$$

$$d = 684,50 \text{ mm}$$

$$\text{kaki sengkang} = 2 \text{ kaki}$$

$$A_{vx} = \text{kaki sengkang} \times A \text{ tul. Sengkang}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2$$

$$= 265,46 \text{ mm}^2$$

$$V_c = 726,38 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_{vx} \times d \times F_y}{s_{pakai}}$$

$$= \frac{726,38 \times 684,50 \times 420}{100}$$

$$= 508789,41 \text{ N}$$

$$= 508,79 \text{ kN}$$

$$\text{Cek} = V_c > V_e \text{ (OK)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan tulangan pakai sebesar **2D13-150 mm**.

Langkah-langkah perhitungan gaya geser SRPMM sama seperti langkah-langkah perhitungan gaya geser SRPMK diatas.

5.11.5 Perhitungan Desain Tulangan Geser *Beam Coloumn Joint*

Berikut ini merupakan contoh langkah-langkah perhitungan tulangan Geser *Beam Coloumn Joint*.

➤ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus K1 (SRPMK)

1. Diketahui:

$$V_{\text{sway}} = 584,27 \text{ kN}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s-} &= 5D22 \\ &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s+} &= 5D22 \\ &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s-} &= 1,25 \times f_y \times A_{s-} \\ &= 1,25 \times 420 \times 1900,66 \\ &= 997,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{c+} &= 1,25 \times f_y \times A_{s+} \\ &= 1,25 \times 420 \times 1900,66 \\ &= 997,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_{s- \text{ max}} = 1396,988 \text{ kN}$$

$$C_{c+} = 997,848 \text{ kN}$$

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

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

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

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

Sengkang kolom daerah sendi plastis 3D13-100 mm

$$D_b = 22 \text{ mm}$$

- Cek H tinggi Joint

$$\begin{aligned} 20db &= 20 \times 22 \\ &= 440 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek H} = H_c (700) > 20db (440) \text{ maka aman.}$$

- Luas Joint Efektif

$$\begin{aligned} B1 &= Bb + Hc \\ &= 300 + 700 \\ &= 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B2 &= B \text{ balok} + 2 \times (b \text{ kolom} - b \text{ balok}) \\ &= 300 + 2 \times (750 - 300) \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$B \text{ pakai} = 750 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_j &= B \times h \\ &= 700 \times 750 \\ &= 525000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keamanan Joint

$$\begin{aligned} V_n \text{ 2 muka} &= 0,75 \times 1,2 \times \sqrt{f_c'} \times A_j \times \frac{1}{1000} \\ &= 0,75 \times 1,2 \times \sqrt{30} \times 525000 \times \frac{1}{1000} \\ &= 2587,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n \text{ 4 muka} &= 0,75 \times 1,2 \times \sqrt{f_c'} \times A_j \times \frac{1}{1000} \\ &= 0,75 \times 1,7 \times \sqrt{30} \times 525000 \times \frac{1}{1000} \\ &= 3666,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ Joint} &= V_{\text{sway}} - T_s - C_c + \\ &= 1810,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek V_n terhadap V_u

$$\text{Cek keamanan joint 2 muka} = V_n > V_u \text{ Joint maka aman}$$

$$\text{Cek keamanan joint 4 muka} = V_n > V_u \text{ Joint maka aman}$$

Karena hasil pengecekan aman, sehingga sengkang *joint* sama dengan sengkang sendi plastis yaitu **3D13-100**. Untuk langkah-langkah perhitungan tulangan Geser *Beam Coloumn Joint* SRPMM sama seperti contoh perhitungan SRPMK diatas, sehingga didapat hasil seperti pada tabel rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 5.71 Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMK

Kode	Dimensi Kolom	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Kebutuhan Tulangan Geser		
			Arah X	Arah Y	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis	Pada Joint
K1	750 x 700	1~3	6D25	6D25	3D13-100 mm	2D13-150 mm	3D13-100 mm
	650 x 650	4~5	5D25	5D25	3D13-100 mm	2D13-150 mm	3D13-100 mm
		Atap	5D25	5D25	3D13-100 mm	2D13-150 mm	3D13-100 mm

Tabel 5.72 Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMM

Kode	Dimensi Kolom	Lantai	Tul.Lentur Tumpuan		Kebutuhan Tulangan Geser		
			Arah X	Arah Y	Daerah Sendi Plastis	Daerah Luar Sendi Plastis	Pada Joint
K1	800X800	1~3	7D25	7D25	4D13-100 mm	2D13-150 mm	4D13-100 mm
	750X750	4~5	6D25	6D25	3D13-100 mm	2D13-150 mm	3D13-100 mm
K1	750X750	6	6D25	6D25	3D13-100 mm	2D13-150 mm	3D13-100 mm

5.12 Tabel Rekapitulasi Rasio

5.12.1 Rasio Mn/Mu Balok

Tabel 5.73 Rasio Balok Anak Mn/Mu SRPMK

Jenis Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu
Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
BA6X Tumpuan (-)	1,035	BA6X Tumpuan (-)	1,123	BA6X Tumpuan (-)	1,136
BA6X Tumpuan (+)	1,341	BA6X Tumpuan (+)	1,411	BA6X Tumpuan (+)	1,426
BA6X Lapangan (+)	1,341	BA6X Lapangan (+)	1,411	BA6X Lapangan (+)	1,426
BA6X Lapangan (-)	2,052	BA6X Lapangan (-)	2,052	BA6X Lapangan (-)	2,052
BA6Y Tumpuan (-)	1,035	BA6Y Tumpuan (-)	1,123	BA6Y Tumpuan (-)	1,136
BA6Y Tumpuan (+)	1,341	BA6Y Tumpuan (+)	1,411	BA6Y Tumpuan (+)	1,426
BA6Y Lapangan (+)	1,341	BA6Y Lapangan (+)	1,411	BA6Y Lapangan (+)	1,426
BA6Y Lapangan (-)	2,052	BA6Y Lapangan (-)	2,052	BA6Y Lapangan (-)	2,056

Lanjutan Tabel 5.73 Rasio Balok Anak Mn/Mu SRPMK

Jenis Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
BA6X Tumpuan (-)	1,146	BA6X Tumpuan (-)	1,154	BA6X Tumpuan (-)	1,044
BA6X Tumpuan (+)	1,438	BA6X Tumpuan (+)	1,445	BA6X Tumpuan (+)	1,053
BA6X Lapangan (+)	1,438	BA6X Lapangan (+)	1,445	BA6X Lapangan (+)	1,053
BA6X Lapangan (-)	2,052	BA6X Lapangan (-)	2,052	BA6X Lapangan (-)	2,052
BA6Y Tumpuan (-)	1,146	BA6Y Tumpuan (-)	1,154	BA6Y Tumpuan (-)	1,916
BA6Y Tumpuan (+)	1,438	BA6Y Tumpuan (+)	1,445	BA6Y Tumpuan (+)	1,053
BA6Y Lapangan (+)	1,438	BA6Y Lapangan (+)	1,445	BA6Y Lapangan (+)	1,053
BA6Y Lapangan (-)	2,052	BA6Y Lapangan (-)	2,052	BA6Y Lapangan (-)	2,052

Tabel 5.74 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMK

Jenis Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu
Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B1 Tumpuan (-)	1,013	B1 Tumpuan (-)	1,165	B1 Tumpuan (-)	1,188
B1 Tumpuan (+)	1,113	B1 Tumpuan (+)	1,031	B1 Tumpuan (+)	1,082
B1 Lapangan (+)	1,020	B1 Lapangan (+)	1,131	B1 Lapangan (+)	1,123
B1 Lapangan (-)	1,475	B1 Lapangan (-)	1,209	B1 Lapangan (-)	1,209
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B1 Tumpuan (-)	1,055	B1 Tumpuan (-)	1,104	B1 Tumpuan (-)	1,301
B1 Tumpuan (+)	1,155	B1 Tumpuan (+)	1,241	B1 Tumpuan (+)	1,326
B1 Lapangan (+)	1,116	B1 Lapangan (+)	1,114	B1 Lapangan (+)	1,346
B1 Lapangan (-)	1,209	B1 Lapangan (-)	1,209	B1 Lapangan (-)	1,411

Lanjutan Tabel 5.74 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMK

Jenis Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu
Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B2 Tumpuan (-)	1,208	B2 Tumpuan (-)	1,165	B2 Tumpuan (-)	1,188
B2 Tumpuan (+)	1,022	B2 Tumpuan (+)	1,031	B2 Tumpuan (+)	1,082
B2 Lapangan (+)	1,082	B2 Lapangan (+)	1,131	B2 Lapangan (+)	1,123
B2 Lapangan (-)	1,209	B2 Lapangan (-)	1,209	B2 Lapangan (-)	1,209
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B2 Tumpuan (-)	1,231	B2 Tumpuan (-)	1,104	B2 Tumpuan (-)	1,445
B2 Tumpuan (+)	1,155	B2 Tumpuan (+)	1,241	B2 Tumpuan (+)	1,185
B2 Lapangan (+)	1,116	B2 Lapangan (+)	1,114	B2 Lapangan (+)	1,216
B2 Lapangan (-)	1,209	B2 Lapangan (-)	1,209	B2 Lapangan (-)	1,555

Lanjutan Tabel 5.74 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMK

Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B3 Tumpuan (-)	1,208	B3 Tumpuan (-)	1,165	B3 Tumpuan (-)	1,188
B3 Tumpuan (+)	1,022	B3 Tumpuan (+)	1,031	B3 Tumpuan (+)	1,082
B3 Lapangan (+)	1,082	B3 Lapangan (+)	1,131	B3 Lapangan (+)	1,123
B3 Lapangan (-)	1,209	B3 Lapangan (-)	1,209	B3 Lapangan (-)	1,209
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B3 Tumpuan (-)	1,055	B3 Tumpuan (-)	1,104	B3 Tumpuan (-)	1,445
B3 Tumpuan (+)	1,155	B3 Tumpuan (+)	1,241	B3 Tumpuan (+)	1,185
B3 Lapangan (+)	1,116	B3 Lapangan (+)	1,114	B3 Lapangan (+)	1,216
B3 Lapangan (-)	1,209	B3 Lapangan (-)	1,209	B3 Lapangan (-)	1,555

Lanjutan Tabel 5.74 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMK

Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B4 Tumpuan (-)	1,208	B4 Tumpuan (-)	1,165	B4 Tumpuan (-)	1,188
B4 Tumpuan (+)	1,022	B4 Tumpuan (+)	1,031	B4 Tumpuan (+)	1,082
B4 Lapangan (+)	1,082	B4 Lapangan (+)	1,131	B4 Lapangan (+)	1,123
B4 Lapangan (-)	1,209	B4 Lapangan (-)	1,209	B4 Lapangan (-)	1,209
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B4 Tumpuan (-)	1,231	B4 Tumpuan (-)	1,289	B4 Tumpuan (-)	1,445
B4 Tumpuan (+)	1,155	B4 Tumpuan (+)	1,241	B4 Tumpuan (+)	1,185
B4 Lapangan (+)	1,116	B4 Lapangan (+)	1,114	B4 Lapangan (+)	1,216
B4 Lapangan (-)	1,209	B4 Lapangan (-)	1,209	B4 Lapangan (-)	1,555

Tabel 5.75 Rasio Balok Anak Mn/Mu SRPMM

Jenis Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu
Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
BA6X Tumpuan (-)	1,192	BA6X Tumpuan (-)	1,124	BA6X Tumpuan (-)	1,137
BA6X Tumpuan (+)	1,164	BA6X Tumpuan (+)	1,164	BA6X Tumpuan (+)	1,164
BA6X Lapangan (+)	1,164	BA6X Lapangan (+)	1,164	BA6X Lapangan (+)	1,164
BA6X Lapangan (-)	1,164	BA6X Lapangan (-)	1,164	BA6X Lapangan (-)	1,164
BA6Y Tumpuan (-)	1,192	BA6Y Tumpuan (-)	1,124	BA6Y Tumpuan (-)	1,137
BA6Y Tumpuan (+)	1,164	BA6Y Tumpuan (+)	1,164	BA6Y Tumpuan (+)	1,164
BA6Y Lapangan (+)	1,164	BA6Y Lapangan (+)	1,164	BA6Y Lapangan (+)	1,164
BA6Y Lapangan (-)	1,164	BA6Y Lapangan (-)	1,164	BA6Y Lapangan (-)	1,164

Lanjutan Tabel 5.75 Rasio Balok Anak Mn/Mu SRPMM

Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
BA6X Tumpuan (-)	1,195	BA6X Tumpuan (-)	1,109	BA6X Tumpuan (-)	1,164
BA6X Tumpuan (+)	1,164	BA6X Tumpuan (+)	1,164	BA6X Tumpuan (+)	1,164
BA6X Lapangan (+)	1,164	BA6X Lapangan (+)	1,164	BA6X Lapangan (+)	1,164
BA6X Lapangan (-)	1,164	BA6X Lapangan (-)	1,164	BA6X Lapangan (-)	1,164
BA6Y Tumpuan (-)	1,195	BA6Y Tumpuan (-)	1,109	BA6Y Tumpuan (-)	1,164
BA6Y Tumpuan (+)	1,164	BA6Y Tumpuan (+)	1,164	BA6Y Tumpuan (+)	1,164
BA6Y Lapangan (+)	1,164	BA6Y Lapangan (+)	1,164	BA6Y Lapangan (+)	1,164
BA6Y Lapangan (-)	1,164	BA6Y Lapangan (-)	1,164	BA6Y Lapangan (-)	1,164

Tabel 5.76 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMM

Jenis Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu	Type Balok	Rasio Mn/Mu
Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B1 Tumpuan (-)	1,045	B1 Tumpuan (-)	1,065	B1 Tumpuan (-)	1,085
B1 Tumpuan (+)	1,190	B1 Tumpuan (+)	1,190	B1 Tumpuan (+)	1,190
B1 Lapangan (+)	1,230	B1 Lapangan (+)	1,006	B1 Lapangan (+)	1,14
B1 Lapangan (-)	1,586	B1 Lapangan (-)	1,190	B1 Lapangan (-)	1,190
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B1 Tumpuan (-)	1,113	B1 Tumpuan (-)	1,150	B1 Tumpuan (-)	1,089
B1 Tumpuan (+)	1,190	B1 Tumpuan (+)	1,190	B1 Tumpuan (+)	1,190
B1 Lapangan (+)	1,022	B1 Lapangan (+)	1,031	B1 Lapangan (+)	1,008
B1 Lapangan (-)	1,190	B1 Lapangan (-)	1,190	B1 Lapangan (-)	1,190

Lanjutan Tabel 5.76 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMM

Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B2 Tumpuan (-)	1,045	B2 Tumpuan (-)	1,065	B2 Tumpuan (-)	1,085
B2 Tumpuan (+)	1,190	B2 Tumpuan (+)	1,190	B2 Tumpuan (+)	1,190
B2 Lapangan (+)	1,230	B2 Lapangan (+)	1,006	B2 Lapangan (+)	1,014
B2 Lapangan (-)	1,190	B2 Lapangan (-)	1,190	B2 Lapangan (-)	1,190
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B2 Tumpuan (-)	1,113	B2 Tumpuan (-)	1,50	B2 Tumpuan (-)	1,089
B2 Tumpuan (+)	1,190	B2 Tumpuan (+)	1,190	B2 Tumpuan (+)	1,190
B2 Lapangan (+)	1,022	B2 Lapangan (+)	1,031	B2 Lapangan (+)	1,008
B2 Lapangan (-)	1,190	B2 Lapangan (-)	1,190	B2 Lapangan (-)	1,190

Lanjutan Tabel 5.76 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMM

Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B3 Tumpuan (-)	1,011	B3 Tumpuan (-)	1,030	B3 Tumpuan (-)	1,050
B3 Tumpuan (+)	1,116	B3 Tumpuan (+)	1,136	B3 Tumpuan (+)	1,157
B3 Lapangan (+)	1,007	B3 Lapangan (+)	1,031	B3 Lapangan (+)	1,039
B3 Lapangan (-)	1,058	B3 Lapangan (-)	1,058	B3 Lapangan (-)	1,058
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B3 Tumpuan (-)	1,079	B3 Tumpuan (-)	1,117	B3 Tumpuan (-)	1,192
B3 Tumpuan (+)	1,187	B3 Tumpuan (+)	1,226	B3 Tumpuan (+)	1,058
B3 Lapangan (+)	1,047	B3 Lapangan (+)	1,058	B3 Lapangan (+)	1,110
B3 Lapangan (-)	1,058	B3 Lapangan (-)	1,058	B3 Lapangan (-)	1,058

Lanjutan Tabel 5.76 Rasio Balok Induk Mn/Mu SRPMM

Lantai 1		Lantai 2		Lantai 3	
B4 Tumpuan (-)	1,011	B4 Tumpuan (-)	1,030	B4 Tumpuan (-)	1,050
B4 Tumpuan (+)	1,116	B4 Tumpuan (+)	1,136	B4 Tumpuan (+)	1,157
B4 Lapangan (+)	1,007	B4 Lapangan (+)	1,031	B4 Lapangan (+)	1,039
B4 Lapangan (-)	1,058	B4 Lapangan (-)	1,058	B4 Lapangan (-)	1,058
Lantai 4		Lantai 5		Lantai 6	
B4 Tumpuan (-)	1,079	B4 Tumpuan (-)	1,117	B4 Tumpuan (-)	1,192
B4 Tumpuan (+)	1,187	B4 Tumpuan (+)	1,226	B4 Tumpuan (+)	1,058
B4 Lapangan (+)	1,047	B4 Lapangan (+)	1,058	B4 Lapangan (+)	1,110
B4 Lapangan (-)	1,058	B4 Lapangan (-)	1,058	B4 Lapangan (-)	1,058

5.12.2 Rasio Vn/Vu Balok

Tabel 5.77 Rasio Vn/Vu Balok Anak SRPMK

Jenis Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu	Type Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
BA6X	69,30	79,80	1,15	BA6X	48,33	75,72	1,57
Lantai 2				Lantai 2			
BA6X	58,54	79,80	1,36	BA6X	48,20	75,72	1,57
Lantai 3				Lantai 3			
BA6X	59,01	79,80	1,35	BA6X	48,67	75,72	1,56
Lantai 4				Lantai 4			
BA6X	59,01	79,80	1,35	BA6X	48,67	75,72	1,56
Lantai 5				Lantai 5			
BA6X	59,01	79,80	1,35	BA6X	48,67	75,72	1,56
Lantai 6				Lantai 6			
BA6X	47,12	79,80	1,69	BA6X	36,78	75,72	2,06

Tabel 5.78 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMK

Jenis Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu	Type Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B1	374,69	382,60	1,02	B1	342,48	360,95	1,05
Lantai 2				Lantai 2			
B1	362,38	382,60	1,06	B1	331,16	378,60	1,14
Lantai 3				Lantai 3			
B1	358,67	382,60	1,07	B1	327,44	378,60	1,16
Lantai 4				Lantai 4			
B1	341,33	382,60	1,12	B1	310,10	378,60	1,22

Lanjutan Tabel 5.78 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMK

Lantai 5				Lantai 5			
B1	335,60	382,60	1,14	B1	304,38	378,60	1,24
Lantai 6				Lantai 6			
B1	231,08	255,07	1,10	B1	212,89	275,93	1,30
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B2	380,19	382,60	1,01	B2	347,99	378,60	1,09
Lantai 2				Lantai 2			
B2	375,99	382,60	1,02	B2	344,76	378,60	1,10
Lantai 3				Lantai 3			
B2	372,27	382,60	1,03	B2	341,05	378,60	1,11
Lantai 4				Lantai 4			
B2	367,22	382,60	1,04	B2	336	378,60	1,13
Lantai 5				Lantai 5			
B2	347,87	382,60	1,10	B2	316,64	378,60	1,20
Lantai 6				Lantai 6			
B2	245,67	382,60	1,41	B2	227,49	249,17	1,10
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B3	384,07	510,14	1,33	B3	351,87	378,60	1,08
Lantai 2				Lantai 2			
B3	379,86	382,60	1,01	B3	348,64	378,60	1,09
Lantai 3				Lantai 3			
B3	376,14	382,60	1,02	B3	344,92	378,60	1,10
Lantai 4				Lantai 4			
B3	357,09	382,60	1,07	B3	325,86	293,58	
Lantai 5				Lantai 5			
B3	351,36	382,60	1,09	B3	320,14	293,58	

Lanjutan Tabel 5.78 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMK

Lantai 6				Lantai 6			
B3	245,67	345,49	1,41	B3	227,49	249,17	1,10
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B4	432	510,14	1,18	B4	399,79	463,62	1,16
Lantai 2				Lantai 2			
B4	427,79	510,14	1,19	B4	396,57	463,62	1,17
Lantai 3				Lantai 3			
B4	424,07	510,14	1,20	B4	392,85	463,62	1,18
Lantai 4				Lantai 4			
B4	419,02	510,14	1,22	B4	387,80	463,62	1,20
Lantai 5				Lantai 5			
B4	413,20	510,14	1,23	B4	382,08	463,62	1,21
Lantai 6				Lantai 6			
B4	277,49	345,49	1,25	B4	259,31	325,94	1,26

Tabel 5.79 Rasio Vn/Vu Balok Anak SRPMM

Jenis Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu	Type Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
BA6X	194,01	226,91	1,17	BA6X	163,69	186,74	1,14
Lantai 2				Lantai 2			
BA6X	192,25	226,91	1,18	BA6X	162,86	186,74	1,15
Lantai 3				Lantai 3			
BA6X	192,26	226,91	1,18	BA6X	163,87	186,74	1,15
Lantai 4				Lantai 4			

Lanjutan Tabel 5.79 Rasio Vn/Vu Balok Anak SRPMM

Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
BA6X	192,26	226,91	1,18	BA6X	162,87	186,74	1,15
Lantai 5				Lantai 5			
BA6X	192,05	226,91	1,18	BA6X	162,66	186,74	1,15
Lantai 6				Lantai 6			
BA6X	166,39	186,74	1,12	BA6X	149,06	159,96	1,07

Tabel 5.80 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMM

Jenis Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu	Type Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B1	366,77	456,82	1,25	B1	328,96	392,67	1,19
Lantai 2				Lantai 2			
B1	366,77	456,82	1,25	B1	328,96	392,67	1,19
Lantai 3				Lantai 3			
B1	366,77	456,82	1,25	B1	328,96	392,67	1,19
Lantai 4				Lantai 4			
B1	355,75	456,82	1,28	B1	318,90	392,67	1,23
Lantai 5				Lantai 5			
B1	355,75	456,82	1,28	B1	318,90	392,67	1,23
Lantai 6				Lantai 6			
B1	256,31	304,55	1,19	B1	231,83	254,01	1,10
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B2	297,16	304,55	1,02	B2	256,41	523,55	2,04
Lantai 2				Lantai 2			
B2	297,16	304,55	1,02	B2	256,41	523,55	2,04
Lantai 3				Lantai 3			

B2	297,16	304,55	1,02	B2	256,41	523,55	2,04
----	--------	--------	------	----	--------	--------	------

Lanjutan Tabel 5.80 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMM

Lantai 4				Lantai 4			
B2	291,65	304,55	1,04	B2	252,08	253,92	1,01
Lantai 5				Lantai 5			
B2	291,65	304,55	1,04	B2	252,08	253,92	1,01
Lantai 6				Lantai 6			
B2	204,71	304,55	1,49	B2	180,44	272,11	1,51
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B3	254,40	382,60	1,50	B3	224,04	255,07	1,14
Lantai 2				Lantai 2			
B3	254,40	382,60	1,50	B3	224,02	255,07	1,14
Lantai 3				Lantai 3			
B3	254,40	382,60	1,50	B3	224,02	255,07	1,14
Lantai 4				Lantai 4			
B3	266,27	382,60	1,44	B3	235,92	311,22	1,32
Lantai 5,44				Lantai 5			
B3	266,27	382,60	1,44	B3	235,92	311,22	1,32
Lantai 6				Lantai 6			
B3	195,10	255,07	1,31	B3	176,05	311,22	1,77
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
Lantai 1				Lantai 1			
B4	483,92	510,14	1,05	B4	322	396,25	1,23
Lantai 2				Lantai 2			
B4	483,92	510,14	1,05	B4	322	396,25	1,23
Lantai 3				Lantai 3			
B4	483,92	510,14	1,05	B4	322	396,25	1,23
Lantai 4				Lantai 4			

B4	431,93	510,14	1,18	B4	293,95	340,99	1,16
----	--------	--------	------	----	--------	--------	------

Lanjutan Tabel 5.80 Rasio Vn/Vu Balok Induk SRPMM

Lantai 5				Lantai 5			
B4	431,93	510,14	1,18	B4	293,95	340,99	1,16
Lantai 6				Lantai 6			
B4	285,92	382,60	1,34	B4	152,73	170,05	1,11

5.12.3 Rasio Mn/Mu Kolom

Tabel 5.81 Rasio Mn/Mu Kolom SRPMK

Jenis Kolom	Mu Kolom	Mn Kolom	Rasio Mn/Mu
K1 Lt 1-3	311,839	1583,071	5,077
K1 Lt 4-5	282,650	1093,854	3,870
K1 Atap	330,126	1093,854	3,313

Tabel 5.82 Rasio Mn/Mu Kolom SRPMM

Jenis Kolom	Mu Kolom	Mn Kolom	Rasio Mn/Mu
K1 Lt 1-3	361,152	2066,116	5,721
K1 Lt 4-5	331,577	1696,148	5,115
K1 Atap	398,621	1696,148	4,255

5.12.4 Rasio Vn/Vu Kolom

Tabel 5.83 Rasio Vn/Vu Kolom SRPMK

Jenis Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu	Type Balok	Vu Balok	Vn Balok	Rasio Vn/Vu
	Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis		
K1X Lt 1-3	467,35	1403,37	3,00	K1Y Lt 1-3	584,27	926,38	1,59
K1X Lt 4-5	650,73	1092,32	1,68	K1Y Lt 4-5	650,73	685,01	1,05

K1X Atap	586,74	1058,84	1,80	K1Y Atap	586,74	651,53	1,11
----------	--------	---------	------	----------	--------	--------	------

Lanjutan Tabel 5.83 Rasio Vn/Vu Kolom SRPMK

Jenis Balok	Vu	Vn	Rasio	Type Balok	Vu	Vn	Rasio
	Balok	Balok	Vn/Vu		Balok	Balok	Vn/Vu
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
K1Y Lt 1-3	579,75	1403,37	2,42	K1Y Lt 1-3	579,75	926,38	1,60
K1Y Lt 4-5	583,29	1092,32	1,87	K1Y Lt 4-5	583,29	685,01	1,17
K1Y Atap	588,53	1058,84	1,80	K1Y Atap	588,53	651,53	1,11

Tabel 5.84 Rasio Vn/Vu Kolom SRPMM

Jenis Balok	Vu	Vn	Rasio	Type Balok	Vu	Vn	Rasio
	Balok	Balok	Vn/Vu		Balok	Balok	Vn/Vu
Sendi Plastis				Luar Sendi Plastis			
K1X Lt 1-3	539,25	1873,78	3,47	K1X Lt 1-3	539,25	1054,84	1,96
K1X Lt 4-5	539,25	1323,80	2,45	K1X Lt 4-5	539,25	846,81	1,57
K1X Atap	539,25	1287,96	2,39	K1X Atap	539,25	810,97	1,50
K1Y Lt 1-3	507,34	1873,78	3,69	K1Y Lt 1-3	507,34	1054,84	2,08
K1Y Lt 4-5	507,34	1323,80	2,61	K1Y Lt 4-5	507,34	846,81	1,67
K1Y Atap	507,34	1287,96	2,54	K1Y Atap	507,34	810,97	1,60

5.12.5 Rasio Pn/Pu Kolom

Tabel 5.85 Rasio Pn/Pu Kolom SRPMK

Jenis Kolom	Pu	Pn	Rasio
	Kolom	Kolom	Mn/Mu
K1 Lt 1-3	4616,58	6006,49	1,301
K1 Lt 4-5	2092,25	4762,63	2,276
K1 Atap	1345,91	4762,63	3,539

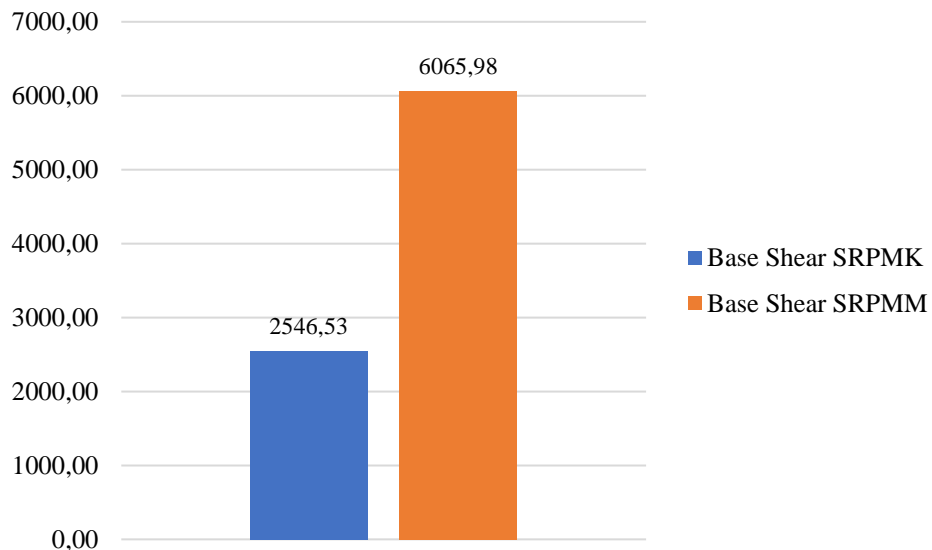
Tabel 5.86 Rasio Pn/Pu Kolom SRPMM

Jenis Kolom	Pu Kolom	Pn Kolom	Rasio Mn/Mu
K1 Lt 1-3	5131,90	7365,99	1,435
K1 Lt 4-5	2343,86	6435,52	2,746
K1 Atap	1556,62	6435,52	4,134

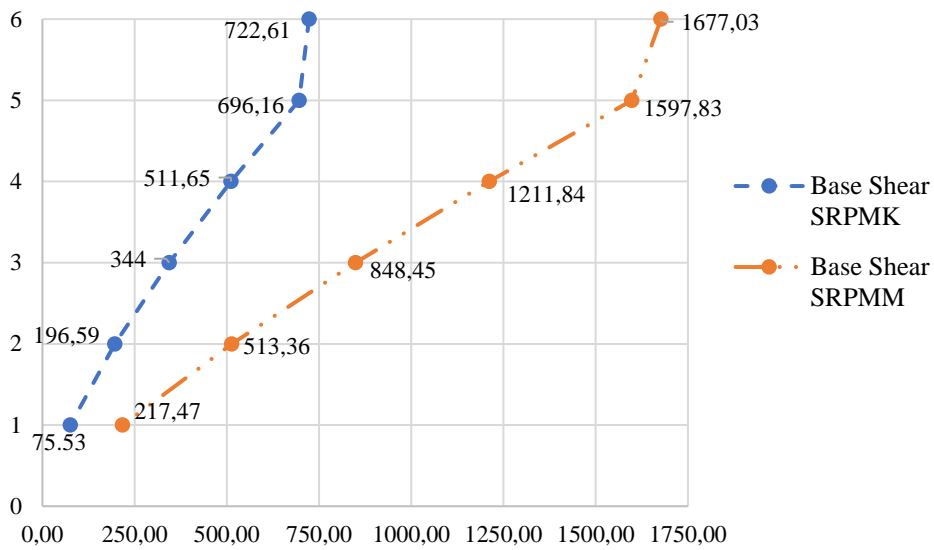
Perhitungan nilai rasio didapatkan dari hasil pembagian antara Pn dengan Pu, Mn dengan Mu, dan Vn dengan Vu. SRPMM dan SRPMK dikatakan aman dan tidak boros apabila memenuhi ketentuan pada SNI 2847-2019 Pasal 11.5.1.1 yaitu $\phi P_n > P_u$, $\phi M_n > M_u$, $\phi V_n > V_u$ dan nilai rasionya berada di *range* 1,0-1,2. Berdasarkan tabel rasio Pn/Pu, rasio Mn/Mu dan rasio Vn/Vu pada SRPMM dan SRPMK diatas menunjukkan bahwa keduanya masih dalam batas aman dan tidak boros.

5.13 Grafik Perbandingan SRPMM dan SRPMK

a. Grafik Perbandingan *Base Shear* SRPMK dan SRPMM



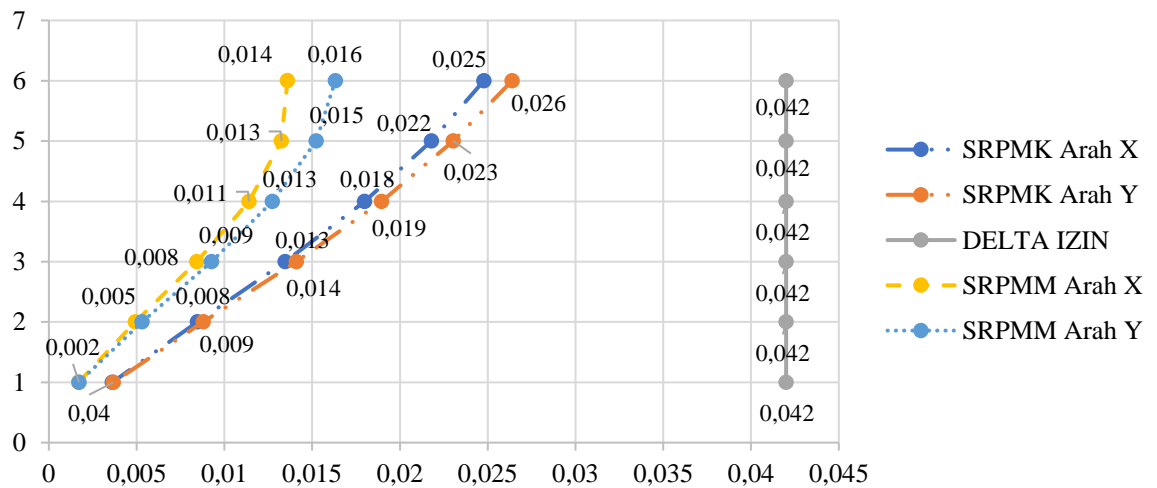
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan *Base Shear* Total SRPMK dan SRPMM



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Base Shear Perlantai SRPMK dan SRPMM

Berdasarkan Gambar 5.15 diatas dapat dilihat bahwa *base shear* terbesar yang terjadi pada SRPMM sebesar 1677,03 kN dan *base shear* terbesar yang terjadi pada SRPMK sebesar 722,61 kN. Rata – rata *base shear* SRPMK sebesar 424,42 kN sedangkan rata – rata *base shear* SRPMM sebesar 1011,00 kN. Sehingga nilai *base shear* SRPMM lebih besar 58% dari nilai *base shear* SRPMK.

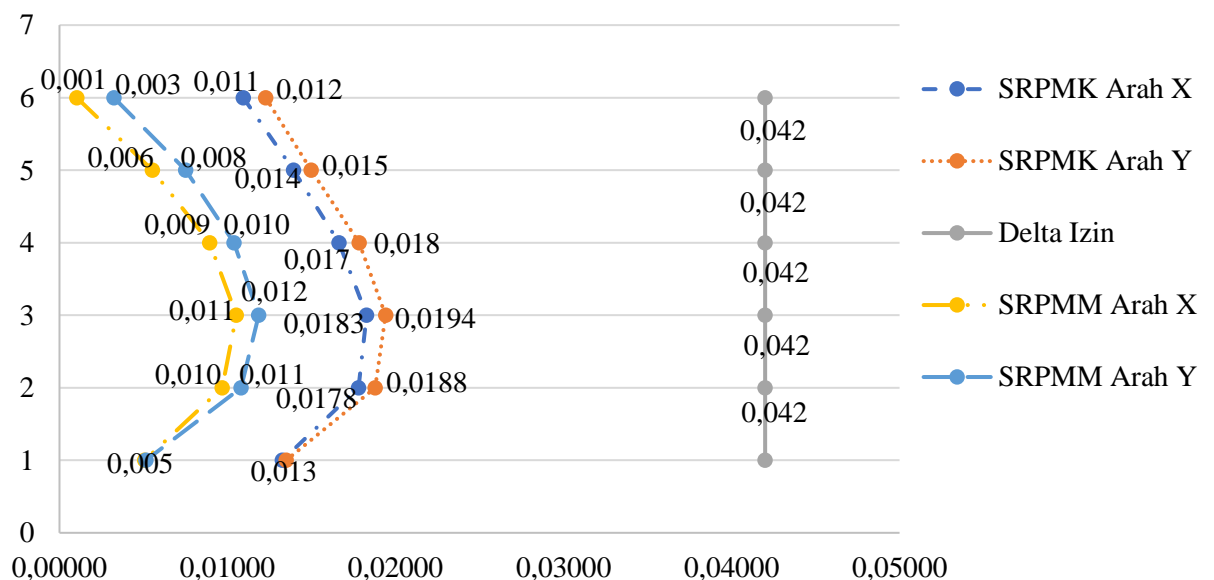
b. Grafik Perbandingan Simpangan SRPMK dan SRPMM



Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Simpangan SRPMK dan SRPMM

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur SRPMK dan SRPMM menunjukkan seluruh simpangan yang terjadi masih berada dalam batas aman karena tidak melebihi simpangan yang diizinkan, dimana seluruh kinerja struktur gedung yang direncanakan sudah cukup baik. Simpangan antar lantai terbesar yang terjadi pada SRPMM ditunjukkan pada arah sumbu Y sebesar 0,016 m dan simpangan antar lantai terbesar yang terjadi pada SRPMK ditunjukkan pada arah sumbu Y sebesar 0,026 m. Rata – rata simpangan antar lantai SRPMK sebesar 0,015 m sedangkan rata – rata simpangan antar lantai SRPMM sebesar 0,009 m. Sehingga nilai simpangan antar lantai SRPMK lebih besar 38% dari nilai simpangan antar lantai SRPMM.

c. Grafik Perbandingan *Story Drift* SRPMK dan SRPMM

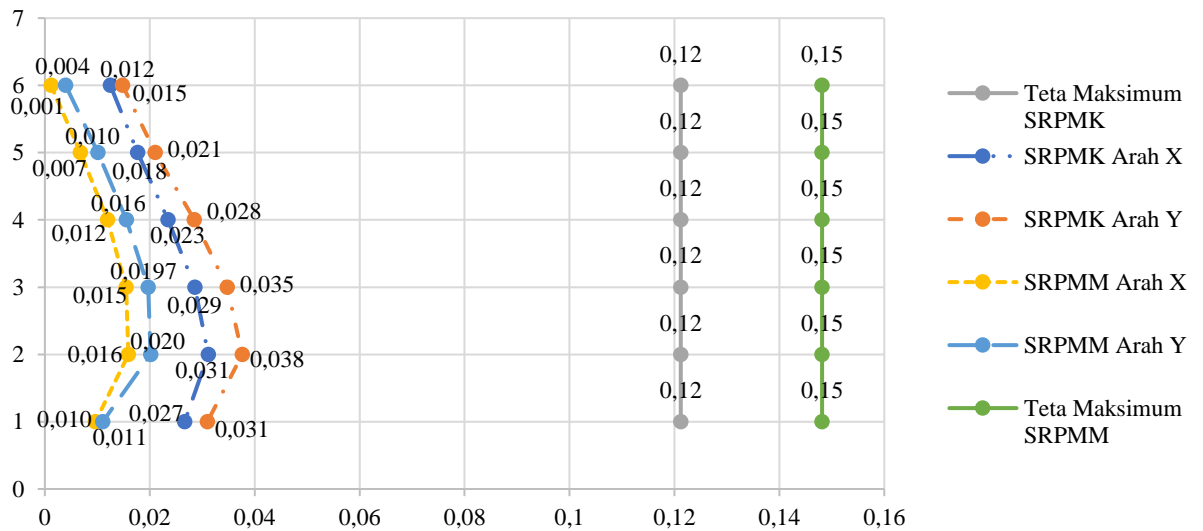


Gambar 5.17 Grafik Perbandingan *Story Drift* SRPMK dan SRPMM

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat dilihat bahwa *story drift* yang terjadi pada struktur SRPMK dan SRPMM menunjukkan seluruh *story drift* yang terjadi masih berada dalam batas aman karena keduanya tidak melebihi *story drift* yang diizinkan. Nilai maksimum *story drift* SRPMM ditunjukkan pada arah Y sebesar 0,012 m, sedangkan nilai maksimum *story drift* SRPMK ditunjukkan pada arah Y

sebesar 0,019 m. Rata – rata *story drift* SRPMK sebesar 0,016 m sedangkan rata – rata *story drift* SRPMM sebesar 0,007 m. Sehingga nilai *story drift* SRPMK lebih besar 52% dari nilai *story drift* SRPMM.

d. Grafik Perbandingan P-Delta SRPMK dan SRPMM



Gambar 5.18 Grafik Perbandingan P-Delta SRPMK dan SRPMM

Berdasarkan Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa P-Delta yang terjadi pada struktur SRPMK dan SRPMM menunjukkan seluruh P-Delta yang terjadi masih berada dalam batas aman karena keduanya tidak melebihi P-Delta yang diizinkan. nilai maksimum P-Delta SRPMM ditunjukkan pada arah Y sebesar 0,020 m, sedangkan nilai maksimum P-Delta SRPMK ditunjukkan pada arah Y sebesar 0,038 m. Rata – rata P-Delta pada SRPMK sebesar 0,026 m sedangkan rata – rata P-Delta pada SRPMM sebesar 0,012 m. Sehingga nilai P-Delta SRPMK lebih besar 54% dari nilai P-Delta SRPMM.

BAB VI

KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan latar belakang dan tujuan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. SRPMK dan SRPMM memenuhi ketentuan SNI 2847-2019 Pasal 11.5.1.1 yakni $\phi P_n > P_u$, $\phi M_n > M_u$, $\phi V_n > V_u$ dan diperoleh nilai ratio sebesar 1,0 – 1,2. Dari hal tersebut maka SRPMK dan SRPMM masih dalam batas aman dan tidak boros.
2. Rata – rata *base shear* SRPMK sebesar 424,42 kN sedangkan rata – rata *base shear* SRPMM sebesar 1011,00 kN. Sehingga nilai *base shear* SRPMM lebih besar 58% dari nilai *base shear* SRPMK.
3. Nilai simpangan antar lantai pada SRPMK dan SRPMM masih berada dalam batas aman karena tidak melebihi batas aman yang diizinkan, hal tersebut menunjukkan bahwa kinerja struktur gedung yang dirancang sudah cukup baik. Rata – rata simpangan antar lantai SRPMK sebesar 0,015 m sedangkan rata – rata simpangan antar lantai SRPMM sebesar 0,009 m. Sehingga nilai simpangan antar lantai SRPMK lebih besar 38% dari nilai simpangan antar lantai SRPMM.
4. Nilai *story drift* pada SRPMK dan SRPMM masih berada dalam batas aman karena tidak melebihi batas aman yang diizinkan. Rata – rata *story drift* SRPMK sebesar 0,016 m sedangkan rata – rata *story drift* SRPMM sebesar 0,007 m. Sehingga nilai *story drift* SRPMK lebih besar 52% dari nilai *story drift* SRPMM.
5. Nilai P-delta pada SRPMK dan SRPMM masih berada dalam batas aman karena tidak melebihi batas aman yang diizinkan. Rata – rata P-Delta pada

SRPMK sebesar 0,026 m sedangkan rata – rata P-Delta pada SRPMM sebesar 0,012 m. Sehingga nilai P-Delta SRPMK lebih besar 54% dari nilai P-Delta SRPMM.

6.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk keperluan tugas akhir yang lebih baik yaitu perlu adanya analisis serupa dengan tipe geometri gedung yang berbeda agar dapat memperbanyak variasi perbandingan antar tipe geometri struktur gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonius. 2021. Perilaku Dasar dan Desain Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2019. Semarang: UNISSULA PRESS.
- Primanto, Amrilian Fahmi. 2020. Analisis Desain Pemodelan Struktur Gedung Galeri Koperasi dan UKM Kota Tangerang Selatan Berdasarkan SNI 2847-2019. Jakarta: Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan Institut Teknologi PLN.
- Asroni, Ali. 2010. Balok dan Pelat Beton Bertulang. Yogyakarta: GRAHA ILMU.
- Ansyori, Rusdi. 2017. Desain Elemen Struktur Bangunan Bertingkat dengan Sistem Ganda; Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK); dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK). Padang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas ANDALAS.
- Armeyn. 1999. Struktur Beton. Semarang: Universitas Semarang.
- Naibaho, Pio Ranap Tua Naibaho. 2008. Panjang Penyaluran Carbon Fibre Pada Perkuatan Struktur. Depok: Universitas Indonesia Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Kekhususan Struktur.
- A. Maskhur. 2018. Perancangan Struktur Gedung Perkantoran Pesantren Progresif Bumi Shalawat Sidoarjo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945.
- Rohmatul Bulgis dan Arini Sonia. 2017. Perencanaan Struktur Gedung 6 Lantai dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Surabaya: Program Studi Diploma Tiga Teknik Sipil Departemen Teknologi Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Debby Hendika Putra dan Muhammad Dzulfiqar Rizwanda Putratama. 2017. Perencanaan Struktur Gedung Apartemen “B” Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Surabaya: Program Studi Diploma

Tiga Teknik Sipil Departemen Teknologi Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Setiawan, Rumagia Bangun. 2017. *Desain Struktur Gedung Venetian Menggunakan Metode SRPMK dan Rencana Anggaran Biaya Lt 2*. Surabaya: Program Studi Diploma Empat Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Juventrian, Syano Verdio. 2014. *Analisis Bangunan Asimetris Terhadap Tinjauan Delatasi Akibat Gaya Horizontal*. Jakarta: Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Aletheia Rabbani. 2021. *Pengertian Simetris, Kondisi, dan Jenisnya*. *Sosial79*. (<https://www.sosial79.com/2021/01/pengertian-simetris-kondisi-dan-jenisnya.html>. Diakses 2021).



JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: DENAH BANGUNAN

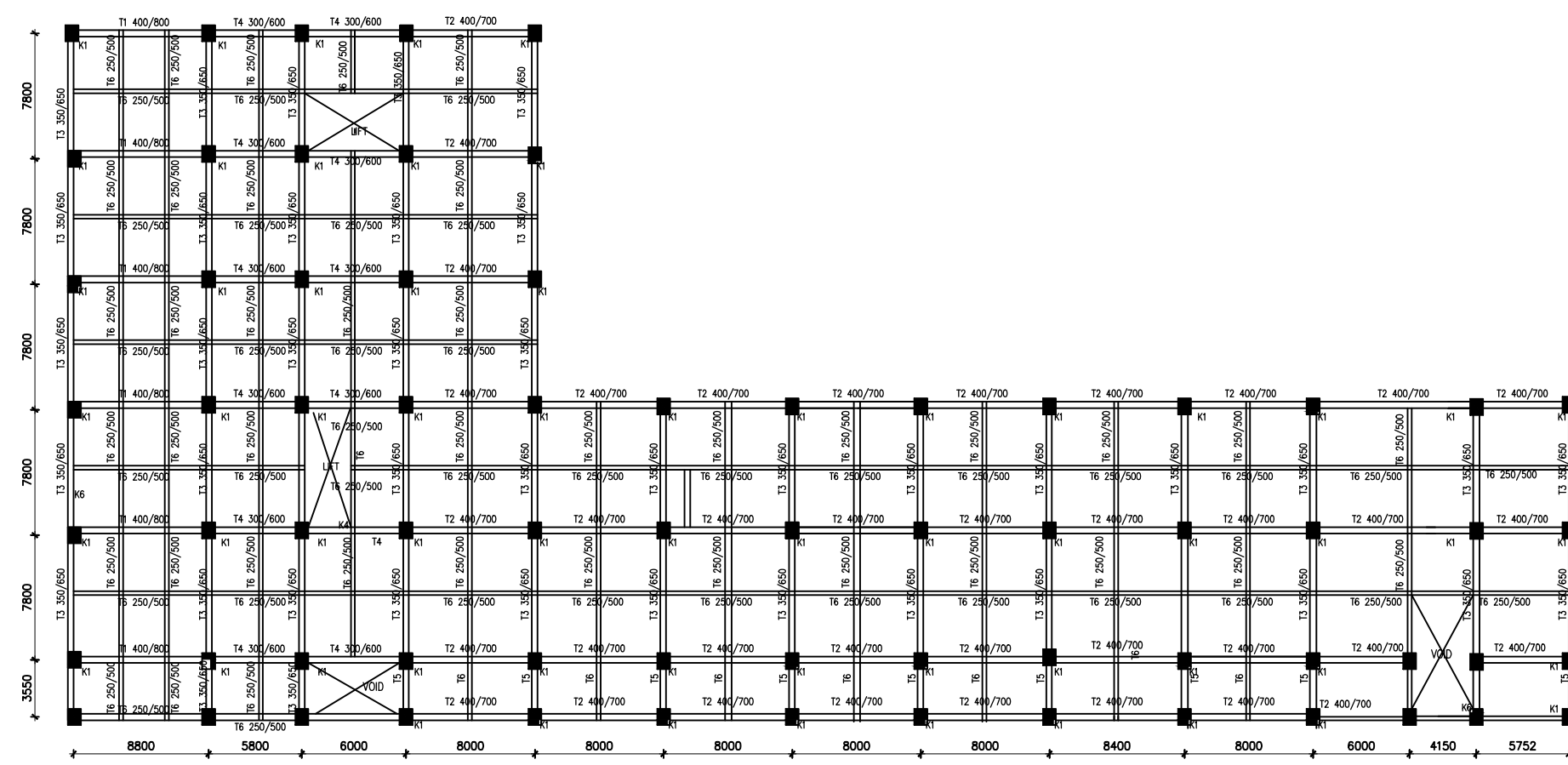
KETERANGAN :

SATUAN MILIMETER

LEMBAR SKALA

1

1:400



KODE	KETERANGAN	KODE	KETERANGAN
T1	T1 400/800	K1	K1 800x1000
T2	T2 400/700	K4	K4L 600x600
T3	T3 350/650	K5	K5T 600x950
T4	T4 300/600	K6	K6 300x300
T5	T5 300/500		
T6	T6 250/500		
T7	T7 200/400		



JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: DENAH BANGUNAN

KETERANGAN :

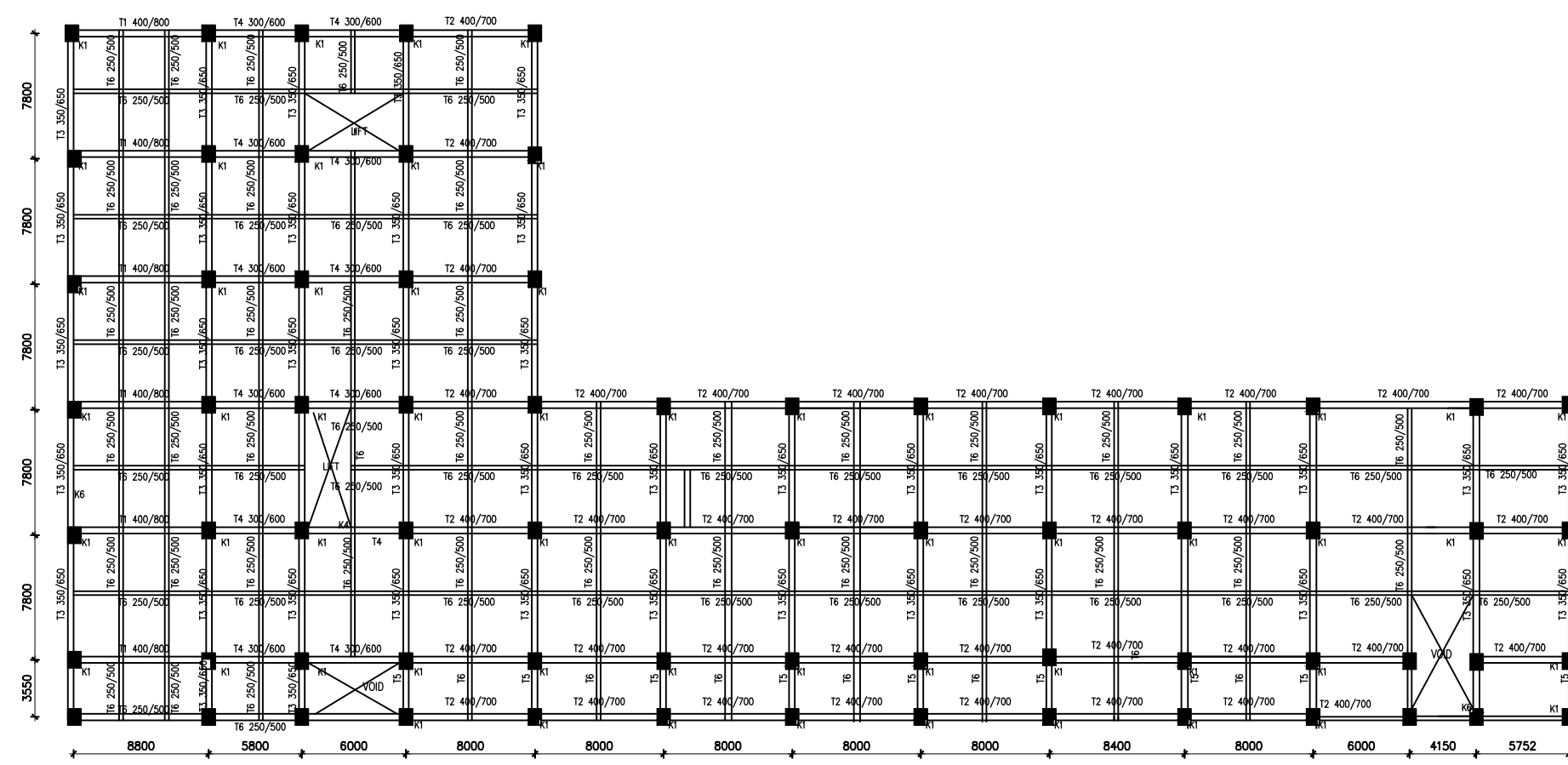
SATUAN MILIMETER

LEMBAR

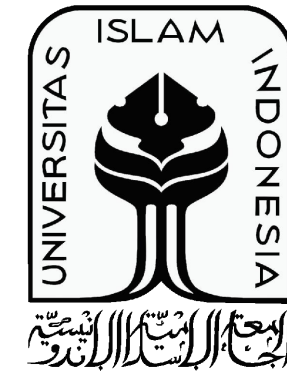
SKALA

2

1:400



KODE	KETERANGAN	KODE	KETERANGAN
T1	T1 400/800	K1	K1 800x1000
T2	T2 400/700	K4	K4L 600x600
T3	T3 350/650	K5	K5T 600x950
T4	T4 300/600	K6	K6 300x300
T5	T5 300/500		
T6	T6 250/500		
T7	T7 200/400		



JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
18511055

JUDUL GAMBAR: KODEFIKASI PELAT LANTAI

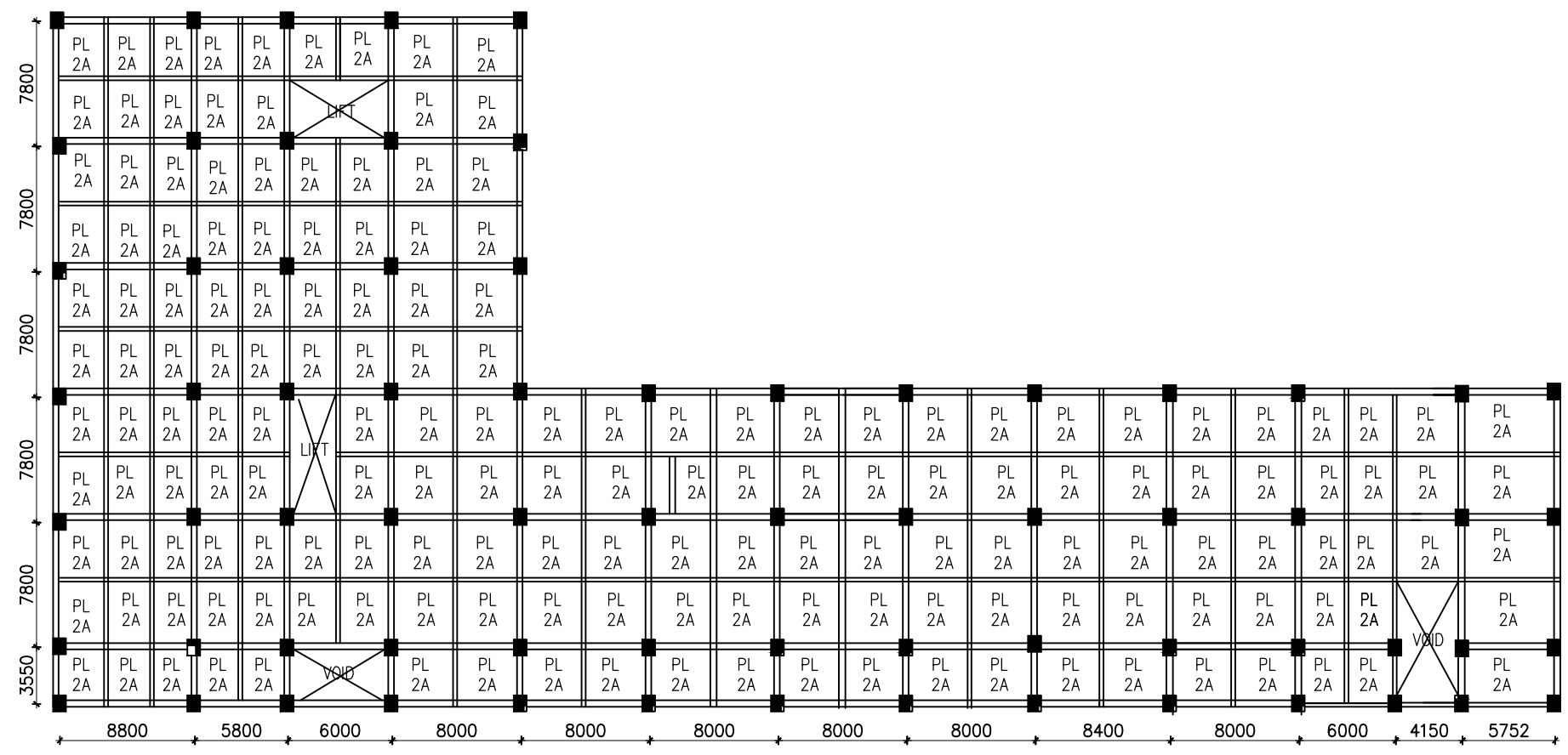
KETERANGAN :

SATUAN MILIMETER

LEMBAR	SKALA
--------	-------

3

1:400





JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: KODEFIKASI KOLOM

KETERANGAN:

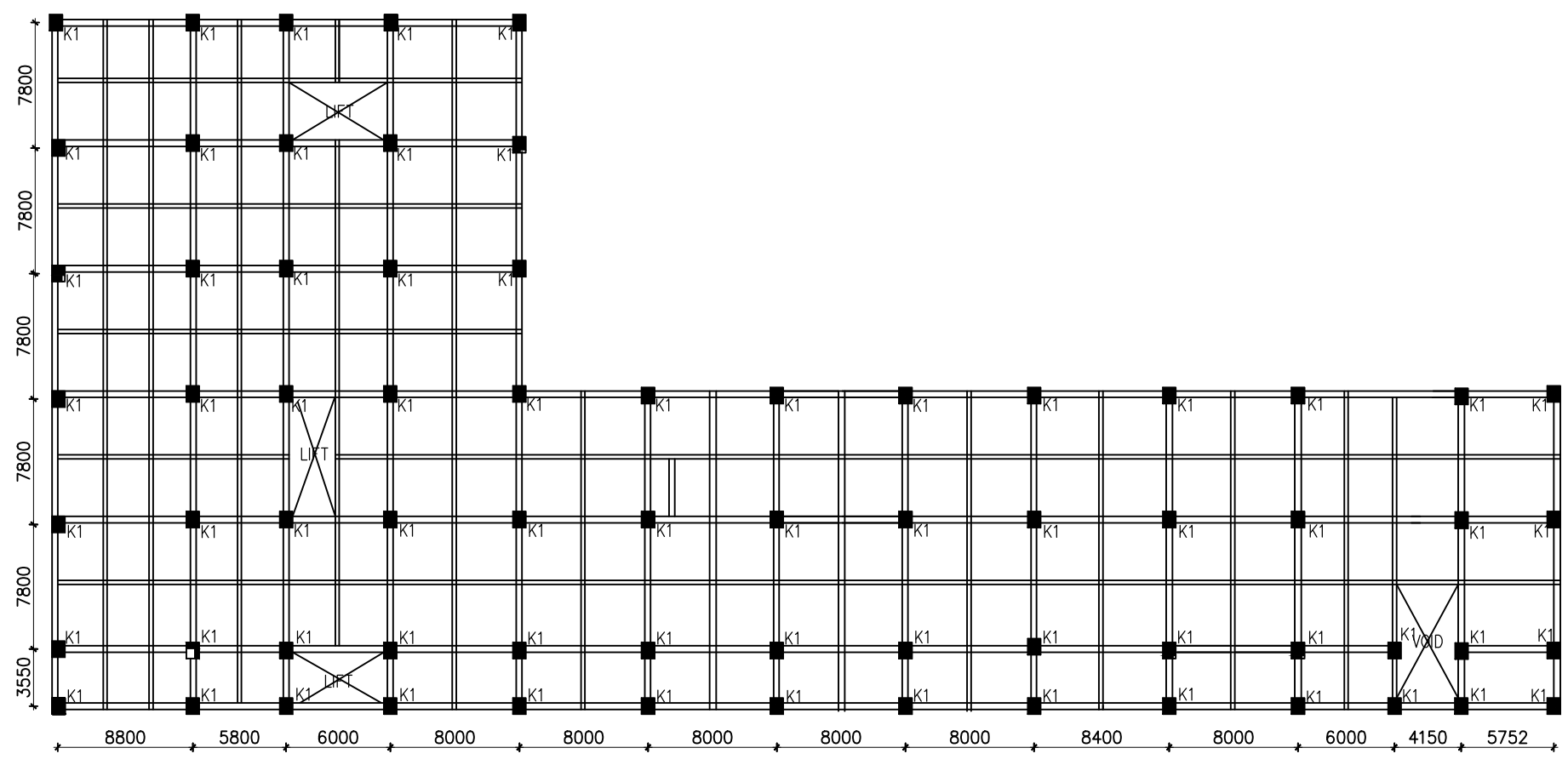
SATUAN MILIMETER

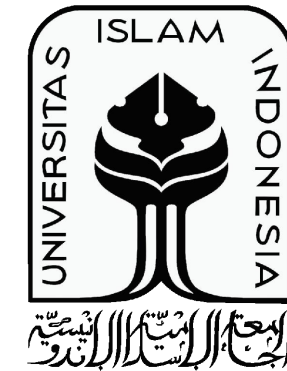
LEMBAR

SKALA

4

1:400





DIMENSI DAN PENULANGAN KOLOM SRPMK						
KODE	K1 LT 1-3		K1 4-5		K1 ATAP	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	750 x 700	750 x 700	650 x 650	650 x 650	650 x 650	650 x 650
TULANGAN	6 D 25	6 D 25	5 D 25	5 D 25	5 D 25	5 D 25
SENGKANG	3D13-100	2D13-150	3D13-100	2D13-150	3D13-100	2D13-150

DIMENSI DAN PENULANGAN KOLOM SRPMM						
KODE	K1 1-3		K4		K4	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI	800 X 800	800 X 800	750 X 750	750 X 750	750 X 750	750 X 750
TULANGAN	8 D 25	8 D 25	6 D 25	6 D 25	6 D 25	6 D 25
SENGKANG	4D13-100	2D13-150	3D13-100	2D13-150	3D13-100	2D13-150

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL &
PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: DETAIL
PENULANGAN KOLOM

KETERANGAN:

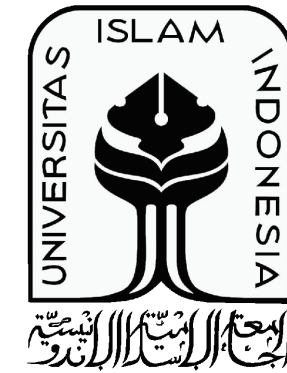
SATUAN MILIMETER

LEMBAR

SKALA

5

1:40



JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: DETAIL
PENULANGAN BALOK SRPMK

KETERANGAN:

SATUAN MILIMETER

LEMBAR

SKALA

6

1:40

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMK												
KODE	B2 1		B2 2		B2 3		B2 4		B2 5		B2 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650	350 X 650
TULANGAN ATAS	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	5 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	4 D 22	2 D 22
SENGKANG	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMK												
KODE	B1 1		B1 2		B1 3		B1 4		B1 5		B1 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	300 X 600	350 X 650	350 X 650
TULANGAN ATAS	6 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	4 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	6 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	4 D 22	2 D 22
SENGKANG	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	3 D10 – 150	2 D10 – 100	2 D10 – 150

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMK												
KODE	B3 1		B3 2		B3 3		B3 4		B3 5		B3 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	350 X 600	300 X 500	300 X 500
TULANGAN ATAS	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	5 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	4 D 22	2 D 22
SENGKANG	4 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 100



DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMK												
KODE	B4 1		B4 2		B4 3		B4 4		B4 5		B4 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500	300 X 500
TULANGAN ATAS	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	7 D 22	2 D 22	5 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	4 D 22	2 D 22
SENGKANG	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	3 D10 – 150	3 D10 – 150

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMK												
KODE	B6 1		B6 2		B6 3		B6 4		B6 5		B6 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350	200 X 350
TULANGAN ATAS	3 D 16	2 D 16	3 D 16	2 D 16	3 D 16	2 D 16	3 D 16	2 D 16	3 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16
TULANGAN BAWAH	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	2 D 16	2 D 16
SENGKANG	3 D8 – 100	2 D8 – 100	3 D8 – 100	2 D8 – 100	3 D8 – 100	2 D8 – 100	3 D8 – 100	2 D8 – 100	3 D8 – 100	2 D8 – 100	3 D8 – 100	2 D8 – 100

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: DETAIL
PENULANGAN BALOK SRPMK

KETERANGAN:

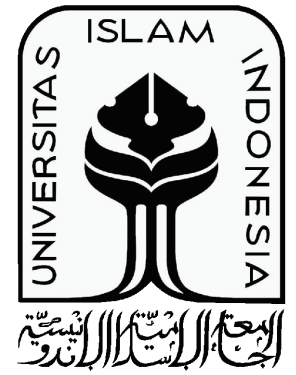
SATUAN MILIMETER

LEMBAR

SKALA

7

1:40



JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITTA SARI
18511055

JUDUL GAMBAR: DETAIL
PENULANGAN BALOK SRPMM

KETERANGAN:

SATUAN MILIMETER

LEMBAR

SKALA

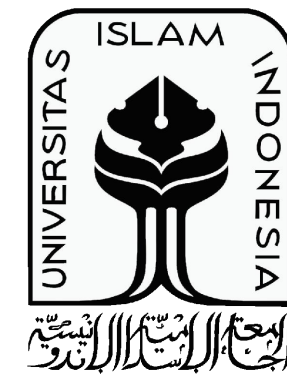
8

1:50

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMM												
KODE	B2 1		B2 2		B2 3		B2 4		B2 5		B2 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700
TULANGAN ATAS	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	3 D 22	3 D 22
TULANGAN BAWAH	3 D 22	5 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	3 D 22
SENGKANG	2 D10 - 150	2 D10 - 150	2 D10 - 150	2 D10 - 150	2 D10 - 150	2 D10 - 150	2 D10 - 100	2 D10 - 150	2 D10 - 100	2 D10 - 150	2 D10 - 150	2 D10 - 150

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMM												
KODE	B1 1		B1 2		B1 3		B1 4		B1 5		B1 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700	450 X 700
TULANGAN ATAS	5 D 22	4 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	3 D 22	3 D 22
TULANGAN BAWAH	3 D 22	5 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	4 D 22	3 D 22	3 D 22
SENGKANG	3 D10 - 100	2 D10 - 150	3 D10 - 100	2 D10 - 150	3 D10 - 100	2 D10 - 150	3 D10 - 100	2 D10 - 150	3 D10 - 100	2 D10 - 150	2 D10 - 100	2 D10 - 100

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMM												
KODE	B3 1		B3 2		B3 3		B3 4		B3 5		B3 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600
TULANGAN ATAS	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	4 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	2 D 22	4 D 22
SENGKANG	3 D10 - 100	3 D10 - 100	3 D10 - 100	3 D10 - 100	3 D10 - 100	3 D10 - 100	3 D10 - 100	2 D10 - 100	3 D10 - 100	2 D10 - 100	2 D10 - 100	2 D10 - 100



DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMM													
KODE	B4 1		B4 2		B4 3		B4 4		B4 5		B4 6		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
POTONGAN													
DIMENSI	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	400 X 600	
TULANGAN ATAS	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	6 D 22	2 D 22	4 D 22	2 D 22	
TULANGAN BAWAH	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	3 D 22	5 D 22	2 D 22	4 D 22	
SENGKANG	4 D10 – 150	3 D10 – 150	4 D10 – 150	5 D10 – 150	4 D10 – 150	3 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	4 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D10 – 150	

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK SRPMM													
KODE	B6 1		B6 2		B6 3		B6 4		B6 5		B6 6		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	
POTONGAN													
DIMENSI	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	350 X 500	
TULANGAN ATAS	4 D 16	3 D 16	4 D 16	3 D 16	4 D 16	3 D 16	4 D 16	3 D 16	4 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	
TULANGAN BAWAH	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	3 D 16	
SENGKANG	3 D8 – 100	3 D8 – 150	3 D8 – 100	3 D8 – 150	3 D8 – 100	3 D8 – 150	3 D8 – 100	3 D8 – 150	3 D8 – 100	3 D8 – 150	2 D8 – 100	2 D8 – 150	

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL &
PERENCANAAN

DOSEN

MALIK MUSTHOFA., S.T., M.T

NAMA MAHASISWA

ELVINA EGIE NURFITTA SARI
I8511055

JUDUL GAMBAR: DETAIL
PENULANGAN BALOK SRPMM

KETERANGAN:

SATUAN MILIMETER

LEMBAR

SKALA

9

1:50