

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)
DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)
Studi Kasus : Rusunawa 2 Twin Blok Pringwulung Sleman Yogyakarta**

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk memenuhi Sebagian Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Di susun Oleh:

Amdhani Prihatmoko Wibowo

07510134005

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

2012

LEMBAR PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)
DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)
Studi Kasus : Rusunawa 2 Twin Blok Pringwulung Sleman Yogyakarta**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

NAMA : Amdhani Prihatmoko Wibowo

NIM : 07510134005

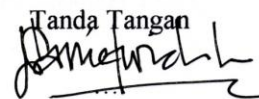
Telah dipertahankan di Depan Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan
Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta

Pada tanggal 7 Mei 2012

Dan Dinyatakan telah memenuhi syarat guna memperoleh Gelar Ahli Madya



Susunan Panitia Penguji

Jabatan	Nama Lengkap
1. Ketua/Pembimbing	Slamet Widodo, ST. MT
2. Penguji Utama I	Ir. Joko Sumiyanto, MT
3. Penguji Utama II	Pramudiyanto, S.Pd.T, M.Eng

Tanda Tangan




Yogyakarta, 31 Mei 2012
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan



Dr. Moch. Bruri Triyono
NIP. 19560216 198603 1 003 

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini yang berjudul “Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) Studi kasus : Rusunawa 2 Twin Blok Pringwulung Sleman Yogyakarta” telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, Mei 2012

Dosen Pembimbing



Slamet Widodo, ST, MT.
NIP. 19761103 200003 1 001

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Proyek Akhir ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan dosen penguji yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi ditunda yudisium pada periode berikutnya.

Yogyakarta, 23 April 2012

Yang menyatakan,



Amdhani Prihatmoko Wibowo
NIM. 07510134005

MOTTO

This is my number one recipe for a successful life – I imagine how my ideal life five years from now will be like and then I live that dream life today.

There is but one success – to be able to spend your life in your own way.

If you don't have a vision for the future, then your future is threatened to be a repeat of the past.

I don't know the key to success, but the key to failure is trying to please everybody.

Better late than never.

PERSEMBAHAN

Karya ini dipersembahkan kepada:

Ibuku tercinta yang banyak mengorbankan segalanya untuk anaknya, kesedihannya, penderitaannya yang sama sekali tidak pernah menuntut sesuatu untuk dirinya. Ibu yang tidak pernah mengeluh akan keinginan ataupun kegagalan anaknya. Yang ke pelajari dari ibu adalah hidup yang Allah SWT berikan kepadanya hanyalah untuk keluarga terutama anaknya. Setiap tetes air mata dan keringat darimu adalah mutiara yang tak ternilai harganya. I love you so much mom !!!!

Ayahku yang hebat dan penuh kesabaran,

Kakakku tersayang yang banyak sekali membantu baik dalam urusan pendidikanku ataupun kehidupanku,

Jagoan kecilku Aransha Zaqi Adhzani ... kau surga terindahku sayang,

Istriku tercinta Yusi Prawesti yang selalu memotivasi, mendukung dan bersabar atas semua yang ku lakukan. Kau adalah anugerah terindah yang pernah ku miliki seumur hidupku. You're my life ... you're my everything ... you make this world beautiful like heaven.

Teman-teman jurusanku yang sudah membantu terselesaikannya Proyek Akhir ini. Jasa kalian tidak pernah ku lupakan seumur hidupku.

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Studi Kasus : Rusunawa 2 Twin Blok Pringwulung Sleman Yogyakarta

Oleh:

Amdhani Prihatmoko Wibowo

NIM. 07510134005

ABSTRAK

Perancangan struktur beton bertulang pada struktur bangunan *Rusunawa 2 Twin Blok* Sleman Yogyakarta ini bertujuan untuk mengetahui: (1) Besarnya beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja. (2) Dimensi balok dan kolom yang mampu menahan beban gempa rencana yang bekerja dan formasi penulangan pada elemen struktur balok dan kolom. (3) Gambar detail penulangan balok dan kolom dari hasil perencanaan.

Dalam tugas akhir ini akan direncanakan struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai dengan SNI 03-2847-2002 dan SNI 1726-2002. Dimana bangunan model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akan menggunakan *Strong Column and Weak Beam* (kolom kuat dan balok lemah). Struktur yang akan direncanakan adalah gedung hunian 5 lantai dan terletak di wilayah 4, dimana ditinjau dengan menggunakan analisa pengaruh beban statik ekuivalen. Sistem Rangka Pemikul Momen adalah Sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Pada SRPMK diperoleh tulangan longitudinal balok B1 (300x500) dengan **5D25** tulangan tarik, **3D25** tulangan tekan pada bagian tumpuan dan **3D25** tulangan tarik, **2D25** tulangan tekan pada bagian lapangan; balok B2 (300x500) dengan **5D25** tulangan tarik, **3D25** tulangan tekan pada bagian tumpuan dan **2D25** tulangan tarik, **2D25** tulangan tekan pada bagian lapangan; balok B3 (250x300) dengan **3D25** tulangan tarik, **2D25** tulangan tekan pada bagian tumpuan dan **2D25** tulangan tarik, **2D19** tulangan tekan pada bagian lapangan; kolom 700 dengan **20D19**; kolom 600 dengan **16D19**; dan kolom 500 dengan **16D16**. Tulangan transversal kolom 700 adalah **D12-120** sepanjang l_0 dan **D12-350** ditengah bentang; kolom 600 adalah **D12-120** sepanjang l_0 dan **D12-200** ditengah bentang; dan kolom 500 adalah **D10-100** sepanjang l_0 dan **D10-200** ditengah bentang. Pada SRPMM diperoleh tulangan longitudinal balok B1 (300x500) dengan **6D25** tulangan tarik, **3D25** tulangan tekan pada bagian tumpuan dan **3D25** tulangan tarik, **2D25** tulangan tekan pada bagian lapangan; balok B2 (300x500) dengan **6D25** tulangan tarik, **2D25** tulangan tekan pada bagian tumpuan dan **2D25** tulangan tarik, **2D25** tulangan tekan pada bagian lapangan; balok B3 (250x300) dengan **3D16** tulangan tarik, **2D16** tulangan tekan pada bagian tumpuan dan **2D16** tulangan tarik, **2D16** tulangan tekan pada bagian lapangan; kolom 700 dengan **18D19**; kolom 600 dengan **14D19**; dan kolom 500 dengan **14D16**. Tulangan transversal kolom 700 adalah **D12-70** sepanjang l_0 dan **D12-400** ditengah bentang; kolom 600 adalah **D12-100** sepanjang l_0 dan **D12-200** ditengah bentang; dan kolom 500 adalah **D12-130** sepanjang l_0 dan **D12-400** ditengah bentang.

Kata kunci: SRPMK, SRPMM, *strong column weak beam*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai disusun. Tugas Akhir ini merupakan persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Diploma Teknik D3 Program studi Teknik Sipil Universitas Negeri Yogyakarta.

Tak lupa pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Moch. Bruri Triyono, selaku Dekan Fakultas Teknik UNY.
2. Bapak Slamet Widodo, S.T, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan segala arahan dan bimbingan selama penulisan Proyek Akhir ini.
3. Bapak Ir. Surahmad Mursidi, selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan akademik.
4. Bapak Agus Santoso, M. Pd, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY.
5. Istriku tercinta Yusi Prawesti yang selalu mendukung penyusunan Proyek Akhir ini.
6. Teman-teman Jurusan Teknik Sipil angkatan 2007.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan Proyek Akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis dengan tangan terbuka mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Akhirnya, dengan segala keterbatasan, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, Mei 2012

Penulis,

Amdhani P. Wibowo
NIM. 07510134005

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Kajian	3
1.1 Manfaat Kajian	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Beton Bertulang	5
2.3 Ketentuan Perencanaan Pembebanan	8
2.3.1 Pembebanan	9
2.3.2 Deskripsi Pembebanan	9
2.3.2.1 Beban Mati (DL)	9
2.3.2.2 Beban Hidup (LL)	9
2.3.2.3 Beban Gempa (E)	10
2.3.2.4 Arah Pembebanan Gempa	13
2.3.3 Kombinasi Pembebanan	14
2.4 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	15

2.4.1	Komponen Struktur Lentur pada SRPMK	15
2.4.1.1	Ruang Lingkup	15
2.4.1.2	Tulangan Longitudinal	15
2.4.1.3	Tulangan Transversal	16
2.4.1.4	Persyaratan Kuat Geser	18
2.4.2	Komponen Struktur yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial pada SRPMK	19
2.4.2.1	Ruang Lingkup	19
2.4.2.2	Kuat Lentur Minimum Kolom	19
2.4.2.3	Tulangan Memanjang	20
2.4.2.4	Tulangan Transversal	20
2.4.2.5	Persyaratan Kuat Geser	22
2.4.3	Hubungan Balok Kolom	23
2.4.3.1	Ketentuan Umum	23
2.4.3.2	Tulangan Transversal	23
2.4.3.3	Kuat Geser	24
2.4.3.4	Panjang Penyaluran Tulangan Tarik	25
2.5	Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	26
2.5.1	Detail Penulangan	26
3.5.1	Kuat Geser	26
4.5.1	Balok	27
5.5.1	Kolom	28
2.6	Kondisi Penulangan pada Balok Beton	29
BAB III METODOLOGI KAJIAN		
3.1	Objek Kajian	35
3.2	Lokasi Kajian	35
3.3	Waktu Kajian	35
3.4	Metode Pengumpulan Data	35
3.5	Analisis Data	36
BAB IV APLIKASI PERHITUNGAN		

4.1 Deskripsi Model Struktur	38
4.2 Data Geometri Struktur	39
4.3 Preliminari Struktur	39
4.3.1 Material	39
4.3.2 Balok dan Kolom	39
4.3.3 Plat	40
4.3.4 Pondasi	40
4.4 Pembebanan Struktur	40
4.4.1 Beban Atap	40
4.4.2 Perencanaan Dimensi dan Pembebanan Tangga	43
4.4.3 Beban Mati Beton	47
4.4.4 Beban Hidup pada Plat Lantai	48
4.4.5 Beban Gempa	48
4.4.6 Beban Angin	52
4.5 Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus	54
4.5.1 Analisis Terhadap T Rayleigh	54
4.5.2 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B1 (350x500)	57
4.5.3 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B2 (350x500)	75
4.5.4 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B3 (250x300)	92
4.5.5 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 700x700.....	108
4.5.6 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 600x600	115
4.5.7 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 500x500	119
4.5.8 Kuat Kolom	123
4.6 Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah	126
4.6.1 Analisis Terhadap T Rayleigh	126
4.6.2 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B1 (300x500)	129
4.6.3 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B2 (300x500)	138
4.6.4 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B3 (250x300)	147
4.6.5 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 700x700	157
4.6.6 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 600x600	164
4.6.7 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 500x500	168

4.7 Momen, Beban Aksial dan Gaya Geser Nominal pada suatu Elemen ...	172
4.8 Gambar Denah, Peninjauan dan Detail Penulangan Balok Kolom	173
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.8 Kesimpulan	190
6.8 Saran	193
DAFTAR PUSTAKA	194

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis dan kelas baja tulangan menurut SII 0136-80	7
Tabel 2.2	Batasan tebal selimut beton	8
Tabel 2.3	Klarifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen beserta faktor R dan O_0	11
Tabel 2.4	Faktor Keutamaan I	12
Tabel 4.1	Ukuran L_a batang kuda-kuda	41
Tabel 4.2	Nilai Koefisien ζ	49
Tabel 4.3	Berat Struktur untuk SRPMM dan SRPMK	50
Tabel 4.4	Gaya gempa untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus	51
Tabel 4.5	Gaya gempa untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah	51
Tabel 4.6	Analisis T Rayleigh SRPMK arah X	54
Tabel 4.7	Analisis T Rayleigh SRPMK arah Y	55
Tabel 4.8	Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMK arah X	55
Tabel 4.9	Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMK arah Y	56
Tabel 4.10	Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMK arah X	56
Tabel 4.11	Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMK arah Y	56
Tabel 4.12	Resume Momen untuk Balok (B1) 300x500 pada SRPMK	57
Tabel 4.13	Momen Envelope pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa	61
Tabel 4.14	Gaya geser di Muka Kolom Eksterior dan Interior	71
Tabel 4.15	Resume Momen untuk Balok (B2) 300x500 pada SRPMK	75
Tabel 4.16	Momen Envelope pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa	78
Tabel 4.17	Gaya geser di Muka Kolom Eksterior dan Interior	88
Tabel 4.18	Resume Momen untuk Balok (B3) 250x300 pada SRPMK	92
Tabel 4.19	Momen Envelope pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa	95
Tabel 4.20	Gaya geser di Muka Kolom Eksterior dan Interior	104

Tabel 4.21	Resume Momen Kolom 700x700 pada SRPMK	108
Tabel 4.22	Resume Momen Kolom 600x600 pada SRPMK	115
Tabel 4.23	Resume Momen Kolom 500x500 pada SRPMK	119
Tabel 4.24	Analisis T Rayleigh SRPMM arah X	126
Tabel 4.25	Analisis T Rayleigh SRPMM arah Y	127
Tabel 4.26	Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMM arah X	127
Tabel 4.27	Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMM arah Y	128
Tabel 4.28	Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMM arah X	128
Tabel 4.29	Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMM arah Y	128
Tabel 4.30	Resume Momen untuk Balok (B1) 300x500 pada SRPMM ...	129
Tabel 4.31	Resume Momen untuk Balok (B2) 300x500 pada SRPMM ...	138
Tabel 4.32	Resume Momen untuk Balok (B3) 250x300 pada SRPMM ...	147
Tabel 4.33	Resume Momen untuk Kolom 700x700 pada SRPMM	157
Tabel 4.34	Resume Momen untuk Kolom 600x600 pada SRPMM	164
Tabel 4.35	Resume Momen untuk Kolom 500x500 pada SRPMM	168
Tabel 4.36	Momen, Beban Aksial dan Gaya Geser Nominal (kNm)	172

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Wilayah Gempa Indonesia	1
Gambar 2.1	Respons Spektrum Gempa Rencana Wilayah 4	10
Gambar 2.2	Kombinasi Arah Beban Gempa	14
Gambar 2.3	Contoh Senkang Tertutup yang dipasang bertumpuk	17
Gambar 2.4	Perencanaan geser untuk balok-kolom	18
Gambar 2.5	Contoh tulangan transversal pada kolom	21
Gambar 2.6	Luas efektif hubungan balok-kolom	24
Gambar 2.7	Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM	27
Gambar 2.8	Penampang Persegi Bertulangan Tunggal	31
Gambar 2.9	Penampang Persegi Bertulangan Rangkap	33
Gambar 3.1	Bagan alir perencanaan struktur beton bertulang	37
Gambar 4.1	Denah struktur yang direncanakan	38
Gambar 4.2	Rencana Atap Kuda-kuda	41
Gambar 4.3	Ruang Tangga 1	44
Gambar 4.4	Ruang Tangga 2	46
Gambar 4.5	Penampang melintang balok T	60
Gambar 4.6	Sketsa Penulangan penampang-penampang kritis balok (B1) 300x500 pada SRPMK	69
Gambar 4.7	Sketsa Penulangan penampang-penampang kritis balok (B2) 300x500 pada SRPMK	86
Gambar 4.8	Sketsa Penulangan penampang-penampang kritis balok (B3) 250x300 pada SRPMK	102
Gambar 4.9	Diagram Interaksi Kolom 700x700	124
Gambar 4.10	Diagram Interaksi Kolom 600x600	125
Gambar 4.11	Diagram Interaksi Kolom 500x500	125
Gambar 4.12	Penampang Balok Daerah Tumpuan (B1) 300x500 pada SRPMM	134
Gambar 4.13	Penampang Balok Daerah Lapangan (B1) 300x500 pada SRPM	137
Gambar 4.14	Penampang Balok Daerah Tumpuan (B2) 300x500 pada SRPMM	142
Gambar 4.15	Penampang Balok Daerah Lapangan (B2) 300x500 pada SRPMM	146
Gambar 4.16	Penampang Balok Daerah Tumpuan (B3) 250x300 pada SRPMM	152
Gambar 4.17	Penampang Balok Daerah Lapangan (B3) 250x300 pada SRPMM	155

Gambar 4.18	Denah Bangunan	173
Gambar 4.19	Denah Balok Lantai 1 – 4 Typical	174
Gambar 4.20	Denah Balok Lantai 5 (Lantai Atasp)	175
Gambar 4.21	Balok Tinjauan Sumbu Lemah	176
Gambar 4.22	Balok Tinjauan Sumbu Kuat	177
Gambar 4.23	Denah Kolom Lantai 1	178
Gambar 4.24	Denah Kolom Lantai 2 & 3	179
Gambar 4.25	Denah Kolom Lantai 4 & 5	180
Gambar 4.26	Denah Balok <i>Precast</i> Lantai 1 – 5 <i>Typical</i>	181
Gambar 4.27	Penulangan Balok <i>Precast</i>	181
Gambar 4.28	Denah Kolom <i>Precast</i> Lantai 1 – 5 <i>Typical</i>	182
Gambar 4.29	Penulangan Kolom <i>Precast</i>	182
Gambar 4.30	Kolom yang ditinjau	183
Gambar 4.31	Formasi penulangan balok (B1) 300x500 mm SRPMK	183
Gambar 4.32	Formasi penulangan balok (B2) 300x500 mm SRPMK	184
Gambar 4.33	Formasi penulangan balok (B3) 250x300 mm SRPMK	185
Gambar 4.34	Penulangan kolom 700x700 mm SRPMK	185
Gambar 4.35	Penulangan kolom 600x600 mm SRPMK	186
Gambar 4.36	Penulangan kolom 500x500 mm SRPMK	186
Gambar 4.37	Formasi penulangan balok (B1) 300x500 mm SRPMM	187
Gambar 4.38	Formasi penulangan balok (B2) 300x500 mm SRPMM	187
Gambar 4.39	Formasi penulangan balok (B3) 250x300 mm SRPMM	188
Gambar 4.40	Penulangan Kolom 700x700 mm SRPMM	188
Gambar 4.41	Penulangan Kolom 600x600 mm SRPMM	189
Gambar 4.42	Penulangan Kolom 500x500 mm SRPMM	189

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Printout SAP 2000	
1. Balok B1 (300x500) SRPMK	1
2. Balok B2 (300x500) SRPMK	9
3. Balok B3 (250x300) SRPMK	15
4. Kolom (700x700) SRPMK	18
5. Kolom (600x600) SRPMK	20
6. Kolom (500x500) SRPMK	22
7. Balok B1 (300x500) SRPMM	24
8. Balok B2 (300x500) SRPMM	32
9. Balok B3 (250x300) SRPMM	38
10. Kolom (700x700) SRPMM	41
11. Kolom (600x600) SRPMM	43
12. Kolom (500x500) SRPMM	45
Lampiran 2. Gambar Kerja	48

DAFTAR NOTASI

Simbol Keterangan

a	: Tinggi penampang tegangan persegi ekuivalen, mm
A_g	: Luas penampang bruto, mm ²
A_s	: Luas tulangan tarik, mm ²
A_s'	: Luas tulangan tekan, mm ²
A_v	: Luas tulangan geser (dua kaki), mm ²
A_0	: Pengaruh puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana
b	: Lebar penampang, mm
b_f	: Lebar sayap balok-T, mm
C	: Koefisien gempa dasar
c	: Jarak sisi terluar ke garis netral, mm
C_c	: Gaya tekan pada beton, kN
C_s	: Gaya pada tulangan tekan, kN
C_v	: Faktor respons gempa vertikal
d	: Jarak dari sisi tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm
d_i	: Simpangan horizontal lantai tingkat ke-i
d'	: Jarak dari sisi tekan terluar ke pusat tulangan tekan, mm
D_p	: Diameter tulangan pokok, mm ²
D_s	: Diameter tulangan geser, mm ²
DL	: Beban mati, kN
e	: Eksentrisitas gaya terhadap sumbu, mm
E_c	: Modulus elastisitas beton, MPa
E_s	: Modulus elastisitas baja tulangan, MPa
El	: Kekuatan lentur komponen struktur tekan, Nmm ²
f_c'	: Tegangan tulangan tarik, MPa
F_i	: Beban gempa nominal static ekuivalen, kN
f_s	: Tegangan tulangan tarik, MPa
f_s'	: Tegangan tulangan tekan, MPa
f_y	: Tegangan leleh baja yang disyaratkan, MPa

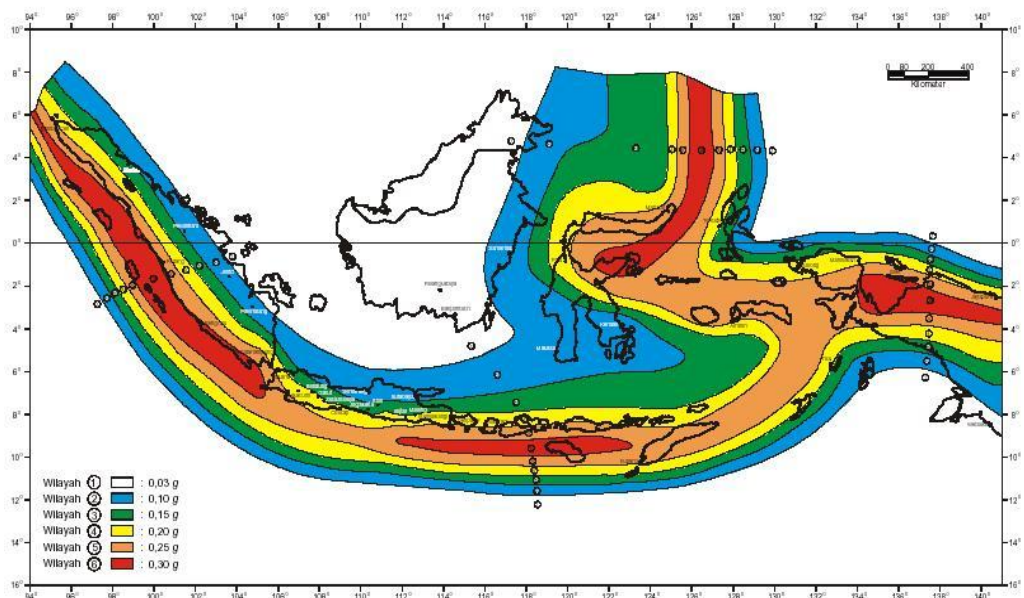
g	: Percepatan gravitasi, 9810 mm/det^2
h	: Tinggi penampang beton, mm
h_f	: Tinggi plat beton, mm
h_n	: Ketinggian gedung, m
I	: Faktor keutamaan gedung
I_g	: Momen inersia dari penampang bruto terhadap garis sumbunya, mm^4
k	: Faktor panjang efektif kolom
l_n	: Panjang bentang bersih kolom, mm
l_u	: Panjang tak tertumpu kolom, mm
LL	: Beban hidup, kN
M_n	: Kapasitas momen nominal penampang, kNm
M_u	: Momen luar yang bekerja, kNm
P_n	: Beban aksial nominal, kN
P_u	: Beban aksial terfaktor, kN
R	: Faktor reduksi gempa
s	: Selimut beton, mm
s	: Spasi sengkang, mm
T	: Waktu getar alami fundamental struktur gedung, detik
V_c	: Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
V_n	: Kuat geser nominal pada penampang, kN
V_s	: Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser, kN
V_u	: Kuat geser terfaktor pada penampang, kN
W_{DL}	: Berat beban mati bangunan, kN
W_i	: Berat lantai ke- i
W_{LL}	: Berat beban hidup bangunan, kN
W_t	: Berat total bangunan, kN
z_i	: tinggi tiap lantai gedung, m
β_l	: Faktor reduksi tinggi blok tegangan ekuivalen beton
ρ	: Rasio penulangan tarik
ρ'	: Rasio penulangan tekan
ρ_b	: Rasio penulangan dalam keadaan seimbang

ϕ : Faktor reduksi kekuatan
 μ : Faktor daktilitas struktur
 Ψ : Kekakuan relatif kolom

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di daerah rawan gempa, untuk mengurangi resiko akibat bencana gempa tersebut perlu direncanakan struktur bangunan tahan gempa. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2002, kota Yogyakarta telah diklasifikasikan kedalam daerah yang telah memiliki resiko gempa sedang yang memiliki percepatan gempa 0.15 gravitasi (0.15 g).



Gambar 1.1 Wilayah Gempa Indonesia

Perencanaan tahan gempa pada umumnya didasarkan pada analisa elastik yang diberi faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Kenyataannya, perilaku runtuh struktur bangunan pada saat gempa adalah pada saat kondisi inelastis. Dengan merencanakan suatu struktur dengan beban gempa, banyak aspek yang mempengaruhinya diantaranya adalah periode bangunan. Periode bangunan itu sangat dipengaruhi oleh massa struktur serta kekakuan struktur tersebut. Kekakuan struktur sendiri dipengaruhi oleh kondisi struktur, bahan yang digunakan serta dimensi struktur yang digunakan. Evaluasi untuk memperkirakan kondisi inelastik struktur bangunan pada saat gempa perlu untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerjanya memuaskan pada saat terjadinya gempa. Bila terjadi gempa ringan,

bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri.

Pada bangunan Rusunawa Pringwulung 2 *Twin Blok* direncanakan dan dilaksanakan dengan menggunakan *Prefabrication* (prefabrikasi) yaitu *industrialisasi* metode konstruksi dimana komponen-komponennya diproduksi secara massal dirakit (*assemble*) dalam bangunan dengan bantuan crane dan alat-alat pengangkat dan penanganan yang lain.

Dalam Tugas Akhir ini bangunan Rusunawa 2 *Twin Block* akan di *redesign* ulang dengan metode konvensional. Struktur bangunan akan dibandingkan dengan model Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Jenis bangunan SRPMK akan direncanakan dengan konsep *Strong Column and Weak Beam* (kolom kuat dan balok lemah). Sistem Rangka Pemikul adalah system rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Dalam Tugas Akhir ini perhitungan untuk bangunan *Rusunawa 2 Twin Blok 5* lantai menggunakan Software SAP2000 V.7 dan perhitungan gaya/beban gempa yang bekerja dengan metode *Analisis Statik Ekuivalen*.

1.2 Identifikasi Masalah

Semakin banyaknya masalah yang terjadi pada perencanaan dan pembangunan suatu gedung dengan material beton bertulang diantaranya adalah :

- a) Dimensi bangunan yang tidak sesuai dengan beban yang dipikul oleh bangunan;
- b) Pondasi yang tidak sesuai dengan jenis tanah dan bangunan;
- c) Bangunan yang diencanakan tidak memperhitungkan pengaruh gempa;
- d) Tidak sesuainya desain dan analisis struktur pada daerah yang rawan gempa.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan Tugas Akhir ini dibatasi pada:

- a) Analisa Model Struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus;
- b) Aspek-aspek yang ditinjau:
 - Dimensi Balok dan Kolom;
 - Gaya dalam.
- c) Kondisi tanah keras dan tidak mengalami pergerakan;
- d) Asumsi hubungan Balok Kolom merupakan sambungan kaku (*Rigid*);
- e) Perhitungan gempa menggunakan analisis statik ekuivalen.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan diatas maka dapat diambil rumusan masalah, yaitu :

- a) Berapa besarnya beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok*?
- b) Apakah akan diperoleh besaran gaya dalam yang berbeda jika memperhitungkan komponen gempa pada SRPMK dan SRPMM?
- c) Berapa dimensi balok dan kolom yang mampu menahan beban gempa rencana yang bekerja dan formasi penulangan pada elemen struktur balok dan kolom?
- d) Bagaimanakah gambar detail penulangan balok dan kolom dari hasil perencanaan?

1.5 Tujuan Kajian

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

- a) Merencanakan komponen struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus kemudian merencanakan ulang kedua model struktur gedung beton bertulang tersebut berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002.
- b) Menghasilkan kesimpulan yang dapat membantu pengguna dalam hal mendesain struktur bangunan.

1.6 Manfaat Kajian

a) Teoritis

Diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi secara lebih detail dalam tata-cara perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa.

b) Praktis

Dari hasil perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa 5 lantai pada bangunan *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Block* maka diharapkan dapat diketahui beban gempa yang bekerja pada struktur beton bertulang dan dapat merencanakan struktur beton bertulang yang mampu menahan beban gempa rencana.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Filosofi dasar dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah terdapatnya. Komponen struktur yang diperbolehkan untuk mengalami kelelahan. Komponen struktur yang leleh tersebut merupakan komponen yang menyerap energi gempa selama bencana gempa terjadi. Agar memenuhi konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa tersebut, maka pada saat gempa kelelahan yang terjadi hanya pada balok. Oleh karena itu kolom dan sambungan harus dirancang sedemikian rupa agar kedua komponen struktur tidak mengalami kelelahan ketika gempa terjadi.

2.2 Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu *massa* mirip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, 2004:1).

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1999:1).

Beton bertulang adalah merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan: beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah dan batang-batang baja yang ditanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. (Wang, 1993:1)

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama

akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem (Dipohusodo, 1999:12).

Menurut Mc Cormac (2004), ada banyak kelebihan dari beton sebagai struktur bangunan diantaranya adalah:

1. Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain;
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, batang-batang struktur dengan ketebalan penutup beton yang memadai sebagai pelindung tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaanya saja tanpa mengalami keruntuhan;
3. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi;
4. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi telapak, dinding *basement*, dan tiang tumpuan jembatan;
5. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar;
6. Di bagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.

Lebih lanjut, Mc Cormac (2004), juga menyatakan kekurangan dari penggunaan beton sebagai suatu bahan struktur yaitu:

1. Beton memiliki kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik;
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap ditempatnya sampai beton tersebut mengeras;
3. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur;

4. Rendahnya kekuatan per satuan volume mengakibatkan beton akan berukuran relatif besar, hal penting yang harus dipertimbangkan untuk bangunan-bangunan tinggi dan struktur-struktur berbentuk panjang;
5. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani seteliti seperti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti baja dan kayu lapis.

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, beton diasumsikan tidak memiliki kekuatan tarik sehingga diperlukan material lain untuk menanggung gaya tarik yang bekerja. Material yang digunakan umumnya berupa batang-batang baja yang disebut tulangan.

Untuk meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan dengan beton di sekelilingnya telah dikembangkan jenis tulangan uliran pada permukaan tulangan, yang selanjutnya disebut sebagai baja tulangan *deform* atau ulir.

Mengacu SII 0136-80, Dipohusodo menyebutkan pengelompokan baja tulangan untuk beton bertulang sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Jenis dan kelas baja tulangan menurut SII 0136-80

Jenis	Kelas	Simbol	Batas Ulur Maksimum (MPa)	Kuat Tarik Minimum (MPa)
Polos	1	BJTP-24	235	382
	2	BJTP-30	294	480
Ulir	1	BJTD-24	235	382
	2	BJTD-30	294	480
	3	BJTD-35	343	490
	4	BJTD-40	392	559
	5	BJTD-50	490	610

Sumber: Dipohusodo:1999

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, untuk melindungi tulangan terhadap bahaya korosi maka di sebelah tulangan luar harus diberi selimut beton. Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan berikut:

Tabel 2.2 Batasan tebal selimut beton

Kondisi Struktur	Tebal Selimut
------------------	---------------

	Minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	70
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
– Batang D-19 hingga D-56	50
– Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah:	
<u>Pelat dinding, pelat berusuk:</u>	
– Batang D-44 dan D-56	40
– Batang D-36 dan yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom:</u>	
– Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat pelipat:</u>	
– Batang D-19 dan yang lebih besar	20
– Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	15

Sumber: Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002

2.3 Ketentuan Perencanaan Pembebanan

Perencanaan pembebanan ini digunakan beberapa acuan standar sebagai berikut:

- 1) Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002);
- 2) Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2002);
- 3) Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1987);

2.3.1 Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap bebab-beban berikut:

1. Beban Mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan lambang DL;
2. Beban Hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan lambang LL;

3. Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan lambang E;
4. Beban Angin (*Wind Load*), dinyatakan dengan lambang W.

2.3.2 Deskripsi Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan ini adalah sebagai berikut:

2.3.2.1 Beban Mati (DL)

Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur gedung bertingkat ini merupakan berat sendiri elemen struktur bangunan yang memiliki fungsi structural menahan beban. Beban dari berat sendiri elemen-elemen tersebut diantaranya sebagai berikut:

- Beton = 2400 kg/m³
- Tegel (24 kg/m²) + Spesi (21 kg/m²) = 45 kg/m³
- Plumbing = 10 kg/m³
- Plafond + Penggantung = 18 kg/m³
- Dinding ½ bata = 250 kg/m²

Beban tersebut harus disesuaikan dengan volume elemen struktur yang akan digunakan. Karena analisis dilakukan dengan program SAP2000, maka berat sendiri akan dihitung secara langsung.

2.3.2.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup yang diperhitungkan adalah beban hidup selama masa layan. Beban hidup selama masa konstruksi tidak diperhitungkan karena diperkirakan beban hidup masa layan lebih besar daripada beban hidup pada masa konstruksi. Beban hidup yang direncanakan adalah sebagai berikut:

a) Beban Hidup pada Lantai Gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 250 kg/m².

b) Beban Hidup pada Atap Gedung

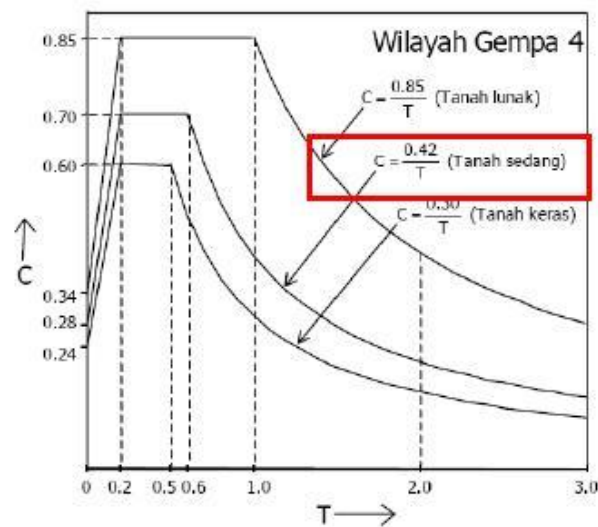
Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 100 kg/m².

2.3.2.3 Beban Gempa (E)

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Untuk merencanakan struktur bangunan

tahan gempa, perlu diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, wilayah Indonesia dapat dibagi ke dalam 6 wilayah zona gempa.

Struktur bangunan yang akan direncanakan terletak pada wilayah gempa 4. Berikut ini adalah grafik dan tabel *Respons Spektra* pada wilayah gempa zona 4 untuk kondisi tanah lunak, sedang, dan keras.



Gambar 2.1 Respons Spektrum Gempa Rencana Wilayah 4

(Sumber: SNI 1729-2002)

Analisis yang digunakan dalam perencanaan gempa ini adalah metode analisis Statik Ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Berdasarkan SNI 1726-2002, beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$V = \frac{c \cdot I}{R} \cdot W_t$$

(2.1)

Dimana:

- V adalah gaya geser dasar rencana total, N
- R adalah faktor modifikasi respons
- W_t adalah berat total struktur, N
- I adalah Faktor keutamaan gedung

C adalah Nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari *Spektrum Respons Gempa Rencana* untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung.

Berat total struktur W_t ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut ini:

- 1) Beban mati total dari struktur bangunan;
- 2) Bila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa;
- 3) Pada gudang-gudang dan tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan;
- 4) Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan harus diperhitungkan.

Tabel 2.3 Klarifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Beserta faktor R dan O_0

Sistem Struktur	Deskripsi	R	O_0
Sistem Rangka yang ada pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka terutama melalui mekanisme lentur.	1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	8,5	2,8
	2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah	5,5	2,8
	3. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa	3,5	2,8

(Sumber: SNI 1729-2002)

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan I

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting paska gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan	1,4	1,0	1,4

dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi			
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam dan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki diatas menara	1,5	1,0	1,5

(Sumber: SNI 1729-2002)

Gaya geser nominal V harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} \cdot V$$

(2.2)

Keterangan:

W_i = berat lantai tingkat ke- i , termasuk beban hidup yang sesuai;

Z_i = ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf penjepitan lateral;

n = nomor lantai tingkat paling atas.

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka $0.1 V$ harus dianggap sebagai beban horizontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan $0.9 V$ sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen.

Untuk menentukan waktu getar alami struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut:

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}}$$

(2.3)

Keterangan:

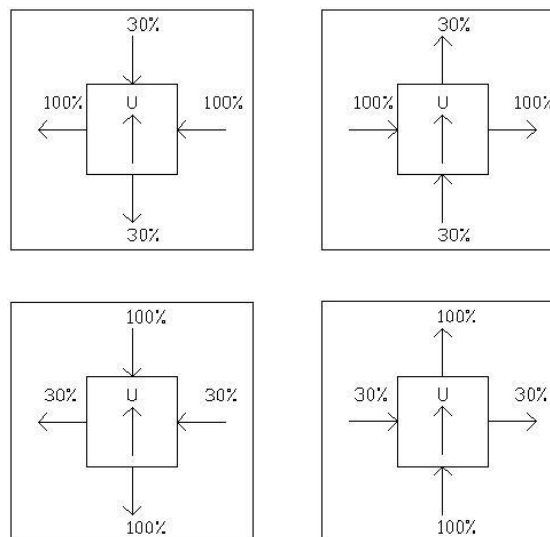
- W_i = berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai;
 Z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral;
 N = nomor lantai tingkat paling atas;
 d_i = simpangan horizontal lantai tingkat ke-i dinyatakan dalam mm;
 g = percepatan gravitasi sebesar 9810 mm/detik²

2.3.2.4 Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh Gempa Rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan system struktur secara keseluruhan.

Untuk menstimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitasnya hanya 30%. Hal ini telah ditetapkan pada SNI 1726-2002 pasal 5.8.2.

Berikut adalah 4 kombinasi gempa



Gambar 2.2 Kombinasi Arah Beban Gempa

2.3.3 Kombinasi Pembebanan

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan SNI 1729-2002, standar kombinasi pembebanan sebagai berikut:

- 1,4 DL;

- $1,2 DL + 1,6LL$;
- $1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY$;
- $1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY$;
- $1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY$;
- $1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY$;
- $0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY$;
- $0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY$;
- $0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY$;
- $0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY$;

Keterangan:

DL = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap;

LL = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain;

E = Beban gempa;

W = Beban angin.

2.4 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.4.1 Komponen Struktur Lentur pada SRPMK (SNI 03-2847-2002 pasal 23.3)

2.4.1.1 Ruang Lingkup

Komponen struktur lentur pada SRPMK harus memenuhi syarat-syarat dibawah ini:

- 1) Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1A_g f'_c$.
- 2) Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- 3) Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
- 4) Lebar nya tidak boleh:
 - a. Kurang dari 250 mm

- b. Lebih lebar dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

2.4.1.2 Tulangan Longitudinal

- 1) Pada setiap irisan penampang komponen struktur lentur:

- Jumlah tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari

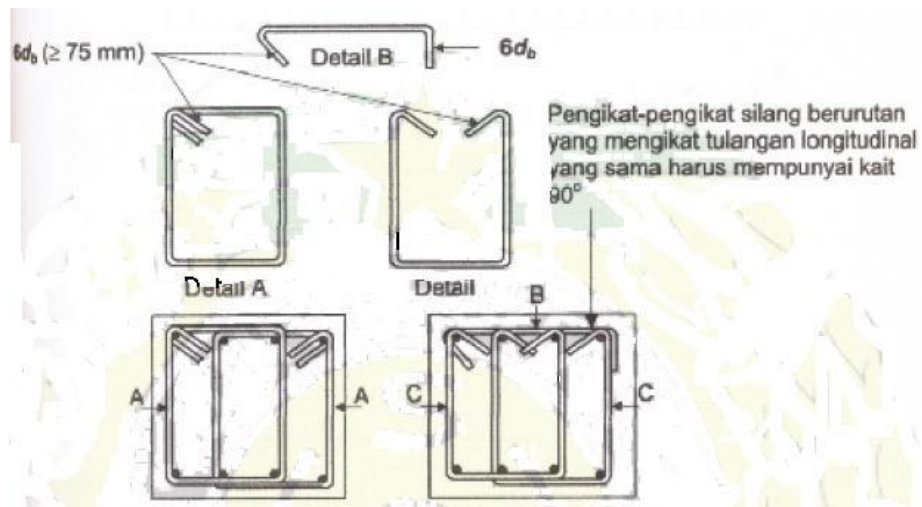
$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot f_y} b_w d \quad (2.4)$$

- Tidak boleh kurang dari $1,4b_w d/f_y$
 - Rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi **0,025**.
 - Sekurang-kurangnya harus ada 2 batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang secara menerus.
- 2) Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.
- 3) Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diizinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak melebihi $d/4$ atau 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada:
- a. Daerah hubungan balok kolom;
 - b. Daerah hingga jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom;
 - c. Tempat-tempat yang berdasarkan analisis, memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastik struktur rangka.

2.4.1.3 Tulangan Transversal

- 1) Sengkang tertutup harus dipasang pada komponen struktur pada daerah-daerah dibawah ini:

- a. Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
 - b. Disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang dimana leleh lentur diharapkan dapat terjadi sehubungan dengan terjadinya deformasi inelastik struktur rangka.
- 2) Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak melebihi 50 mm dari muka tumpuan.
- Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi:
- $d/4$;
 - delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang;
 - 24 kali diameter batang tulangan sengkang tertutup;
 - 300 mm.
- 3) Pada daerah yang memerlukan sengkang tertutup, tulangan memanjang pada perimeter harus mempunyai pendukung lateral.
- 4) Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur.
- 5) Sengkang atau sengkang ikat yang diperlukan untuk memikul geser harus dipasang di sepanjang komponen struktur.
- 6) Sengkang tertutup dalam komponen struktur lentur diperbolehkan terdiri dari dua unit tulangan, yaitu: sebuah sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait 90 derajat harus dipasang secara berselang-seling. Jika tulangan memanjang yang diberi pengikat silang dikekang oleh pelat lantai hanya pada satu sisi saja maka kait 90 derajatnya harus dipasang pada sisi yang dikekang.



Gambar 2.3 Contoh Sengkang Tertutup yang dipasang bertumpuk

(Sumber SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3)

2.4.1.4 Persyaratan Kuat Geser

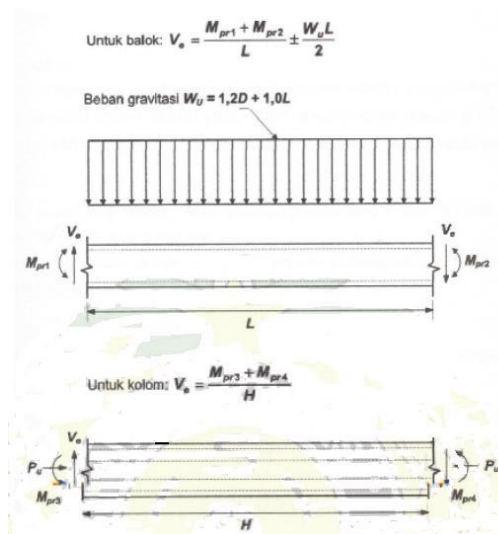
1) Gaya Rencana

Gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_{pr} , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya.

2) Tulangan Transversal

Tulangan transversal sepanjang daerah yang ditentukan harus dirancang untuk memikul geser gempa dengan menganggap $V_c = 0$, bila:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan gaya rencana mewakili setengah atau lebih daripada kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut,
- Gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$.



Gambar 2.4 Perencanaan geser untuk balok-kolom

(Sumber SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4)

2.4.2 Komponen Struktur Yang Menerima kombinasi Lentur dan Beban Aksial pada SRPMK (SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4)

2.4.2.1 Ruang Lingkup

Komponen struktur pada SRPMK harus memenuhi syarat-syarat berikut ini:

- 1) Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang, tidak kurang dari 300 mm;
- 2) Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus nya tidak kurang dari **0,4**.

2.4.2.2 Kuat Lentur Minimum Kolom

- 1) Kuat lentur setiap kolom yang dirancang untuk menerima beban aksial tekan terfaktor melebihi $A_g f'_c / 10$.
- 2) Kuat lentur kolom harus memenuhi

$$\sum M_e \geq (6/5) \sum M_g$$

(2.5)

$\sum M_e$ Adalah jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya-gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

$\sum M_g$ Adalah jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam keadaan tertarik pada muka kolom, tulangan pelat yang berada dalam daerah lebar efektif pelat harus diperhitungkan dalam menentukan kuat lentur nominal balok bila tulangan tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritis lentur.

- 3) Jika persamaan tersebut tidak dipenuhi maka kolom pada hubungan balok-kolom tersebut harus direncanakan dengan memberikan tulangan transversal yang dipasang disepanjang tinggi kolom.

2.4.2.3 Tulangan Memanjang

Rasio tulangan ρ_g tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06.

2.4.2.4 Tulangan Transversal

- 1) Ketentuan mengenai jumlah tulangan transversal
- a. Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin ρ_s , tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = \frac{0,12 \cdot f'_c}{f_y \cdot h}$$

(2.6)

Dan tidak boleh kurang dari:

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

(2.7)

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

- b. Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari:

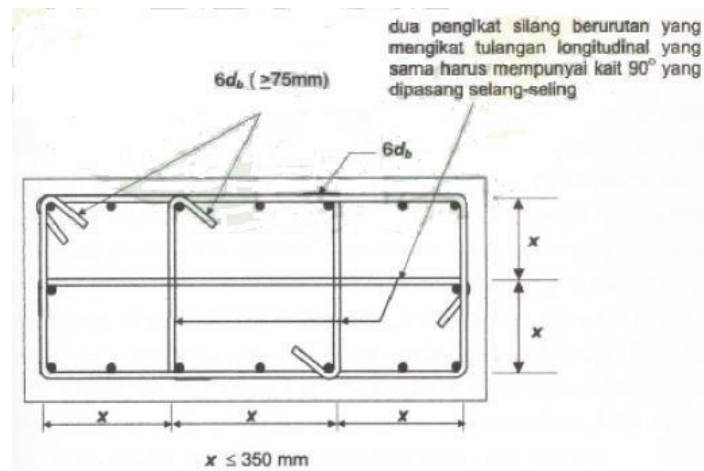
$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{sh_c \cdot f'_c}{f_y \cdot h} \right) \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

(2.8)

$$A_{sh} = 0,09 \cdot \left(\frac{sh_c \cdot f'_c}{f_y \cdot h} \right)$$

(2.9)

- c. Tulangan transversal harus berupa sengkang tunggal atau tumpuk. Tulangan pengikat silang dengan diameter dan spasi yang sama dengan diameter dan spasi sengkang tertutup boleh dipergunakan. Tiap ujung tulangan pengikat silang harus terikat pada tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk kait ujungnya.
- d. Bila kuat rencana pada bagian inti komponen struktur telah memenuhi ketentuan kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa maka persamaan (2.8) dan (2.7) tidak perlu diperhatikan.
- e. Bila tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekan melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan perlu dipasang dengan spasi tidak melebihi 300 mm. Tebal selimut di luar tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 100 mm.



Gambar 2.5 Contoh tulangan transversal pada kolom

(Sumber SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4.4)

2) Tulangan transversal harus diletakkan dengan spasi tidak melebihi daripada:

- a. $\frac{1}{4}$ dari dimensi terkecil komponen struktur;
- b. 6 kali diameter tulangan longitudinal;

$$c. s_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

(2.10)

Nilai s_x tidak perlu lebih besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil daripada 100 mm.

3) Tulangan pengikat silang tidak boleh dipasang dengan spasi lebih daripada 350 mm dari sumbu ke sumbu dalam arah tegak lurus sumbu komponen struktur.

4) Tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari setiap muka hubungan balok-kolom dan juga sepanjang l_0 pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk leleh lentur akibat deformasi lateral inelastik struktur rangka. l_0 ditentukan tidak boleh kurang daripada:

- a. Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur;
- b. $\frac{1}{6}$ bentang bersih komponen struktur;
- c. 500 mm.

- 5) Bila gaya-gaya aksial terfaktor pada kolom akibat gempa melampaui $A_g f'_c/10$, dan gaya aksial tersebut berasal dari komponen struktur lainnya yang sangat kaku yang didukungnya, misalnya diting, maka kolom tersebut harus diberi tulangan transversal pada seluruh tinggi kolom.
- 6) Bila tulangan transversal tidak dipasang diseluruh panjang kolom maka pada daerah sisanya harus dipasang tulangan spiral atau sengkang tertutup dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih daripada nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal kolom atau 150 mm.

2.4.2.5 Persyaratan Kuat Geser

- 1) Gaya-gaya rencana

Gaya geser rencana, V_e , harus ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya pada muka hubungan balok-kolom tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja. Gaya geser rencana tersebut tidak perlu lebih besar daripada gaya geser rencana yang ditentukan dari kuat hubungan balok-kolom berdasarkan kuat momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur transversal yang merangka dari hubungan balok-kolom tersebut. Gaya geser rencana, V_e , tidak boleh lebih kecil daripada geser terfaktor hasil perhitungan analisis struktur.

- 2) Tulangan transversal pada komponen struktur sepanjang l_0 , harus direncanakan untuk memikul geser dengan menganggap $V_c=0$, bila:
 - a. Gaya geser akibat gempa mewakili 50% atau lebih dari kuat geser perlu maksimum pada bagian sepanjang l_0 tersebut;
 - b. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui $A_g f'_c/20$.

2.4.3 Hubungan Balok Kolom (SNI 03-2847-2002 Pasal 23.5)

2.4.3.1 Ketentuan Umum

- 1) Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$.
- 2) Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan.
- 3) Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang.
- 4) Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang daripada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

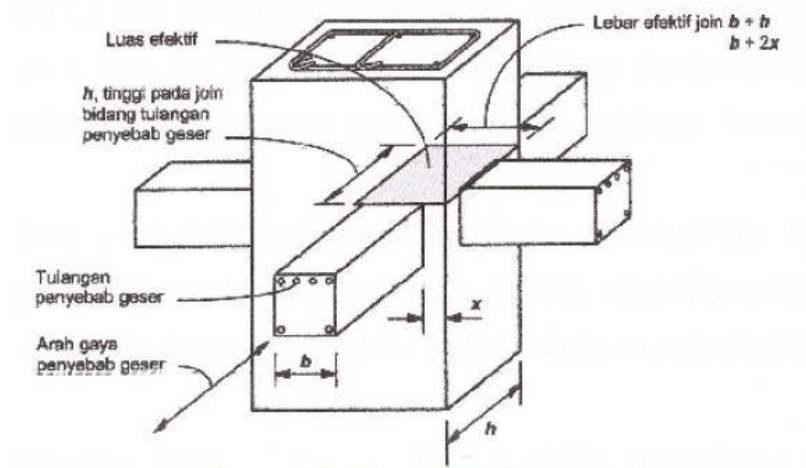
2.4.3.2 Tulangan Transversal

- 1) Tulangan berbentuk sengkang tertutup harus dipasang dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok-kolom tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur.
- 2) Pada hubungan balok-kolom dimana balok-balok, dengan lebar setidaknya tidaknya sebesar $\frac{3}{4}$ lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidaknya tidaknya sejumlah $\frac{1}{2}$ dari yang ditentukan. Tulangan transversal ini dipasang di daerah hubungan balok-kolom disetinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.
- 3) Pada hubungan balok-kolom, dengan lebar balok lebih besar daripada kolom, tulangan transversal harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada diluar daerah inti kolom, terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada tulangan tersebut.

2.4.3.3 Kuat Geser

- 1) Kuat geser nominal hubungn balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal.

- Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya
 $1,7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j$
- Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan
 $1,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j$
- Untuk hubungan lainnya
 $1,0 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j$
- Luas efektif hubungan balok-kolom A_j ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Luas efektif hubungan balok-kolom

(Sumber SNI 03-2847-2002 Pasal 23.5.3)

Suatu balok yang merangka pada suatu balok-kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya-tidaknya $\frac{3}{4}$ bidang muka hubungan balok-kolom tersebut tertutupi oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom tersebut.

- 2) Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada $\frac{3}{4}$ nilai-nilai yang diberikan oleh ketentuan kuat geser.

2.4.3.4 Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

- 1) Panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton berat normal tidak boleh diambil lebih kecil daripada $8d_b$, 150 mm, dan nilai yang ditentukan oleh:

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

(2.11)

Untuk diameter tulangan sebesar 10 mm hingga 36 mm,

Untuk beton ringan, panjang penyaluran tulangan tarik dengan kait standard 90° tidak boleh diambil lebih kecil daripada $10d_b$, 190 mm, dan 1,25 kali nilai yang ditentukan persamaan (2.16). Kait standard 90° harus ditempatkan di dalam inti terkekang kolom atau komponen batas.

- 2) Untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik l_d tanpa kait tidak boleh diambil lebih kecil daripada:
- a. Dua setengah kali panjang penyaluran, bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm,
 - b. Tiga setengah kali panjang penyaluran, bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.
- 3) Tulangan tanpa kait yang berhenti pada hubungan balok-kolom harus diteruskan melewati inti terkekang dari kolom atau elemen batas. Setiap bagian dari tulangan tanpa kait yang tertanam bukan di dalam daerah inti kolom terkekang harus diperpanjang sebesar 1,6 kali.

2.5 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) (SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10)

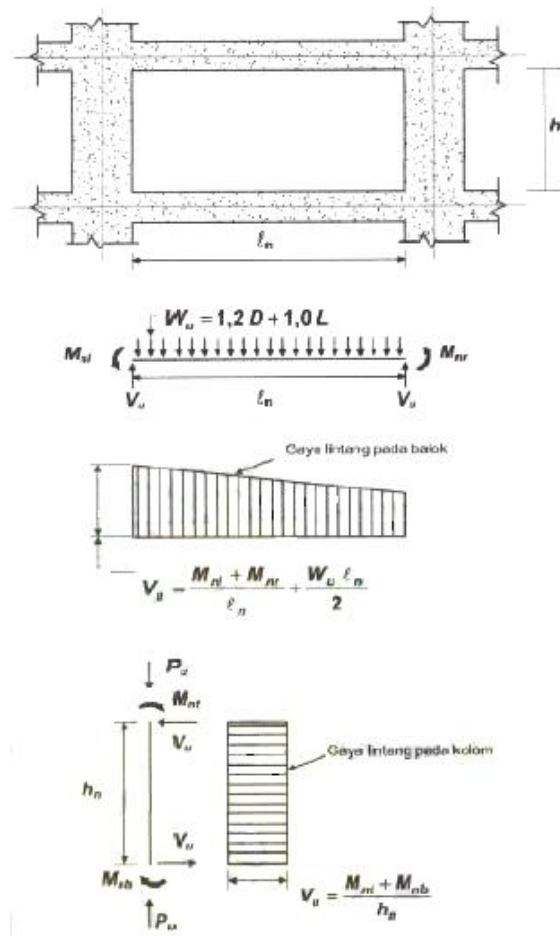
2.5.1 Detail Penulangan

Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $(A_g f'_c / 10)$. Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen melebihi $(A_g f'_c / 10)$, maka 2.11.4 harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan

2.5.2 Kuat Geser

Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

- 1) Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor.
- 2) Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.



Gambar 2.7 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

(Sumber SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.3)

2.5.3 Balok

- 1) Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang

terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.

- 2) Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a. $d/4$;
 - b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil;
 - c. 24 kali diameter sengkang;
 - d. 300 mm
- 3) Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

2.5.4 Kolom

- 1) Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang l_0 dari muka hubungan balok-kolom adalah s_0 . Spasi s_0 tersebut tidak boleh melebihi:
 - a. Delapan kali diameter sengkang ikat,
 - b. 24 kali diameter sengkang ikat,
 - c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
 - d. 300 mm.

Panjang l_0 tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- a. Seperenam tinggi bersih kolom,
 - b. Dimensi terbesar penampang kolom,
 - c. 500 mm.
- 2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5s_0$ dari muka hubungan balok-kolom.
 - 3) Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi:

Pada sambungan-sambungan elemen portal ke kolom harus disediakan tulangan lateral dengan luas tidak kurang daripada yang diisyaratkan dalam

persamaan $A_v = \frac{75\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot s}{(1200) \cdot f_y}$ dan dipasang di dalam kolom sejauh tidak

kurang daripada tinggi bagian sambungan paling tinggi dari elemen portal

yang disambung, kecuali untuk sambungan yang bukan merupakan bagian dari system utama penahan beban gempa, yang dikekang pada keempat sisinya dan oleh balok atau pelat yang mempunyai ketebalan yang kira-kira sama.

- 4) Spasi sengkang ikat pada sembarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2.s_0$.

2.6 Kondisi Penulangan pada Balok Beton

2.6.1 Tulangan yang diperlukan

Beton bertulang direncanakan mengalami keruntuhan secara perlahan dan bertahap. Hal tersebut dimungkinkan apabila tulangan beton terlebih dahulu meleleh sebelum regangan beton mencapai maksimum (*under-reinforced*). Dengan dasar perencanaan tersebut, SK-SNI-T-15-1991-03 pasal 3.3.3 membatasi jumlah tulangan tersebut berkaitan dengan ratio penulangan (ρ). Sedangkan arti ratio penulangan adalah perbandingan antara jumlah luas

penampang tulangan baja tarik terhadap luas efektif Penampang $\rho = \frac{A_s}{b.d}$.

Pembatasan dimaksud dalam SK-SNI-T-15-1991-03 pasal 3.3.3 adalah rasio penulangan maksimum yang diijinkan, dibatas sebesar 0,75 kali rasio penulangan keadaan seimbang (ρ_b), $\rho_{maks} = 0,75.\rho_b$, sedangkan rasio tulangan seimbang (ρ_b). Menurut SK-SNI-T-15-1991-03 pasal 3.1.4(3) adalah sebesar

$\rho_b = 0,85.\beta_1 \cdot \left(\frac{f_c' \cdot 600}{f_y \cdot (600 + f_y)} \right)$ dan rasio penulangan minimum menurut SK-SNI-

T-15-1991-03 pasal 3.3.5(1) adalah sebesar $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$. Syarat rasio penulangan

beton bertulang harus memenuhi ketentuan sebagai berikut : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$, jika $\rho < \rho_{min}$, maka ρ yang diambil adalah ρ_{min} . Struktur harus direncanakan sampai semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban gaya terfaktor.

Persyaratan tersebut disederhanakan menjadi sebagai berikut : $M_u = \phi \cdot M_n$,

dimana $M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d-a/2)$, sedangkan $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$. Untuk mencari rasio

penulangan (ρ) yang akan menentukan luas tulangan dari satu penampang beton bertulang dapat digunakan rumus

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2}} \right).$$

Luas tulangan yang diperlukan

adalah $A_s = \rho \cdot b \cdot d$, dan jarak tulangan yang diperlukan sebesar

$$s_{perlu} = \frac{\pi / 4 \cdot D_{tul}^2 \cdot b}{A_{sl}}$$

dan jarak tulangan maksimum adalah $s_{maks} = 3 \cdot h$ (SK-SNI-T-

15-1991-03 pasal 3.16.6).

Kontrol kekuatan plat:

Kekuatan plat harus memenuhi syarat : $\phi M_n > M_u$ dan $A_s > A_{smin}$

dimana:

$$A_{smin} = 0,002 b \cdot h$$

(2.12)

2.6.2 Kapasitas pada Balok

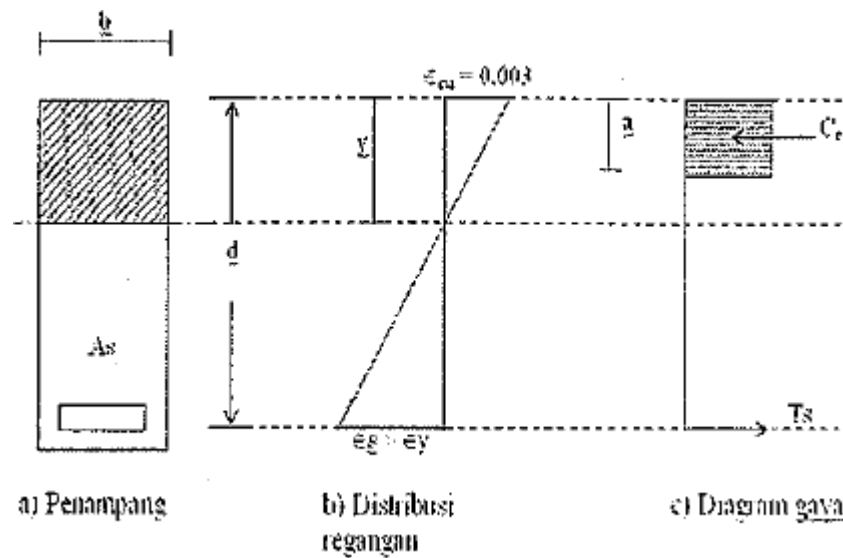
2.6.2.1 Desain penampang dengan tulangan tunggal

Permasalahan desain penampang persegi beton terhadap beban lentur dengan tulangan tunggal (tanpa tulangan tekan) adalah menentukan luas tulangan yang diperlukan A_s dengan terlebih dahulu mengetahui unsure-unsur penampang beton yang terdiri dari: ukuran penampang dengan lebar, b dan tinggi efektif, d ; momen berfaktor, M_u ; mutu beton, f_c ; dan mutu tulangan, f_y . Gambar 2.8 memperlihatkan penampang, distribusi regangan dan diagram gaya dari penampang persegi bertulangan tunggal pada kondisi batas yang menerima beban lentur.

Resultan gaya tarik tulangan sebagaimana Rumus 2.13

$$T_s = A_s f_y$$

(2.13)



Gambar 2.8 Penampang Persegi Bertulangan Tunggal (Sudarmanto 1990)

Resultan gaya tekan beton sebagaimana Rumus 2.14

$$C_c = 0,85 f'_c a b$$

(2.14)

dengan: a : kedalaman tegangan tekan persegi ekuivalen (mm).

Syarat keseimbangan gaya horizontal memberikan Rumus 2.15

$$C_c = T_s$$

(2.15)

Dengan memasukkan rumus 2.13 dan 2.14 kedalam rumus 2.15 didapat kedalaman tegangan tekan persegi ekuivalen diperoleh Rumus 2.16

$$a = A_s f_y / 0,85 f'_c b$$

(2.16)

Dengan mendefinisikan rasio tulangan tarik terhadap penampang efektif sebagaimana rumus 2.17

$$\rho = A_s / bd$$

(2.17)

maka persamaan 2.16 dapat diselesaikan menjadi,

$$(a/d) = (\rho f_y) / (0,85 f'_c)$$

(2.18)

dengan;

$$a = \beta x$$

(2.19)

Untuk, $f'_c \leq 30$ MPa nilai $\beta = 0,85$ dan untuk $f'_c \geq 35$ MPa, nilai

$$\beta = 0,85 - [0,001(f'_c - 30)]$$

Pasangan kopel gaya tarik tulangan T_s dan gaya tekan beton C_c dapat memberikan kekuatan lentur nominal (momen dalam),

$$M_n = T_s (d - (a/2))$$

(2.20)

atau,

$$M_n = C_c (d - (a/2))$$

(2.21)

Dengan memasukkan Rumus 2.13 dan Rumus 2.17 ke dalam Rumus 2.20 didapat momen nominal,

$$M_n = \rho f_y (1 - 0,59 \rho (f_y/f_c)) b d^2$$

(2.22)

Dengan mendefinisikan koefisien lawan,

$$R_n = \rho f_y (1 - 0,59 \rho (f_y/f_c))$$

(2.23)

Rumus 2.22 menjadi Rumus 2.24

$$M_n = R_n b d^2 \quad \text{atau} \quad R_n = M_n / b d^2$$

(2.24)

Dengan menetapkan besarnya rasio tulangan tarik diantara ambang batas minimum dan maksimum yang disyaratkan, yaitu:

$$\rho \geq \rho_{\min} = 1,4/f_y \quad \text{dan} \quad \rho \leq \rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

dengan:

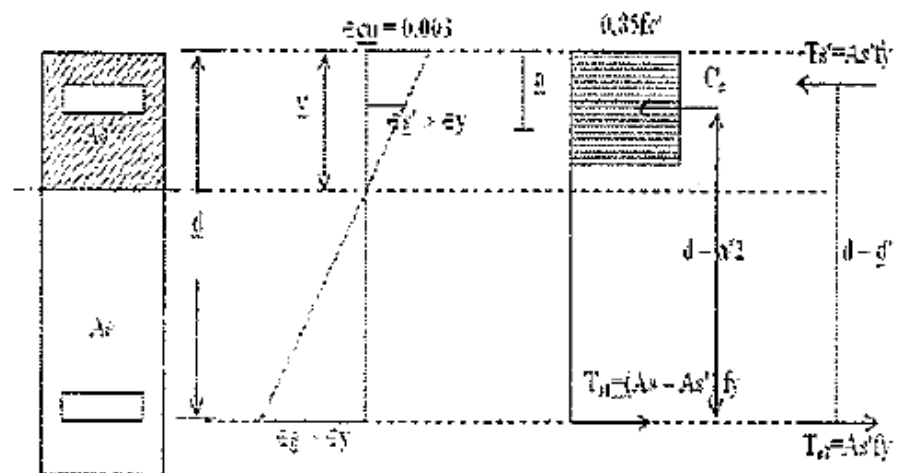
$$\rho_b = \beta (0,85 f'_c / f_y) (600 / (600 + f_y))$$

(2.25)

2.6.2.2 Desain penampang dengan tulangan rangkap

Bila suatu penampang beton terdapat tulangan tarik yang dipasang di daerah tarik dan tulangan tekan dipasang di daerah tekan, maka keadaan tersebut disebut penampang bertulangan rangkap. Gambar ...

memperlihatkan penampang, distribusi regangan dan diagram gaya dari penampang persegi bertulangan rangkap pada kondisi batas yang menerima beban lentur dengan tulangan tekan sudah meluluh. Dalam hal tersebut analisis penampangnya dibedakan menjadi dua bagian yaitu: (1) bagian penampang beton bertulangan tunggal, dan (2) bagian yang membentuk pasangan kopel antara tulangan tekan dengan tulangan tarik.



a) Penampang b) Distribusi regangan c) Diagram gaya tul. tunggal d) Pasangan kopel

Gambar 2.9 Penampang Persegi Bertulangan Rangkap (Sudarmanto 1990)

a. Bagian Pertama

Bagian pertama sebagaimana gambar 2.9c, dengan mendefinisikan koefisien perbandingan tulangan tekan terhadap tulangan tarik,

$$\delta = A_s' / A_s = \rho' / \rho$$

(2.26)

Ditinjau bagian pertama yaitu penampang bertulangan tunggal dengan luas tulangan:

$$A_{s1} = (A_s - A_s'), \text{ atau } \rho_1 = \rho - \rho'$$

(2.27)

Dengan memasukkan Rumus 2.26 ke dalam Rumus 2.27 didapat Rumus 2.28

$$\rho_1 = (1 - \delta) \rho$$

(2.28)

Berdasarkan Rumus 2.22, maka momen nominal bagian pertama dapat ditulis sebagai:

$$M_{n1} = \rho_1 f_y (1 - 0,59 \rho_1 (f_y / f_c')) b d^2$$

(2.29)

Dengan memasukkan Rumus 2.28 ke dalam Rumus 2.29 didapat Rumus 2.30

$$(M_{n1} / b d^2) = R_{n1} = (1 - \delta) \rho f_y (1 - 0,59 (1 - \delta) \rho (f_y / f_c'))$$

(2.30)

b. Bagian Kedua

Ditinjau bagian kedua (Gambar 2.9d) yaitu bagian yang membentuk pasangan kopel antara luas tulangan tekan A_s' sama dengan A_{s2} . Pasangan kopel gaya tarik tulangan T_{s2} dan gaya tekan tulangan T_s' dapat memberikan momen nominal (momen dalam),

$$M_{n2} = T_s' (d - d')$$

atau,

$$M_{n2} = A_s' f_y (d - d')$$

(2.31)

Dengan mendefinisikan $d' = \zeta d$, Rumus 2.31 menjadi:

$$M_{n2} = \rho' b d f_y (1 - \zeta),$$

atau,

$$\frac{M_{n2}}{b d^2} = R_{n2} = \delta \rho f_y (1 - \zeta)$$

(2.32)

Jumlah momen nominal bagian pertama dan kedua:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

atau:

$$M_n / b d^2 = (1 - \delta) \rho f_y (1 - 0,59 (1 - \delta) \rho f_y / f_c) + \delta \rho f_y (1 - \delta)$$

(2.33)

BAB III METODOLOGI KAJIAN

3.1 Objek Kajian

Dalam pengerjaan Proyek Akhir ini, yang digunakan sebagai objek kajian yang dibahas adalah berupa struktur portal beton bertulang pada bangunan *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok* Yogyakarta. Dari beberapa struktur portal yang ada, dipilih portal yang dipandang bisa mewakili portal-portal yang lain.

Perhitungan gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur portal berlantai 5 digunakan analisis portal 3 dimensi dengan menggunakan SAP 2000 v.7 yang dibuat oleh *Computers and Structures, Inc. University Avenue Berkeley, California 94704 USA*.

3.2 Lokasi Kajian

Lokasi kajian dalam Proyek Akhir ini adalah Bangunan Hunian *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok* Yogyakarta yang terdiri dari 5 lantai.

3.3 Waktu Kajian

Pelaksanaan pembuatan Proyek Akhir ini dimulai dari bulan April 2010.

3.4 Metode Pengumpulan Data

1. Observasi (Pengamatan)

Observasi dilakukan untuk mengetahui situasi objek yang sedang dikaji yaitu dengan cara melakukan tinjauan langsung pada Bangunan Hunian *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok* Yogyakarta

2. Pengambilan data yang sudah ada

Pengumpulan data-data primer yang sudah ada dari perusahaan yang berkaitan dengan pembangunan Bangunan Hunian *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok* Yogyakarta berupa:

- a. Gambar-gambar pekerjaan proyek pembangunan Bangunan Hunian *Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok* Yogyakarta diantaranya yaitu Gambar Arsitektur dan Gambar Struktur.
- b. Hasil perhitungan struktur

3. Studi literatur

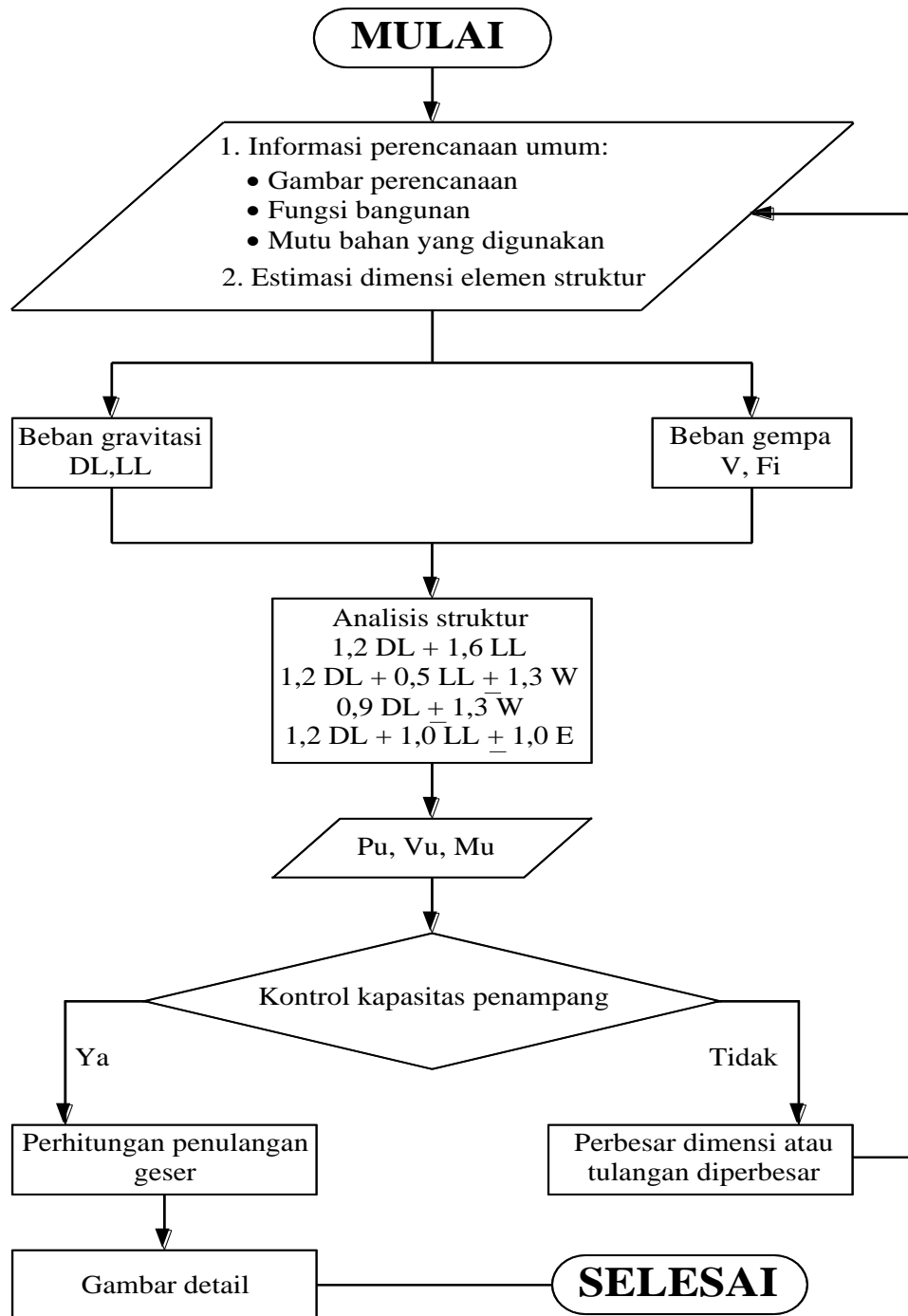
Kajian ini diambil dari publikasi Hasil penelitian para pakar di dunia teknik sipil, peraturan-peraturan yang berlaku, dan buku-buku pelajaran terutama yang berhubungan dengan tema proyek akhir ini.

3.5 Analisis Data

Analisis data untuk beban gempa statik ekuivalen yaitu dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung bertingkat yang praktis berperilaku sebagai struktur 3 dimensi, sehingga respons dinamikanya praktis hanya ditentukan oleh respons ragamnya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen. Faktor pembebanan yang digunakan yaitu :

- 1,4 DL;
- 1,2 DL + 1,6LL;
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY;
- 1,2 DL + 1,0 LL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY;
- 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY;
- 1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY;
- 0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY;
- 0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY;
- 0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY;
- 0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY;

Hasil output dari program SAP 2000 *Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures Version 7* dengan kombinasi beban yang digunakan hanya untuk mencari analisis mekaniknya saja, dengan mengambil nilai momen terbesar pada elemen struktur tertentu yang sama dimensinya, sedangkan element lain dengan momen yang lebih kecil dianggap telah terwakili. Sedangkan desain tulangan dikerjakan dengan cara perhitungan manual. Adapun analisis data perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa untuk sistem struktur portal dapat dilihat pada bagan alir berikut ini:



Gambar 3.1 Bagam alir perencanaan struktur beton bertulang

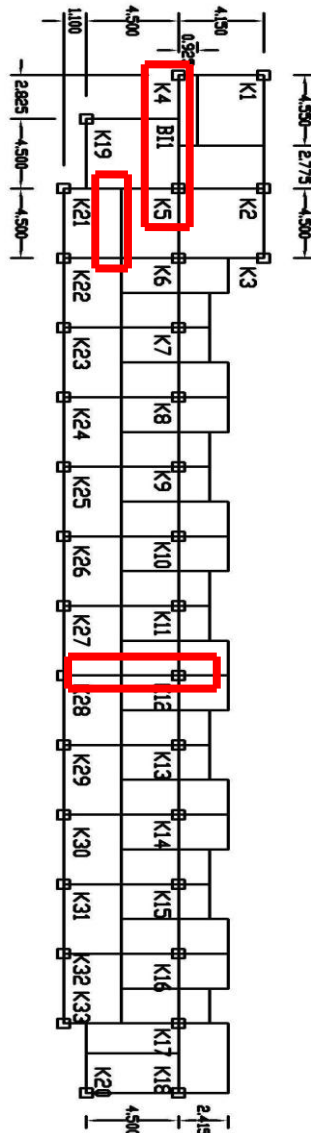
BAB IV

APLIKASI PERHITUNGAN

4.1 Deskripsi Model Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, akan dilakukan analisis statik ekuivalen untuk dua sistem struktur yang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Struktur dimodelkan 3 dimensi (portal ruang) sebagai portal terbuka dengan bantuan SAP 2000.

Berikut adalah denah bangunan yang direncanakan:



Gambar 4.1 Denah Struktur yang direncanakan

Perencanaan direncanakan dengan ketentuan – ketentuan sebagai berikut:

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002);
2. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2002);
3. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.2.53.1987).

4.2 Data Geometri Struktur

Data karakteristik geometri bangunan adalah sebagai berikut:

1. Bangunan rusunawa 5 lantai;
2. Tinggi lantai dasar adalah 3,67 meter dan tinggi antar lantai tipikal selanjutnya adalah 3,2 meter;
3. Lokasi pembangunan terletak pada wilayah gempa Zona 4 dengan kondisi tanah sedang;
4. Struktur utama direncanakan dengan system portal terbuka, kondisi kolom dan balok menggunakan struktur beton bertulang, pelat atap dan pelat lantai menggunakan pelat beton bertulang dengan tebal 120 mm.

4.3 Preliminari Struktur

Komponen Struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi balok, kolom dan plat akan direncanakan terlebih dahulu dimensi awal dari komponen struktur bangunan (Pra Perencanaan).

4.3.1 Material

Material yang digunakan dalam merencanakan dan membangun struktur bangunan ini adalah material beton bertulang. Pendefinisian material akan dilakukan pada program SAP 2000 Ver.7.

Material beton bertulang yang digunakan pada struktur bangunan ini mempunyai mutu f'_c 25 Mpa (beton) dan f_y 400 Mpa (baja).

4.3.2 Balok dan Kolom

Komponen struktur balok dan kolom dihubungkan dengan sambungan yang kaku sehingga tempat terjadinya sendi plastis adalah pada kedua ujung balok dan

pada ujung bawah kolom lantai dasar. Balok dan kolom dibuat dari beton bertulang. Dengan dimensi yang akan disesuaikan untuk menahan beban yang diberikan pada bangunan ini.

4.3.3 Plat

Plat yang digunakan pada model struktur bangunan ini menggunakan plat beton bertulang. Plat beton bertulang digunakan sebagai plat untuk plat atap dan plat lantai dengan ketebalan masing-masing 120 mm.

4.3.4 Pondasi

Pemodelan pondasi dilakukan dengan menganggap bahwa pondasi memberikan kekakuan translasi dan rotasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan. Berdasarkan asumsi yang digunakan tersebut pondasi dimodelkan sebagai perletakan jepit pada lantai dasar bangunan, yaitu pada ujung-ujung bawah kolom lantai dasar.

4.4 Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan adalah pendefinisian beban-beban yang bekerja pada struktur sesuai dengan Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung (SKBI 1.3.53.1987). Seluruh beban yang telah didefinisikan akan bekerja pada model struktur bangunan ini. Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan ini antara lain:

4.4.1 Beban Atap

1. Beban Kuda-kuda

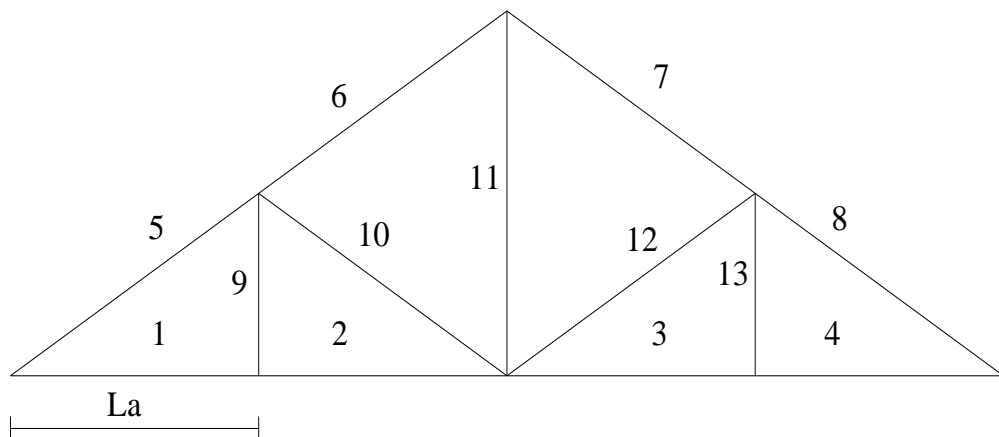
Letak geografis Negara Indonesia mengakibatkan terjadinya dua musim yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Antara keduanya terdapat perbedaan temperatur yang cukup ekstrim yang menimbulkan harus adanya kemampuan bagi atap untuk mampu menaha tekanan yang timbul pada kedua musim.

Penutup atap direncanakan memakai bahan genteng dipasang di atas gording baja profil C (kanal). Struktur rangka atap direncanakan memakai rangka baja profil dobel siku.

a. Data Teknis

- Bentang kuda-kuda : 4,5 m

- Jarak antar kuda-kuda : 4,5 m
- Kemiringan atap (α) : 34°
- Koefisien angin : $50 \text{ kg/m}^2 = 0,4903 \text{ kN/m}^2$
- Jarak a (L_a) : 1,125 m
- Mutu Baja : $2400 \text{ kg/m}^3 = 23,536 \text{ kN/m}^3$
- Alat sambung : BJ 34
- Dimensi batang kuda-kuda : *double profile* L 50.50
3,77 kg = 7,54 kg = 0,0739 kN
- Penutup atap (genteng) : $50 \text{ kg/m}^2 = 0,4903 \text{ kN/m}^2$
- Gording : profile C 150.75.6,5.10 = 18,6 kg/m
= 0,1824 kN/m
- Jumlah gording : 5
- Plafond : 18 kg/m = 0,1765 kN/m



Gambar. 4.2 Rencana Atap Kuda-kuda

Tabel 4.1 Ukuran L_a Batang Kuda-kuda

Batang	Panjang (meter)
1	1.125
2	1.125
3	1.125
4	1.125
5	1.357
6	1.357
7	1.357

8	1.357
9	0.759
10	1.357
11	1.518
12	1.357
13	0.759
L =	15.678

b. Beban Mati dan beban Hidup

- Berat Kuda-kuda $= (L + 2)(L)(La)(q \text{ profil})$
 $= (15,678 + 2)(15,678)(1.125)(7,54)$
 $= 2350,97 \text{ kg} = 23,0463 \text{ kN}$
- Berat samb + brac $= 30\% \text{ berat kuda - kuda}$
 $= 705,29 \text{ kg} = 6,9168 \text{ kN}$
- Berat Atap $= (q \text{ atap}) \cdot La \cdot \left(\frac{L}{\cos \alpha}\right)$
 $= 50 \cdot 1.125 \cdot (15,678 / \cos 34^\circ)$
 $= 1063,75 \text{ kg} = 10,4322 \text{ kN}$
- Berat gording $= q \text{ gording} \cdot La \cdot \text{jumlah gording}$
 $= 18,6 \cdot 1,125 \cdot 2 = 41,85 \text{ kg} = 0,4104 \text{ kN}$
- Berat Plafond $= q \text{ plafond} \cdot La \cdot L$
 $= 18 \cdot 1.125 \cdot 15,678 = 317,48 \text{ kg} = 3,1135 \text{ kN}$
- Q mati $= \text{Berat atap} + \text{Berat gording} + \text{Berat plafond}$
 $= 1063,75 + 41,85 + 317,48$
 $= 1423,078 \text{ kg} = 13,9561 \text{ kN}$
- P mati $= Q \text{ mati} / (n-1)$
 $= 1423,078 / (5-1) = 355,77 \text{ kg} = 3,489 \text{ kN}$
- P hidup $= 100 \text{ kg} = 0,9807 \text{ kN}$

c. Beban Akibat Muatan Angin

Beban angin dipusatkan di titik buhul atas kuda-kuda.

1. Koefisien Angin Tekan = $0,02 \cdot \alpha - 0,04 = 0,28$
 Tekan angin = $50 \text{ kg/m}^2 = 0,4904 \text{ kN/m}^2$
 Beban angin tekan = koef . L . 1,357 . tekan angin
 = $297,85 \text{ kg} = 2,921 \text{ kN}$
 Gaya yang diuraikan :
 * $\sin \alpha \cdot 297,85 = 166,556 \text{ kg} = 1,6334 \text{ kN}$
 * $\cos \alpha \cdot 297,85 = 246,929 \text{ kg} = 2,4216 \text{ kN}$
2. Koefisien Angin Hisap = $0,4$
 Tekan angin = $50 \text{ kg/m}^2 = 0,4904 \text{ kN/m}^2$
 Beban angin hisap = koef . L . 1,357 . tekan angin
 = $425,5009 \text{ kg} = 4,1729 \text{ kN}$
 Gaya yang diuraikan :
 * $\sin \alpha \cdot 425,5009 = 37,085 \text{ kg} = 0,3637 \text{ kN}$
 * $\cos \alpha \cdot 425,5009 = 423,882 \text{ kg} = 4,157 \text{ kN}$

2. Beban Plat Atap

Beban mati pada atap :

Pelat Atap (12 cm)	= $0,12 \cdot 24$	= 2.88 kN/m^2
Spesi + Water profing		= 0.5 kN/m^2
Plafond dan Penggantung		= 0.18 kN/m^2
ME dan AC		= 0.3 kN/m^2
	Q mati	= 3.86 kN/m^2

Beban Hidup pada plat atap : $q \text{ hidup} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

4.4.2 Perencanaan Dimensi dan Pembebanan Tangga

Ruang tangga sebaiknya terpisah dengan ruang yang lainnya, agar orang yang naik turun tangga tidak mengganggu aktifitas penghuni.

1. Type Tangga 1

Selisih tinggi lantai	= $3,2 \text{ m}$
Panjang ruang tangga	= $4,5 \text{ m}$
Lebar tangga	= $2,55 \text{ m}$
Tinggi anak tangga (<i>Optrade</i>)	= $16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$
Lebar anak tangga (<i>Antrade</i>)	= $30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$

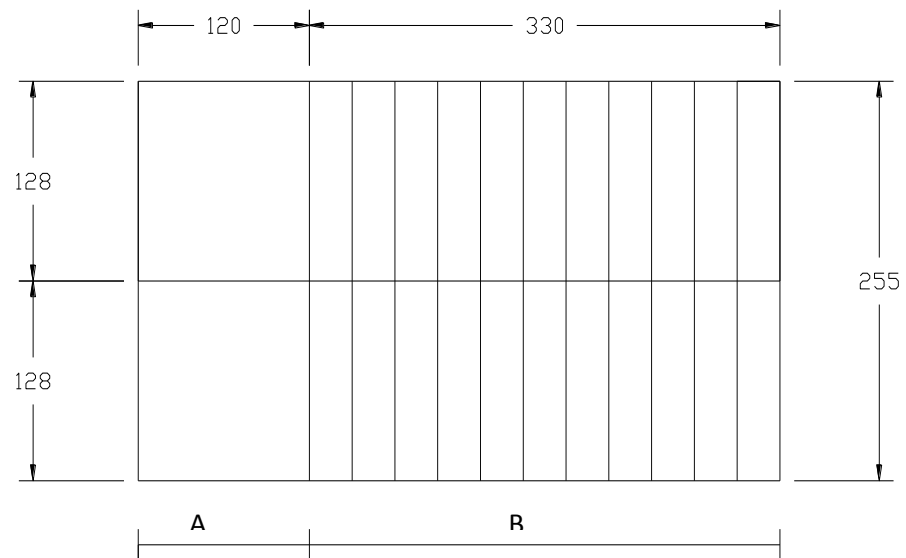
Syarat kenyamanan tangga : $60 < (2 \cdot op + a) < 65$

$$60 < 62 < 65 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\text{Jumlah anak tangga} = \left(\frac{320}{16}\right) = 22 \text{ anak tangga}$$

$$\text{Lebar bordes (bb)} = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan tangga : } \tan \alpha = \frac{op}{a} = \frac{16}{30} = 28,07^\circ$$



Gambar 4.3 Ruang Tangga 1

$$L = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{120^2 + 330^2} = 351,14 \text{ cm} = 3,5114 \text{ m}$$

Tebal plat minimum menurut SKSNI T-15-1991-03

$$h_{\min} = \frac{1}{27} \cdot L \cdot (0,4 + f_y / 400) = \frac{1}{27} \cdot 351,14 \cdot (0,4 + 240 / 400)$$

$$= 9,66 \text{ cm} = 0,0966 \text{ m}$$

$$h_{\max} = h_{\min} + (o / t) \cos \alpha = h_{\min} + (16 / 9) \cos \alpha$$

$$= 7,92 \text{ cm} = 0,0792 \text{ m}$$

Dipakai tebal plat tangga (tt) = 10 cm = 0,1 m

Tebal bordes = 12 cm = 0,12 m

$$C = \sqrt{a^2 + op^2} = \sqrt{30^2 + 16^2} = 34 \text{ cm} = 0,34 \text{ m}$$

Tinggi beban merata tangga

$$tt' = (0,5 \cdot op \cdot a) / C = (0,5 \cdot 16 \cdot 30) / 34 = 7,0588 \text{ cm} = 0,070588 \text{ m}$$

$$h' = (tt') / \cos \alpha = (10.7,0588) / \cos 28,07^\circ = 19,698\text{cm} = 0,197\text{m}$$

Direncanakan : tebal keramik maks (h_k) = 1 cm = 0,01 m

tebal spesi (h_s) = 2 cm = 0,02 m

Berdasarkan PPIUG'83 diperoleh:

Berat sendiri beton : $2400 \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ kN/m}^3$

Berat sendiri keramik : $0,24 \text{ kN/m}^2$

Berat sendiri spesi : $0,21 \text{ kN/m}^2$

Beban hidup tangga : 3 kN/m^3

1) Plat Tangga

a) Beban mati (qDL)

Berat sendiri plat = $h' \cdot \text{berat sendiri beton} = 4,727 \text{ kN/m}$

Berat spesi (2cm) = $h_s \cdot \text{berat sendiri spesi} = 0,42 \text{ kN/m}$

Berat keramik (1 cm) = $h_k \cdot \text{berat sendiri keramik} = 0,24 \text{ kN/m}$

qDL = $5,387 \text{ kN/m}$

b) Beban hidup (qLL) = 3 kN/m

c) Beban berfaktor (qU) = $1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} = 11,265 \text{ kN/m}$

2) Plat Bordes

a) Beban mati (qDL)

Berat sendiri plat = $t_b \cdot \text{berat sendiri beton} = 2,88 \text{ kN/m}$

Berat spesi (2cm) = $h_s \cdot \text{berat sendiri spesi} = 0,42 \text{ kN/m}$

Berat keramik (1 cm) = $h_k \cdot \text{berat sendiri keramik} = 0,24 \text{ kN/m}$

qDL = $3,54 \text{ kN/m}$

b) Beban hidup (qLL) = 3 kN/m

c) Beban berfaktor (qU) = $1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} = 9,048 \text{ kN/m}$

2. Type Tangga 2

Selisih tinggi lantai = $3,2 \text{ m}$

Panjang ruang tangga = $4,55 \text{ m}$

Lebar tangga = $3,225 \text{ m}$

Tinggi anak tangga (*Optrade*) = $16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$

Lebar anak tangga (*Antrade*) = $30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$

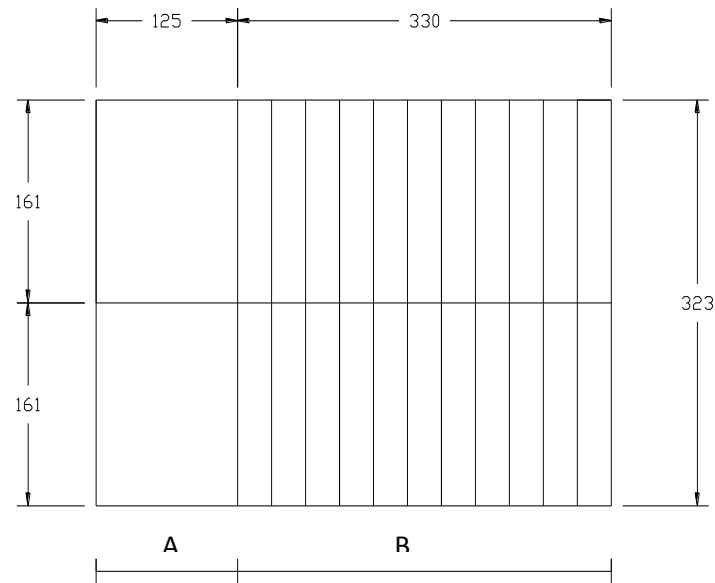
Syarat kenyamanan tangga : $60 < (2 \cdot op + a) < 65$

$60 < 62 < 65$ (memenuhi syarat)

$$\text{Jumlah anak tangga} = \left(\frac{320}{16}\right) = 22 \text{ anak tangga}$$

$$\text{Lebar bordes (bb)} = 125 \text{ cm} = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan tangga} : \tan \alpha = \frac{op}{a} = \frac{16}{30} = 28,07^\circ$$



Gambar 4.4 Ruang Tangga 2

$$L = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{120^2 + 330^2} = 351,14 \text{ cm} = 3,5114 \text{ m}$$

Tebal plat minimum menurut SKSNI T-15-1991-03

$$h_{\min} = \frac{1}{27} \cdot L \cdot (0,4 + f_y / 400) = \frac{1}{27} \cdot 351,14 \cdot (0,4 + 240 / 400)$$

$$= 9,66 \text{ cm} = 0,966 \text{ m}$$

$$h_{\max} = h_{\min} + (o/t) \cos \alpha = h_{\min} + (16/9) \cos \alpha$$

$$= 7,92 \text{ cm} = 0,792 \text{ m}$$

Dipakai tebal plat tangga (tt) = 10 cm = 0,1 m

Tebal bordes = 12 cm = 0,12 m

$$C = \sqrt{a^2 + op^2} = \sqrt{30^2 + 16^2} = 34 \text{ cm} = 0,34 \text{ m}$$

Tinggi beban merata tangga

$$tt' = (0,5 \cdot op \cdot a) / C = (0,5 \cdot 16 \cdot 30) / 34 = 7,0588 \text{ cm} = 0,70588 \text{ m}$$

$$h' = (tt') / \cos \alpha = (10.7,0588) / \cos 28,07^\circ = 19,698 \text{ cm} = 0,19 \text{ m}$$

Direncanakan : tebal keramik maks (h_k) = 1 cm = 0,01 m

tebal spesi (h_s) = 2 cm = 0,02 m

Berdasarkan PPIUG'83 diperoleh:

Berat sendiri beton : $2400 \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ kN/m}^3$

Berat sendiri keramik : $0,24 \text{ kN/m}^2$

Berat sendiri spesi : $0,21 \text{ kN/m}^2$

Beban hidup tangga : 3 kN/m^3

1) Plat Tangga

a) Beban mati (qDL)

Berat sendiri plat = $h' \cdot \text{berat sendiri beton} = 4,64 \text{ kN/m}$

Berat spesi (2cm) = $h_s \cdot \text{berat sendiri spesi} = 0,42 \text{ kN/m}$

Berat keramik (1 cm) = $h_k \cdot \text{berat sendiri keramik} = 0,24 \text{ kN/m}$

qDL = $5,3 \text{ kN/m}$

b) Beban hidup (qLL) = 3 kN/m

c) Beban berfaktor (qU) = $1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} = 11,16 \text{ kN/m}$

2) Plat Bordes

a) Beban mati (qDL)

Berat sendiri plat = $t_b \cdot \text{berat sendiri beton} = 2,88 \text{ kN/m}$

Berat spesi (2cm) = $h_s \cdot \text{berat sendiri spesi} = 0,42 \text{ kN/m}$

Berat keramik (1 cm) = $h_k \cdot \text{berat sendiri keramik} = 0,24 \text{ kN/m}$

qDL = $3,54 \text{ kN/m}$

b) Beban hidup (qLL) = 3 kN/m

c) Beban berfaktor (qU) = $1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} = 9,048 \text{ kN/m}$

4.4.3 Beban Mati Beton

Beban mati adalah seluruh bagian dari komponen struktur bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisahkan dari bangunan tersebut selama masa layannya.

Beban mati yang diperhitungkan untuk struktur bangunan ini antara lain:

Plat lantai (12 cm) = $0,12 \cdot 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$

Pasir urug (2 cm) = $0,02 \cdot 18 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

Spesi (2 cm) = $2 \cdot 0,21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$

Tegel (2 cm)	= 2 . 0,24	= 0,48 kN/m ²
Plafond dan Penggantung		= 0,18 kN/m ²
ME dan AC		= 0,3 kN/m ²
	Q mati	= 4,62 kN/m ²
Dinding ½ bata		=250kg/m ² = 2,5 kN/m

4.4.4 Beban Hidup pada Plat Lantai

Beban hidup yang direncanakan dan diperhitungkan adalah sebesar 200 kg/m² untuk beban plat lantai. Beban ini disesuaikan dengan kegunaannya sebagai gedung tempat tinggal.

4.4.5 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa itu. Beban geser nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar yang dihitung menurut persamaan berikut :

$$V = \frac{c.I}{R} . Wt \quad (4.1)$$

Beban geser nominal V harus dibagikan setinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang bekerja pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan ;

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} \cdot V \quad (4.2)$$

Dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke- i , Z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf jepitan lateral.

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad (4.3)$$

Dimana d_i adalah simpangan horizontal lantai ke- i akibat beban F_i yang dinyatakan dalam mm dan g adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar $9,810 \text{ m/detik}^2$.

Taksiran waktu getar alami (T) secara empiris berdasarkan berdasarkan UBC Section 1630.2.2.

Tinggi gedung (h_n) = 16,47 meter

C_t = 0,0731

T empiris = $C_t (h_n)^{3/4} = 0,0731(16,47)^{3/4} = 0,597637$

Untuk mencegah penggunaan struktur bangunan gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur bangunan harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk wilayah gempa dan jenis struktur bangunan gedung, menurut persamaan:

$$T_1 < \zeta n$$

Dimana n adalah jumlah tingkat dan koefisien ζ ditetapkan menurut table berikut ini :

Tabel 4.2 Nilai Koefisien ζ

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Gedung mempunyai tinggi 16,47 meter dan memiliki jumlah tingkat 5 sehingga :

T empiris $< 0,17 \times 5 \rightarrow$ T empiris $< 0,85$ detik jadi T empiris $\sim 0,702768$ detik

Jadi digunakan waktu getar alami sebesar 0,702768 detik untuk SRPMM dan SRPMK sebagai taksiran awal perencanaan.

Dalam satu bangunan kita harus kita harus meninjau pembebanan gempa dalam dua arah baik dalam arah x maupun arah y bangunan. Beban gempa

seharusnya diperhitungkan terhadap 4 kombinasi pembebanan pada arah gempa utama 100% serta arah tegak lurusnya 30% (hanya digunakan pada perhitungan Struktur 3 Dimensi).

Untuk perhitungan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan tersebut, maka dibuat pra perencanaan, dimana ditentukan terlebih dahulu berat total struktur yang dimana memerlukan dimensi awal dari profil beton bertulang yang akan digunakan. Berikut adalah dimensi profil awal kolom dan balok pada konstruksi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

Kolom untuk SRPMM dan SRPMK:

- 50 x 50 (lantai 4 – 5);
- 60 x 60 (lantai 2 – 3);
- 70 x 70 (lantai 1).

Balok untuk SRPMM dan SRPMK:

- Balok untuk Lantai 1, 2, 3, dan 4 digunakan 25 x 30 dan 30 x 50;
- Balok untuk Lantai 5 digunakan 15 x 25 dan 25 x 30.

Perhitungan berat Total Struktur untuk SRPMM dan SRPMK:

Tabel 4.3 Berat Struktur untuk SRPMM dan SRPMK

Lantai	Total Mati (kN)	Total Hidup (kN)	Total Beban (kN)
1	6841,4456	1255,2234	8096,6594
2	6458,6617	1228,8426	7687,5043
3	6458,6617	1228,8426	7687,5043
4	6380,3538	1221,7923	7602,1461
5	1153,5435	160,7923	1314,3351

Untuk menghitung koefisien dasar gempa V data-data yang harus diketahui sebagai berikut :

c SRPMM = 0,7 (Tanah Sedang dan WG 4)

c SRPMK = 0,7 (Tanah Sedang dan WG 4)

I = 1,0 (Faktor Keutamaan untuk Penghunian)

W_t SRPMM = 2877805 kg = 28222.6336 kN

$$W_t \text{ SRPMK} = 2877805 \text{ kg} = 28222.6336 \text{ kN}$$

$$R \text{ SRPMM} = 5,5; \quad R \text{ SRPMK} = 8,5$$

Perhitungan Gaya Gempa Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus:

Tabel 4.4 Gaya Gempa untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus

Lantai	Tinggi Lantai	W SRPMK (kN)	$W_i \times h_i$ (kNm)	R SRPMK	V SRPMK (kN)	F SRPMK (kN)
1	3,67	7093,337	26032,55	8,5	3047,088	314,6507
2	6,87	6827,071	46901,98	8,5	3047,088	566,8958
3	10,07	6827,071	68748,61	8,5	3047,088	830,952
4	13,27	6827,071	90595,23	8,5	3047,088	1095,008
5	16,47	1203,503	19821,69	8,5	3047,088	239,6812

Perhitungan Gaya Gempa Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah:

Tabel 4.5 Gaya Gempa untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah

Lantai	Tinggi Lantai	W SRPMK (kN)	$W_i \times h_i$ (kNm)	R SRPMK	V SRPMK (kN)	F SRPMK (kN)
1	3,67	7093,337	26032,55	5,5	3662,661	378,2165
2	6,87	6827,071	46901,98	5,5	3662,661	681,4202
3	10,07	6827,071	68748,61	5,5	3662,661	998,8211
4	13,27	6827,071	90595,23	5,5	3662,661	1316,222
5	16,47	1203,503	19821,69	5,5	3662,661	287,9815

Kombinasi Pembebanan yang digunakan untuk Analisa Struktur dengan SAP 2000:

- 1,4 DL;
- 1,2 DL + 1,6LL;
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY;
- 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY;
- 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY;
- 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY;
- 0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY;
- 0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY;
- 0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY;
- 0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY;

Rekapitulasi hasil Analisa Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dengan menggunakan Program SAP 2000 akan ditampilkan pada lampiran.

4.4.6 Beban Angin

Beban Angin = 25 kg/m^2

W1	k1 =	1.835 m	P =	3.6625 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	3.6625 m		
	b2 =	0 m	Luas =	157.2585938 kg
W2	k1 =	1.835 m	P =	5.9125 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	3.6625 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	253.8679688 kg
W3	k1 =	1.835 m	P =	4.5 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	2.25 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	193.21875 kg
W4	k1 =	1.6 m	P =	2.25 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	2.25 m		
	b2 =	0 m	Luas =	90 kg
W5	k1 =	1.6 m	P =	5.9125 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	3.6625 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	236.5 kg
W6	k1 =	1.6 m	P =	4.5 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	2.25 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	180 kg
W7	k1 =	1.835 m	P =	2.075 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	2.075 m		
	b2 =	0 m	Luas =	89.0953125 kg
W8	k1 =	1.835 m	P =	4.325 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	2.075 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	185.7046875 kg
W9	k1 =	1.835 m	P =	2.25 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	0 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	96.609375 kg
W10	k1 =	1.6 m	P =	2.075 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	2.075 m		

	b2 =	0 m	Luas =	83 kg
W11	k1 =	1.6 m	P =	4.325 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	2.075 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	173 kg
W12	k1 =	1.6 m	P =	2.25 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	0 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	90 kg
W13	k1 =	1.6 m	P =	3.6625 m
	k2 =	0 m	L =	1.6 m
	b1 =	3.6625 m		
	b2 =	0 m	Luas =	73.25 kg
W14	k1 =	1.6 m	P =	5.9125 m
	k2 =	0 m	L =	1.6 m
	b1 =	3.6625 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	118.25 kg
W15	k1 =	1.6 m	P =	4.5 m
	k2 =	0 m	L =	1.6 m
	b1 =	2.25 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	90 kg
W16	k1 =	1.6 m	P =	2.075 m
	k2 =	0 m	L =	1.6 m
	b1 =	2.075 m		
	b2 =	0 m	Luas =	41.5 kg
W17	k1 =	1.6 m	P =	4.325 m
	k2 =	0 m	L =	1.6 m
	b1 =	2.075 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	86.5 kg
W18	k1 =	1.6 m	P =	2.25 m
	k2 =	0 m	L =	1.6 m
	b1 =	0 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	45 kg
W19	k1 =	1.835 m	P =	2.25 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.435 m
	b1 =	0 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	96.609375 kg
W20	k1 =	1.6 m	P =	2.25 m
	k2 =	1.6 m	L =	3.2 m
	b1 =	0 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	90 kg
W21	k1 =	0 m	P =	2.25 m
	k2 =	1.6 m	L =	1.6 m
	b1 =	0 m		
	b2 =	2.25 m	Luas =	45 kg

4.5 Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus

4.5.1 Analisis Terhadap T Rayleigh

Besarnya T yang dihitung sebelumnya memakai cara-cara empiris harus dibandingkan dengan T Rayleigh dengan rumus:

$$T_R = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}}$$

Besarnya T yang dihitung sebelumnya sesuai dengan pasal 6.2.2. tidak boleh menyimpang lebih dari 20% hasil T Rayleigh

$$80\% T_R < T < 120\% T_R$$

Untuk menghitung T Rayleigh maka, harus dilakukan analisis Struktur 3 dimensi untuk mengetahui defleksi lantai ke-i. Analisis dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 dan sudah dilakukan sebelumnya. Analisis diperhitungkan dengan mempertimbangkan retak sepanjang komponen struktur. Akibat dari retak ini maka kekakuan (*Inersia*) dari tiap-tiap komponen tereduksi sebagai berikut :

1. Untuk komponen balok (dalam hal ini balok T)

$$I_{nya} = 2 \times I_{balok} = 2 \times 35\% \cdot I_g = 0,7 I_g$$

2. Untuk komponen kolom

$$I_{nya} = 0,7 I_g$$

Berikut adalah table analisis T Rayleigh

Tabel 4.6 Analisis T Rayleigh SRPMK arah X

Lantai ke	h_x (m)	w_i (kN)	F (kN)	d_i (mm)	$w_i \cdot d_i^2$	F . d_i
1	3,67	7093,34	244,73	2,479	43581,14	606,6081
2	6,87	6827,07	440,92	6,516	289838,8	2872,895
3	10,07	6827,07	646,3	10,337	729482,8	6680,697
4	13,27	6827,07	851,67	13,112	1173795	11167,39
5	16,47	1203,503	186,34	14,734	261272,9	2745,566
S					2497970	24073,16

$$\text{Maka } T_{\text{Reyligh}} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{2497970}{9810 \cdot 24073,16}} = 0.6479 \text{ detik}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$80\%T_R < T < 120\%T_R = 0,51835 < 0,597637 < 0,777525 \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Tabel 4.7 Analisis T Rayleigh SRPMK arah Y

Lantai ke	h _x (m)	w _i (kN)	F (kN)	d _i (mm)	w _i · d _i ²	F · d _i
1	3,67	7093,34	244,73	1,9259	26309,83	471,3223
2	6,87	6827,07	440,92	5,3630	196358,6	2364,648
3	10,07	6827,07	646,3	8,8527	535039,6	5721,465
4	13,27	6827,07	851,67	11,5798	915454	9862,204
5	16,47	1203,503	186,34	13,6802	225233	2549,182
S					1898395	20968,82

$$\text{Maka } T_{\text{Reyligh}} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{1898395}{9810 \cdot 20968,82}} = 0.6052 \text{ detik}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$80\%T_R < T < 120\%T_R = 0,484175 < 0,597637 < 0,726262 \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Kinerja batas layan (ζ_s) dan kinerja batas ultimit (ζ_m)

$$\text{Syarat kinerja batas layan } (\zeta_s) = \frac{0,03}{R} \cdot h_i = \frac{0,03}{8,5} \cdot 3670 = 12,95 \text{ mm}$$

$$= \frac{0,03}{R} \cdot h_i = \frac{0,03}{8,5} \cdot 3200 = 11,29 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat kinerja batas ultimit } (\zeta_m) = 0,02 \cdot h_i = 0,02 \cdot 3670 = 73,4 \text{ mm}$$

$$= 0,02 \cdot h_i = 0,02 \cdot 3200 = 64 \text{ mm}$$

Tabel 4.8 Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMK arah X

Lantai ke	h _i (m)	ζ _s (mm)	Drift ζ _s antar Tingkat (mm)	Syarat drift antar tingkat (mm)	Keterangan
-----------	--------------------	---------------------	---	---------------------------------	------------

1	3670	2,479	2,479	12,95	Oke
2	6870	6,516	4,037	11,29	Oke
3	10070	10,34	3,821	11,29	Oke
4	13270	13,11	2,775	11,29	Oke
5	16470	14,73	1,622	11,29	Oke

Tabel 4.9 Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMK arah Y

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_s antar Tingkat (mm)	Syarat drift antar tingkat (mm)	Keterangan
1	3670	1,926	1,926	12,95	Oke
2	6870	5,363	3,437	11,29	Oke
3	10070	8,853	3,49	11,29	Oke
4	13270	11,58	2,727	11,29	Oke
5	16470	13,68	2,1	11,29	Oke

Tabel 4.10 Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMK arah X

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_m antar Tingkat (mm)	Syarat drift ζ_m (mm)	Keterangan
1	3670	2,479	14,75	73,4	Oke
2	6870	4,037	24,02	64	Oke
3	10070	3,821	22,74	64	Oke
4	13270	2,775	16,51	64	Oke
5	16470	1,622	9,65	64	Oke

Tabel 4.11 Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMK arah Y

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_m antar Tingkat (mm)	Syarat drift ζ_m (mm)	Keterangan
1	3670	1,926	11,46	73,4	Oke
2	6870	3,437	20,45	64	Oke
3	10070	3,49	20,76	64	Oke
4	13270	2,727	16,23	64	Oke
5	16470	2,1	12,5	64	Oke

Drift ζ_m antar tingkat dihitung sesuai pasal 8.2 SNI 1726 2002 dimana $\zeta_m = 0,7R$.

ζ_s (antar tingkat)

4.5.2 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B1

Berikut adalah tabel resume momen desain untuk balok

Tabel 4.12 Resume Momen untuk Balok (B1) 300x500 pada SRPMK

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Tumpuan Kiri (-)	-107.91
	Tumpuan Kiri (+)	50.47
	Lapangan	79.58
	Tumpuan Kanan (-)	-139.18
	Tumpuan Kanan (+)	81.49
Live	Tumpuan Kiri (-)	-21.33
	Tumpuan Kiri (+)	9.63
	Lapangan	21.61
	Tumpuan Kanan (-)	-34.99
	Tumpuan Kanan (+)	23.74
1.4 DL	Tumpuan Kiri (-)	-151.08
	Tumpuan Kiri (+)	70.65
	Lapangan	111.42
	Tumpuan Kanan (-)	-194.86
	Tumpuan Kanan (+)	114.69
1.2 DL + 1.6LL	Tumpuan Kiri (-)	-163.62
	Tumpuan Kiri (+)	75.96
	Lapangan	130.07
	Tumpuan Kanan (-)	-223
	Tumpuan Kanan (+)	135.77
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-95.52
	Tumpuan Kiri (+)	84.70
	Lapangan	107.77

	Tumpuan Kanan (-)	-260.53
	Tumpuan Kanan (+)	110.65
1,2 DL + 1,0 LL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-206.12
	Tumpuan Kiri (+)	55.67
	Lapangan	126.93
	Tumpuan Kanan (-)	-143.49
	Tumpuan Kanan (+)	132.4
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-139.51
	Tumpuan Kiri (+)	78.63
	Lapangan	114.05
	Tumpuan Kanan (-)	-220.37
	Tumpuan Kanan (+)	118.19
1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-162.14
	Tumpuan Kiri (+)	61.74
	Lapangan	120.16
	Tumpuan Kanan (-)	-183.66
	Tumpuan Kanan (+)	124.87
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-41.82
	Tumpuan Kiri (+)	59.94
	Lapangan	67.05
	Tumpuan Kanan (-)	-183.79
	Tumpuan Kanan (+)	62.47
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-152.42
	Tumpuan Kiri (+)	30.90
	Lapangan	81.45
	Tumpuan Kanan (-)	-66.74
	Tumpuan Kanan (+)	84.22
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-85.80
	Tumpuan Kiri (+)	53.87
	Lapangan	68.70
	Tumpuan Kanan (-)	-143.62

	Tumpuan Kanan (+)	70.01
0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-108.44
	Tumpuan Kiri (+)	36.97
	Lapangan	74.68
	Tumpuan Kanan (-)	-106.91
	Tumpuan Kanan (+)	76.68

Momen tumpuan kiri maksimum (-) = **-206.12 kNm**

Momen tumpuan kiri maksimum (+) = **84.70 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum (-) = **-260.53 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum (+) = **135.77 kNm**

Momen lapangan maksimum = **130.07 kNm**

Sebelum dilakukan penulangan baiknya dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang merupakan bagian SPBL tersebut di pasal 23.2 SNI 03-2847-2002 untuk WG 4, sebagai berikut:

➤ Beban aksial balok sudah pasti sangat kecil ($P_u < 0.1A_g f'_c$)

➤ Bentang bersih minimum harus lebih besar dari $4d$

$$\text{Bentang bersih} = 7,325 \text{ m} - 0,7 \text{ m} > 4 \times 447,5 \text{ mm}$$

$$6,625 \text{ m} > 1,790 \text{ m}$$

➤ Ratio $\frac{b_w}{h} = \frac{30}{50} = 0,6 > 0,3$

➤ $b_w = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$

➤ $b_w = 300 < \text{lebar kolom} + 1,5d = 300 < 700 + 1,5 (447,5)$

$$= 300 \text{ mm} < 1371,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Tinjauan pada balok 300x500 mm, no elemen B1:

$h = 500 \text{ mm}; \quad b = 300 \text{ mm}$

$f'_c = 25 \text{ MPa}$ (karena $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$)

$f_y = 400 \text{ MPa}; \quad S = 30 \text{ mm}$

$D_p = 25 \text{ mm}$ (diameter tulangan pokok)

$D_s = 10 \text{ mm}$ (diameter tulangan sengkang)

$h_f = 120 \text{ mm}; \quad l = 7325 \text{ mm}$

WDL = 4.65 kN; WLL = 2.5 kN; Gaya Aksial = 72.35 kN

Regangan bahan :

$$\epsilon_c = 0,003; \epsilon_y = \left(\frac{f_y}{E_s} \right) \rightarrow E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa} = \left(\frac{400}{200000} \right) = 0,002$$

Rasio tulangan rencana:

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \left(\frac{0,85 \cdot 25}{400} \right) \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,053125 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 0,0271$$

$$\text{Rasio tulangan maksimum : } \rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$\text{Rasio tulangan minimum : } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Menentukan lebar efektif flens :

$$b_f = \frac{1}{4} \cdot l = \frac{1}{4} \cdot 7325 = 1831,25 \text{ mm}$$

$$b_f = b_w + 16 \cdot h_f = 300 + 16 \cdot 120 = 2220 \text{ mm}$$

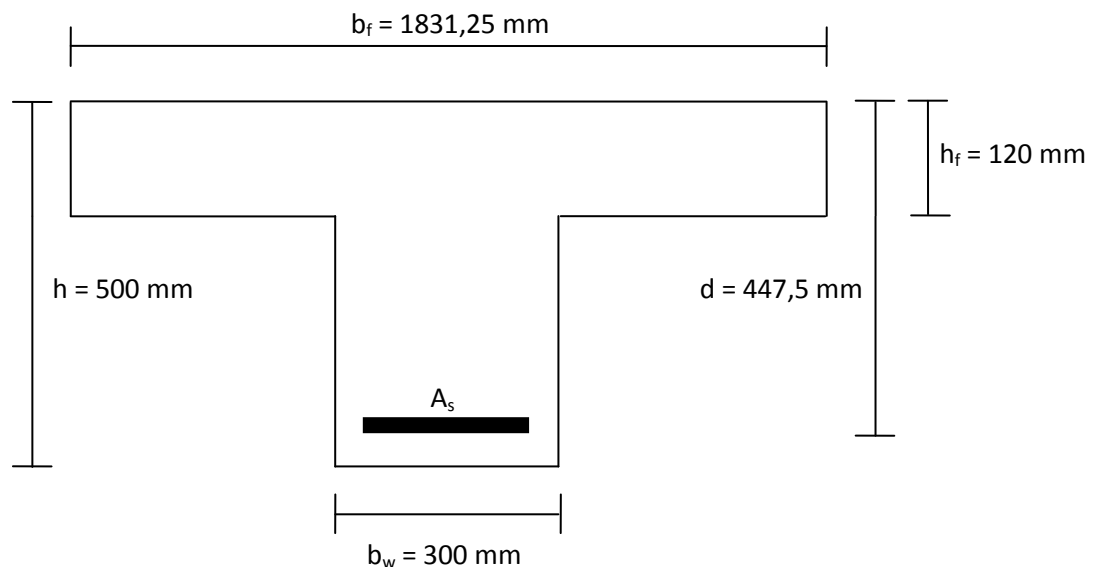
$$b_f = \text{jarak antar balok} = 300 + (7325 - 300) = 7325 \text{ mm}$$

diambil yang terkecil $b_f = 1831,25 \text{ mm}$

Menentukan tinggi efektif balok

$$d = h - \text{sel} - D_s - D_p/2 = 500 - 30 - 10 - 25/2 = 447,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{sel} + D_s + D_p/2 = 30 + 10 + 25/2 = 52,5 \text{ mm}$$



Gambar 4.5 Penampang Melintang Balok T

Menghitung M_f :

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot (2220 - 300) \cdot 120}{400} = 12240 \text{ mm}^2$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 12240 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{120}{2} \right) = 1897,2 \text{ kNm}$$

Karena $M_{\text{perlu}} = 340,738 \text{ kNm} < M_f = 1897,2 \text{ kNm}$

Maka perencanaan menggunakan **Balok Persegi**.

1. Cek apakah balok memenuhi definisi komponen struktur lentur.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.1 mensyaratkan bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut:

- a. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur lentur dibatasi maksimum $0,1A_g f'_c$.

$$0,1A_g f'_c = 0,1 \cdot 300 \cdot 500 \cdot 25 = 375000 \text{ Mpa} = 375 \text{ kN} > 72,35 \text{ kN} - \text{Ok.}$$

- b. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.

$$d_e = d = 500 - (30 + 10 + (25/2)) = 447,5 \text{ mm}$$

$$l_n = d_e = 7.325 \text{ mm} / 447,5 \text{ mm} = 16,369 - \text{Ok.}$$

- c. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.

$$b/h = 300/500 = 0,6 - \text{Ok.}$$

- d. Lebar komponen tidak boleh:

1) Kurang dari 250 mm – Ok.

2) Melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi $\frac{3}{4}$ tinggi komponen struktur lentur.

$$b = 300 \text{ mm} < h = 500 \text{ mm} - \text{Ok.}$$

2. Momen desain.

Tabel 4.13 Momen *Envelope* pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	M_u (kN-m)
1	Ujung Interior Negatif	Kanan	-260.53
2	Ujung eksterior	Kiri	-206.12

	Negatif		
3	Ujung Eksterior Positif	Kanan	135.77
4	Ujung Interior Positif	Kiri	84.7
5	Tengah Bentang Positif	kanan dan kiri	130.07

3. Hitung keperluan baja tulangan untuk menahan lentur.

- a. **Kondisi 1**, kolom interior, momen negatif tumpuan, goyangan ke kanan.

$$M_u = -260,53 \text{ kN-m.}$$

- 1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19 + 20) = 421 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{260,54 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 421} = 2275,133 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 5; $A_{s\text{-pakai}} = 2454,369 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 421 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 153,999 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 2275,133 \cdot 400 \cdot \left(421 - \frac{153,999}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 265,4647 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 421 = 389,063 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 421 = 435,75 \text{ mm}^2$$

- 3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2454,369}{300 \cdot 421} = 0,01971$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{153,999}{447,5} = 0,3441 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

b. **Kondisi 2**, kolom eksterior, momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri.

$M_u = -206,12$ kN-m.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19 + 20) = 421$ mm

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{206,12 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 421} = 1799,98 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 4; $A_{s\text{-pakai}} = 1963,495 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 415$ mm

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{1963,495 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 123,1997 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1963,495 \cdot 400 \cdot \left(415 - \frac{123,1997}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 222,0479 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 415 = 389,063 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 421 = 435,75 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1963,495}{300.421} = 0,01577$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{123,1997}{447,5} = 0,2753 > \frac{a_{rc1}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

c. **Kondisi 3**, kolom eksterior, momen positif tumpuan, goyangan ke kanan.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2(2) mensyaratkan bahwa *kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari ½ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut*.

$$M_u = 135,77 \text{ kN-m} \geq 1/2 \phi M_{n_eksterior} = 111,0239 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **135,77 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{135,77 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 1108,0009 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 3; $A_{s_pakai} = 1472,622 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 447,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 5,7749 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1472,622 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{5,7749}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 157,642 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s-\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 419,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 435,75 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1472,622}{300 \cdot 447,5} = 0,010969$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{5,7749}{447,5} = 0,012905 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

d. **Kondisi 4**, kolom interior, momen positif tumpuan, goyangan ke kiri.

$$M_u = 84,7 \text{ kN-m} < 1/2 \phi M_{n_interior} = 132,7324 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **132,7324 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{132,7324 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 1083,21114 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 3; $A_{s_pakai} = 1472,622 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 447,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,3997 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1472,622 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{92,3997}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = \mathbf{189,1082 \text{ kN-m -Ok}}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s-\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 419,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = \mathbf{435,75 \text{ mm}^2}$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1472,622}{300 \cdot 447,5} = 0,010969$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{5,7749}{447,5} = 0,012905 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

e. **Kondisi 5**, tengah bentang, momen positif, goyangan ke kanan dan kiri.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2(2) juga mensyaratkan *baik kuat lentur negative mau pun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/4 kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut*.

$$\mathbf{M_u = 130,07 \text{ kN-m} > 1/4 \phi M_{n_terbesar} = 66,266 \text{ kN-m}}$$

Maka gunakan **130,07 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

$$\text{Sebagai trial awal, gunakan D19: } d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{130,07 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 1061,484 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 3; $A_{s\text{-pakai}} = 1472,622 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 447,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,3997 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1472,622 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{92,3997}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = \mathbf{189,1082 \text{ kN-m -Ok}}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 419,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = \mathbf{469,88 \text{ mm}^2}$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1472,622}{300 \cdot 447,5} = 0,010969$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah

0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{5,7749}{447,5} = 0,20648 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

4. Kapasitas minimum momen positif dan momen negative. SNI 03-2847-2002

Pasal 23.3.2(1) dan (2) mengharuskan *sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang secara menerus*, dan

kapasitas momen positif dan momen negatif minimum pada sebarang penampang di sepanjang bentang balok SRPMK tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kali kapasitas momen maksimum yang disediakan pada kedua muka kolom balok tersebut.

Kuat momen negatif-positif terbesar pada bentang = **260,53 kN-m**.

$\frac{1}{4}$ kuat momen negatif-positif terbesar = **65,1325 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{65,1325 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 567,538 \text{ mm}^2$$

Digunakan D19 jumlah = 2; $A_{s\text{-pakai}} = 567,0575 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 450,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{567,0575 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 35,58 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 567,0575 \cdot 400 \cdot \left(450,5 - \frac{35,58}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$\phi M_n = 78,519 \text{ kN-m -Ok}$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 422,3438 \text{ mm}^2$$

Tapi tidak boleh kurang dari: $\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 473,025 \text{ mm}^2$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{567,0575}{300 \cdot 447,5} = 0,00315$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

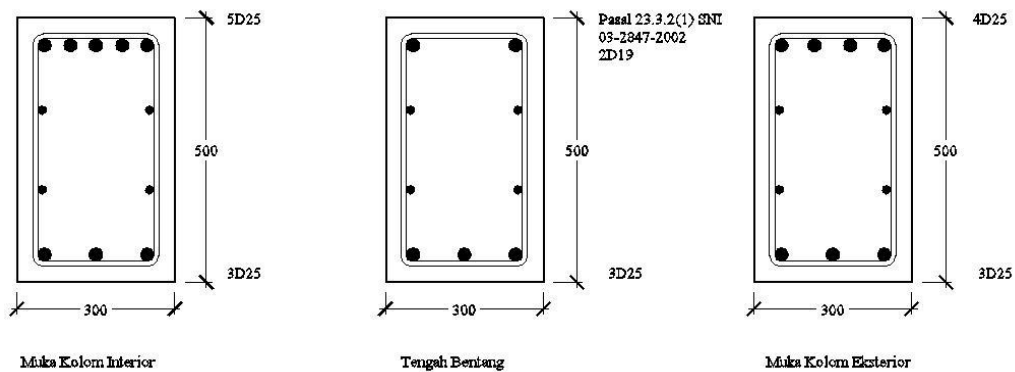
$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{35,58}{447,5} = 0,07898 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375\beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.



Gambar 4.6 Sketsa Penulangan Penampang-penampang Kritis Balok (B1)

5. Hitung *Probable Moment Capacities* (M_{pr}). SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4(2)

mengisyaratkan bahwa:

Geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai $1,25f_y$ dan faktor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

1) Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan.

Kondisi 1:

$$a_{pr-1} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{192,4996 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-1} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right) = 1,25 \cdot 2454,369 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{192,4995}{2} \right) 10^{-6} \\ = \mathbf{391,16538 \text{ kN-m}}$$

Kondisi 3:

$$a_{pr-3} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{77,42999 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-3} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-3}}{2} \right) = 1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{77,42999}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{300,9928 \text{ kN-m}}$$

2) Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kiri.

Kondisi 2:

$$a_{pr-2} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 1963,495 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{153,99964 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-2} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-2}}{2} \right) = 1,25 \cdot 1963,495 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{153,99964}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{331,8309 \text{ kN-m}}$$

Kondisi 4:

$$a_{pr-4} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{115,4997 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-4} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-4}}{2} \right) = 1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{115,4997}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{286,9772 \text{ kN-m}}$$

6. Diagram gaya geser. Reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur.

$$w_u = 1,2DL + 1,0LL = 1,2 \cdot 4,65 + 1,0 \cdot 2,5 = \mathbf{58,3 \text{ kN/m}}$$

$$V_g = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{58,3 \cdot 7,326}{2} = \mathbf{213,52375 \text{ kN}}$$

1) Struktur bergoyang ke kanan.

$$V_{sway-ka} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-3}}{l_n} = \frac{391,165 + 300,993}{7,325} = \mathbf{94,493 \text{ kN}}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kiri balok} = 213,524 - 94,493$$

$$= \mathbf{119,032 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kanan balok} = 213,524 + 94,493$$

$$= \mathbf{308,016 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke bawah)}$$

2) Struktur bergoyang ke kiri.

$$V_{sway-ki} = \frac{M_{pr-2} + M_{pr-4}}{l_n} = \frac{331,83 + 286,98}{7,325} = \mathbf{84,479 \text{ kN}}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kiri balok} = 213,524 + 84,479$$

$$= 298,003 \text{ kN (arah gaya ke atas)}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kanan balok} = 213,524 - 84,479$$

$$= 129,045 \text{ kN (arah gaya ke atas)}$$

7. Senggang untuk gaya geser. SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4(2): Kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu V_c , harus diambil = 0 pada perencanaan geser di daerah sendi plastis apabila:

- 1) Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ (atau lebih) kuat geser perlu maksimum, V_u , di sepanjang bentang, dan
- 2) Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa, kurang dari $A_g f'_c / 20$.

Tabel 4.14 Gaya geser di Muka Kolom Eksterior dan Interior

Arah Gerakan	Gempa	V_{sway} (kN)	Eksterior Sup. Reaction		Interior Sup. Reaction	
			V_u (kN)	$1/2 V_u$ (kN)	V_u (kN)	$1/2 V_u$ (kN)
Kanan		94,49258	119,0311652	59,51558261	308,0163348	154,0081674
Kiri		84,47893	298,0026751	149,0013375	129,0448249	64,52241247

$$M_l = 206,12 \text{ kN-m}; \quad M_{nl} = 257,65 \text{ kN-m}$$

$$M_r = 260,53 \text{ kN-m}; \quad M_{nr} = 325,6625 \text{ kN-m}$$

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{257,65 + 325,663}{7,325} + \frac{58,3 \cdot 7,325}{2} = 293,157 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur, gaya aksial tekan terfaktor akibat gaya gempa dan gravitasi adalah $72,35 \text{ kN} < A_g f'_c = 187,5 \text{ kN}$.

- Kondisi $V_{sway} < \frac{1}{2} V_u$ hanya terjadi di muka kolom eksterior akibat goyangan ke arah kiri (sementara akibat goyangan ke kanan V_{sway} tetap melebihi $1/2 V_u$);
- Gaya aksial tekan terfaktor akibat gempa dan gravitasi $< A_g f'_c / 20$, maka perencanaan tulangan geser dilakukan dengan memperhitungkan kontribusi beton $V_c = 0$ di sepanjang zona sendi plastis di masing-masing muka kolom.

- 1) **Muka kolom eksterior:** Gaya geser maksimum, $V_u = 298,003 \text{ kN}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{298,003}{0,75} - 0 = \mathbf{397,337 \text{ kN}}$$

SNI 03-2847-2002 Pasal 13.5.6(9).

$$\text{Maksimum } V_s = V_{s_max} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{2\sqrt{25}}{3} 300.447,5 = \mathbf{447,5 \text{ kN}}$$

Coba diameter tulangan sengkang D13 dengan 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{265,5.400.447,5}{397,337.1000} = 119,6076 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{115 \text{ mm}})$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,5.400.447,5}{115} = \mathbf{413,2565 \text{ kN (Ok)}}$$

2) **Muka kolom interior:** Gaya geser maksimum, $V_u = \mathbf{308,0163 \text{ kN}}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{308,0163}{0,75} - 0 = \mathbf{410,6884 \text{ kN}}$$

$$\text{Maksimum } V_s = V_{s_max} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{2\sqrt{25}}{3} 300.447,5 = \mathbf{447,5 \text{ kN}}$$

Coba diameter tulangan sengkang D13 dengan 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{265,5.400.447,5}{419,6884.1000} = 115,7191 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{110 \text{ mm}})$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,5.400.447,5}{110} = \mathbf{432,0409 \text{ kN (Ok)}}$$

Penulangan geser pada daerah diluar sendi plastis:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{6} 300.447,5 = \mathbf{118,875 \text{ kN}}$$

$$\text{Maka, } V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{293,157}{0,75} - 118,875 = \mathbf{279,001 \text{ kN}}$$

Coba tulangan sengkang D10 (2 kaki)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,1.400.447,5}{279,001.1000} = 100,7915 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{100 \text{ mm}})$$

SNI Pasal 23.3.3(1): Diperlukan *hoops* (sengkang tertutup) di sepanjang jarak $2h$ dari sisi (muka) kolom terdekat.

$$2h = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ mm}$$

SNI Pasal 23.3.3(2): *Hoop* pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat, dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil di antara:

1. $d_e/4 = 447,5/4 = 111,875 \text{ mm}$
2. $8 \times D_p = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$
3. $24 \times D13 = 312 \text{ mm}$
4. 300 mm

Dengan demikian digunakan sengkang tertutup 2 kaki D13 yang dipasang dengan spasi **100 mm**.

SNI Pasal 23.3.3(4): Spasi maksimum tulangan geser di sepanjang balok SRPMK adalah $d_e/2$.

$$s_{\max} = \frac{d_e}{2} = \frac{447,5}{2} = \mathbf{223,75 \text{ mm}}$$

Ok, untuk bentang di luar zona sendi plastis, gunakan sengkang 2 kaki D10 dengan spasi **150 mm**.

8. *Cutt-off points*

- 1) Tulangan negatif di muka kolom interior.

Jumlah tulangan atas yang terpasang adalah 5 buah yaitu 5D25. 2 buah tulangan akan di *cut-off*, sehingga $A_{s\text{-sisa}} = 1472,62 \text{ mm}^2$. Kuat lentur negatif rencana dengan konfigurasi tulangan seperti ini adalah

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1472,62 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,3998 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1472,62 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{92,3998}{2} \right) \\ &= \mathbf{189,1082 \text{ kN-m}} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan lokasi penampang dengan momen negatif rencana 189,1082 kN-m pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$58,3x(1/2x) - 308,0163x + 202,057 = 29,15x^2 - 308,0163x + 202,057 = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{308,0163 \pm \sqrt{308,0163^2 - 4 \cdot 29,15 \cdot 202,057}}{2 \cdot 29,15}$$

$$= \mathbf{702,73 \text{ mm}}$$

SNI 03-2847-2002 Pasal 14.10.3 dan Pasal 14.10.4 mengharuskan:

- Tulangan diteruskan melampaui titik di mana tulangan tersebut sudah tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur, sejauh tinggi efektif komponen struktur, d , dan tidak kurang dari $12d_b$, kecuali pada daerah tumpuan balok sederhana dan pada daerah ujung bebas kantilever,
- Tulangan menerus harus mempunyai suatu panjang penanaman sejauh tidak kurang dari panjang penyaluran l_d diukur dari lokasi pemotongan tulangan lentur.

Panjang penyaluran tulangan D25 adalah sepanjang:

$$l_{d-25} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}} = \frac{3.400.1.3.1.1}{5\sqrt{25}} = 1560 \text{ mm}$$

Ambil saja $l_{d-25} = 1600 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$

Jadi, tulangan 3D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar antara 1150,2 mm atau 1002,7 mm.

2) Tulangan negatif di muka kolom eksterior.

Jumlah tulangan atas yang terpasang adalah 4 buah yaitu 5D25. 2 buah tulangan akan di *cut-off*, sehingga $A_{s-sisa} = 981,748 \text{ mm}^2$. Kuat lentur negatif rencana dengan konfigurasi tulangan seperti ini adalah

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{981,748.400}{0,85.25.300} = 61,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8.981,748.400 \left(447,5 - \frac{61,6}{2} \right) \\ &= \mathbf{130,9102 \text{ kN-m}} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan lokasi penampang dengan momen negatif rencana 130,9102 kN-m pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$58,3x(1/2x) - 298,003x + 156,067 = 29,15x^2 - 298,003x + 156,067 = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{298,003 \pm \sqrt{298,003^2 - 4.29,15.156,067}}{2.29,15}$$

$$= \mathbf{553,7 \text{ mm}}$$

Panjang penyaluran tulangan D25 adalah sepanjang:

$$l_{d-25} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}} = \frac{3.400.1.3.1.1}{5\sqrt{25}} = 1560 \text{ mm}$$

Ambil saja $l_{d-25} = 1600 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$

Jadi, tulangan 2D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar antara 1001,2 mm atau 853,7 mm.

4.5.3 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B2

Tabel 4.15 Resume Momen untuk Balok B2 300x500 pada SRPMK

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Tumpuan Kiri (-)	-58.96
	Tumpuan Kiri (+)	54.50
	Lapangan	51.85
	Tumpuan Kanan (-)	-94.34
	Tumpuan Kanan (+)	51.85
Live	Tumpuan Kiri (-)	-19.67
	Tumpuan Kiri (+)	18.13
	Lapangan	17.21
	Tumpuan Kanan (-)	-24.93
	Tumpuan Kanan (+)	17.21
1.4 DL	Tumpuan Kiri (-)	-82.54
	Tumpuan Kiri (+)	76.30
	Lapangan	72.59
	Tumpuan Kanan (-)	-132.07
	Tumpuan Kanan (+)	72.59
1.2 DL + 1.6LL	Tumpuan Kiri (-)	-102.23
	Tumpuan Kiri (+)	94.40
	Lapangan	89.75
	Tumpuan Kanan (-)	-153.09
	Tumpuan Kanan (+)	89.75
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-53.02
	Tumpuan Kiri (+)	82.42
	Lapangan	78.78
	Tumpuan Kanan (-)	-173.56

	Tumpuan Kanan (+)	78.78
1,2 DL + 1,0 LL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-127.83
	Tumpuan Kiri (+)	84.64
	Lapangan	80.08
	Tumpuan Kanan (-)	-102.71
	Tumpuan Kanan (+)	80.08
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	22.39
	Tumpuan Kiri (+)	80.10
	Lapangan	86.02
	Tumpuan Kanan (-)	-244.83
	Tumpuan Kanan (+)	77.35
1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-203.24
	Tumpuan Kiri (+)	86.96
	Lapangan	81.50
	Tumpuan Kanan (-)	-31.44
	Tumpuan Kanan (+)	81.50
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-15.66
	Tumpuan Kiri (+)	47.94
	Lapangan	46.02
	Tumpuan Kanan (-)	-120.32
	Tumpuan Kanan (+)	46.02
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-90.46
	Tumpuan Kiri (+)	50.16
	Lapangan	47.31
	Tumpuan Kanan (-)	-49.48
	Tumpuan Kanan (+)	47.31
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	59.75
	Tumpuan Kiri (+)	45.62
	Lapangan	70.52
	Tumpuan Kanan (-)	-191.59
	Tumpuan Kanan (+)	44.59

0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-165.87
	Tumpuan Kiri (+)	52.48
	Lapangan	54.69
	Tumpuan Kanan (-)	21.79
	Tumpuan Kanan (+)	48.74

Momen tumpuan kiri maksimum (-) = **-203.24 kNm**

Momen tumpuan kiri maksimum (+) = **94.40 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum (-) = **-244.83 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum (+) = **89.75 kNm**

Momen lapangan maksimum = **89.75 kNm**

Sebelum dilakukan penulangan baiknya dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang merupakan bagian SPBL tersebut di pasal 23.2 SNI 03-2847-2002 untuk WG 4, sebagai berikut:

- Beban aksial balok sudah pasti sangat kecil ($P_u < 0.1A_g f'_c$)
- Bentang bersih minimum harus lebih besar dari $4d$
Bentang bersih = $5.6 \text{ m} - 0.7 \text{ m} > 4 \times 447.5 \text{ mm}$
 $4.9 \text{ m} > 1.790 \text{ m}$
- Ratio $\frac{b_w}{h} = \frac{30}{50} = 0.6 > 0.3$
- $b_w = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
- $b_w = 300 < \text{lebar kolom} + 1.5d$
 $= 300 < 700 + 1.5 (447.5) = 300 \text{ mm} < 1371.25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Oke}$

Tinjauan pada balok 300x500 mm, no elemen B2 :

h = 500 mm; b = 300 mm
 $f'_c = 25 \text{ MPa}$ (karena $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0.85$)
 $f_y = 400 \text{ MPa}$; S = 30 mm
 $D_p = 25 \text{ mm}$ (diameter tulangan pokok)
 $D_s = 10 \text{ mm}$ (diameter tulangan sengkang)

1. Cek apakah balok memenuhi definisi komponen struktur lentur.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.1 mensyaratkan bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut:

- a. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur lentur dibatasi maksimum $0,1A_g f_c'$.

$$0,1A_g f_c' = 0,1 \cdot 300 \cdot 500 \cdot 25 = 375000 \text{ Mpa} = 375 \text{ kN} > 72,35 \text{ kN} - \text{Ok.}$$

- b. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.

$$d_e = d = 500 - (30 + 10 + (25/2)) = 447,5 \text{ mm}$$

$$l_n = d_e = 7.325 \text{ mm} / 447,5 \text{ mm} = 16,369 - \text{Ok.}$$

- c. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.

$$b/h = 300/500 = 0,6 - \text{Ok.}$$

- d. Lebar komponen tidak boleh:

1) Kurang dari 250 mm – Ok.

2) Melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi $\frac{1}{4}$ tinggi komponen struktur lentur.

$$b = 300 \text{ mm} < h = 500 \text{ mm} - \text{Ok.}$$

2. Momen desain.

Tabel 4.16 Momen *Envelope* pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	Mu (kN-m)
1	Ujung Interior Negatif	Kanan	-244,83
2	Ujung eksterior Negatif	Kiri	-203,24
3	Ujung Eksterior Positif	Kanan	89,75
4	Ujung Interior Positif	Kiri	94,4
5	Tengah Bentang Positif	kanan dan kiri	89,75

3. Hitung keperluan baja tulangan untuk menahan lentur.

- a. **Kondisi 1**, kolom interior, momen negatif tumpuan, goyangan ke kanan.

$$M_u = -244,83 \text{ kN-m.}$$

- 1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19 + 20) = 421$ mm

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{244,83 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 421} = 2138,029 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 5; $A_{s\text{-pakai}} = 2454,369 \text{ mm}^2$; $d_{\text{baru}} = 415$ mm

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 153,999 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 2275,133 \cdot 400 \cdot \left(421 - \frac{153,999}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 265,4647 \text{ kN-m -Ok}$$

2) Cek A_s minimum: $A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 421 = 389,063 \text{ mm}^2$

Tapi tidak boleh kurang dari: $\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 421 = 435,75 \text{ mm}^2$

- 3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2454,369}{300 \cdot 421} = 0,01971$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah

0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

- 4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{153,999}{447,5} = 0,3441 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

b. **Kondisi 2**, kolom eksterior, momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri.

$$\mathbf{M_u = -203,24 \text{ kN-m.}}$$

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19 + 20) = 421 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{203,24 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 421} = 1774,836 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 4; $A_{s\text{-pakai}} = 1963,495 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 415 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1963,495 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 123,1997 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1963,495 \cdot 400 \cdot \left(415 - \frac{123,1997}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = \mathbf{222,0479 \text{ kN-m -Ok}}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 415 = 389,063 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 421 = \mathbf{435,75 \text{ mm}^2}$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1963,495}{300 \cdot 421} = 0,01577$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah

0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{123,1997}{447,5} = 0,2753 > \frac{a_{\text{rel}}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

- c. **Kondisi 3**, kolom eksterior, momen positif tumpuan, goyangan ke kanan.
SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2(2) mensyaratkan bahwa *kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari ½ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut*.

$$M_u = 89,75 \text{ kN-m} \geq 1/2 \phi M_{n_eksterior} = 111,0239 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **111,0239 kN-m**.

- 1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{111,0239 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 906,052 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 2; $A_{s_pakai} = 981,748 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 447,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{981,748 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 3,849991 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 981,748 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{3,849991}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 129,189 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 419,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 435,75 \text{ mm}^2$$

- 3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{981,748}{300 \cdot 447,5} = 0,007313$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{3,849991}{447,5} = 0,0086 < \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

d. **Kondisi 4**, kolom interior, momen positif tumpuan, goyangan ke kiri.

$$M_u = 94,4 \text{ kN-m} < 1/2 \phi M_{n_interior} = 132,7324 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **132,7324 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{132,7324 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 1083,21114 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 3; $A_{s_pakai} = 1472,622 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 447,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,3997 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1472,622 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{92,3997}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 189,1082 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 419,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 435,75 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1472,622}{300 \cdot 447,5} = 0,010969$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{5,7749}{447,5} = 0,012905 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

e. **Kondisi 5**, tengah bentang, momen positif, goyangan ke kanan dan kiri.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2(2) juga mensyaratkan *baik kuat lentur negatif mau pun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/4 kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut*.

$$M_u = 89,75 \text{ kN-m} > 1/4 \phi M_{n_terbesar} = 66,266 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **89,75 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{89,75 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 732,438 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 2; $A_{s_pakai} = 981,748 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 447,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{981,748 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 61,59985 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 981,748 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{61,59985}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 130,91019 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s-\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4.400} .300.447,5 = 419,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} .300.447,5 = \mathbf{469,88 \text{ mm}^2}$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{981,748}{300.447,5} = 0,007313$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{61,59985}{447,5} = 0,138 < \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

4. Kapasitas minimum momen positif dan momen negatif. SNI 03-2847-2002

Pasal 23.3.2(1) dan (2) mengharuskan *sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan atas dan dua tulangan bawah yang dipasang secara menerus*, dan kapasitas momen positif dan momen negatif minimum pada sebarang penampang di sepanjang bentang balok SRPMK tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kali kapasitas momen maksimum yang disediakan pada kedua muka kolom balok tersebut.

Kuat momen negatif-positif terbesar pada bentang = **244,83 kN-m**.

$\frac{1}{4}$ kuat momen negatif-positif terbesar = **61,208 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19: $d = 500 - (30 + 10 + 19/2) = 450,5 \text{ mm}$

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{61,208 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 450,5} = 499,506 \text{ mm}^2$$

Digunakan D19 jumlah = 2; $A_{s\text{-pakai}} = 567,0575 \text{ mm}^2$; $d_{\text{baru}} = 450,5 \text{ mm}$
tinggi blok tegangan tekan ekivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{567,0575 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 35,58 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 567,0575 \cdot 400 \cdot \left(450,5 - \frac{35,58}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = \mathbf{78,519 \text{ kN-m -Ok}}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 422,3438 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 300 \cdot 447,5 = 473,025 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{567,0575}{300 \cdot 447,5} = 0,00315$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

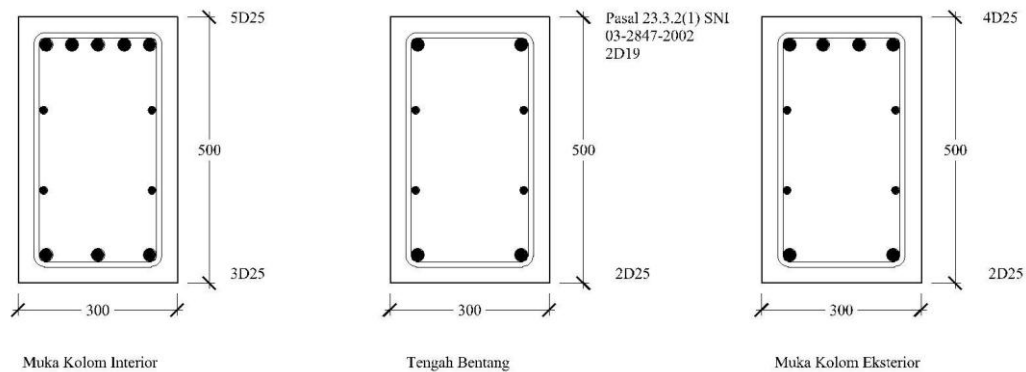
$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah
0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{35,58}{447,5} = 0,07898 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.



Gambar 4.7 Sketsa Penulangan Penampang-penampang Kritis Balok (B2)

5. Hitung *Probable Momen Capacities* (M_{pr}). SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4(2)

mengisyaratkan bahwa:

Geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai $1,25f_y$ dan factor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

- 1) Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan.

Kondisi 1:

$$a_{pr-1} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{192,4996 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-1} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right) = 1,25 \cdot 2454,369 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{192,4995}{2} \right) 10^{-6} \\ = \mathbf{391,16538 \text{ kN-m}}$$

Kondisi 3:

$$a_{pr-3} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 981,748 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{51,62 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-3} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-3}}{2} \right) = 1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{51,62}{2} \right) 10^{-6} \\ = \mathbf{206,997 \text{ kN-m}}$$

- 2) Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kiri.

Kondisi 2:

$$a_{pr-2} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 1963,495 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{153,99964 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-2} = 1,25 A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-2}}{2} \right) = 1,25 \cdot 1963,495 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{153,99964}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{331,8309 \text{ kN-m}}$$

Kondisi 4:

$$a_{pr-4} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = \mathbf{115,4997 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-4} = 1,25 A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-4}}{2} \right) = 1,25 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{115,4997}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{286,9772 \text{ kN-m}}$$

6. Diagram gaya geser. Reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur.

$$w_u = 1,2DL + 1,0LL = 1,2 \cdot 4,65 + 1,0 \cdot 2,5 = \mathbf{58,3 \text{ kN/m}}$$

$$V_g = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{58,3 \cdot 5,6}{2} = \mathbf{163,24 \text{ kN}}$$

1) Struktur bergoyang ke kanan.

$$V_{sway_ka} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-3}}{l_n} = \frac{391,165 + 206,997}{5,6} = \mathbf{106,815 \text{ kN}}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kiri balok} = 163,24 - 106,815$$

$$= \mathbf{56,425 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kanan balok} = 163,24 + 106,815$$

$$= \mathbf{270,055 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)}$$

2) Struktur bergoyang ke kiri.

$$V_{sway_ki} = \frac{M_{pr-2} + M_{pr-4}}{l_n} = \frac{331,83 + 286,98}{5,6} = \mathbf{110,501 \text{ kN}}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kiri balok} = 163,24 + 110,501$$

$$= \mathbf{273,741 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)}$$

$$\text{Total reaksi geser di ujung kanan balok} = 163,24 - 110,501$$

$$= \mathbf{52,739 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)}$$

7. Sengkang untuk gaya geser. SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4(2): Kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu V_c , harus diambil = 0 pada perencanaan geser di daerah sendi plastis apabila:

- 1) Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ (atau lebih) kuat geser perlu maksimum, V_u , di sepanjang bentang, dan
- 2) Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa, kurang dari $A_g f'_c / 20$.

Tabel 4.17 Gaya geser di Muka Kolom Eksterior dan Interior

Arah Gerakan Gempa	V_{sway} (kN)	Eksterior Sup. Reaction		Interior Sup. Reaction	
		V_u (kN)	$1/2 V_u$ (kN)	V_u (kN)	$1/2 V_u$ (kN)
Kanan	106.8146	56.42536178	28.21268089	270.0546382	135.0273191
Kiri	110.5015	273.7414511	136.8707255	52.73854892	26.36927446

$$M_l = 203.24 \text{ kN-m} \quad M_{nl} = 254.05 \text{ kN-m}$$

$$M_r = 244.83 \text{ kN-m} \quad M_{nr} = 306.0375 \text{ kN-m}$$

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{254,05 + 306,038}{5,6} + \frac{58,3 \cdot 5,6}{2} = 263,1556 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur, gaya aksial tekan terfaktor akibat gaya gempa dan gravitasi adalah **13,42 kN** < $A_g f'_c = 187,5 \text{ kN}$.

- Kondisi $V_{\text{sway}} < \frac{1}{2} V_u$ hanya terjadi di muka kolom eksterior akibat goyangan ke arah kiri (sementara akibat goyangan ke kanan V_{sway} tetap melebihi $1/2 V_u$);
- Gaya aksial tekan terfaktor akibat gempa dan gravitasi < $A_g f'_c / 20$, maka perencanaan tulangan geser dilakukan dengan memperhitungkan kontribusi beton $V_c = 0$ di sepanjang zona sendi plastis di masing-masing muka kolom.

- 1) **Muka kolom eksterior:** Gaya geser maksimum, $V_u = 273,74145 \text{ kN}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{273,74145}{0,75} - 0 = 364,9886 \text{ kN}$$

SNI 03-2847-2002 Pasal 13.5.6(9).

$$\text{Maksimum } V_s = V_{s_max} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{2\sqrt{25}}{3} 300.447,5 = 447,5 \text{ kN}$$

Coba diameter tulangan sengkang D13 dengan 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{265,5 \cdot 400 \cdot 447,5}{364,9886 \cdot 1000} = 130,208 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{125 \text{ mm})}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,5 \cdot 400 \cdot 447,5}{125} = \mathbf{380,196 \text{ kN (Ok)}}$$

2) **Muka kolom interior:** Gaya geser maksimum, $V_u = \mathbf{270,055 \text{ kN}}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{270,055}{0,75} - 0 = \mathbf{360,0729 \text{ kN}}$$

$$\text{Maksimum } V_s = V_{s_max} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{2\sqrt{25}}{3} 300 \cdot 447,5 = \mathbf{447,5 \text{ kN}}$$

Coba diameter tulangan sengkang D13 dengan 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{265,5 \cdot 400 \cdot 447,5}{360,0729 \cdot 1000} = 131,9858 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{130 \text{ mm})}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,5 \cdot 400 \cdot 447,5}{130} = \mathbf{365,5731 \text{ kN (Ok)}}$$

Penulangan geser pada daerah diluar sendi plastis:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{6} 300 \cdot 447,5 = \mathbf{111,875 \text{ kN}}$$

$$\text{Maka, } V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{293,157}{0,75} - 111,875 = \mathbf{239,1325 \text{ kN}}$$

Coba tulangan sengkang D10 (2 kaki)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,1 \cdot 400 \cdot 447,5}{239,1325 \cdot 1000} = 117,5955 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{115 \text{ mm})}$$

SNI Pasal 23.3.3(1): Diperlukan *hoops* (sengkang tertutup) di sepanjang jarak $2h$ dari sisi (muka) kolom terdekat.

$$2h = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ mm}$$

SNI Pasal 23.3.3(2): *Hoop* pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat, dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil di antara:

1. $d_e/4 = 447,5/4 = 111,875 \text{ mm}$
2. $8 \times D_p = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$
3. $24 \times D13 = 312 \text{ mm}$

4. 300 mm

Dengan demikian digunakan sengkang tertutup 2 kaki D13 yang dipasang dengan spasi **100 mm**.

SNI Pasal 23.3.3(4): Spasi maksimum tulangan geser di sepanjang balok SRPMK adalah $d_e/2$.

$$s_{\max} = \frac{d_e}{2} = \frac{447,5}{2} = \mathbf{223,75 \text{ mm}}$$

Ok, untuk bentang di luar zona sendi plastis, gunakan sengkang 2 kaki D10 dengan spasi **150 mm**.

8. *Cutt-off points*

1) Tulangan negatif di muka kolom interior.

Jumlah tulangan atas yang terpasang adalah 5 buah yaitu 5D25. 2 buah tulangan akan di *cut-off*, sehingga $A_{s\text{-sisa}} = 1472,62 \text{ mm}^2$. Kuat lentur negatif rencana dengan konfigurasi tulangan seperti ini adalah

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1472,62 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 92,3998 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 1472,62 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{92,3998}{2} \right) \\ &= \mathbf{189,1082 \text{ kN-m}} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan lokasi penampang dengan momen negatif rencana 189,1082 kN-m pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$58,3x(1/2x) - 308,0163x + 202,057 = 29,15x^2 - 308,0163x + 202,057 = 0$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{308,0163 \pm \sqrt{308,0163^2 - 4 \cdot 29,15 \cdot 202,057}}{2 \cdot 29,15} \\ &= \mathbf{702,73 \text{ mm}} \end{aligned}$$

SNI 03-2847-2002 Pasal 14.10.3 dan Pasal 14.10.4 mengharuskan :

- Tulangan diteruskan melampaui titik di mana tulangan tersebut sudah tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur, sejauh tinggi efektif komponen struktur, d , dan tidak kurang dari $12d_b$, kecuali pada daerah tumpuan balok sederhana dan pada daerah ujung bebas kantilever,

- Tulangan menerus harus mempunyai suatu panjang penanaman sejauh tidak kurang dari panjang penyaluran l_d diukur dari lokasi pemotongan tulangan lentur.

Panjang penyaluran tulangan D25 adalah sepanjang:

$$l_{d-25} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}} = \frac{3.400.1.3.1.1}{5\sqrt{25}} = 1560 \text{ mm}$$

Ambil saja $l_{d-25} = 1600 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$

Jadi, tulangan 3D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar antara 1150,2 mm atau 1002,7 mm.

- 2) Tulangan negatif di muka kolom eksterior.

Jumlah tulangan atas yang terpasang adalah 4 buah yaitu 5D25. 2 buah tulangan akan di *cut-off*, sehingga $A_{s-sisa} = 981,748 \text{ mm}^2$. Kuat lentur negatif rencana dengan konfigurasi tulangan seperti ini adalah

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{981,748.400}{0,85.25.300} = 61,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8.981,748.400 \left(447,5 - \frac{61,6}{2} \right) \\ &= \mathbf{130,9102 \text{ kN-m}} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan lokasi penampang dengan momen negatif rencana 130,9102 kN-m pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$58,3x(1/2x) - 298,003x + 156,067 = 29,15x^2 - 298,003x + 156,067 = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{298,003 \pm \sqrt{298,003^2 - 4.29,15.156,067}}{2.29,15}$$

$$= \mathbf{553,7 \text{ mm}}$$

Panjang penyaluran tulangan D25 adalah sepanjang:

$$l_{d-25} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}} = \frac{3.400.1.3.1.1}{5\sqrt{25}} = 1560 \text{ mm}$$

Ambil saja $l_{d-25} = 1600 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$

Jadi, tulangan 2D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar antara 1001,2 mm atau 853,7 mm.

4.5.4 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B3

Tabel 4.18 Resume Momen untuk Balok B3 250x300 pada SRPMK

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Tumpuan Kiri (-)	-15.86
	Tumpuan Kiri (+)	6.26
	Lapangan	13.88
	Tumpuan Kanan (-)	-22.55
	Tumpuan Kanan (+)	2.91
Live	Tumpuan Kiri (-)	-7.33
	Tumpuan Kiri (+)	2.94
	Lapangan	6.60
	Tumpuan Kanan (-)	-10.34
	Tumpuan Kanan (+)	1.43
1.4 DL	Tumpuan Kiri (-)	-22.20
	Tumpuan Kiri (+)	8.76
	Lapangan	19.43
	Tumpuan Kanan (-)	-31.57
	Tumpuan Kanan (+)	4.08
1.2 DL + 1.6LL	Tumpuan Kiri (-)	-30.76
	Tumpuan Kiri (+)	12.21
	Lapangan	27.21
	Tumpuan Kanan (-)	-43.60
	Tumpuan Kanan (+)	5.79
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-21.81
	Tumpuan Kiri (+)	12.64
	Lapangan	23.10
	Tumpuan Kanan (-)	-42.25
	Tumpuan Kanan (+)	2.42
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-30.91
	Tumpuan Kiri (+)	8.25

	Lapangan	23.41
	Tumpuan Kanan (-)	-32.54
	Tumpuan Kanan (+)	7.43
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-24.81
	Tumpuan Kiri (+)	11.30
	Lapangan	23.41
	Tumpuan Kanan (-)	-38.63
	Tumpuan Kanan (+)	4.39
1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-27.91
	Tumpuan Kiri (+)	9.59
	Lapangan	23.10
	Tumpuan Kanan (-)	-36.15
	Tumpuan Kanan (+)	5.47
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-9.73
	Tumpuan Kiri (+)	7.83
	Lapangan	12.34
	Tumpuan Kanan (-)	-25.15
	Tumpuan Kanan (+)	1.164E-01
0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-18.82
	Tumpuan Kiri (+)	3.43
	Lapangan	12.65
	Tumpuan Kanan (-)	-15.44
	Tumpuan Kanan (+)	5.13
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-12.72
	Tumpuan Kiri (+)	6.48
	Lapangan	12.65
	Tumpuan Kanan (-)	-21.53
	Tumpuan Kanan (+)	2.08
0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-15.82
	Tumpuan Kiri (+)	4.78
	Lapangan	12.34

	Tumpuan Kanan (-)	-19.05
	Tumpuan Kanan (+)	3.16

Momen tumpuan kiri maksimum (-) = **-30.91 kNm**

Momen tumpuan kiri maksimum (+) = **12.64 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum (-) = **-43.60 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum (+) = **7.43 kNm**

Momen lapangan maksimum = **27.21 kNm**

Sebelum dilakukan penulangan baiknya dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang merupakan bagian SPBL tersebut di pasal 23.2 SNI 03-2847-2002 untuk WG 4, sebagai berikut :

➤ Beban aksial balok sudah pasti sangat kecil ($P_u < 0.1A_g f'_c$)

➤ Bentang bersih minimum harus lebih besar dari $4d$

$$\text{Bentang bersih} = 4,5 \text{ m} - 0,7 \text{ m} > 4 \times 252 \text{ mm}$$

$$3.8 \text{ m} > 1,008 \text{ m}$$

➤ Ratio $\frac{b_w}{h} = \frac{25}{30} = 0,833 > 0,3$

➤ $b_w = 250 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$

➤ $b_w = 250 < \text{lebar kolom} + 1,5d$

$$= 250 < 300 + 1,5 (252) = 250 \text{ mm} < 378 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Tinjauan pada balok 250x300 mm, no elemen B2 :

$$h = 300 \text{ mm}; \quad b = 250 \text{ mm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa (karena } f'_c \leq 30 \text{ MPa maka } \beta_1 = 0,85)$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}; \quad S = 30 \text{ mm}$$

$$D_p = 16 \text{ mm (diameter tulangan pokok)}$$

$$D_s = 10 \text{ mm (diameter tulangan sengkang)}$$

1. Cek apakah balok memenuhi definisi komponen struktur lentur.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.1 mensyaratkan bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut:

a. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur lentur dibatasi maksimum $0,1A_g f'_c$.

$$0,1A_g f'_c = 0,1 \cdot 300 \cdot 500 \cdot 25 = 375000 \text{ Mpa} = 375 \text{ kN} > 72,35 \text{ kN} - \text{Ok.}$$

- b. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.

$$d_e = d = 500 - (30 + 10 + (25/2)) = 447,5 \text{ mm}$$

$$l_n = d_e = 7.325 \text{ mm} / 447,5 \text{ mm} = 16,369 - \text{Ok.}$$

- c. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.

$$b/h = 300/500 = 0,6 - \text{Ok.}$$

- d. Lebar komponen tidak boleh:

3) Kurang dari 250 mm – Ok.

4) Melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi $\frac{1}{4}$ tinggi komponen struktur lentur.

$$b = 300 \text{ mm} < h = 500 \text{ mm} - \text{Ok.}$$

2. Momen desain.

Tabel 4.19 Momen *Envelope* pada balok akibat beban gravitasi dan beban gempa

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	Mu (kN-m)
1	Ujung Interior Negatif	Kanan	-43,6
2	Ujung eksterior Negatif	Kiri	-30,91
3	Ujung Eksterior Positif	Kanan	7,43
4	Ujung Interior Positif	Kiri	12,64
5	Tengah Bentang Positif	kanan dan kiri	27,21

3. Hitung keperluan baja tulangan untuk menahan lentur.

- a. **Kondisi 1**, kolom interior, momen negatif tumpuan, goyangan ke kanan.

$$M_u = -43,6 \text{ kN-m.}$$

- 1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

$$\text{Sebagai trial awal, gunakan D19: } d = 300 - (30 + 10 + 19 + 20) = 221 \text{ mm}$$

Asumsi awal:

$$j = 0,85 \text{ (koefisien lengan momen); } \phi = 0,8 \text{ (faktor reduksi momen)}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{43,6 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 221} = 725,313 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 3; $A_{s\text{-pakai}} = 850,586 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 221 \text{ mm}$
tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{850,586 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 64,044 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 850,586 \cdot 400 \cdot \left(221 - \frac{64,044}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 51,437 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 250 \cdot 221 = 172,656 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 250 \cdot 221 = 193,375 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{850,586}{250 \cdot 221} = 0,015395$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah
0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{64,044}{250,5} = 0,2557 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

b. **Kondisi 2**, kolom eksterior, momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri.

$$\mathbf{M_u = -30,91 \text{ kN-m.}}$$

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19.

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{30,91 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 221} = 514,207 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 2; $A_{s\text{-pakai}} = 567,057 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 221 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{567,057 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 42,696 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 567,057 \cdot 400 \cdot \left(221 - \frac{42,696}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = \mathbf{36,229 \text{ kN-m -Ok}}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 250 \cdot 221 = 172,656 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 250 \cdot 221 = \mathbf{193,375 \text{ mm}^2}$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{567,057}{250 \cdot 221} = 0,01026$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah

0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{42,696}{250,5} = 0,1706 < \frac{a_{rcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

c. **Kondisi 3**, kolom eksterior, momen positif tumpuan, goyangan ke kanan.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2(2) mensyaratkan bahwa *kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari ½ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.*

$$M_u = 7,43 \text{ kN-m} \geq 1/2 \phi M_{n_eksterior} = 18,114 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **18,114 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19.

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{18,114 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 221} = 265,854 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 1; $A_{s_pakai} = 283,529 \text{ mm}^2$; $d_baru = 250,5 \text{ mm}$
tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{283,529 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 1,334 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 283,529 \cdot 400 \cdot \left(250,5 - \frac{1,334}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 21,254 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s_min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 195,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 193,38 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{283,529}{300 \cdot 250,5} = 0,00453$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{1,334}{250,5} = 0,00533 < \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375\beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

d. **Kondisi 4**, kolom interior, momen positif tumpuan, goyangan ke kiri.

$$M_u = 12,64 \text{ kN-m} < 1/2\phi M_{n_interior} = 25,72 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **25,72 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19.

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{25,72 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 250,5} = 377,46 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 2; $A_{s_pakai} = 567,06 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 250,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{567,06 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 42,696 \text{ mm}$$

Cek momen nominal actual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 567,06 \cdot 400 \cdot \left(250,5 - \frac{42,696}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 41,58 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 195,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tapi tidak boleh kurang dari: } \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 193,4 \text{ mm}^2$$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{567,06}{300 \cdot 250,5} = 0,00905$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{42,696}{250,5} = 0,17044 < \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375\beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

e. **Kondisi 5**, tengah bentang, momen positif, goyangan ke kanan dan kiri.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.2(2) juga mensyaratkan *baik kuat lentur negatif mau pun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/4 kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut*.

$$M_u = 27,21 \text{ kN-m} > 1/4\phi M_{n_terbesar} = 12,86 \text{ kN-m}$$

Maka gunakan **27,21 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19.

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{27,21 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 250,5} = 299,35 \text{ mm}^2$$

Digunakan D25 jumlah = 1; $A_{s_pakai} = 283,53 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 250,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{283,53 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 21,35 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 283,53 \cdot 400 \cdot \left(250,5 - \frac{21,35}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 28,76 \text{ kN-m -Ok}$$

$$2) \text{ Cek } A_s \text{ minimum: } A_{s\text{-min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 195,7 \text{ mm}^2$$

Tapi tidak boleh kurang dari: $\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 250 \cdot 250,5 = \mathbf{219,2 \text{ mm}^2}$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{283,53}{250 \cdot 250,5} = 0,0045$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah 0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{21,35}{250,5} = 0,085 < \frac{a_{icl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875$$

Ok, desain tulangan *under reinforced*.

4. Kapasitas minimum momen positif dan momen negatif. SNI 03-2847-2002

Pasal 23.3.2(1) dan (2) mengharuskan *sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan atas dan dua tulangan bawah yang dipasang secara menerus*, dan kapasitas momen positif dan momen negatif minimum pada sebarang penampang di sepanjang bentang balok SRPMK tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kali kapasitas momen maksimum yang disediakan pada kedua muka kolom balok tersebut.

Kuat momen negatif-positif terbesar pada bentang = **43,6 kN-m**.

$\frac{1}{4}$ kuat momen negatif-positif terbesar = **10,9 kN-m**.

1) Baja tulangan yang dibutuhkan untuk lentur.

Sebagai trial awal, gunakan D19.

Asumsi awal:

$j = 0,85$ (koefisien lengan momen); $\phi = 0,8$ (faktor reduksi momen)

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d} = \frac{10,9 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 250,5} = 159,97 \text{ mm}^2$$

Digunakan D19 jumlah = 1; $A_{s\text{-pakai}} = 283,53 \text{ mm}^2$; $d_{\text{-baru}} = 250,5 \text{ mm}$

tinggi blok tegangan tekan ekuivalen yang aktual adalah:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{283,53 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 21,35 \text{ mm}$$

Cek momen nominal aktual:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 5283,53 \cdot 400 \cdot \left(250,5 - \frac{21,35}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\phi M_n = 21,76 \text{ kN-m -Ok}$$

2) Cek A_s minimum: $A_{s-\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 195,703 \text{ mm}^2$

Tapi tidak boleh kurang dari: $\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \cdot 250 \cdot 250,5 = 219,19 \text{ mm}^2$

3) Cek rasio tulangan.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{283,53}{250 \cdot 250,5} = 0,0028$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02709$$

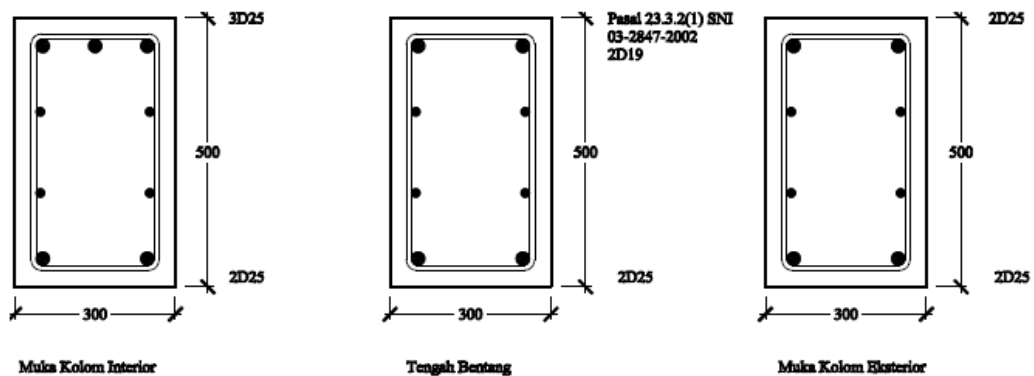
$$0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,02709 = 0,02032$$

Batas tulangan maksimum berdasarkan SNI Beton Pasal 23.3.2 adalah

0,025. Ok, $\rho < 0,75 \rho_b$ dan $\rho < 0,025$

4) Cek apakah penampang *tension-controlled*?

$$\frac{a}{d_t} = \frac{21,35}{250,5} = 0,085 > \frac{a_{tcl}}{d_t} = 0,375 \beta_1 = 0,375 \cdot 0,85 = 0,31875, \text{ Ok}$$



Gambar 4.8 Sketsa Penulangan Penampang-penampang Kritis Balok (B3)

5. Hitung Probable Momen Capacities (M_{pr}). SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4(2)

mengisyaratkan bahwa:

Geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai $1,25f_y$ dan faktor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

- 1) Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan.

Kondisi 1:

$$a_{pr-1} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 850,59 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = \mathbf{80,06 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-1} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right) = 1,25 \cdot 850,59 \cdot 400 \left(250,5 - \frac{80,06}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{76,97 \text{ kN-m}}$$

Kondisi 3:

$$a_{pr-3} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 283,53 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = \mathbf{26,63 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-3} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-3}}{2} \right) = 1,25 \cdot 283,53 \cdot 400 \left(250,5 - \frac{26,63}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{33,62 \text{ kN-m}}$$

- 2) Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kiri.

Kondisi 2:

$$a_{pr-2} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 567,06 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = \mathbf{53,37 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-2} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-2}}{2} \right) = 1,25 \cdot 567,06 \cdot 400 \left(250,5 - \frac{53,37}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{55,09 \text{ kN-m}}$$

Kondisi 4:

$$a_{pr-4} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \cdot 567,06 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = \mathbf{53,37 \text{ mm}}$$

$$M_{pr-4} = 1,25 A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr-4}}{2} \right) = 1,25 \cdot 567,06 \cdot 400 \left(250,5 - \frac{53,37}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= \mathbf{63,46 \text{ kN-m}}$$

6. Diagram gaya geser. Reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur.

$$w_u = 1,2DL + 1,0LL = 1,2 \cdot 4,65 + 1,0 \cdot 2,5 = \mathbf{58,3 \text{ kN/m}}$$

$$V_g = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{58,3 \cdot 4,5}{2} = \mathbf{131,175 \text{ kN}}$$

1) Struktur bergoyang ke kanan.

$$V_{sway-ka} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-3}}{l_n} = \frac{76,97 + 33,62}{4,5} = \mathbf{24,58 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung kiri balok} &= 131,175 - 24,58 \\ &= \mathbf{106,599 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung kanan balok} &= 131,175 + 24,58 \\ &= \mathbf{155,75 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)} \end{aligned}$$

2) Struktur bergoyang ke kiri.

$$V_{sway-ki} = \frac{M_{pr-2} + M_{pr-4}}{l_n} = \frac{55,09 + 63,46}{4,5} = \mathbf{26,34 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung kiri balok} &= 131,175 + 26,34 \\ &= \mathbf{157,52 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung kanan balok} &= 131,175 - 26,34 \\ &= \mathbf{104,83 \text{ kN}} \text{ (arah gaya ke atas)} \end{aligned}$$

7. Senggang untuk gaya geser. SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.4(2): Kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu V_c , harus diambil = 0 pada perencanaan geser di daerah sendi plastis apabila:

- 1) Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ (atau lebih) kuat geser perlu maksimum, V_u , di sepanjang bentang, dan
- 2) Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa, kurang dari $A_g f'_c / 20$.

Tabel 4.20 Gaya geser di Muka Kolom Eksterior dan Interior

Arah Gerakan	V_{sway} (kN)	Eksterior Sup. Reaction	Interior Sup. Reaction
--------------	-----------------	-------------------------	------------------------

Gempa		V_u (kN)	$1/2 V_u$ (kN)	V_u (kN)	$1/2 V_u$ (kN)
Kanan	24,57568	106,5993168	53,2996584	155,7506832	77,8753416
Kiri	26,34485	157,5198529	78,75992646	104,8301471	52,41507354

$$M_l = \mathbf{30,91kN-m}$$

$$M_{nl} = \mathbf{38,6375kN-m}$$

$$M_r = \mathbf{43,6kN-m}$$

$$M_{nr} = \mathbf{54,5kN-m}$$

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{38,64 + 54,5}{4,5} + \frac{58,3 \cdot 4,5}{2} = \mathbf{151,87 kN}$$

Berdasarkan hasil analisa struktur, gaya aksial tekan terfaktor akibat gaya gempa dan gravitasi adalah $\mathbf{3,29 kN} < A_g f'_c = \mathbf{93,75 kN}$.

- Kondisi $V_{sway} < \frac{1}{2} V_u$ hanya terjadi di muka kolom eksterior akibat goyangan ke arah kiri (sementara akibat goyangan ke kanan V_{sway} tetap melebihi $1/2 V_u$);
- Gaya aksial tekan terfaktor akibat gempa dan gravitasi $< A_g f'_c / 20$, maka perencanaan tulangan geser dilakukan dengan memperhitungkan kontribusi beton $V_c = 0$ di sepanjang zona sendi plastis di masing-masing muka kolom.

1) **Muka kolom eksterior:** Gaya geser maksimum, $V_u = \mathbf{157,52 kN}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{157,52}{0,75} - 0 = \mathbf{210,03 kN}$$

SNI 03-2847-2002 Pasal 13.5.6(9).

$$\text{Maksimum } V_s = V_{s_max} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{2\sqrt{25}}{3} 250 \cdot 250,5 = \mathbf{208,75 kN}$$

Coba diameter tulangan sengkang D13 dengan 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{265,5 \cdot 400 \cdot 250,5}{210,03 \cdot 1000} = 126,665 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{130 \text{ mm)})}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,5 \cdot 400 \cdot 250,5}{130} = \mathbf{204,64 kN (Ok)}$$

2) **Muka kolom interior:** Gaya geser maksimum, $V_u = \mathbf{155,75 kN}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{155,75}{0,75} - 0 = \mathbf{207,68 \text{ kN}}$$

$$\text{Maksimum } V_s = V_{s_max} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{2\sqrt{25}}{3} 250.250,5 = \mathbf{208,75 \text{ kN}}$$

Coba diameter tulangan sengkang D13 dengan 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{265,5.400.250,5}{207,68.1000} = 128,104 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{130 \text{ mm}})$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,5.400.250,5}{130} = \mathbf{204,64 \text{ kN (Ok)}}$$

Penulangan geser pada daerah diluar sendi plastis:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{6} 250.250,5 = \mathbf{52,19 \text{ kN}}$$

$$\text{Maka, } V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{151,87}{0,75} - 52,19 = \mathbf{150,31 \text{ kN}}$$

Coba tulangan sengkang D10 (2 kaki)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157,1.400.250,5}{150,31.1000} = 104,73 \text{ mm (gunakan spasi } \mathbf{100 \text{ mm}})$$

SNI Pasal 23.3.3(1): Diperlukan *hoops* (sengkang tertutup) di sepanjang jarak $2h$ dari sisi (muka) kolom terdekat.

$$2h = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

SNI Pasal 23.3.3(2): *Hoop* pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat, dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil di antara:

$$5. \quad d_e/4 = 250,5/4 = 62,625 \text{ mm}$$

$$6. \quad 8 \times D_p = 8 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$$

$$7. \quad 24 \times D13 = 312 \text{ mm}$$

$$8. \quad 300 \text{ mm}$$

Dengan demikian digunakan sengkang tertutup 2 kaki D13 yang dipasang dengan spasi **100 mm**.

SNI Pasal 23.3.3(4): Spasi maksimum tulangan geser di sepanjang balok SRPMK adalah $d_e/2$.

$$s_{\max} = \frac{d_e}{2} = \frac{250,5}{2} = \mathbf{125,25 \text{ mm}}$$

Ok, untuk bentang di luar zona sendi plastis, gunakan sengkang 2 kaki D10 dengan spasi **100 mm**.

8. *Cutt-off points*

- 1) Tulangan negatif di muka kolom interior.

Jumlah tulangan atas yang terpasang adalah 3 buah yaitu 3D19. 2 buah tulangan akan di *cut-off*, sehingga $A_{s\text{-sisa}} = 283,53 \text{ mm}^2$. Kuat lentur negatif rencana dengan konfigurasi tulangan seperti ini adalah

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{283,53 \cdot 400}{0,85 \cdot 25 \cdot 250} = 21,35 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 283,53 \cdot 400 \left(250,5 - \frac{21,35}{2} \right) = \mathbf{21,76 \text{ kN-m}}$$

Untuk mendapatkan lokasi penampang dengan momen negatif rencana 21,76 kN-m pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$58,3x(1/2x) - 155,75x + 55,21 = 29,15x^2 - 155,75x + 55,21 = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{55,21 \pm \sqrt{55,21^2 - 4 \cdot 29,15 \cdot 55,21}}{2 \cdot 29,15} = \mathbf{381,73 \text{ mm}}$$

SNI 03-2847-2002 Pasal 14.10.3 dan Pasal 14.10.4 mengharuskan :

- Tulangan diteruskan melampaui titik di mana tulangan tersebut sudah tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur, sejauh tinggi efektif komponen struktur, d , dan tidak kurang dari $12d_b$, kecuali pada daerah tumpuan balok sederhana dan pada daerah ujung bebas kantilever,
- Tulangan menerus harus mempunyai suatu panjang penanaman sejauh tidak kurang dari panjang penyaluran l_d diukur dari lokasi pemotongan tulangan lentur.

Panjang penyaluran tulangan D19 adalah sepanjang:

$$l_{d-25} = \frac{3 f_y \alpha \beta \lambda}{5 \sqrt{f_c'}} = \frac{3 \cdot 400 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{5 \sqrt{25}} = 1560 \text{ mm}$$

Ambil saja $l_{d-25} = 1600 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$

Jadi, tulangan 1D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar antara 1150,2 mm atau 1002,7 mm.

4.6.5 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 700x700

Tabel 4.21 Resume Momen untuk Kolom 700x700 pada SRPMK

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Momen Atas	-45.2599
	Momen Bawah	21.0696
Live	Momen Atas	-10.3199
	Momen Bawah	6.1949
1.4 DL	Momen Atas	-63.3639
	Momen Bawah	29.4975
1.2 DL + 1.6LL	Momen Atas	-70.8237
	Momen Bawah	35.1954
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-91.0709
	Momen Bawah	295.0804
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas	-38.1927
	Momen Bawah	-232.1235
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	-73.671
	Momen Bawah	109.964
1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas	-55.592
	Momen Bawah	-47.007
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-67.173

	Momen Bawah	282.565
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Momen Atas	-14.295
	Momen Bawah	-244.639
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	-49.773
	Momen Bawah	97.448
0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Momen Atas	-31.694
	Momen Bawah	-59.522

Perancangan kolom 700mm x 700mm, Nomor elemen 22 :

$$P_u = 1706.77 \text{ kN}; \quad M_u = 295.08 \text{ kNm}$$

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

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$D_p = 19 \text{ mm (diameter tulangan pokok); } D_s = 12 \text{ mm (diameter tulangan geser)}$$

$$L_u = 3670 \text{ mm}$$

Penyelesaian :

A. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Menentukan tinggi efektif kolom

$$d = h - s - D_s - \frac{D_p}{2} = 700 - 30 - 12 - \frac{19}{2} = 648,5 \text{ mm}$$

$$d' = s + D_s + \frac{D_p}{2} = 30 + 12 + \frac{19}{2} = 51,5 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$\beta_d = 0,5$$

Analisis tampang kolom :

1) Kolom no.22 (700 mm x 700 mm)

$$I_{gk} = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot b \cdot h^3 = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot 700 \cdot 700^3 = 20008333333 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gk}}{2,5} \right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 20008333333}{2,5} \right)}{(1 + 0,5)} = 1,254 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 3670 \text{ mm}$$

- 2) Balok no. 937 F53 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot 300 \cdot 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$EI_b = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gb}}{5} \right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 3125000000}{5} \right)}{(1 + 0,5)} = 9,792 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 7325 \text{ mm}$$

- 3) Balok no. 115 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot 300 \cdot 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$EI_b = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gb}}{5} \right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 3125000000}{5} \right)}{(1 + 0,5)} = 9,792 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

- 4) Kolom no. 229 (600 mm x 600 mm)

$$I_{gk} = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot b \cdot h^3 = \left(\frac{1}{12} \right) \cdot 600 \cdot 600^3 = 10800000000 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gk}}{2,5} \right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 10800000000}{2,5} \right)}{(1 + 0,5)} = 6,768 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 3200 \text{ mm}$$

- 5) Faktor kekangan ujung Ψ yang terjadi pada kolom

$$\Psi_A = \frac{\left(\frac{EI_K}{l_K} \right) + \left(\frac{EI_K}{l_K} \right)}{\left(\frac{EI_B}{l_B} \right) + \left(\frac{EI_B}{l_B} \right)} = \frac{\left(\frac{1,254 \times 10^{14}}{3670} \right) + \left(\frac{6,768 \times 10^{13}}{3200} \right)}{\left(\frac{9,792 \times 10^{12}}{7325} \right) + \left(\frac{9,792 \times 10^{12}}{4500} \right)} = 15,75$$

$$\Psi_B = 0 \text{ (tumpuan jepit)}$$

Dari grafik nomogram panjang efektif kolom dengan pengaku diperoleh nilai faktor k sebesar = 0,69

- 6) Menentukan angka kelangsingan kolom:

$$r = 0,3 \cdot h \rightarrow 0,3 \text{ untuk kolom persegi}$$

$$= 0,3 \cdot 700 = 210$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = \left(\frac{0,69 \cdot 3670}{180} \right) = 12,059 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = \left(\frac{0,69 \cdot 3670}{180} \right) = 12,059 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{-244,64}{295,08} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = \left(\frac{0,69 \cdot 3670}{180} \right) = 12,059 < 43,949 \rightarrow \text{Kolom Pendek}$$

7) Eksentrisitas:

$$e = \left(\frac{M_{u,k}}{P_u} \right) = \left(\frac{295,08}{1706,77} \right) = 172,888 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 0,10 \cdot h = 0,10 \cdot 700 = 70 \text{ mm}$$

8) Perhitungan P_{nb} pendekatan:

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 648,5 = 389,1 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot C_b = 0,85 \cdot 389,1 = 330,735 \text{ mm}$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 330,735 \cdot 700 = 4919683,13 \text{ N} = 4919,68 \text{ kN}$$

9) Perhitungan P_n perlu:

$$0,10 \cdot f_c' \cdot A_g = 0,10 \cdot 25 \cdot (700 \cdot 700) = 1225000 \text{ N}$$

$$= 1225 \text{ kN} < P_u = 1706,77 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi kekuatan Φ sebesar = 0,65 sehingga diperoleh :

$$P_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{P_u}{\phi} \right) = \left(\frac{1706,77}{0,65} \right)$$

$$= 2625,8 \text{ kN} < P_{nb} = 4919,68 \text{ kN} \rightarrow \text{Diperkirakan runtuh tarik}$$

$$a = \frac{P_{n \text{ perlu}}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2625800}{0,85 \cdot 25 \cdot 700} = 176,524 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{P_{n \text{ perlu}} \cdot \left(e - \frac{h}{2} + \frac{a}{2} \right)}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$A_s = \frac{2625800 \cdot \left(172,89 - \frac{700}{2} + \frac{176,524}{2}\right)}{400 \cdot (648,5 - 51,5)} = 976,97 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_s'$$

10) Kontrol luas tulangan :

$$A_{st} = A_s + A_s' = 976,97 + 976,97 = 1953,95 \text{ mm}^2$$

$$A_{st \text{ min}} = 1\% \cdot A_g = 0,01 \cdot (700 \cdot 700) = 4900 \text{ mm}^2$$

11) Direncanakan :

$$A_s = 9D19 = 2551,759 \text{ mm}^2; A_s' = 9D19 = 2551,759 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 2551,759 + 2551,759 = 5103,517 \text{ mm}^2 = 1,04\% \cdot A_g$$

Jadi, terpasang 20D19.

12) Perhitungan regangan dan tegangan baja :

$$\varepsilon_{cu} = 0,003; E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$c = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 648,5 = 389,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{389,1 - 51,5}{389,1} \cdot 0,003 = 0,0026$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0,002; \varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

13) Perhitungan gaya-gaya dalam :

$$T = A_s \cdot f_y = 2551,759 \cdot 400 = 1020703 \text{ N} = 1020,703 \text{ kN}$$

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

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 176,524 \cdot 700 = 2625800 \text{ N} = 2625,8 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y = 2551,759 \cdot 400 = 1020703 \text{ N} = 1020,703 \text{ kN}$$

$$P_{nb} = C_s + C_c - T$$

$$= 1020703 + 2625800 - 1020703 = 2625800 \text{ N} = 2625,8 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = T \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + C_c \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right)$$

$$\begin{aligned}
&= 1020703 \cdot \left(648,5 - \frac{700}{2} \right) + 2625800 \cdot \left(\frac{700}{2} - \frac{176,524}{2} \right) \\
&\quad + 2625800 \cdot \left(\frac{700}{2} - 51,5 \right) \\
&= 1296631000 \text{ Nmm} = 1296,631 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{1296,631}{2625,8} = 0,493804 \text{ m} = 493,804 \text{ mm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{295,08}{1706,77} = 0,172888 \text{ m} = 172,888 \text{ mm}$$

$e < e_b$, Kolom Runtuh Tekan

14) Pola keruntuhan tekan (menggunakan pendekatan Whitney) :

$$A_n = A_g - A_{st} = 490000 - 5103,517 = 484896,483 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
P_{n0} &= A_n \cdot 0,85 \cdot f'_c + A_{st} \cdot f_y \\
&= 484896,483 \cdot 0,85 \cdot 25 + 5103,517 \cdot 400 \\
&= 12345457 \text{ N} = 12345,457 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$P_n = \frac{P_{n0}}{1 + \left(\frac{P_{n0}}{P_{nb}} - 1 \right) \cdot \frac{e}{e_b}}$$

$$P_n = \frac{12345457}{1 + \left(\frac{12345457}{2625800} - 1 \right) \cdot \frac{172,888}{493,804}} = 5376977 \text{ N} = 5376,977 \text{ kN}$$

15) Kontrol keamanan :

$$P_u \geq 0,1 \cdot f'_c \cdot A_g$$

$$1706770 \text{ N} \geq 0,1 \cdot 25 \cdot 700 \cdot 700$$

$$1706770 \text{ N} \geq 1225000 \text{ digunakan faktor reduksi } \phi = 0,65$$

$$\phi \cdot P_n = 0,65 \cdot 5376977$$

$$\phi \cdot P_n = 3495,035 \text{ kN} > P_u = 1706,77 \rightarrow \text{Kolom Aman}$$

B. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

$$M_{nt} = 407,732 \text{ kNm}; M_{nb} = 491,801 \text{ kNm}$$

$$V_u = \left(\frac{M_{uu} + M_{nb}}{l_n} \right) = \left(\frac{407,732 + 491,801}{3,67} \right) = 285,566 \text{ kN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left(1 + \frac{1706,77}{14 \cdot 700 \cdot 700} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 700 \cdot 648,5 = 472411 \text{ N} = 472,411 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 472,411 = 354,308 \text{ kN} > V_u = 285,566 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 472,411 = 177,154 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d = 0,75 \cdot 472,411 + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 700 \cdot 648,5$$

$$= 1513521 \text{ N} = 1513,521 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c > V_u < \phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

→ Maka diperlukan tulangan geser sebesar V_s

Menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis ($\leq 1_0$)

Jarak maksimum l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar :

- 1/6 tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3370 = 561,667 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang = $h = 700 \text{ mm}$
- 500 mm

Digunakan $l_0 = 700 \text{ mm}$

$$V_c = 0 \text{ kN}; V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{285,566}{0,75} - 0 = 380,754 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{226,195 \cdot 240 \cdot 648,5}{380,754 \times 10^3} = 92,461 \text{ mm}$$

→ Dipakai jarak sengkang, $s = 100 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang tidak boleh lebih dari :

$$S_0 = 8 \cdot D_p = 8 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S_0 = 24 \cdot D_s = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 700 = 350 \text{ mm}$$

$$S_0 = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 150 mm dipasang sepanjang 700 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

Menentukan jarak sengkang pada daerah diluar sendi plastis ($> 1_0$) :

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left(1 + \frac{1706,77}{14 \cdot 700 \cdot 700} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 700 \cdot 648,5 = 472411 \text{ N} = 472,411 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{285,566}{0,75} - 472,411 = 91,656 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{226,195 \cdot 240 \cdot 648,5}{91,656 \times 10^3} = 384,097 \text{ mm}$$

\rightarrow Dipakai jarak sengkang, $s = 350 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah $> 1_0$ tidak boleh lebih dari:

$$2 \cdot S_0 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 350 mm dipasang sepanjang $> 700 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.

4.6.6 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 600x600

Tabel 4.22 Resume Momen untuk Kolom 600x600 pada SRPMK

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Momen Atas	-35.368
	Momen Bawah	41.3869
Live	Momen Atas	-7.8219
	Momen Bawah	9.8663
1.4 DL	Momen Atas	-49.5151
	Momen Bawah	57.9416

1.2 DL + 1.6LL	Momen Atas	-54.9566
	Momen Bawah	65.4503
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-145.5467
	Momen Bawah	181.2745
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas	45.0198
	Momen Bawah	-62.2134
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	9.105
	Momen Bawah	94.753
1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas	-23.983
	Momen Bawah	24.308
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-127.114
	Momen Bawah	158.992
0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas	63.452
	Momen Bawah	-84.496
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	-58.111
	Momen Bawah	72.470
0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas	-5.551
	Momen Bawah	2.026

Perancangan kolom 600mm x 600mm, Nomor elemen 229 :

$$P_u = 1262,76 \text{ kN}; \quad M_u = 181,27 \text{ kNm}$$

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

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$D_p = 19 \text{ mm (diameter tulangan pokok); } D_s = 12 \text{ mm (diameter tulangan geser)}$$

$$L_u = 3200 \text{ mm}$$

Penyelesaian : (Perhitungan analog dengan hal. 110)

A. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Menentukan tinggi efektif kolom

$$d = 548,5 \text{ mm}; d' = s + D_s + D_p/2 = 51,5 \text{ mm}; E_c = 23500 \text{ MPa}; \beta d = 0,5$$

Analisis tampang kolom :

- 1) Kolom no.229 (600 mm x 600 mm)

$$I_{gk} = 1,08 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 6,768 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

- 2) Balok no. 328 F53 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gk} = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 7325 \text{ mm}$$

- 3) Balok no. 329 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gk} = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 4500 \text{ mm}$$

- 4) Kolom no. 443 (600 mm x 600 mm)

$$I_{gk} = 1,08 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 6,768 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

- 5) Faktor kekangan ujung Ψ yang terjadi pada kolom

$$\Psi_A = 12,04; \Psi_B = 0 \text{ (tumpuan jepit)}$$

Dari grafik nomogram panjang efektif kolom dengan pengaku diperoleh nilai faktor k sebesar = 0,69

- 6) Menentukan angka kelangsingan kolom :

$$r = 0,3 \cdot h \rightarrow 0,3 \text{ untuk kolom persegi} \\ = 0,3 \cdot 600 = 180$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = 12,267 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right); \left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = 12,059 < 43,949$$

→ kolom tersebut termasuk **Kolom Pendek**

- 7) Eksentrisitas :

$$e = 143,554 \text{ mm}; e_{\min} = 60 \text{ mm}$$

- 8) Perhitungan P_{nb} pendekatan :

$$C_b = 329,1 \text{ mm}; a = 279,735 \text{ mm}; P_{nb} = 3566621,25 \text{ N} = 3566,62 \text{ kN}$$

- 9) Perhitungan P_n perlu :

$$0,10 \cdot f_c' \cdot A_g = 900000 \text{ N} = 900 \text{ kN} < P_u = 1262,76 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi kekuatan Φ sebesar = 0,65 sehingga diperoleh :

$$P_{n\text{ perlu}} = 1942,708 \text{ kN} < P_{nb} = 3566,62 \text{ kN} \rightarrow \text{Diperkirakan runtuh tarik}$$

$$a = 152,369 \text{ mm}; A_s = 784,326 \text{ mm}^2; A_s = A_s'$$

10) Kontrol luas tulangan :

$$A_{st} = 1568,652 \text{ mm}^2; A_{st \text{ min}} = 1\% \cdot A_g = 0,01 \cdot (600 \cdot 600) = 3600 \text{ mm}^2$$

11) Direncanakan :

$$A_s = 7D19 = 1984,701 \text{ mm}^2; A_s' = 7D19 = 1984,701 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 1984,701 + 1984,701 = 3984,402 \text{ mm}^2 = 1,10\% \cdot A_g$$

Jadi, terpasang 16D19.

12) Perhitungan regangan dan tegangan baja:

$$\varepsilon_{cu} = 0,003; \quad E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$c = 329,1 \text{ mm}; \quad \varepsilon_s = 0,0025$$

$$\varepsilon_y = 0,002; \quad \varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

13) Perhitungan gaya-gaya dalam:

$$T = 793880 \text{ N} = 793,88 \text{ kN}; \quad C_c = 1942708 \text{ N} = 1942,708 \text{ kN}$$

$$C_s = 340234 \text{ N} = 340,234 \text{ kN}; \quad P_{nb} = 793880 \text{ N} = 793,88 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = 603904000 \text{ Nmm} = 603,904 \text{ kNm}$$

$$eb = 426,913 \text{ mm} > e = 143,554 \text{ mm} \rightarrow \text{Kolom Runtuh Tekan}$$

14) Pola keruntuhan tekan :

$$A_n = 356030,598 \text{ mm}^2; P_{n0} = 9153,411 \text{ kN}; P_n = 4071,633 \text{ kN}$$

Kontrol keamanan: $P_u = 1262,76 \text{ kN} > 900 \text{ kN}$ (digunakan faktor reduksi = 0,65)

$$\phi \cdot P_n = 2646,561 \text{ kN} > P_u = 1262,76 \text{ kN} \rightarrow \text{Kolom Aman}$$

B. Perhitungan Penulangan Geser

$$M_{nt} = 242,583 \text{ kNm}; M_{nb} = 302,125 \text{ kNm}$$

$$V_u = 172,923 \text{ kN}; V_c = 342963 \text{ N} = 342,963 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 472,411 = 354,308 \text{ kN} > V_u = 285,566 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = 128,611 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d = 1097257 \text{ N} = 1097,257 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c > V_u < \phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

→ Maka diperlukan tulangan geser sebesar V_s

Menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis ($\leq l_0$)

Jarak maksimum l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar :

- 1/6 tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3370 = 561,667$ mm
- Dimensi terbesar penampang = $h = 700$ mm
- 500 mm

Digunakan $l_0 = 700$ mm

$V_c = 0$ kN; $V_s = 230,564$ kN

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195$ mm²

$s = 129,145$ mm \rightarrow Dipakai jarak sengkang, $s = 130$ mm

Spasi maksimum sengkang tidak boleh lebih dari :

$$S_0 = 8 \cdot D_p = 8 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S_0 = 24 \cdot D_s = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ mm}$$

$$S_0 = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 130 mm dipasang sepanjang 600 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

Menentukan jarak sengkang pada daerah diluar sendi plastis ($> l_0$) :

$$V_c = 342963 \text{ N} = 342,963 \text{ kN}; V_s = 112,398 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195$ mm²

$s = 264,917$ mm \rightarrow Dipakai jarak sengkang, $s = 200$ mm

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah $> l_0$ tidak boleh lebih dari:

$$2 \cdot S_0 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 250 mm dipasang sepanjang > 600 mm dari muka hubungan balok kolom.

4.6.7 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 500x500

Tabel 4.23 Resume Momen untuk Kolom 500x500 pada SRPMK

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Momen Atas	-38.5439
	Momen Bawah	32.9568

Live	Momen Atas	-9.4787
	Momen Bawah	8.0259
1.4 DL	Momen Atas	-53.9615
	Momen Bawah	46.1396
1.2 DL + 1.6LL	Momen Atas	-61.4187
	Momen Bawah	52.3897
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-125.8584
	Momen Bawah	82.255
1,2 DL + 1,0 LL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Momen Atas	13.6444
	Momen Bawah	12.8932
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	-75.003
	Momen Bawah	56.732
1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Momen Atas	0.978
	Momen Bawah	38.416
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-104.817
	Momen Bawah	64.342
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Momen Atas	35.437
	Momen Bawah	-5.020
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	-53.961
	Momen Bawah	38.819
0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Momen Atas	-15.418
	Momen Bawah	20.503

Perancangan kolom 500mm x 500mm, Nomor elemen 657:

$$P_u = 513,516 \text{ kN}; \quad M_u = 125,86 \text{ kNm}$$

$$h = 500 \text{ mm}; \quad b = 500 \text{ mm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$D_p = 14 \text{ mm (diameter tulangan pokok); } D_s = 10 \text{ mm (diameter tulangan geser)}$$

$$L_u = 3200 \text{ mm}$$

Penyelesaian : (Perhitungan Analog dengan hal. 110)

A. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Menentukan tinggi efektif kolom

$$d = 452 \text{ mm}; d' = 48 \text{ mm}; E_c = 23500 \text{ MPa}; \beta d = 0,5$$

Analisis tampang kolom :

- 1) Kolom no. 657 (500 mm x 500 mm)

$$I_{gk} = 5,2 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 3,2639 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

- 2) Balok no. 756 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_b = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 7325 \text{ mm}$$

- 3) Balok no. 757 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_b = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 4500 \text{ mm}$$

- 4) Kolom no. 867 (500 mm x 500 mm)

$$I_{gk} = 3,2639 \cdot 10^{13} \text{ mm}^4; EI = 6,768 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

- 5) Faktor kekangan ujung Ψ yang terjadi pada kolom

$$\Psi_A = 5,81; \Psi_B = 0 \text{ (tumpuan jepit)}$$

Dari grafik nomogram panjang efektif kolom dengan pengaku diperoleh nilai faktor k sebesar = 0,69

- 6) Menentukan angka kelangsingan kolom:

$$r = 0,3 \cdot h \rightarrow 0,3 \text{ untuk kolom persegi}$$

$$= 0,3 \cdot 500 = 150$$

$$\left(\frac{k \cdot L_u}{r} \right) = 14,72 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{-82,86}{125,86} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot L_u}{r} \right) = 14,72 < 43,949 \rightarrow \text{kolom tersebut termasuk } \mathbf{Kolom Pendek}$$

- 7) Eksentrisitas:

$$e = 245,091 \text{ mm}; e_{\min} = 50 \text{ mm}$$

- 8) Perhitungan P_{nb} pendekatan:

$$C_b = 271,8 \text{ mm}; a = 230,52 \text{ mm}; P_{nb} = 2449275 = 2449,275 \text{ kN}$$

9) Perhitungan P_n perlu:

$$0,10 \cdot f_c' \cdot A_g = 625000 \text{ N} = 625 \text{ kN} < P_u = 513,516 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar = 0,65 sehingga diperoleh :

$$P_n \text{ perlu} = 790,025 \text{ kN} < P_{nb} = 2449,28 \text{ kN} \rightarrow \text{Diperkirakan runtuh tarik}$$

$$a = 74,355 \text{ mm}; A_s = 157,752 \text{ mm}^2; A_s = A_s'$$

10) Kontrol luas tulangan :

$$A_{st} = A_s + A_s' = 157,752 + 157,752 = 315,505 \text{ mm}^2$$

$$A_{st \text{ min}} = 1\% \cdot A_g = 0,01 \cdot (500 \cdot 500) = 2500 \text{ mm}^2$$

11) Direncanakan:

$$A_s = 7D16 = 1407,434 \text{ mm}^2; A_s' = 7D16 = 1407,434 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 2814,867 \text{ mm}^2 = 1,13\% \cdot A_g \text{ (Jadi, terpasang 16D16).}$$

12) Perhitungan regangan dan tegangan baja:

$$\epsilon_{cu} = 0,003; \quad E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$c = 271,8 \text{ mm}; \quad \epsilon_s = 0,0025$$

$$\epsilon_y = 0,002; \quad \epsilon_s > \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

13) Perhitungan gaya-gaya dalam:

$$T = 562973 \text{ N} = 562,973 \text{ kN}; \quad C_c = 790025 \text{ N} = 790,025 \text{ kN}$$

$$C_s = 562973 \text{ N} = 562,973 \text{ kN}; \quad P_{nb} = 790025 \text{ N} = 790,025 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = 395576000 \text{ Nmm} = 395,579 \text{ kNm}$$

$$eb = 500,714 \text{ mm} > e = 245,091 \text{ mm} \rightarrow \text{Kolom Runtuh Tekan}$$

14) Pola keruntuhan tekan:

$$A_n = 247185,133 \text{ mm}^2; P_{n0} = 6378,631 \text{ kN}; P_n = 1429,358 \text{ kN}$$

Kontrol keamanan:

$$P_u = 513,516 \text{ kN} > 625 \text{ kN} \text{ (digunakan faktor reduksi} = 0,65)$$

$$\phi \cdot P_n = 929,083 \text{ kN} > P_u = 513,516 \text{ kN} \rightarrow \text{Kolom Aman}$$

B. Perhitungan Penulangan Geser

$$M_{nt} = 138,1 \text{ kNm}; M_{nb} = 209,767 \text{ kNm}$$

$$V_u = 110,434 \text{ kN}; V_c = 215965 \text{ N} = 215,965$$

$$\phi \cdot V_c = 161,974 \text{ kN} > V_u$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = 80,987 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = 793495 \text{ N} = 793,495 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c > V_u < \phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d$$

→ Maka diperlukan tulangan geser sebesar V_s

Menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis ($\leq l_0$)

Jarak maksimum l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar :

- 1/6 tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3200 = 483,333 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang = $h = 500 \text{ mm}$
- 500 mm

Digunakan $l_0 = 500 \text{ mm}$

$$V_c = 0 \text{ kN}; V_s = 147,245 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$s = 115,725 \text{ mm} \rightarrow$ Dipakai jarak sengkang, $s = 100 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang tidak boleh lebih dari :

$$S_0 = 8 \cdot D_p = 8 \cdot 16 = 128 \text{ mm}$$

$$S_0 = 24 \cdot D_s = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ mm}$$

$$S_0 = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 100 mm dipasang sepanjang 500 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

Menentukan jarak sengkang pada daerah diluar sendi plastis ($> l_0$) :

$$V_c = 215965 \text{ N} = 215,965 \text{ kN}$$

$$V_s = 68,720 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$s = 247,962 \text{ mm} \rightarrow$ Dipakai jarak sengkang, $s = 200 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah $> l_0$ tidak boleh lebih dari:

$$2 \cdot S_0 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 200 mm dipasang sepanjang > 500 mm dari muka hubungan balok kolom.

4.6.8 Kuat Kolom

SNI Pasal 23.4.2.2 Kuat kolom ϕM_n harus memenuhi $\sum M_c \geq \sum M_g$

$\sum M_c$ = jumlah M_n dua kolom yang bertemu di join

$\sum M_g$ = jumlah M_n dua balok yang bertemu di join (termasuk sumbangan tulangan pelat di selebar efektif pelat lantai)

Dalam hitungan ini, karena tulangan pelat tidak di desain, diambil pendekatan konservatif dengan momen-momen yang di perhitungkan adalah momen desain ($=\phi M_n$)(menggunakan ACI 318(1999)).

$$\text{Jadi, } 1,2\sum M_g = 1,2 \times (265,46 + 189,11) = \mathbf{545,488 \text{ kN-m}}$$

Kolom lantai atas (2nd floor)

$$\phi P_{n-abv} = \text{ gaya aksial terfaktor di kolom atas} = 671,521 \text{ kN}$$

$$\phi P_{n-abv} \text{ bersesuaian dengan } \phi M_n = \mathbf{185,414 \text{ kN-m}}$$

Kolom lantai yang didesain (1st- floor)

$$\phi P_{n-dsn} = \text{ gaya aksial terfaktor di kolom yang di desain} = 1651,3 \text{ kN}$$

$$\phi P_{n-dsn} \text{ bersesuaian dengan } \phi M_n = \mathbf{513,319 \text{ kN-m}}$$

$$\sum M_c = \phi M_{n-abv} + \phi M_{n-dsn} = 185,414 + 513,319 = \mathbf{698,733 \text{ kN-m}}$$

Ok, syarat terpenuhi.

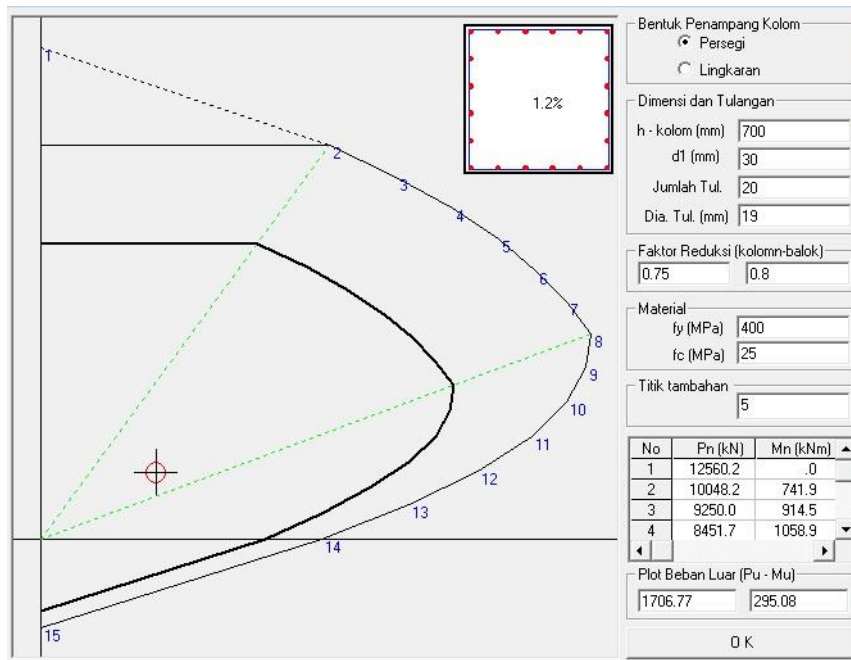
Kolom lantai bawah (base floor)

$$\phi P_{n-blw} = \text{ gaya aksial terfaktor di kolom bawah} = 2231,93 \text{ kN}$$

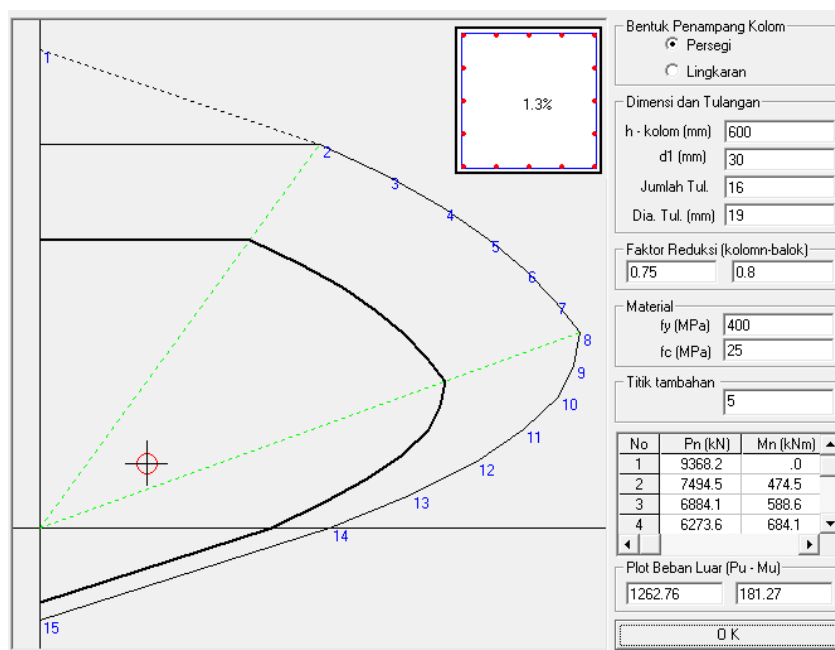
$$\phi P_{n-blw} \text{ bersesuaian dengan } \phi M_n = \mathbf{814,383 \text{ kN-m}}$$

$$\sum M_c = \phi M_{n-blw} + \phi M_{n-dsn} = 513,319 + 814,383 = \mathbf{1327,7 \text{ kN-m}}$$

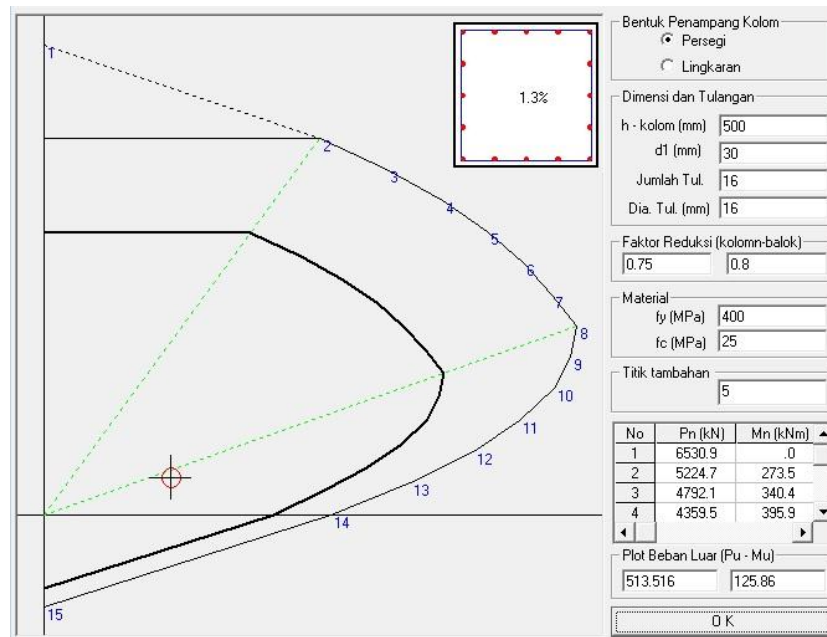
Ok, syarat terpenuhi.



Gambar 4.9 Diagram Interaksi Kolom 700x700 (Sumber: *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic 6.0*, **Wiryanto Dewobroto** - Universitas Pelita Harapan)



Gambar 4.10 Diagram Interaksi Kolom 600x600 (Sumber: *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic 6.0*, **Wiryanto Dewobroto** - Universitas Pelita Harapan)



Gambar 4.11 Diagram Interaksi Kolom 500x500 (Sumber: *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic 6.0*, **Wiryanto Dewobroto** - Universitas Pelita Harapan)

4.6 Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah

4.6.1 Analisis Terhadap T Rayleigh

Besarnya T yang dihitung sebelumnya memakai cara-cara empiris harus dibandingkan dengan T Rayleigh dengan rumus:

$$T_R = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}}$$

Besarnya T yang dihitung sebelumnya sesuai dengan pasal 6.2.2. tidak boleh menyimpang lebih dari 20% hasil T Rayleigh

$$80\% T_R < T < 120\% T_R$$

Untuk menghitung T Rayleigh maka, harus dilakukan analisis Struktur 3 dimensi untuk mengetahui defleksi lantai ke-i. Analisis dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 dan sudah dilakukan sebelumnya. Analisis diperhitungkan dengan mempertimbangkan retak sepanjang komponen struktur.

Akibat dari retak ini maka kekakuan (Inersia) dari tiap-tiap komponen tereduksi sebagai berikut:

3. Untuk komponen balok (dalam hal ini balok T)

$$I_{nya} = 2 \times I_{balok} = 2 \times 35\% \cdot I_g = 0,7 I_g$$

4. Untuk komponen kolom

$$I_{nya} = 0,7 I_g$$

Berikut adalah table analisis T Rayleigh

Tabel 4.24 Analisis T Rayleigh SRPMM arah X

Lantai ke	h_x (m)	w_i (kN)	F (kN)	d_i (mm)	$w_i \cdot d_i^2$	F . d_i
1	3,67	7093,34	378,2165	3,831	104084,1	1448,796
2	6,87	6827,07	681,4202	10,070	692257,2	6861,697
3	10,07	6827,07	998,8211	15,975	1742316	15956,37
4	13,27	6827,07	1316,222	20,265	2803536	26672,58
5	16,47	1203,503	287,9815	22,771	624038,5	6557,627
S					5966233	57497,07

$$\text{Maka T Reyligh} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{4129300}{9810.39794,41}} = 0.6479 \text{ detik}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$80\%T_R < T < 120\%T_R = 0.51835 < 0.597637 < 0.777525 \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Tabel 4.25 Analisis T Rayleigh SRPMM arah Y

Lantai ke	h_x (m)	w_i (kN)	F (kN)	d_i (mm)	$w_i \cdot d_i^2$	F . d_i
1	3,67	7093,34	378,2165	2,8775	58732,88	1088,318
2	6,87	6827,07	681,4202	7,8317	418742	5336,678
3	10,07	6827,07	998,8211	12,8413	1125777	12826,16
4	13,27	6827,07	1316,222	16,9097	1952119	22256,92
5	16,47	1203,503	287,9815	20,2837	495155,4	5841,33
S					4050526	47439,41

$$\text{Maka } T_{\text{Reyligh}} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{2803424}{9810,32771,13}} = 0,5883 \text{ detik}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$80\%T_R < T < 120\%T_R = 0,470646 < 0,597637 < 0,70597 \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Kinerja batas layan (ζ_s) dan kinerja batas ultimit (ζ_m)

$$\text{Syarat kinerja batas layan } (\zeta_s) = \frac{0,03}{R} \cdot h_i = \frac{0,03}{8,5} \cdot 3670 = 12,95 \text{ mm}$$

$$= \frac{0,03}{R} \cdot h_i = \frac{0,03}{8,5} \cdot 3200 = 11,29 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat kinerja batas ultimit } (\zeta_m) = 0,02 \cdot h_i = 0,02 \cdot 3670 = 73,4 \text{ mm}$$

$$= 0,02 \cdot h_i = 0,02 \cdot 3200 = 64 \text{ mm}$$

Tabel 4.26 Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMM arah X

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_s antar Tingkat (mm)	Syarat drift antar tingkat (mm)	Keterangan
1	3670	3,83	3,83	12,95	Oke
2	6870	10,07	6,24	11,29	Oke
3	10070	15,98	5,91	11,29	Oke
4	13270	20,26	4,29	11,29	Oke
5	16470	22,77	2,51	11,29	Oke

Tabel 4.27 Analisis ζ_s akibat gempa pada SRPMM arah Y

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_s antar Tingkat (mm)	Syarat drift antar tingkat (mm)	Keterangan
1	3670	3,83	2,88	12,95	Oke
2	6870	10,07	4,95	11,29	Oke
3	10070	15,98	5,01	11,29	Oke
4	13270	20,26	4,07	11,29	Oke
5	16470	22,77	3,37	11,29	Oke

Tabel 4.28 Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMM arah X

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_m antar Tingkat (mm)	Syarat drift ζ_m (mm)	Keterangan
1	3670	3,19	22,79	73,4	Oke
2	6870	5,19	37,12	64	Oke
3	10070	4,91	35,14	64	Oke
4	13270	3,57	25,52	64	Oke
5	16470	2,09	14,91	64	Oke

Tabel 4.29 Analisis ζ_m akibat gempa pada SRPMM arah Y

Lantai ke	h_i (m)	ζ_s (mm)	Drift ζ_m antar Tingkat (mm)	Syarat drift ζ_m (mm)	Keterangan
1	3670	2,88	17,12	73,4	Oke
2	6870	4,95	29,48	64	Oke
3	10070	5,01	29,81	64	Oke
4	13270	4,07	24,21	64	Oke
5	16470	3,37	20,08	64	Oke

Drift ζ_m antar tingkat dihitung sesuai pasal 8.2 SNI 1726 2002 dimana $\zeta_m = 0,7R$.

ζ_s (antar tingkat)

4.6.2 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B1

Berikut adalah tabel resume momen desain untuk balok

Tabel 4.30 Resume Momen untuk Balok (B1) 300x500 pada SRPMM

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Tumpuan Kiri (-)	-117.40
	Lapangan	85.82
	Tumpuan Kanan (-)	-146.95
Live	Tumpuan Kiri (-)	-24.85
	Lapangan	23.65
	Tumpuan Kanan (-)	-38.13
1.4 DL	Tumpuan Kiri (-)	-164.36
	Lapangan	120.15

	Tumpuan Kanan (-)	-205
1.2 DL + 1.6LL	Tumpuan Kiri (-)	-180.63
	Lapangan	144
	Tumpuan Kanan (-)	-237.36
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-80.34
	Lapangan	114.17
	Tumpuan Kanan (-)	-304.68
1,2 DL + 1,0 LL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-251.11
	Lapangan	145.40
	Tumpuan Kanan (-)	-124.28
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-148.45
	Lapangan	123.52
	Tumpuan Kanan (-)	-242.54
1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-183
	Lapangan	133.73
	Tumpuan Kanan (-)	-186.41
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-20.28
	Lapangan	77.74
	Tumpuan Kanan (-)	-222.46
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-191.04
	Lapangan	94.01
	Tumpuan Kanan (-)	-42.06
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-88.38
	Lapangan	72.91
	Tumpuan Kanan (-)	-160.32
0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-122.94
	Lapangan	82.34
	Tumpuan Kanan (-)	-104.20

Momen tumpuan kiri negatif maksimum = **-251.11 kNm**

Momen tumpuan kanan negatif maksimum = **-304.68 kNm**

Momen tumpuan positif maksimum = **145.40 kNm**

Momen lapangan maksimum = **138.33 kNm**

Sebelum dilakukan penulangan baiknya dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang merupakan bagian SPBL tersebut di pasal 23.2 SNI 03-2847-2002 untuk WG 4, sebagai berikut:

- Beban aksial balok sudah pasti sangat kecil ($P_u < 0.1A_g f'_c$)
- Bentang bersih minimum harus lebih besar dari 4d
Bentang bersih = $7,325 \text{ m} - 0,7 \text{ m} > 4 \times 447,5 \text{ mm}$
 $6,625 \text{ m} > 1790 \text{ mm}$
- Ratio $\frac{b_w}{h} = \frac{30}{50} = 0,6 > 0,3$
- $b_w = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
- $b_w = 300 < \text{lebar kolom} + 1.5d$
 $= 300 < 700 + 1,5 (447,5) = 300 \text{ mm} < 1371,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Oke}$

Tinjauan pada balok 300x500 mm, no elemen B1:

$$M_u^- = \mathbf{304.68 \text{ kNm}}; \quad M_u^+ = \mathbf{145.40 \text{ kNm}}$$

$$h = 500 \text{ mm}; \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa (karena } f'_c \leq 30 \text{ MPa maka } \beta_1 = 0,85)$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} \quad S = 30 \text{ mm}$$

$$D_p = 25 \text{ mm (diameter tulangan pokok); } D_s = 10 \text{ mm (diameter tulangan sengkang)}$$

$$h_f = 120 \text{ mm}$$

Regangan bahan:

$$\epsilon_c = 0,003; \quad \epsilon_y = \left(\frac{f_y}{E_s} \right) \rightarrow E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$= \left(\frac{400}{200000} \right) = 0,002$$

Rasio tulangan rencana:

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \left(\frac{0,85 \cdot 25}{400} \right) \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,053125 \quad .$$

$$0,85 \cdot 0,6 = 0,0271$$

$$\text{Rasio tulangan maksimum: } \rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0271 = 0,0203$$

$$\text{Rasio tulangan minimum: } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

Menentukan lebar efektif flens:

$$b_f = \frac{1}{4} \cdot l = \frac{1}{4} \cdot 7325 = 1831,25 \text{ mm}$$

$$b_f = b_w + 16 \cdot h_f = 300 + 16 \cdot 120 = 2220 \text{ mm}$$

$$b_f = \text{jarak antar balok} = 300 + (7325 - 300) = 7325 \text{ mm}$$

diambil yang terkecil $b_f = 1831,25 \text{ mm}$

Menentukan tinggi efektif balok

$$d = h - \text{sel} - D_s - D_p/2 = 500 - 30 - 10 - 25/2 = 447,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{sel} + D_s + D_p/2 = 30 + 10 + 25/2 = 52,5 \text{ mm}$$

Menghitung M_f :

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot (1831,25 - 300) \cdot 120}{400} = 9761,719 \text{ mm}^2$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 12240 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{120}{2} \right) = 1513,066 \text{ KNm}$$

Karena $M_{n\text{perlu}} = 380,85 \text{ KNm} < M_f = 1513,066 \text{ KNm}$

Maka perencanaan menggunakan **Balok Persegi**.

A. Perencanaan Balok Tumpuan

Diketahui : M_u negatif maksimum = **304.68 kNm**

$$M_{n\text{perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{304,68}{0,8} \right) = 380,85 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 447,5 = 228,225 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$\begin{aligned} M_b &= 0,85 \cdot f'c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 228,225 \cdot \left(447,5 - \frac{228,225}{2} \right) = 485,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol $0,75 M_b$ terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 485,057 = 363,793 \text{ kNm}$$

$0,75 \cdot M_b = 363,793 \text{ kNm} < M_{n\text{perlu}} = 380,85 \text{ kNm}$ (**digunakan tulangan rangkap**)

Kontrol rasio tulangan perlu:

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824; R_n = \frac{M_{n\text{perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{380,85 \times 10^6}{300 \cdot 447,5^2} = 6,339$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 18,824 \cdot 6,328}{400} \right)} \right) = 0,0194$$

$\rho = 0,0194 > \rho_{\min} = 0,0035$; memenuhi kebutuhan tulangan minimum

$\rho = 0,0194 > \rho_{\max} = 0,0203$; maka digunakan tulangan rangkap

Tentukan agar tulangan tekan leleh:

$$\frac{1}{m} \cdot \beta_1 \cdot \frac{d'}{d} \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \leq (\rho - \rho') \leq \rho_{\max}$$

$$\frac{1}{18,824} \cdot 0,85 \cdot \frac{52,5}{447,5} \cdot \left(\frac{600}{600 - 400} \right) \leq (\rho - \rho') \leq 0,0203$$

$$0,015893 \leq (\rho - \rho') \leq 0,0203$$

Ditentukan:

$$0,01007 \leq (\rho - \rho') = 0,0120 \leq 0,0163$$

$$a = (\rho - \rho') \cdot m \cdot d = 0,0120 \cdot 18,824 \cdot 447,5 = 143,2 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = (\rho - \rho') \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,0120 \cdot 300 \cdot 447,5 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{143,2}{2} \right)$$

$$= 343159110 \text{ Nmm} = 343,159 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 380,85 - 343,159 = 36,691 \text{ kNm}$$

$$\rho' = \frac{M_{n2}}{b \cdot d \cdot f_y \cdot (d - d')} = \frac{36,691 \times 10^6}{300 \cdot 447,5 \cdot 400 \cdot (447,5 - 52,5)} = 0,0018$$

$$\rho = (\rho - \rho') + \rho' = 0,0120 + 0,0018 = 0,0188$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0188 \cdot 300 \cdot 447,5 = 2520,8 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho' \cdot b \cdot d = 0,0018 \cdot 300 \cdot 447,5 = 238,55 \text{ mm}^2$$

Dipakai:

$$\text{Tulangan tarik} = 6D25 = 2945,243 \text{ mm}^2 > 2520,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 1D25 = 490,874 \text{ mm}^2 > 238,55 \text{ mm}^2$$

Hitung kapasitas momen nominal:

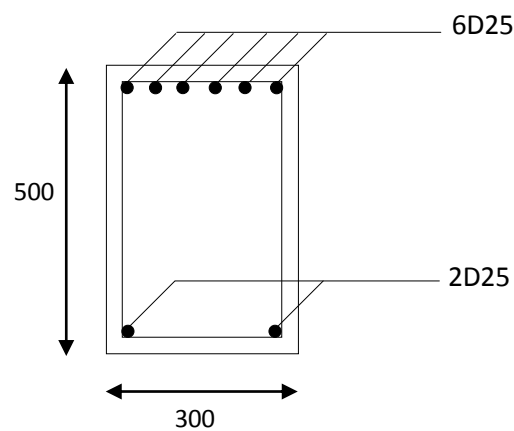
$$M_n = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d')$$

$$M_n = (2945,243 - 490,874) \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{143,2}{2}\right) \\ + 2945,243 \cdot 400 \cdot (447,5 - 52,5)$$

$$M_n = 446597000 \text{ Nmm} = 446,597 \text{ kNm}$$

$$\varphi \cdot M_n = 0,8 \cdot 446,597 = 357,278 \text{ kNm}$$

$$\varphi \cdot M_n = 357,278 \text{ kNm} > M_u = 304,680 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$



Gambar 4.12 Penampang Balok Daerah Tumpuan (B1) 300x500 pada SRPMM

B. Perencanaan Balok Lapangan Momen Positif

Menurut SNI 03-2874-2002 pasal 23.3.2(2), kuat lentur momen positif maupun kuat lentur momen negatif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur momen maksimum yang terdapat pada kedua ujung komponen struktur tersebut.

Diketahui:

$$M_{\text{ulap}} = 138,33 \text{ kNm} > \frac{1}{4} \cdot M_u^- = \frac{1}{4} \cdot 304,68 = 76,17 \text{ kNm}$$

Digunakan nilai $M_u^+ = 138.33 \text{ kNm}$

$$M_{n, \text{perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{138.33}{0,8} \right) = 172,913 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 447,5 = 228,225 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$\begin{aligned} M_b &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 228,225 \left(447,5 - \frac{228,225}{2} \right) = 485,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol $0,75 M_b$ terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 485,057 = 363,793 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 363,793 \text{ kNm} > M_n = 172,913 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

Mencari nilai a:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot a = 6375 \cdot a$$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 6375 \cdot a \cdot \left(447,5 - \frac{a}{2} \right)$$

$$3187,5a^2 - 2848337,5a + 172,913 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 895a + 54247 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = \frac{895 \pm \sqrt{-895^2 - 4 \cdot 54247}}{2} = 65,389 \text{ mm}; c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{65,389}{0,85} \right) = 76,928 \text{ mm}$$

$$T = C = 6375 \cdot a = 6375 \cdot 76,928 = 416,852 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\epsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{447,5 - 76,928}{76,928} \right) \cdot 0,003 = 0,014 > \epsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{416852}{400} \right) = 1042,129 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \left(\frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 300 \cdot 447,5}{400} \right) = 469,875 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 3D25 = 1472,622 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1472,622 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{65,389}{2} \right) = 244,341 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 244,341 = 195,473 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 195,473 \text{ kNm} > M_u = 138,33 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

$$\text{Periksa rasio tulangan: } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{1472,622}{300 \cdot 447,5} \right) = 0,011$$

$$\begin{array}{l} \text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,011 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)} \end{array}$$

C. Perencanaan Balok Lapangan Momen Negatif

Diketahui : M_u negatif maksimum = $\frac{1}{4} \cdot 304,11 = 76,17 \text{ kNm}$

$$M_{n\text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{76,17}{0,8} \right) = 95,213 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 447,5 = 228,225 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$\begin{aligned} M_b &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 228,225 \left(447,5 - \frac{228,225}{2} \right) = 485,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol 0,75 M_b terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 485,057 = 363,793 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 363,793 \text{ kNm} > M_n = 95,213 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

Mencari nilai a:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot a = 6375 \cdot a$$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 6375 \cdot a \cdot \left(447,5 - \frac{a}{2} \right)$$

$$3187,5a^2 - 2852812,5 + 95,213 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 895a + 29871 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-895^2 - 4 \cdot 29871}}{2} = 34,722 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{34,722}{0,85} \right) = 40,849 \text{ mm}$$

$$T = C = 6375 \cdot a = 6375 \cdot 34,722 = 221,353 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{447,5 - 40,849}{40,849} \right) \cdot 0,003 = 0,030 > \varepsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{221353}{400} \right) = 553,382 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \left(\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 300 \cdot 447,5}{400} \right) = 469,875 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D25 = 981,748 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 981,748 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{34,722}{2} \right) = 168,915 \text{ kNm}$$

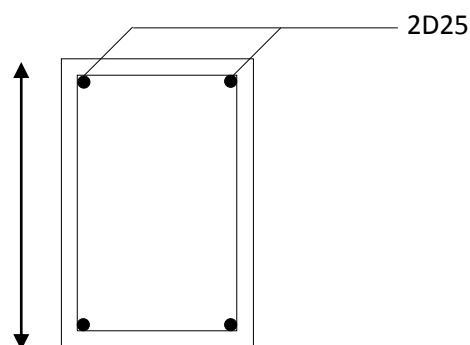
$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 168,915 = 135,132 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 135,132 \text{ kNm} > M_u = 76,17 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

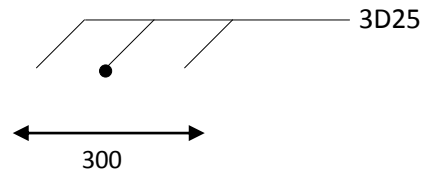
$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{981,748}{300 \cdot 447,5} \right) = 0,0073$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0073 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)}$$



500



Gambar 4.13 Penampang Balok Daerah Lapangan (B1) 300x500 pada SRPMM

D. Penulangan Geser Balok

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

$$= \frac{313,888 + 380,85}{7,325} + \frac{(1,2 \cdot 4,65 + 1,0 \cdot 2,50) \cdot 7,325}{2} = 124,438 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat geser beton : } V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{1}{6} \sqrt{25} \right) \cdot 300 \cdot 447,5 = 111,875 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 111,875 = 83,906 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = 83,906 + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 300 \cdot 447,5 = 447,584 \text{ kN}$$

Karena di daerah sendi plastis gaya geser dipikul seluruhnya oleh tulangan geser

$$\text{maka : } V_c = 0; V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{124,438}{0,75} - 0 = 165,917 \text{ kN}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm $A_v = 157 \text{ mm}^2$

mutu baja 400 MPa, maka :

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 400 \cdot 447,5}{165,917} = 169,466 \text{ mm} > d/4 = 111,875 \text{ mm}$$

Spasi maksimum tulangan sengkang pada daerah plastis tidak boleh melebihi :

1. $\frac{1}{4} \cdot d = \frac{1}{4} \cdot 447,5 = 111,875 \text{ mm}$
2. 8 kali diameter tulangan longitudinal terkecil = $8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$
3. 24 kali diameter sengkang = $24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
4. 300 mm

Sehingga spasi maksimum pada daerah sendi plastis adalah 100 mm.

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 300 \cdot 447,5 = 111,875 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{124,438}{0,75} - 111,875 = 54,042 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157.400.447,5}{54,042} = 520,286 \text{ mm} > d/2 = 223,75 \text{ mm}$$

Untuk spasi maksimum tulangan sengkang di luar sendi plastis tidak boleh melebihi:

1. $\frac{1}{2} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot 447,5 = 223,75 \text{ mm}$

2. 600 mm

Sehingga spasi maksimum di luar sendi plastis digunakan 200 mm.

4.6.3 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B2

Tabel 4.31 Resume Momen untuk Balok B2 300x500 pada SRPMM

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Tumpuan Kiri (-)	-58.97
	Lapangan	54.50
	Tumpuan Kanan (-)	-94.32
Live	Tumpuan Kiri (-)	-19.68
	Lapangan	18.13
	Tumpuan Kanan (-)	-24.93
1.4 DL	Tumpuan Kiri (-)	-82.56
	Lapangan	76.30
	Tumpuan Kanan (-)	-132.05
1.2 DL + 1.6LL	Tumpuan Kiri (-)	-102.25
	Lapangan	94.40
	Tumpuan Kanan (-)	-153.07
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-36.26
	Lapangan	81.92
	Tumpuan Kanan (-)	-189.45
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-144.64
	Lapangan	85.14
	Tumpuan Kanan (-)	-86.78
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX +	Tumpuan Kiri (-)	81.73

0,8 WY	Lapangan	108.37
	Tumpuan Kanan (-)	-300.96
1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-262.62
	Lapangan	86.76
	Tumpuan Kanan (-)	24.73
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	1.11
	Lapangan	48.76
	Tumpuan Kanan (-)	-136.22
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-107.26
	Lapangan	50.66
	Tumpuan Kanan (-)	-33.56
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	119.10
	Lapangan	43.50
	Tumpuan Kanan (-)	-247.73
0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-225.25
	Lapangan	83.61
	Tumpuan Kanan (-)	77.95

Momen tumpuan kiri maksimum = **-262.62 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum = **-300.96 kNm**

Momen positif tumpuan = **169.09 kNm**

Momen lapangan maksimum = **108.37 kNm**

Sebelum dilakukan penulangan baiknya dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang merupakan bagian SPBL tersebut di pasal 23.2 SNI 03-2847-2002 untuk WG 4, sebagai berikut :

- Beban aksial balok sudah pasti sangat kecil ($P_u < 0.1A_g f'_c$)
- Bentang bersih minimum harus lebih besar dari 4d
Bentang bersih = 5.6 m – 0,7 m > 4 x 447,5 mm
4,9 m > 1,790 m
- Ratio $\frac{b_w}{h} = \frac{30}{50} = 0,6 > 0,3$
- $b_w = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
- $b_w = 300 < \text{lebar kolom} + 1,5d$

$$= 300 < 700 + 1,5 (447,5) = 300 \text{ mm} < 1371,25 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Oke}$$

Tinjauan pada balok 300x500 mm, no elemen B2 :

$$\begin{aligned} M_u^- &= \mathbf{300.96 \text{ kNm}}; \quad M_u^+ &= \mathbf{169.09 \text{ kNm}} \\ h &= 500 \text{ mm}; \quad b &= 300 \text{ mm} \\ f'_c &= 25 \text{ MPa (karena } f'_c \leq 30 \text{ MPa maka } \beta_1 = 0,85) \\ f_y &= 400 \text{ MPa}; \quad S &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$D_p = 25 \text{ mm}$ (diameter tulangan pokok); $D_s = 10 \text{ mm}$ (diameter tulangan sengkang)

A. Perencanaan Balok Tumpuan

Diketahui : M_u negatif maksimum = **300.96 kNm**

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{300.96}{0,8} \right) = 376.2 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang :

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 447,5 = 228,225 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$\begin{aligned} M_b &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 228,225 \left(447,5 - \frac{228,225}{2} \right) = 485,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol 0,75 M_b terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 485,057 = 363,793 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 363,793 \text{ kNm} < M_{n \text{ perlu}} = 376.2 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan rangkap)}$$

Kontrol rasio tulangan perlu:

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,824; \quad R_n = \frac{M_{n \text{ perlu}}}{b \cdot d^2} = \frac{376.2 \times 10^6}{300 \cdot 447,5^2} = 6,262$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,824} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 18,824 \cdot 6,262}{400} \right)} \right) = 0,0191$$

$$\rho = 0,0191 > \rho_{\min} = 0,0035; \text{ memenuhi kebutuhan tulangan minimum}$$

$$\rho = 0,0191 > \rho_{\max} = 0,0203; \text{ maka digunakan tulangan rangkap}$$

Tentukan agar tulangan tekan leleh:

$$\frac{1}{m} \cdot \beta_1 \cdot \frac{d'}{d} \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \leq (\rho - \rho') \leq \rho_{\max}$$

$$\frac{1}{18,824} \cdot 0,85 \cdot \frac{52,5}{447,5} \cdot \left(\frac{600}{600 - 400} \right) \leq (\rho - \rho') \leq 0,0203$$

$$0,015893 \leq (\rho - \rho') \leq 0,0203$$

Ditentukan:

$$0,01007 \leq (\rho - \rho') = 0,0120 \leq 0,0163$$

$$a = (\rho - \rho') \cdot m \cdot d = 0,0120 \cdot 18,824 \cdot 447,5 = 143,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= (\rho - \rho') \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,0120 \cdot 300 \cdot 447,5 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{143,2}{2} \right) \\ &= 343159110 \text{ Nmm} = 343,159 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 376,2 - 343,159 = 33,041 \text{ kNm}$$

$$\rho' = \frac{M_{n2}}{b \cdot d \cdot f_y \cdot (d - d')} = \frac{33,041 \times 10^6}{300 \cdot 447,5 \cdot 400 \cdot (447,5 - 52,5)} = 0,0016$$

$$\rho = (\rho - \rho') + \rho' = 0,0120 + 0,0016 = 0,0186$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0186 \cdot 300 \cdot 447,5 = 2491,37 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = \rho' \cdot b \cdot d = 0,0016 \cdot 300 \cdot 447,5 = 209,12 \text{ mm}^2$$

Dipakai:

$$\text{Tulangan tarik} = 6D25 = 2945,243 \text{ mm}^2 > 2491,37 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 1D25 = 490,874 \text{ mm}^2 > 209,12 \text{ mm}^2$$

Hitung kapasitas momen nominal:

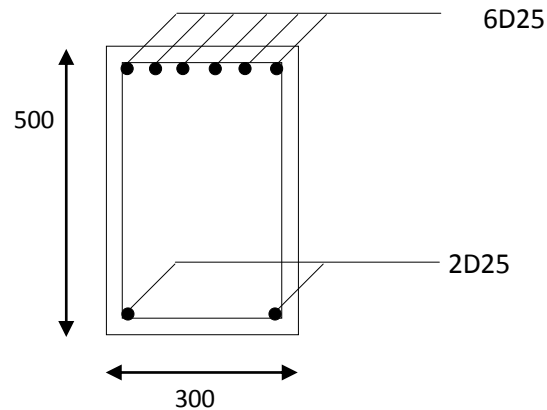
$$M_n = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d')$$

$$M_n = (2945,243 - 490,874) \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{143,2}{2} \right)$$

$$+2945,243 \cdot 400 \cdot (447,5 - 52,5) = 446597000 \text{ Nmm} = 446,597 \text{ kNm}$$

$$\varphi \cdot M_n = 0,8 \cdot 446,597 = 357,278 \text{ kNm}$$

$$\varphi \cdot M_n = 357,278 \text{ kNm} > M_u = 300,96 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$



Gambar 4.14 Penampang Balok Daerah Tumpuan (B2) 300x500 pada SRPMM

B. Perencanaan Balok Lapangan Momen Positif

Menurut SNI 03-2874-2002 pasal 23.3.2(2), kuat lentur momen positif maupun kuat lentur momen negatif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur momen maksimum yang terdapat pada kedua ujung komponen struktur tersebut.

Diketahui:

$$M_{\text{ulap}} = 108,37 \text{ kNm} > \frac{1}{4} \cdot M_u^- = \frac{1}{4} \cdot 300,96 \text{ kNm} = 75,24 \text{ kNm}$$

Digunakan nilai $M_u^+ = 108,37 \text{ kNm}$

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\varphi} \right) = \left(\frac{108,37}{0,8} \right) = 135,463 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 447,5 = 228,225 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$\begin{aligned} M_b &= 0,85 \cdot f'c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 228,225 \left(447,5 - \frac{228,225}{2} \right) = 485,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol $0,75 M_b$ terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 485,057 = 363,793 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 363,793 \text{ kNm} > M_n = 135,463 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

Mencari nilai a :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot a = 6375 \cdot a$$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 6375 \cdot a \cdot \left(447,5 - \frac{a}{2} \right)$$

$$3187,5a^2 - 2852812,5a + 135,46 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 895a + 42498 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-895^2 - 4 \cdot 42498}}{2} = 50,312 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{50,312}{0,85} \right) = 59,191 \text{ mm}$$

$$T = C = 6375 \cdot a = 6375 \cdot 50,312 = 320,74 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\epsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{447,5 - 59,191}{59,191} \right) \cdot 0,003 = 0,020 > \epsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{320740}{400} \right) = 801,849 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \left(\frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 300 \cdot 447,5}{400} \right) = 469,875 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D25 = 981,748 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 981,748 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{59,191}{2} \right) = 165,854 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 165,854 = 132,683 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 132,683 \text{ kNm} > M_u = 108,370 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{981,748}{300 \cdot 447,5} \right) = 0,0073$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0073 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

C. Perencanaan Balok Lapangan Momen Negatif

Diketahui : M_u negatif maksimum = $\frac{1}{4} \cdot 300,96 = 75,24 \text{ kNm}$

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{75,24}{0,8} \right) = 94,050 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 447,5 = 228,225 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 228,225 \left(447,5 - \frac{228,225}{2} \right) = 485,057 \text{ kNm}$$

Kontrol $0,75 M_b$ terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 485,057 = 363,793 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 363,793 \text{ kNm} > M_n = 94,050 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

Mencari nilai a : $C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot a = 6375 \cdot a$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 6375 \cdot a \cdot \left(447,5 - \frac{a}{2} \right)$$

$$3187,5a^2 - 2852812,5 + 94,05 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 895a + 29506 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-895^2 - 4 \cdot 29506}}{2} = 34,28 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{34,28}{0,85} \right) = 40,33 \text{ mm}$$

$$T = C = 6375 \cdot a = 6375 \cdot 34,28 = 218,538 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\epsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{447,5 - 40,33}{40,33} \right) \cdot 0,003 = 0,030 > \epsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{218538}{400} \right) = 546,345 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \left(\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 300 \cdot 447,5}{400} \right) = 469,875 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D25 = 981,748 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 981,748 \cdot 400 \cdot \left(447,5 - \frac{32,28}{2} \right) = 75,24 \text{ kNm}$$

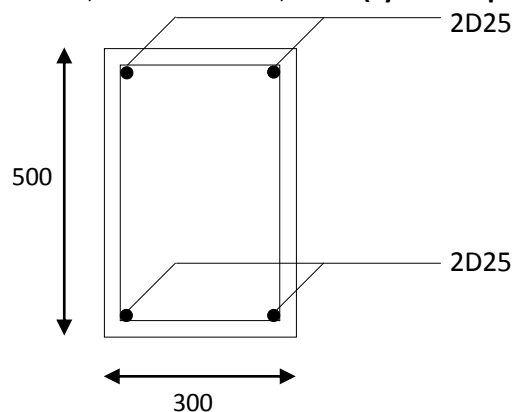
$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 75,24 = 169,002 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 169,002 \text{ kNm} > M_u = 75,24 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{981748}{300 \cdot 447,5} \right) = 0,0073$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0073 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)}$$



Gambar 4.15 Penampang Balok Daerah Lapangan (B2) 300x500 pada SRPMM

D. Penulangan Geser Balok

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{262,6 + 300,96}{5,6} + \frac{(1,2 \cdot 4,7 + 1,0 \cdot 2,5) \cdot 5,6}{2} = 148,4 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat geser beton : } V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{1}{6} \sqrt{25} \right) \cdot 300 \cdot 447,5 = 111,875 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 111,875 = 83,906 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = 83,906 + \left(\frac{2}{3} \sqrt{25} \right) \cdot 300 \cdot 447,5 = 447,584 \text{ kN}$$

Karena di daerah sendi plastis gaya geser dipikul seluruhnya oleh tulangan geser maka : $V_c = 0$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{148,423}{0,75} - 0 = 197,897 \text{ kN}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm $A_v = 157 \text{ mm}^2$ mutu baja 400 MPa, maka:

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 400 \cdot 447,5}{197,897} = 142,080 \text{ mm} > d/4 = 111,875 \text{ mm}$$

Spasi maksimum tulangan sengkang pada daerah plastis tidak boleh melebihi :

1. $\frac{1}{4} \cdot d = \frac{1}{4} \cdot 447,5 = 111,875 \text{ mm}$
2. 8 kali diameter tulangan longitudinal terkecil = $8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$
3. 24 kali diameter sengkang = $24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
4. 300 mm

Sehingga spasi maksimum pada daerah sendi plastis adalah 100 mm.

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 300 \cdot 447,5 = 111,875 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{197,897}{0,75} - 111,875 = 86,022 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 400 \cdot 447,5}{86,022} = 326,859 \text{ mm} > d/2 = 223,75 \text{ mm}$$

Untuk spasi maksimum tulangan sengkang di luar sendi plastis tidak boleh melebihi:

1. $\frac{1}{2} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot 447,5 = 223,75 \text{ mm}$
2. 600 mm

Sehingga spasi maksimum di luar sendi plastis digunakan 200 mm.

4.6.4 Perencanaan Penulangan Lentur dan Geser Balok B3

Tabel 4.32 Resume Momen untuk Balok B3 250x300 pada SRPMM

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Tumpuan Kiri (-)	-15.90
	Lapangan	13.87
	Tumpuan Kanan (-)	-22.52

Live	Tumpuan Kiri (-)	-7.35
	Lapangan	6.60
	Tumpuan Kanan (-)	-10.33
1.4 DL	Tumpuan Kiri (-)	-22.27
	Lapangan	19.42
	Tumpuan Kanan (-)	-31.53
1.2 DL + 1.6LL	Tumpuan Kiri (-)	-30.84
	Lapangan	27.20
	Tumpuan Kanan (-)	-43.54
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-19.44
	Lapangan	23.07
	Tumpuan Kanan (-)	-44.69
1,2 DL + 1,0 LL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-33.43
	Lapangan	23.41
	Tumpuan Kanan (-)	-30.01
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-23.92
	Lapangan	23.48
	Tumpuan Kanan (-)	-39.38
1,2 DL + 1,0 LL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-39.38
	Lapangan	23.00
	Tumpuan Kanan (-)	23.00
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-7.32
	Lapangan	-7.32
	Tumpuan Kanan (-)	-27.61
0,9 DL – 1,0 EX – 0,3 EY – 0,8 WX – 1,3 WY	Tumpuan Kiri (-)	-21.31
	Lapangan	12.66
	Tumpuan Kanan (-)	-12.93
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-11.81
	Lapangan	12.72
	Tumpuan Kanan (-)	-22.30
0,9 DL – 0,3 EX – 1,0 EY – 1,3 WX – 0,8 WY	Tumpuan Kiri (-)	-16.82

	Lapangan	12.25
	Tumpuan Kanan (-)	-18.24

Momen tumpuan kiri maksimum = - **39.38 kNm**

Momen tumpuan kanan maksimum = - **44.69 kNm**

Momen lapangan maksimum = **27.20 kNm**

Sebelum dilakukan penulangan baiknya dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang merupakan bagian SPBL tersebut di pasal 23.2 SNI 03-2847-2002 untuk WG 4, sebagai berikut:

- Beban aksial balok sudah pasti sangat kecil ($P_u < 0.1A_g f'_c$)
- Bentang bersih minimum harus lebih besar dari 4d
Bentang bersih = 4,5 m – 0,7 m > 4 x 252 mm
3.8 m > 1,008 m
- Ratio $\frac{b_w}{h} = \frac{25}{30} = 0,833 > 0,3$
- $b_w = 250 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
- $b_w = 250 < \text{lebar kolom} + 1,5d$
= 250 < 300 + 1,5 (252) = 250 mm < 378 mm **Oke**

Tinjauan pada balok 250x300 mm, no elemen B3 :

$M_u^- = 44.69 \text{ kNm}; M_u^+ = 27.20 \text{ kNm}$

$h = 300 \text{ mm}; b = 250 \text{ mm}$

$f'_c = 25 \text{ MPa}$ (karena $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$)

$f_y = 400 \text{ MPa}; S = 30 \text{ mm}$

$D_p = 16 \text{ mm}$ (diameter tulangan pokok); $D_s = 10 \text{ mm}$ (diameter tulangan sengkang)

A. Perencanaan Balok Tumpuan Momen Negatif

Diketahui : M_u negatif maksimum = **44,69 kNm**

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{44,69}{0,8} \right) = 55,863 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 252 = 128,52 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 128,52 \left(252 - \frac{128,52}{2} \right) = 128,182 \text{ kNm}$$

Kontrol 0,75 M_b terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 128,182 = 96,136 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 96,136 \text{ kNm} > M_{n\text{perlu}} = 55,863 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

$$\text{Mencari nilai } a : C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot a = 5312,5 \cdot a$$

$$M_{n\text{perlu}} \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 5312,5 \cdot a \cdot \left(252 - \frac{a}{2} \right)$$

$$2656,25a^2 - 1338750a + 55,86 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 504a + 21031 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-504^2 - 4 \cdot 21031}}{2} = 45,909 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{45,909}{0,85} \right) = 54,011 \text{ mm}$$

$$T = C = 5312,5 \cdot a = 5312,5 \cdot 45,909 = 243,893 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{252 - 54,011}{54,011} \right) \cdot 0,003 = 0,011 > \varepsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{243893}{400} \right) = 609,732 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = \left(\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 250 \cdot 252}{400} \right) = 220,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 4D16 = 804,248 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 804,248 \cdot 400 \cdot \left(252 - \frac{45,909}{2} \right) = 73,684 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 73,684 = 58,947 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 58,947 \text{ kNm} > M_u = 44,69 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{804,248}{250 \cdot 252} \right) = 0,0128$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0128 < 0,0203 \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

B. Perencanaan Balok Tumpuan Momen Positif

Menurut SNI 03-2874-2002 pasal 23.3.2(2), Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

Diketahui :

$$M_u^+ = 27,2 \text{ kNm} > \frac{1}{2} \cdot M_u^- = \frac{1}{2} \cdot 44,69 = 22,345 \text{ kNm}$$

Digunakan nilai $M_u^+ = 27,2 \text{ kNm}$

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{27,2}{0,8} \right) = 34 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 252 = 128,52 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 128,52 \left(252 - \frac{128,52}{2} \right) = 128,182 \text{ kNm}$$

Kontrol $0,75 M_b$ terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 128,182 = 96,136 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 96,136 \text{ kNm} > M_{n \text{ perlu}} = 34 \text{ kNm} \quad (\text{digunakan tulangan tunggal})$$

Mencari nilai a : $C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot a = 5312,5 \cdot a$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 5312,5 \cdot a \cdot \left(252 - \frac{a}{2} \right)$$

$$2656,25a^2 - 1338750a + 34 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 504a + 12800 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-504^2 - 4 \cdot 12800}}{2} = 26,825 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{26,825}{0,85} \right) = 31,558 \text{ mm}$$

$$T = C = 5312,5 \cdot a = 5312,5 \cdot 26,825 = 142,505 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{252 - 31,558}{31,558} \right) \cdot 0,003 = 0,021 > \varepsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{142505}{400} \right) = 356,263 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \left(\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 250 \cdot 252}{400} \right) = 220,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D16 = 402,124 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 402,124 \cdot 400 \cdot \left(252 - \frac{26,825}{2} \right) = 38,277 \text{ kNm}$$

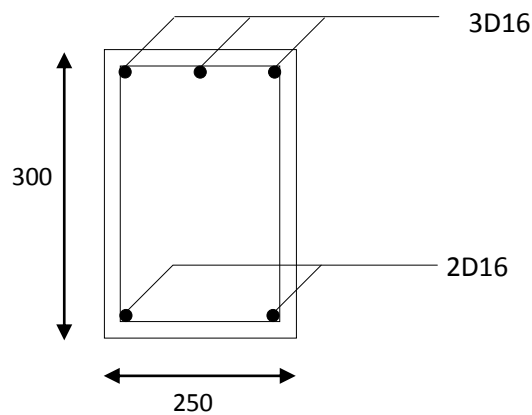
$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 38,277 = 30,701 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 30,701 \text{ kNm} > M_u = 27,2 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{402,124}{250 \cdot 252} \right) = 0,0064$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0064 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)}$$



Gambar 4.16 Penampang Balok Daerah Tumpuan (B3) 250x300 pada SRPMM

C. Perencanaan Balok Lapangan Momen Positif

Menurut SNI 03-2874-2002 pasal 23.3.2(2), kuat lentur momen positif maupun kuat lentur momen negatif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur momen maksimum yang terdapat pada kedua ujung komponen struktur tersebut.

Diketahui:

$$M_{\text{ulap}} = 27,22 \text{ kNm} > \frac{1}{4} \cdot M_u^- = \frac{1}{4} \cdot 44,69 = 11,1725 \text{ kNm}$$

Digunakan nilai $M_u^+ = 27,2 \text{ kNm}$

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{27,2}{0,8} \right) = 34 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 252 = 128,52 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$\begin{aligned} M_b &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 128,52 \cdot \left(252 - \frac{128,52}{2} \right) = 128,182 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol $0,75 M_b$ terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 128,182 = 96,136 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 96,136 \text{ kNm} > M_{n \text{ perlu}} = 34 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

Mencari nilai a : $C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot a = 5312,5 \cdot a$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 5312,5 \cdot a \cdot \left(252 - \frac{a}{2} \right)$$

$$2656,25a^2 - 1338750a + 34 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 504a + 12800 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-504^2 - 4 \cdot 12800}}{2} = 26,825 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{26,825}{0,85} \right) = 31,558 \text{ mm}$$

$$T = C = 5312,5 \cdot a = 5312,5 \cdot 26,825 = 142,505 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d-c}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{252-31,558}{31,558} \right) \cdot 0,003 = 0,021 > \varepsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{142505}{400} \right) = 356,263 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \left(\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 250 \cdot 252}{400} \right) = 220,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D16 = 402,124 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 402,124 \cdot 400 \cdot \left(252 - \frac{26,825}{2} \right) = 38,277 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 38,277 = 30,701 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 30,701 \text{ kNm} > M_u = 27,2 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{402,124}{250 \cdot 252} \right) = 0,0064$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0064 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)}$$

D. Perencanaan Balok Lapangan Momen Negatif

Diketahui : M_u negatif maksimum = $\frac{1}{4} \cdot 44,69 = 11,1725 \text{ kNm}$

$$M_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{M_u}{\phi} \right) = \left(\frac{11,1725}{0,8} \right) = 13,966 \text{ kNm}$$

Mencari blok tekan beton kondisi berimbang:

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \cdot 252 = 128,52 \text{ mm}$$

Menghitung momen kondisi berimbang:

$$M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a_b \cdot \left(d - \frac{a_b}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 128,52 \cdot \left(252 - \frac{128,52}{2} \right) = 128,182 \text{ kNm}$$

Kontrol 0,75 M_b terhadap M_n :

$$0,75 \cdot M_b = 0,75 \cdot 128,182 = 96,136 \text{ kNm}$$

$$0,75 \cdot M_b = 96,136 \text{ kNm} > M_n = 13,966 \text{ kNm} \text{ (digunakan tulangan tunggal)}$$

Mencari nilai a : $C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot a = 5312,5 \cdot a$

$$M_n \cdot 10^6 = C \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 5312,5 \cdot a \cdot \left(252 - \frac{a}{2} \right)$$

$$2656,25a^2 - 1338750a + 13,97 \cdot 10^6 = 0$$

$$a^2 - 504a + 5258 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh:

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{895 \pm \sqrt{-504^2 - 4 \cdot 5258}}{2} = 10,657 \text{ mm}$$

$$c = \left(\frac{a}{\beta_1} \right) = \left(\frac{10,657}{0,85} \right) = 12,538 \text{ mm}$$

$$T = C = 5312,5 \cdot a = 5312,5 \cdot 10,657 = 56,616 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{252 - 12,538}{12,538} \right) \cdot 0,003 = 0,057 > \varepsilon_y = 0,002$$

Luas tulangan tarik ($f_s = f_y$)

$$A_s = \left(\frac{T}{f_y} \right) = \left(\frac{56616}{400} \right) = 141,541 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = \left(\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \right) = \left(\frac{1,4 \cdot 250 \cdot 252}{400} \right) = 220,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 1D16 = 201,062 mm²

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 201,062 \cdot 400 \cdot \left(252 - \frac{10,657}{2} \right) = 19,838 \text{ kNm}$$

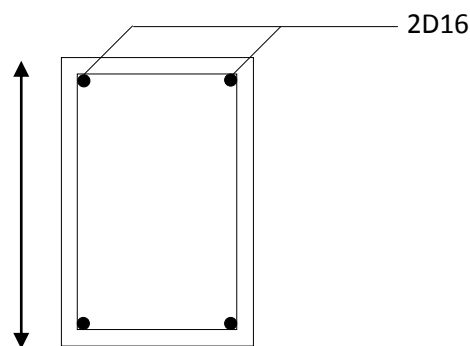
$$\Phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 19,838 = 15,871 \text{ kNm}$$

$$\Phi \cdot M_n = 15,871 \text{ kNm} > M_u = 11,173 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aman}$$

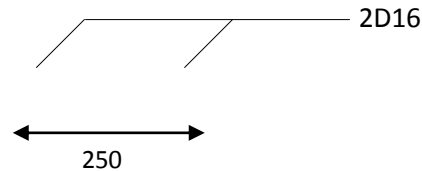
$$\text{Periksa rasio tulangan : } \rho = \left(\frac{A_s}{b_w \cdot d} \right) = \left(\frac{201,062}{250 \cdot 252} \right) = 0,0032$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,0032 < 0,0203 \text{ (syarat terpenuhi)}$$



300



Gambar 4.17 Penampang Balok Daerah Lapangan (B3) 250x300 pada SRPMM

E. Penulangan Geser Balok

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{39,38 + 44,69}{4,5} + \frac{(1,2 \cdot 4,65 + 1,0 \cdot 2,50) \cdot 4,5}{2} = 29,72 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat geser beton: } V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{1}{6} \sqrt{25} \right) \cdot 250 \cdot 252 = 52,5 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 52,5 = 39,375 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = 39,375 + \left(\frac{2}{3} \sqrt{25} \right) \cdot 250 \cdot 252 = 210,039 \text{ kN}$$

Karena di daerah sendi plastis gaya geser dipikul seluruhnya oleh tulangan geser maka : $V_c = 0$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{29,728}{0,75} - 0 = 39,637 \text{ kN}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm $A_v = 157 \text{ mm}^2$

mutu baja 400 MPa, maka :

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 400 \cdot 252}{39,637} = 399,461 \text{ mm} > d/4 = 63 \text{ mm}$$

Spasi maksimum tulangan sengkang pada daerah plastis tidak boleh melebihi:

1. $\frac{1}{4} \cdot d = \frac{1}{4} \cdot 252 = 63 \text{ mm}$
2. 8 kali diameter tulangan longitudinal terkecil = $8 \cdot 25 = 128 \text{ mm}$
3. 24 kali diameter sengkang = $24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
4. 300 mm

Sehingga spasi maksimum pada daerah sendi plastis adalah 50 mm.

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 250 \cdot 252 = 52,5 \text{ kN}; V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{29,728}{0,75} - 52,5 = 12,863 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 250 \cdot 252}{12,863} = 1230,985 \text{ mm} > d/2 = 126 \text{ mm}$$

Untuk spasi maksimum tulangan sengkang di luar sendi plastis tidak boleh melebihi:

- 1 $\frac{1}{2} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot 252 = 126 \text{ mm}$
- 2 600 mm

Sehingga spasi maksimum di luar sendi plastis digunakan 100 mm.

5.6.5 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 700x700

Tabel 4.33 Resume Momen untuk Kolom 700x700 pada SRPMM

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Momen Atas	-49.5698
	Momen Bawah	23.2093
Live	Momen Atas	-12.0774
	Momen Bawah	7.0442
1.4 DL	Momen Atas	-69.3977
	Momen Bawah	32.493
1.2 DL + 1.6LL	Momen Atas	-78.8075
	Momen Bawah	39.1219
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-112.1812
	Momen Bawah	441.1294
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas	-30.941
	Momen Bawah	-371.3386
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	34.7253
	Momen Bawah	154.6609
1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas	-57.9118

	Momen Bawah	-84.8701
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas	-85.2329
	Momen Bawah	427.1223
0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas	-3.9927
	Momen Bawah	-385.3456
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas	-58.262
	Momen Bawah	140.6538
0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas	-30.9635
	Momen Bawah	-98.8771

Perancangan kolom 700mm x 700mm, Nomor elemen 22:

$$P_u = 1742,55 \text{ kN}; \quad M_u = 397,05 \text{ kNm}$$

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

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$D_p = 19 \text{ mm (diameter tulangan pokok); } D_s = 12 \text{ mm (diameter tulangan geser)}$$

$$L_u = 3670 \text{ mm}$$

Penyelesaian :

A. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Menentukan tinggi efektif kolom

$$d = h - s - D_s - \frac{D_p}{2} = 700 - 30 - 12 - \frac{19}{2} = 648,5 \text{ mm}$$

$$d' = s + D_s + \frac{D_p}{2} = 30 + 12 + \frac{19}{2} = 61,5 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$Bd = 0,5$$

Analisis tampang kolom:

1) Kolom no. 22 (700 mm x 700 mm)

$$I_{gk} = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot b \cdot h^3 = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot 700 \cdot 700^3 = 20008333333 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gk}}{2,5}\right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 20008333333}{2,5}\right)}{(1 + 0,5)} = 1,254 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 3670 \text{ mm}$$

2) Balok nomor elemen 937 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3\right) = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot 300 \cdot 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$EI_b = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gb}}{5}\right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 3125000000}{5}\right)}{(1 + 0,5)} = 9,792 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 7325 \text{ mm}$$

3) Balok nomor elemen 115 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3\right) = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot 300 \cdot 500^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$EI_b = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gb}}{5}\right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 3125000000}{5}\right)}{(1 + 0,5)} = 9,792 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

4) Kolom nomor elemen 229 (600 mm x 600 mm)

$$I_{gk} = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot b \cdot h^3 = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot 600 \cdot 600^3 = 10800000000 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_{gk}}{2,5}\right)}{(1 + \beta_d)} = \frac{\left(\frac{23500 \cdot 10800000000}{2,5}\right)}{(1 + 0,5)} = 6,768 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$L = 3200 \text{ mm}$$

5) Faktor kekangan ujung Ψ yang terjadi pada kolom

$$\Psi_A = \frac{\left(\frac{EI_K}{l_K}\right) + \left(\frac{EI_K}{l_K}\right)}{\left(\frac{EI_B}{l_B}\right) + \left(\frac{EI_B}{l_B}\right)} = \frac{\left(\frac{1,254 \times 10^{14}}{3670}\right) + \left(\frac{6,768 \times 10^{13}}{3200}\right)}{\left(\frac{9,792 \times 10^{12}}{7325}\right) + \left(\frac{9,792 \times 10^{12}}{4500}\right)} = 15,75$$

$$\Psi_B = 0 \text{ (tumpuan jepit)}$$

Dari grafik nomogram panjang efektif kolom dengan pengaku diperoleh nilai faktor k sebesar = 0,69

6) Menentukan angka kelangsingan kolom :

$$r = 0,3 \cdot h \rightarrow 0,3 \text{ untuk kolom persegi}$$

$$= 0,3 \cdot 700 = 210$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = \left(\frac{0,69 \cdot 3670}{210} \right) = 12,059 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = \left(\frac{0,69 \cdot 3670}{210} \right) = 12,059 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{336,197}{397,053} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = \left(\frac{0,69 \cdot 3670}{210} \right) = 12,059 < 12,122 \rightarrow \text{Kolom Pendek}$$

7) Eksentrisitas:

$$e = \left(\frac{M_{u,k}}{P_u} \right) = \left(\frac{397,05}{1742,55} \right) = 227,857 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 0,10 \cdot h = 0,10 \cdot 700 = 70 \text{ mm}$$

8) Perhitungan P_{nb} pendekatan:

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 648,5 = 389,1 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot C_b = 0,85 \cdot 389,1 = 330,735 \text{ mm}$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 25 \cdot 330,735 \cdot 700 \\ = 4919683,13 \text{ N} = 4919,683 \text{ kN}$$

9) Perhitungan P_n perlu:

$$0,10 \cdot f_c' \cdot A_g = 0,10 \cdot 25 \cdot (700 \cdot 700) = 1225000 \text{ N} \\ = 1225 \text{ kN} < P_u = 1742,55 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi kekuatan Φ sebesar = 0,65 sehingga diperoleh:

$$P_{n \text{ perlu}} = \left(\frac{P_u}{\phi} \right) = \left(\frac{1742,55}{0,65} \right)$$

$$= 2680,846 \text{ kN} < P_{nb} = 4931,063 \text{ kN} \rightarrow \text{Diperkirakan runtuh tarik}$$

$$a = \frac{P_n \text{ perlu}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2680846}{0,85 \cdot 25 \cdot 700} = 180,225 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{P_n \text{ perlu} \cdot \left(e - \frac{h}{2} + \frac{a}{2} \right)}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$A_s = \frac{2680846 \cdot \left(227,857 - \frac{700}{2} + \frac{180,225}{2} \right)}{400 \cdot (648,5 - 61,5)} = 365,706 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_s'$$

10) Kontrol luas tulangan:

$$A_{st} = A_s + A_s' = 365,706 + 365,706 = 731,411 \text{ mm}^2$$

$$A_{st \text{ min}} = 1\% \cdot A_g = 0,01 \cdot (700 \cdot 700) = 4900 \text{ mm}^2$$

11) Direncanakan:

$$A_s = 9D19 = 2551,517 \text{ mm}^2; A_s' = 9D19 = 2551,517 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 2551,517 + 2551,517 = 5103,517 \text{ mm}^2 = 1,04\% \cdot A_g$$

12) Perhitungan regangan dan tegangan baja:

$$\varepsilon_{cu} = 0,003; E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$c = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 648,5 = 389,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{389,1 - 61,5}{389,1} \cdot 0,003 = 0,0025$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0,002; \varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

13) Perhitungan gaya-gaya dalam:

$$T = A_s \cdot f_y = 2551,517 \cdot 400 = 1020703 \text{ N} = 1020,703 \text{ kN}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 25 \cdot 180,225 \cdot 700 \\ = 2680846 \text{ N} = 2680,846 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y = 2551,517 \cdot 400 = 1020703 \text{ N} = 1020,703 \text{ kN}$$

$$P_{nb} = C_s + C_c - T \\ = 1020703 + 2680846 - 1020703 = 2680846 \text{ N} = 2680,846 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= T \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) + Cc \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + Cs \cdot \left(\frac{h}{2} - d' \right) \\
 &= 1020703 \cdot \left(648,5 - \frac{700}{2} \right) + 2680846 \cdot \left(\frac{700}{2} - \frac{180,225}{2} \right) \\
 &\quad + 1020703 \cdot \left(\frac{700}{2} - 61,5 \right) \\
 &= 1295871000 \text{ Nmm} = 1295,871 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{1295,871}{2680,846} = 0,483381 \quad m = 483,381 \text{ mm}$$

$e < e_b$, **Kolom Runtuh Tekan**

14) Pola keruntuhan tekan (menggunakan pendekatan Whitney):

$$A_n = A_g - A_{st} = 490000 - 5103,517 = 484896,483 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{n0} &= A_n \cdot 0,85 \cdot f'_c + A_{st} \cdot f_y \\
 &= 484896,483 \cdot 0,85 \cdot 25 + 5103,517 \cdot 400 \\
 &= 12345457 \text{ N} = 12345,457 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{P_{n0}}{1 + \left(\frac{P_{n0}}{P_{nb}} - 1 \right) \cdot \frac{e}{e_b}} \\
 P_n &= \frac{12345457}{1 + \left(\frac{12345457}{2680846} - 1 \right) \cdot \frac{227,857}{483,381}} = 4573474 \text{ N} = 4573,474 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

15) Kontrol keamanan:

$$\begin{aligned}
 P_u &\geq 0,1 \cdot f'_c \cdot A_g \\
 1742550 \text{ N} &\geq 0,1 \cdot 25 \cdot 700 \cdot 700 \\
 1742550 \text{ N} &\geq 1225000 \text{ N} \text{ digunakan faktor reduksi } \Phi = 0,65 \\
 \phi \cdot P_n &= 0,65 \cdot 4573474 \\
 \phi \cdot P_n &= 2972,758 \text{ kN} > P_u = 1742,55 \rightarrow \text{ Kolom Aman}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

$$M_{nt} = 560,33 \text{ kNm}; M_{nb} = 661,76 \text{ kNm}$$

$$V_u = \left(\frac{M_{ut} + M_{nb}}{l_n} \right) = \left(\frac{560,33 + 661,76}{3,670} \right) = 387,963 \text{ kN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left(1 + \frac{1742,55}{14 \cdot 700 \cdot 700} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 700 \cdot 648,5 = 474384 \text{ N} = 474,384 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 474,384 = 355,788 \text{ kN} > V_u = 387,963 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 474,384 = 177,894 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d = 0,75 \cdot 475,481 + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{25} \right) \cdot 700 \cdot 650$$

$$= 1513522 \text{ N} = 1513,522 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c < V_u < \phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \right) \cdot b_w \cdot d$$

→ Maka diperlukan tulangan geser sebesar V_s

Menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis ($\leq 1_0$)

Jarak maksimum 1_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar :

- 1/6 tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3670 = 561,667 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang = $h = 700 \text{ mm}$
- 500 mm

Digunakan $1_0 = 700 \text{ mm}$

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{387,963}{0,75} - 0 = 517,284 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{226,195 \cdot 240 \cdot 648,5}{517,284 \times 10^3} = 68,057 \text{ mm}$$

→ Dipakai jarak sengkang, $s = 70 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang tidak boleh lebih dari :

$$S_0 = 8 \cdot D_p = 8 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S_0 = 24 \cdot D_s = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 700 = 350 \text{ mm}$$

$$S_0 = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 70 mm dipasang sepanjang 700 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

Menentukan jarak sengkang pada daerah diluar sendi plastis ($> 1_0$):

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'}\right) \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left(1 + \frac{1742550}{14 \cdot 700 \cdot 700}\right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{25}\right) \cdot 700 \cdot 648,5 = 474384 \text{ N} = 474,384 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{387,963}{0,75} - 474,384 = 42,9 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{226,195 \cdot 240 \cdot 648,5}{42,9 \times 10^3} = 820,625 \text{ mm}$$

\rightarrow Dipakai jarak sengkang, $s = 400 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah $> 1_0$ tidak boleh lebih dari:

$$2 \cdot S_0 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 150 mm dipasang sepanjang $> 700 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.

5.6.6 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 600x600

Tabel 4.34 Resume Momen untuk Kolom 600x600 pada SRPMM

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Momen Atas	-36.091
	Momen Bawah	43.8016
Live	Momen Atas	-8.11
	Momen Bawah	10.8484
1.4 DL	Momen Atas	-50.5274
	Momen Bawah	61.3222
1.2 DL + 1.6LL	Momen Atas	-56.2853
	Momen Bawah	69.9193

	Bawah	
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	-198.0718 251.0988
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	95.2333 -124.2782
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-91.499 117.365
1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-11.340 9.456
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	-179.134 227.110
0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	114.171 -148.267
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-72.561 93.376
0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	7.597 -14.533

Perancangan kolom 600mm x 600mm, Nomor elemen 229:

$$P_u = 1287,43 \text{ kN}; \quad M_u = 251,1 \text{ kNm}$$

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

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$D_p = 19 \text{ mm (diameter tulangan pokok); } D_s = 12 \text{ mm (diameter tulangan geser)}$$

$$L_u = 3200 \text{ mm}$$

Penyelesaian : (Perhitungan analog dengan hal. 162)

A. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Menentukan tinggi efektif kolom

$$D = 548,5 \text{ mm}; \quad d' = 61,5 \text{ mm}; \quad E_c = 23500 \text{ MPa}; \quad \beta d = 0,5$$

Analisis tampang kolom :

1) Kolom no.229 (600 mm x 600 mm)

$$I_{gk} = 1,08 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 6,768 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

- 2) Balok no. 328 F53 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_b = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 7325 \text{ mm}$$

- 3) Balok no. 329 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = 3,125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_b = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 4500 \text{ mm}$$

- 4) Kolom no. 443 (600 mm x 600 mm)

$$I_{gk} = 1,08 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI = 6,768 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

- 5) Faktor kekangan ujung Ψ yang terjadi pada kolom

$$\Psi_A = 12,04; \Psi_B = 0 \text{ (tumpuan jepit)}$$

Dari grafik nomogram panjang efektif kolom dengan pengaku diperoleh nilai faktor k sebesar = 0,69

- 6) Menentukan angka kelangsingan kolom:

$$r = 0,3 \cdot h \rightarrow 0,3 \text{ untuk kolom persegi}$$

$$= 0,3 \cdot 600 = 180$$

$$\left(\frac{k \cdot L_u}{r} \right) = 12,267 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot L_u}{r} \right) = 12,267 < 41,541 \rightarrow \text{kolom tersebut termasuk **Kolom Pendek**}$$

- 7) Eksentrisitas:

$$e = 195,039 \text{ mm}; e_{\min} = 60 \text{ mm}$$

- 8) Perhitungan P_{nb} pendekatan:

$$C_b = 329,1 \text{ mm}; a = 279,735 \text{ mm}; P_{nb} = 3566621,25 \text{ N} = 3566,62 \text{ kN}$$

- 9) Perhitungan $P_{n \text{ perlu}}$:

$$0,10 \cdot f'_c \cdot A_g = 900000 \text{ N} = 900 \text{ kN} < P_u = 1287,43 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi kekuatan Φ sebesar = 0,65 sehingga diperoleh :

$$P_{n \text{ perlu}} = 1980,662 \text{ kN} < P_{nb} = 3566,62 \text{ kN} \rightarrow \text{Diperkirakan runtuh tarik}$$

$$a = 155,346 \text{ mm}$$

$$A_s = 277,457 \text{ mm}^2; A_s = A_s'$$

- 10) Kontrol luas tulangan:

$$A_{st} = 554,915 \text{ mm}^2; A_{st \text{ min}} = 1\% \cdot A_g = 0,01 \cdot (600 \cdot 600) = 3600 \text{ mm}^2$$

11) Direncanakan:

$$A_s = 7D19 = 1984,701 \text{ mm}^2; A_s' = 7D19 = 1984,701 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 1984,701 + 1984,701 = 3984,402 \text{ mm}^2 = 1,10\% \cdot A_g$$

12) Perhitungan regangan dan tegangan baja:

$$\epsilon_{cu} = 0,003; \quad E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$c = 329,1 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = 0,0024$$

$$\epsilon_y = 0,002; \epsilon_s > \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

13) Perhitungan gaya-gaya dalam:

$$T = 793880 \text{ N} = 793,88 \text{ kN}; \quad C_c = 1980662 \text{ N} = 1980,662 \text{ kN}$$

$$C_s = 340234 \text{ N} = 340,234 \text{ kN}; \quad P_{nb} = 1980662 \text{ N} = 1980,662 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = 826974000 \text{ Nmm} = 826,974 \text{ kNm}$$

$$e_b = 417,524 \text{ mm} > e = 195,039 \text{ mm} \rightarrow \text{Kolom Runtuh Tekan}$$

14) Pola keruntuhan tekan:

$$A_n = 356030,598 \text{ mm}^2; P_{n0} = 9153,411 \text{ kN}; P_n = 3400,649 \text{ kN}$$

Kontrol keamanan:

$$P_u = 1287,43 \text{ kN} > 900 \text{ kN} \text{ (digunakan faktor reduksi} = 0,65)$$

$$\phi \cdot P_n = 2210,422 \text{ kN} > P_u = 1287,43 \text{ kN} \rightarrow \text{Kolom Aman}$$

B. Perhitungan Penulangan Geser

$$M_{nt} = 330,12 \text{ kNm}; M_{nb} = 418,498 \text{ kNm}$$

$$V_u = 237,657 \text{ kN}; V_c = 344,305 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 344,305 = 258,229 \text{ kN} > V_u$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = 129,114 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d = 1097257 \text{ N} = 1097,257 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c > V_u < \phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

→ Maka diperlukan tulangan geser sebesar V_s

Menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis ($\leq 1_0$)

Jarak maksimum l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar :

- $1/6$ tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3200 = 483,333$ mm
- Dimensi terbesar penampang = $h = 600$ mm
- 500 mm

Digunakan $l_0 = 600$ mm

$V_c = 0$ kN; $V_s = 316,875$ kN

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195$ mm²

$s = 93,968$ mm \rightarrow Dipakai jarak sengkang, $s = 100$ mm

Spasi maksimum sengkang tidak boleh lebih dari :

$$S_0 = 8 \cdot D_p = 8 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S_0 = 24 \cdot D_s = 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ mm}$$

$$S_0 = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 100 mm dipasang sepanjang 600 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

Menentukan jarak sengkang pada daerah diluar sendi plastis ($> 1_0$) :

$V_c = 344,305$ kN; $V_s = 27,43$ kN

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195$ mm²

$s = 264,917$ mm \rightarrow Dipakai jarak sengkang, $s = 200$ mm

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah $> 1_0$ tidak boleh lebih dari:

$$2 \cdot S_0 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 250 mm dipasang sepanjang > 600 mm dari muka hubungan balok kolom.

5.6.7 Perencanaan Penulangan Longitudinal Kolom 500x500

Tabel 4.35 Resume Momen untuk Kolom 500x500 pada SRPMM

Beban	Lokasi	Momen (kNm)
Dead	Momen Atas	-38.4132
	Momen Bawah	33.3724
Live	Momen Atas	-9.3885
	Momen Bawah	8.1612

	Bawah	
1.4 DL	Momen Atas Momen Bawah	-53.7785 46.7214
1.2 DL + 1.6LL	Momen Atas Momen Bawah	-61.1174 53.1048
1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	- 158.5103 105.4935
1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	47.5418 -9.0773
1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-10.088 63.397
1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-27.395 33.019
0,9 DL + 1,0 EX + 0,3 EY + 0,8 WX + 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	-137.598 87.321
0,9 DL - 1,0 EX - 0,3 EY - 0,8 WX - 1,3 WY	Momen Atas Momen Bawah	68.454 -27.250
0,9 DL + 0,3 EX + 1,0 EY + 1,3 WX + 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-62.661 45.224
0,9 DL - 0,3 EX - 1,0 EY - 1,3 WX - 0,8 WY	Momen Atas Momen Bawah	-6.483 14.846

Perancangan kolom 500mm x 500mm, Nomor elemen 657:

$$P_u = 510,441 \text{ kN}; \quad M_u = 158,51 \text{ kNm}$$

$$h = 500 \text{ mm}; \quad b = 500 \text{ mm}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}; \quad f_y = 400 \text{ MPa}; \quad s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$D_p = 16 \text{ mm (diameter tulangan pokok)}; \quad D_s = 10 \text{ mm (diameter tulangan geser)}$$

$$L_u = 3200 \text{ mm}$$

Penyelesaian : (Perhitungan Analog dengan hal. 162)

A. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Menentukan tinggi efektif kolom

$$D = 450 \text{ mm}; d' = 50 \text{ mm}; E_c = 23500 \text{ MPa}; \beta_d = 0,5$$

Analisis tampang kolom:

1) Kolom no. 657 (500 mm x 500 mm)

$$I_{gk} = 5,2 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_k = 3,2639 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

2) Balok no. 756 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = 3,2125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_b = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 7325 \text{ mm}$$

3) Balok no. 757 (300 mm x 500 mm)

$$I_{gb} = 3,2125 \cdot 10^9 \text{ mm}^4; EI_b = 9,792 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2; L = 4500 \text{ mm}$$

4) Kolom no. 867 (500 mm x 500 mm)

$$I_{gk} = 3,2639 \cdot 10^{13} \text{ mm}^4; EI_k = 6,768 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2; L = 3200 \text{ mm}$$

5) Faktor kekangan ujung Ψ yang terjadi pada kolom

$$\Psi_A = 8,92; \Psi_B = 0 \text{ (tumpuan jepit)}$$

Dari grafik nomogram panjang efektif kolom dengan pengaku diperoleh nilai faktor k sebesar = 0,69

6) Menentukan angka kelangsingan kolom:

$$r = 0,3 \cdot h \rightarrow 0,3 \text{ untuk kolom persegi} \\ = 0,3 \cdot 500 = 150$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = 14,72 < 34 - 12 \cdot \left(\frac{105,49}{158,51} \right)$$

$$\left(\frac{k \cdot l_u}{r} \right) = 14,72 < 41,541 \rightarrow \text{kolom tersebut termasuk } \mathbf{Kolom Pendek}$$

7) Eksentrisitas:

$$e = 310,535 \text{ mm}; e_{\min} = 50 \text{ mm}$$

8) Perhitungan P_{nb} pendekatan:

$$C_b = 270 \text{ mm}; a = 229,5 \text{ mm}; P_{nb} = 2438437,5 = 2438,44 \text{ kN}$$

9) Perhitungan P_n perlu :

$$0,10 \cdot f'_c \cdot A_g = 625000 \text{ N} = 625 \text{ kN} > P_u = 510,441 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi kekuatan Φ sebesar = 0,65 sehingga diperoleh :

$$P_{n \text{ perlu}} = 785,294 \text{ kN} < P_{nb} = 2438,438 \text{ kN} \rightarrow \mathbf{Diperkirakan runtuh tarik}$$

$$a = 73,910 \text{ mm}$$

$$A_s = 478,481 \text{ mm}^2; A_s = A_s'$$

10) Kontrol luas tulangan:

$$A_{st} = A_s + A_s' = 478,481 + 478,481 = 956,962 \text{ mm}^2$$

$$A_{st \text{ min}} = 1\% \cdot A_g = 0,01 \cdot (500 \cdot 500) = 2500 \text{ mm}^2$$

11) Direncanakan :

$$A_s = 7D16 = 1407,434 \text{ mm}^2; A_s' = 7D16 = 1407,434 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 2814,867 \text{ mm}^2 = 1,13\% \cdot A_g$$

12) Perhitungan regangan dan tegangan baja:

$$\epsilon_{cu} = 0,003; \quad E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$c = 270 \text{ mm}; \quad \epsilon_s = 0,0024$$

$$\epsilon_y = 0,002; \quad \epsilon_s > \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

13) Perhitungan gaya-gaya dalam:

$$T = 562973 \text{ N} = 562,973 \text{ kN}; \quad C_c = 785294 \text{ N} = 785,294 \text{ kN}$$

$$C_s = 562973 \text{ N} = 562,973 \text{ kN}; \quad P_{nb} = 785294 \text{ N} = 785,294 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = 392492000 \text{ Nmm} = 392,492 \text{ kNm}$$

$$e_b = 499,803 \text{ mm} > e = 310,535 \text{ mm} \rightarrow \text{Kolom Runtuh Tekan}$$

15) Pola keruntuhan tekan:

$$A_n = 247185,133 \text{ mm}^2; P_{n0} = 6378,631 \text{ kN}; P_n = 1175,701 \text{ kN}$$

$$\text{Kontrol keamanan : } P_u = 513,516 \text{ kN} < 625 \text{ kN}$$

$$\text{digunakan faktor reduksi : } \phi = 0,8 - \frac{1,5 \cdot P_u}{f_c' \cdot A_g} = 0,68$$

$$\phi \cdot P_n = 796,531 \text{ kN} > P_u = 510,441 \text{ kN} \rightarrow \text{Kolom Aman}$$

B. Perhitungan Penulangan Geser

$$M_{nt} = 175,82 \text{ kNm}; M_{nb} = 264,18 \text{ kNm}$$

$$V_u = 139,684 \text{ kN}; V_c = 215,965 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = 161,134 \text{ kN} > V_u$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = 80,567 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d = 750161 \text{ N} = 750,161 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c > V_u < \phi \cdot V_c + \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

→ Maka diperlukan tulangan geser sebesar V_s

Menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis ($\leq 1_0$)

Jarak maksimum l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar :

- 1/6 tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3200 = 483,333 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang = $h = 500 \text{ mm}$
- 500 mm

Digunakan $l_0 = 500 \text{ mm}$

$V_c = 0 \text{ kN}$; $V_s = 147,245 \text{ kN}$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$s = 131,165 \text{ mm} \rightarrow$ Dipakai jarak sengkang, $s = 130 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang tidak boleh lebih dari:

$$S_0 = 8 \cdot D_p = 8 \cdot 16 = 128 \text{ mm}$$

$$S_0 = 24 \cdot D_s = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ mm}$$

$$S_0 = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 130 mm dipasang sepanjang 500 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

Menentukan jarak sengkang pada daerah diluar sendi plastis ($> 1_0$):

$V_c = 214,845 \text{ kN}$; $V_s = 28,699 \text{ kN}$

Dicoba menggunakan tulangan $\phi 12 \rightarrow A_s = 226,195 \text{ mm}^2$

$s = 854,186 \text{ mm} \rightarrow$ Dipakai jarak sengkang, $s = 400 \text{ mm}$

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah $> 1_0$ tidak boleh lebih dari:

$$2 \cdot S_0 = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan sengkang yang dipakai $\phi 12$ jarak 400 mm dipasang sepanjang $> 500 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.

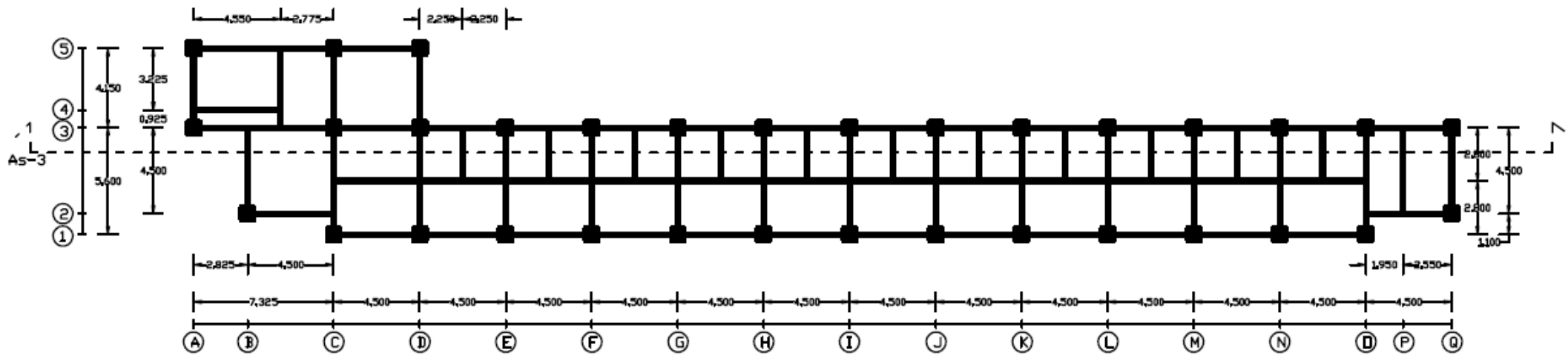
4.7 Momen, Beban Aksial dan Gaya Geser Nominal pada suatu Elemen.

Tabel 4.36 Momen, Beban Aksial dan Gaya Geser Nominal (kNm)

No	M	V	P
----	---	---	---

	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
B1	260.53	304.68	168.336	184.673	75.071	106.79
B2	244.83	300.96	149.72	169.376	13.59	17.622
B3	43.60	44.69	49.14	49.11	8.57	12.06
K700	295.08	397.053	105.218	150.766	1706.77	1742.55
K600	181.275	251.099	102.132	140.366	1262.8	1287.367
K500	125.86	105.494	65.035	82.501	513.52	510.44

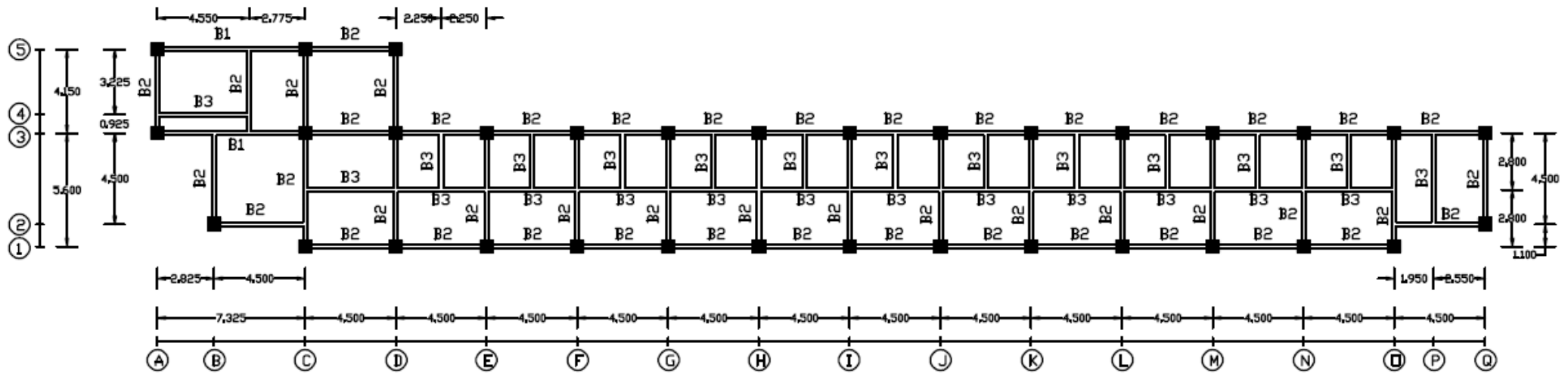
4.8 Gambar Denah, Peninjauan dan Detail Penulangan Balok Kolom



Gambar 4.18 Denah Bangunan Lantai 1 – 5 *Typical*

Keterangan:

----- = Potongan As-3



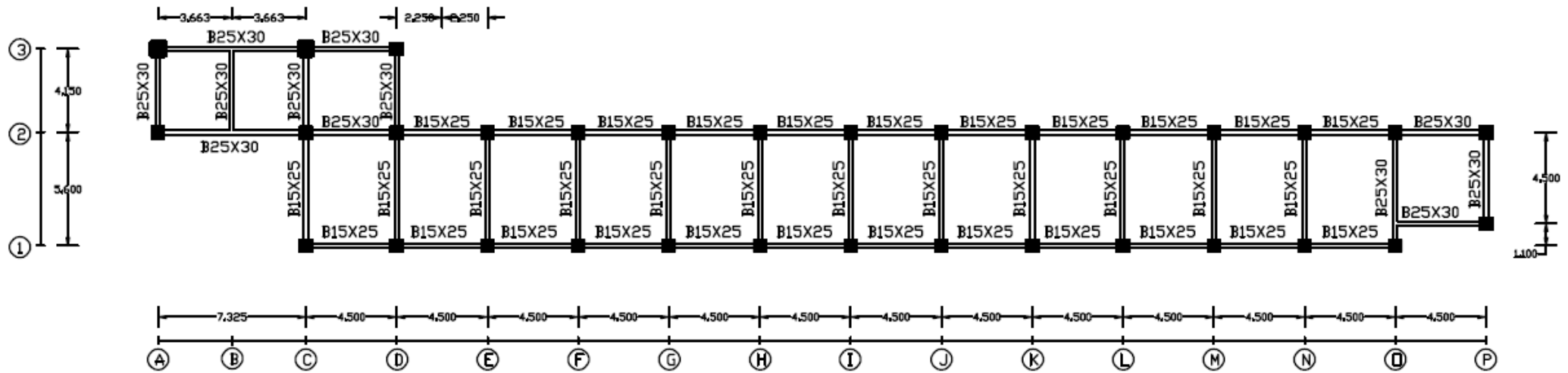
Gambar 4.19 Denah Balok Lantai 1 – 4 *Typical*

Keterangan:

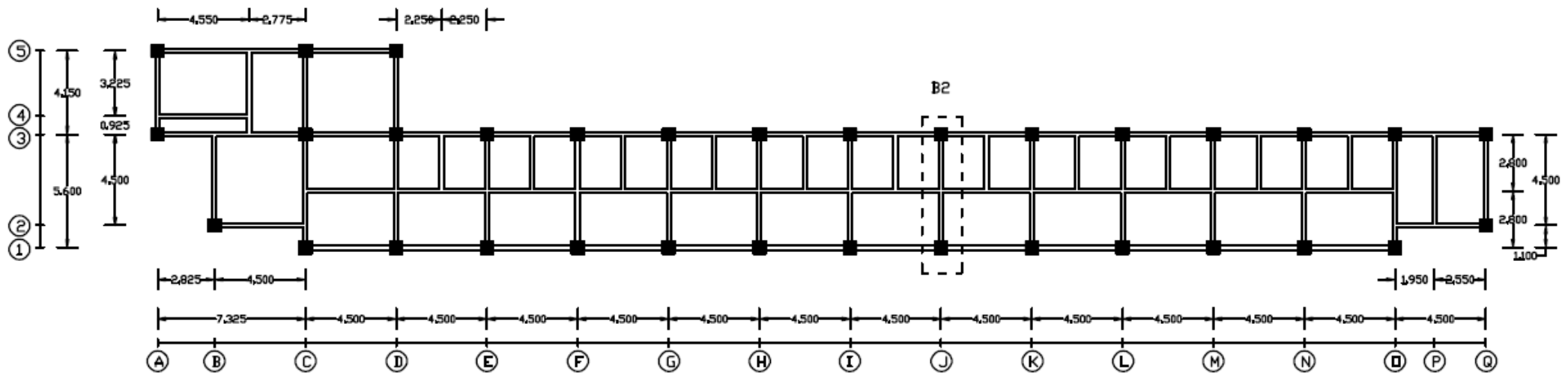
B1 = Balok 1 (300x500)

B2 = Balok 2 (300x500)

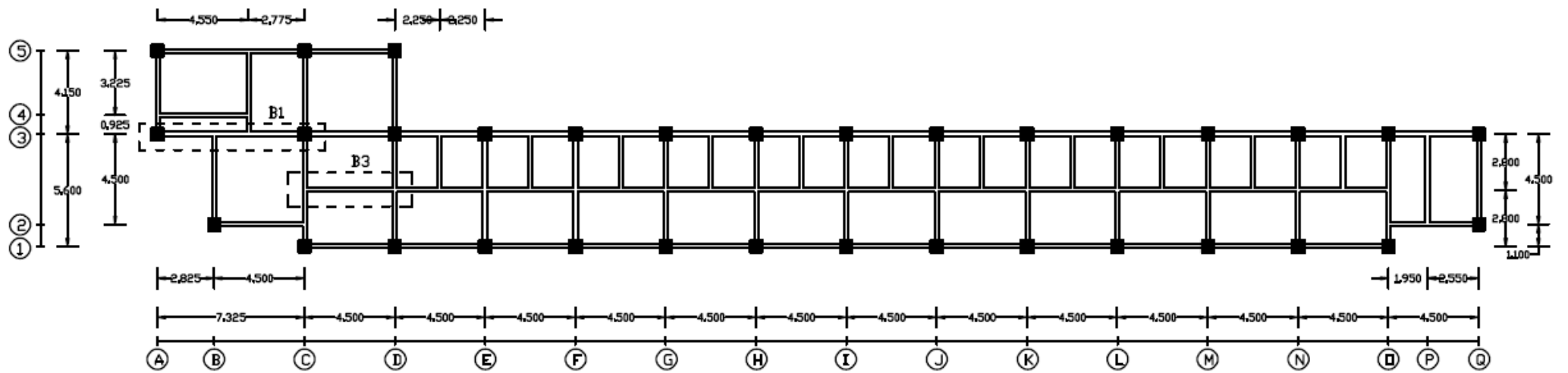
B3 = Balok 3 (250x300)



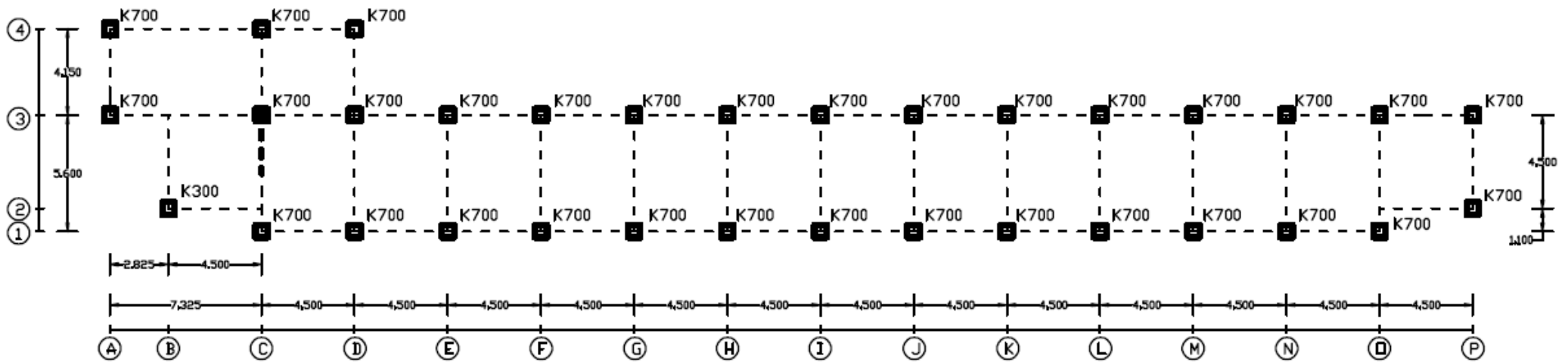
Gambar 4.20 Denah Balok Lantai 5 (Lantai Atas)



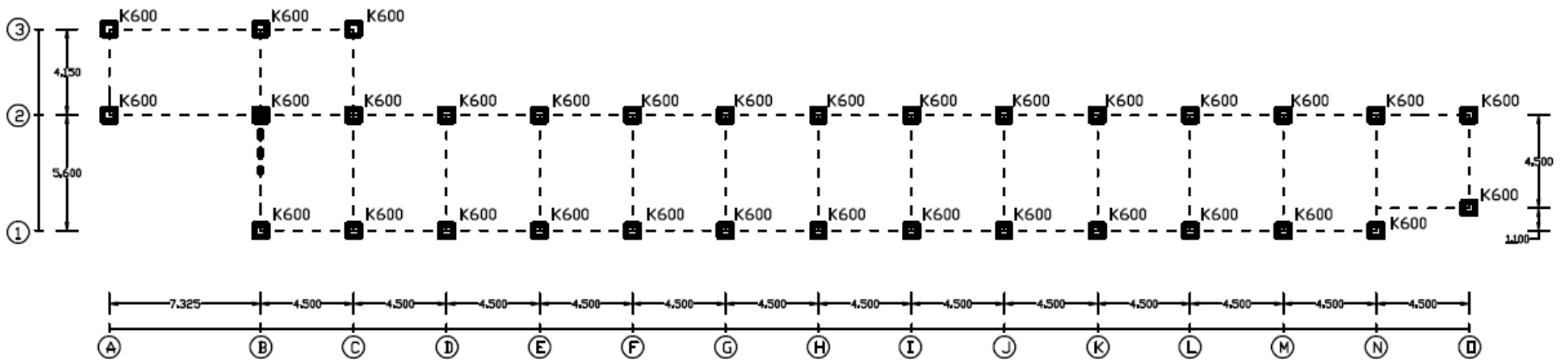
Gambar 4.21 Balok Tinjauan Sumbu Lemah (B2)



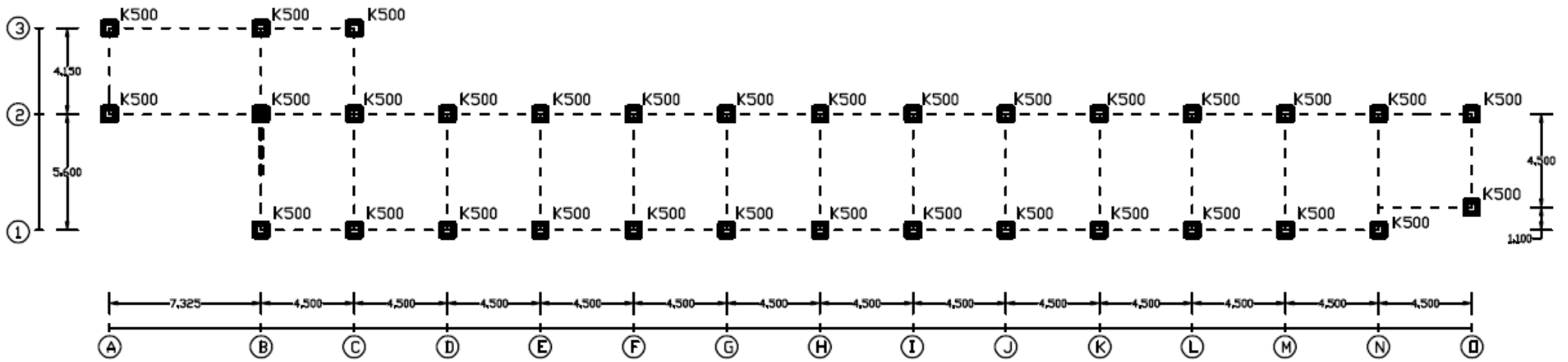
Gambar 4.22 Balok Tinjauan Sumbu Kuat (B1 & B3)



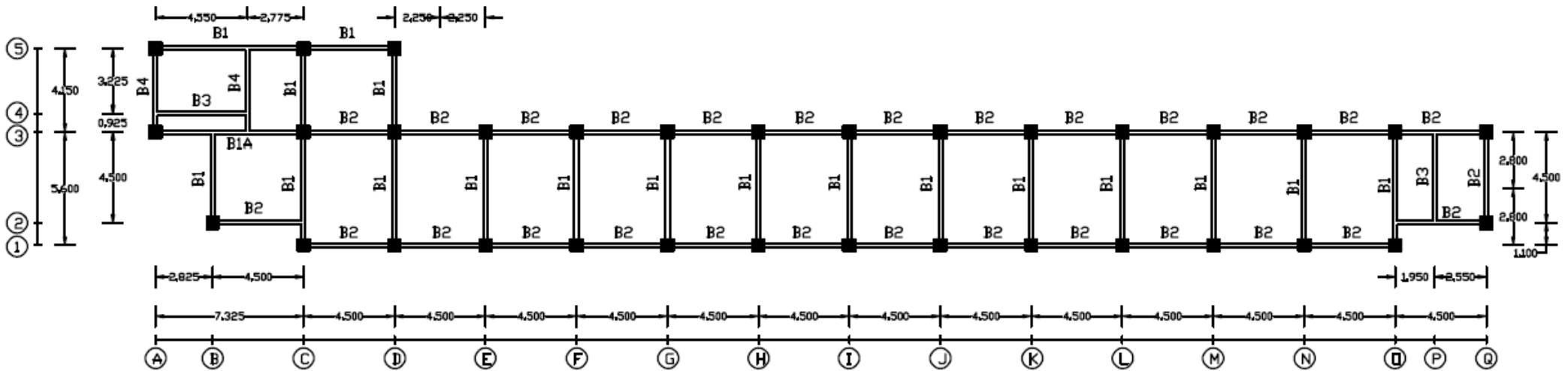
Gambar 4.23 Denah Kolom Lantai 1



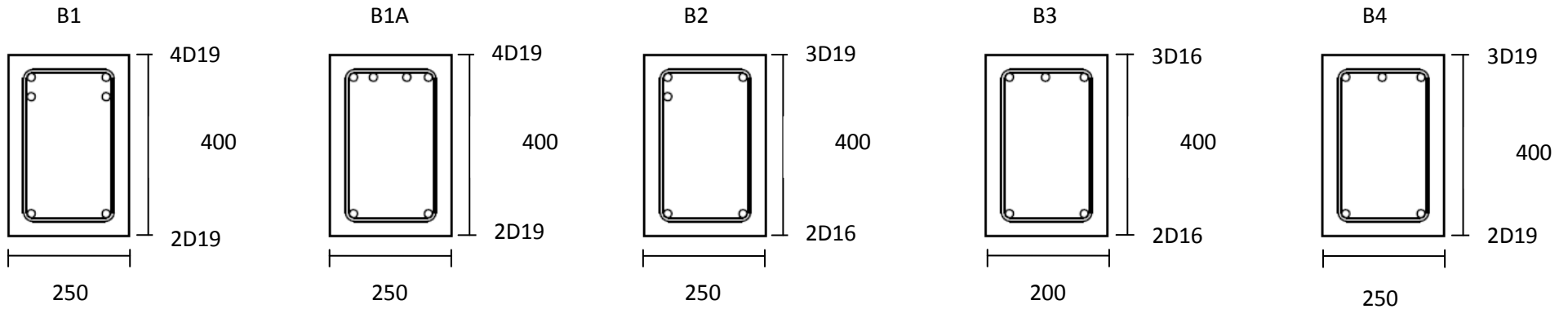
Gambar 4.24 Denah Kolom Lantai 2 & 3



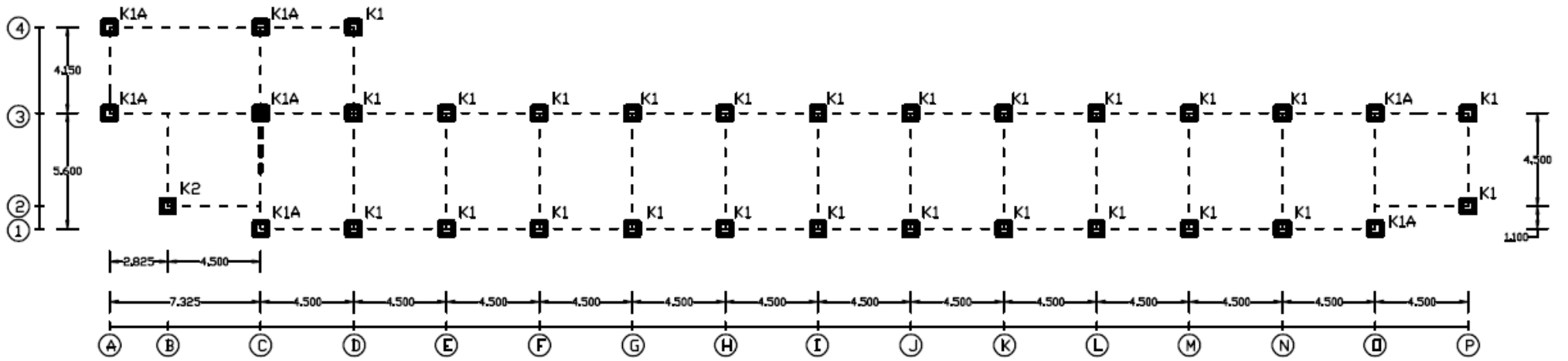
Gambar 4.25 Denah Kolom Lantai 4 & 5



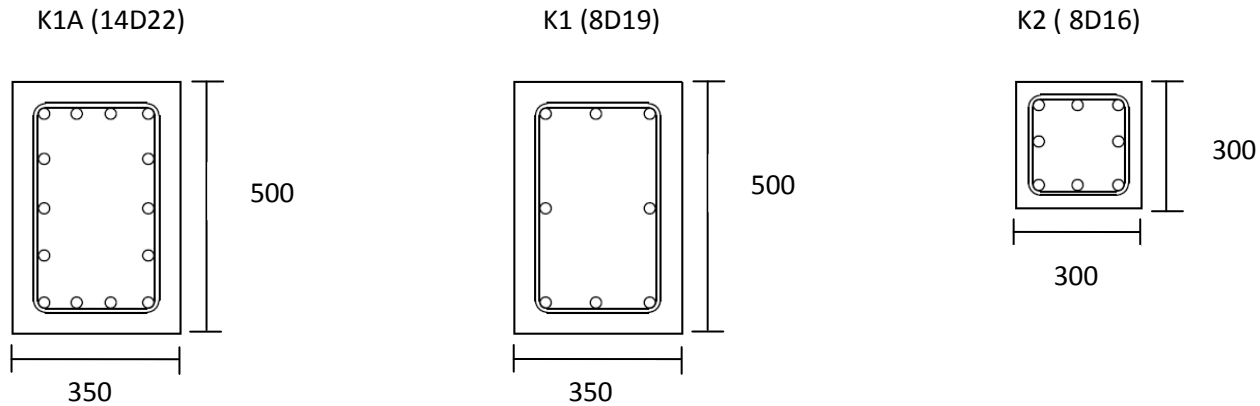
Gambar 4.26 Denah Balok *Precast* Lantai 1 – 5 *Typical* (Sumber: *Shop Drawing* Departemen Pekerjaan Umum)



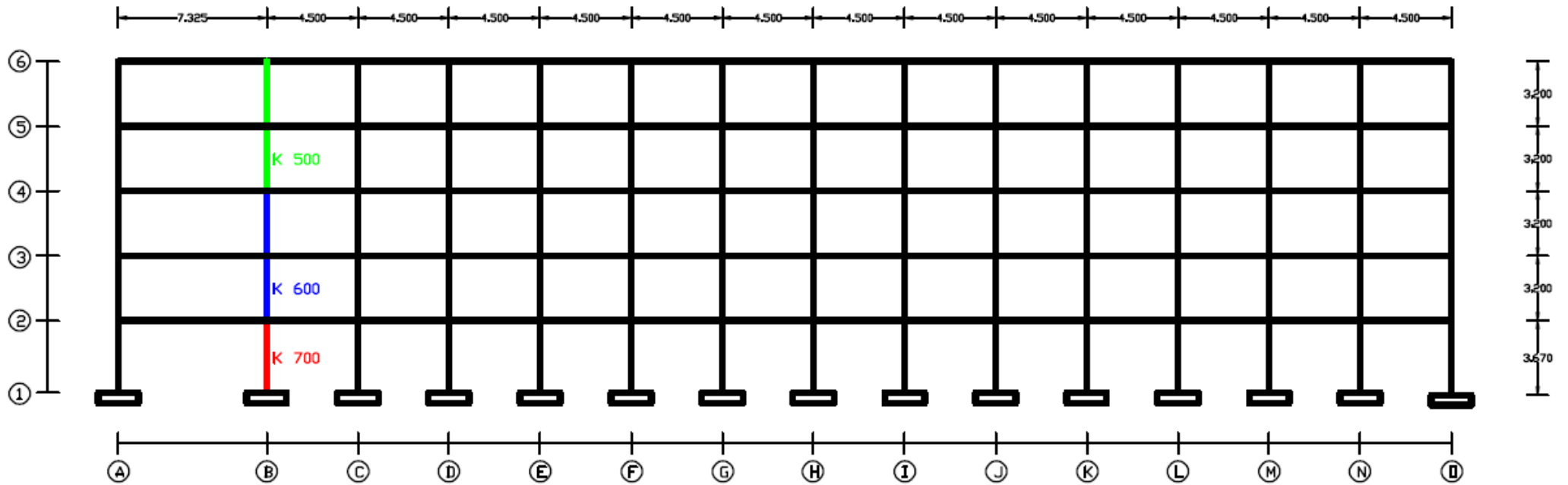
Gambar 4.27 Penulangan Balok *Precast* (Sumber: *Shop Drawing* Departemen Pekerjaan Umum)



Gambar 4.28 Denah Kolom *Precast* Lantai 1 – 5 *Typical* (Sumber: *Shop Drawing* Departemen Pekerjaan Umum)



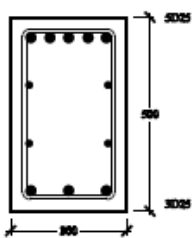
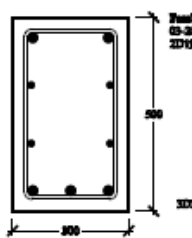
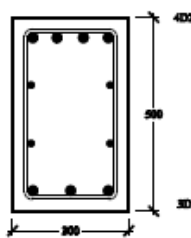
Gambar 4.29 Penulangan Kolom *Precast* (Sumber: *Shop Drawing* Departemen Pekerjaan Umum)



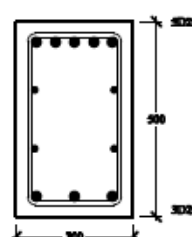
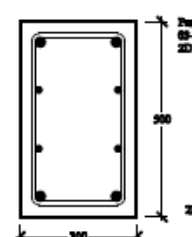
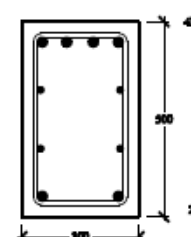
Gambar 4.30 Kolom yang ditinjau

Keterangan:

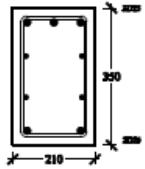
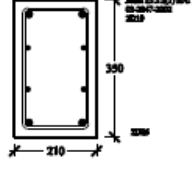
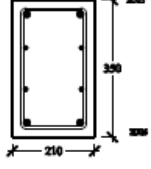
- K700 — = Kolom 700x700 Lantai 1
 K600 — = Kolom 600x600 Lantai 2 dan 3
 K500 — = Kolom 500x500 Lantai 4 dan 5

TYPE	BALOK B1 300 mm x 500 mm		
POSISI	TUMPUAN, L = 2825 mm	LAPANGAN, L = 1725 mm	TUMPUAN, L = 2775 mm
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	5 D25	2 D25	4 D25
TULANGAN BAWAH	3 D25	3 D25	3 D25
SENGKANG	Ø 13 - 110	Ø 10 - 150	Ø 13 - 115
TULANGAN SUSUT	4 Ø 10		

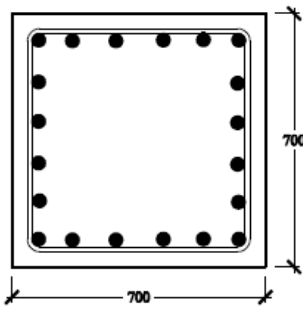
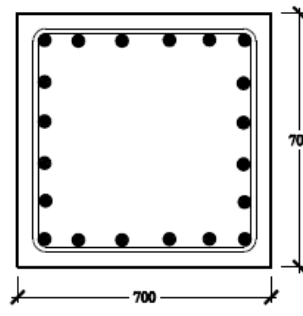
Gambar 4.31 Formasi penulangan balok B1 300x500 mm SRPMK

TYPE	BALOK B2 300 mm x 500 mm		
POSISI	TUMPUAN, L = 1400 mm	LAPANGAN, L = 2800 mm	TUMPUAN, L = 1400 mm
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	5 D25	2 D25	4 D25
TULANGAN BAWAH	3 D25	2 D25	2 D25
SENGKANG	Ø 13 - 130	Ø 10 - 150	Ø 13 - 125
TULANGAN SUSUT	4 Ø 10		

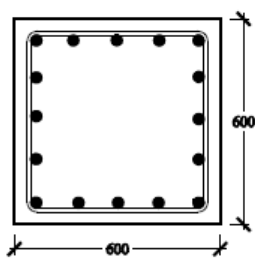
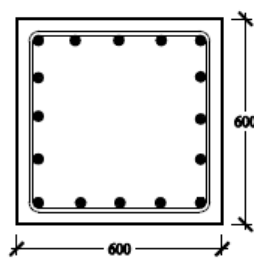
Gambar 4.32 Formasi Penulangan B2 balok 300x500 mm SRPMK

TYPE	BALOK B3 250 mm x 300 mm		
POSISI	TUMPUAN, L = 1400 mm	LAPANGAN, L = 2800 mm	TUMPUAN, L = 1400 mm
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	3 D25	2 D19	2D25
TULANGAN BAWAH	2 D25	2 D25	2 D25
SENGKANG	Ø 13 - 130	Ø 10 - 100	Ø 13 - 130
TULANGAN SUSUT	4 Ø 10		

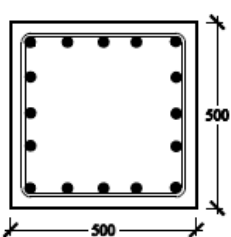
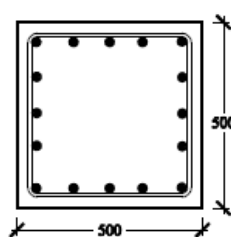
Gambar 4.33 Formasi Penulangan B3 balok 250x300 mm SRPMK

TYPE	KOLOM 700 mm x 700 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	20D19	20D19
SENGKANG	Ø 12 - 100	Ø 12 - 350

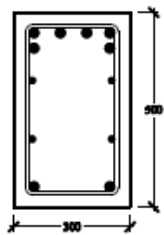
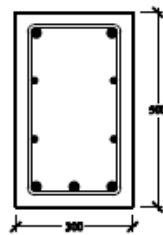
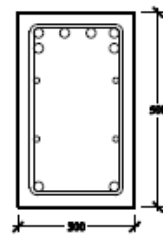
Gambar 4.34 Penulangan Kolom 700x700 mm SRPMK

TYPE	KOLOM 600 mm x 600 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	16D19	16 D19
SENGKANG	Ø 12 - 130	Ø 12 - 200

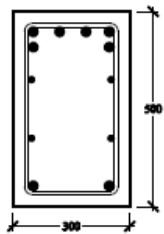
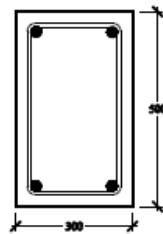
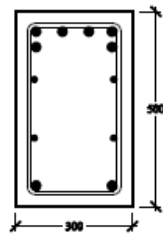
Gambar 4.35 Penulangan Kolom 600x600 mm SRPMK

TYPE	KOLOM 500 mm x 500 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	16D16	16D16
SENGKANG	Ø 12 - 100	Ø 12 - 200

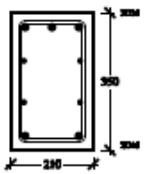
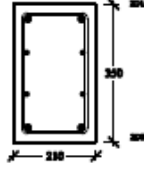
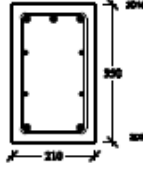
Gambar 4.36 Penulangan Kolom 500x500 mm SRPMK

TYPE	BALOK B1 300 mm x 500 mm		
	POSISI	TUMPUAN, L = 2825 mm	LAPANGAN, L = 1725 mm
POTONGAN			
	TULANGAN ATAS	6 D25	2 D25
TULANGAN BAWAH	2D25	3 D25	2D25
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100
TULANGAN SUSUT	4 Ø 10		

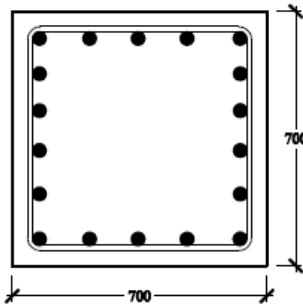
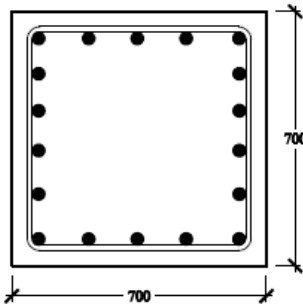
Gambar 4.37 Formasi penulangan balok B1 300x500 mm SRPMM

TYPE	BALOK B2 300 mm x 500 mm		
	POSISI	TUMPUAN, L = 1400 mm	LAPANGAN, L = 2800 mm
POTONGAN			
	TULANGAN ATAS	6 D25	2 D25
TULANGAN BAWAH	2 D25	2 D25	2 D25
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100
TULANGAN SUSUT	4 Ø 10		

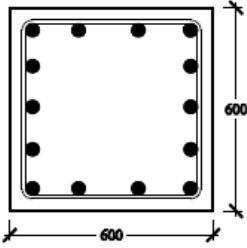
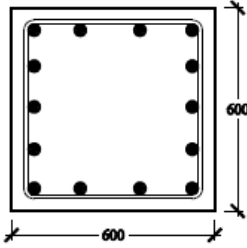
Gambar 4.38 Formasi penulangan balok B2 300x500 mm SRPMM

TYPE	BALOK B3 250 mm x 300 mm		
POSISI	TUMPUAN, L = 1400 mm	LAPANGAN, L = 2800 mm	TUMPUAN, L = 1400 mm
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	3 D16	2 D16	3 D16
TULANGAN BAWAH	2 D16	2 D16	2 D16
SENGKANG	Ø 10 - 50	Ø 10 - 100	Ø 10 - 50
TULANGAN SUSUT	4 Ø 10		

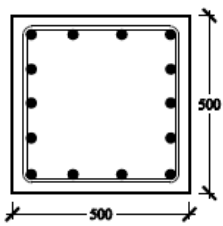
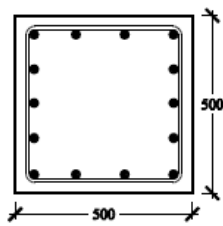
Gambar 4.39 Formasi penulangan balok B3 250x300 mm SRPMM

TYPE	KOLOM 700 mm x 700 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	18D19	18D19
SENGKANG	Ø 12 - 70	Ø 12 - 400

Gambar 4.40 Penulangan Kolom 700x700 mm SRPMM

TYPE	KOLOM 600 mm x 600 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	14D19	14D19
SENGKANG	Ø 12 - 100	Ø 12 - 200

Gambar 4.41 Penulangan Kolom 600x600 mm SRPMM

TYPE	KOLOM 500 mm x 500 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	14D16	14D16
SENGKANG	Ø 12 - 130	Ø 12 - 400

Gambar 4.42 Penulangan Kolom 500x500 mm SRPMM

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan bangunan dengan struktur SRPMK dan SRPMM, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan model SRPMK lebih kecil dibandingkan dengan bangunan model SRPMM yaitu sebesar 4,6%. Karena struktur bangunan model SRPMK direncanakan dengan factor reduksi yang lebih besar, yaitu $R = 8,5$, sedangkan untuk SRPMM direncanakan dengan faktor reduksi yang lebih kecil, yaitu $R = 5,5$;
- Di dalam SNI 1726-2002 diberikan batasan $T = \zeta \cdot n$ untuk mendapatkan perencanaan yang cukup efisien dan tidak terlalu fleksibel;
- Semakin lunak kondisi tanah, semakin besar pula pengaruh beban lateral gempa pada struktur;
- Gaya gempa tidak memberikan tambahan gaya aksial kolom pada struktur model ini;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal balok **B1 (300x500)** didapat hasil yang sama pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (**SRPMK**) yaitu pada tumpuan ujung kiri **4D25** tulangan tarik dan **3D25** untuk tulangan tekan; pada tumpuan ujung kanan **5D25** tulangan tarik dan **3D25** tulangan tekan; dan **3D25** untuk lapangan;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal balok **B1 (300x500)** didapat hasil yang sama pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (**SRPMM**) yaitu pada tumpuan ujung kiri **6D25** tulangan tarik dan **3D25** untuk tulangan tekan; pada tumpuan ujung kanan **6D25** tulangan tarik dan **2D25** tulangan tekan; dan **3D25** untuk lapangan;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal balok **B2 (300x500)** didapat hasil yang sama pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (**SRPMK**) yaitu pada tumpuan ujung kiri **4D25** tulangan tarik dan **2D25** untuk tulangan tekan; pada tumpuan ujung kanan **5D25** tulangan tarik dan **3D25** tulangan tekan; dan **2D25** untuk lapangan;

- Pada perhitungan tulangan longitudinal balok **B2 (300x500)** didapat hasil yang sama pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (**SRPMM**) yaitu pada tumpuan ujung kiri **6D25** tulangan tarik dan **2D25** untuk tulangan tekan; pada tumpuan ujung kanan **6D25** tulangan tarik dan **2D25** tulangan tekan; dan **2D25** untuk lapangan;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal balok **B3 (250x300)** didapat hasil yang sama pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (**SRPMK**) yaitu pada tumpuan ujung kiri **2D25** tulangan tarik dan **2D25** untuk tulangan tekan; pada tumpuan ujung kanan **3D25** tulangan tarik dan **2D25** tulangan tekan; dan **2D25** untuk lapangan;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal balok **B3 (250x300)** didapat hasil yang sama pada Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (**SRPMM**) yaitu pada tumpuan ujung kiri **3D16** tulangan tarik dan **2D16** untuk tulangan tekan; pada tumpuan ujung kanan **3D16** tulangan tarik dan **2D16** tulangan tekan; dan **2D16** untuk lapangan;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal kolom **K700 (SRPMK)** didapat hasil yang sama untuk semua struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu **20D19** ;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal kolom **K700 (SRPMM)** didapat hasil yang sama untuk semua struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu **18D19** ;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal kolom **K600 (SRPMK)** didapat hasil yang sama untuk semua struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu **16D19** ;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal kolom **K600 (SRPMM)** didapat hasil yang sama untuk semua struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu **14D19** ;
- Pada perhitungan tulangan longitudinal kolom **K500 (SRPMK)** didapat hasil yang sama untuk semua struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu **16D16** ;

- Pada perhitungan tulangan longitudinal kolom **K500 (SRPMM)** didapat hasil yang sama untuk semua struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu **14D16** ;
- Dari hasil perhitungan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) didapat:
 - Tulangan transversal pada balok **B1 (300x500)** adalah $\phi 13 - 110$ pada jarak $2h$ dan $\phi 10 - 150$ diluar jarak $2h$.
 - Tulangan transversal pada balok **B2 (300x500)** adalah $\phi 13 - 130$ pada jarak $2h$ dan $\phi 10 - 150$ diluar jarak $2h$.
 - Tulangan transversal pada balok **B3 (250x300)** adalah $\phi 13 - 130$ pada jarak $2h$ dan $\phi 10 - 100$ diluar jarak $2h$.
 - Tulangan transversal pada kolom **K700** adalah $\phi 12 - 100$ sepanjang l_0 dan $\phi 12 - 350$ ditengah bentang.
 - Tulangan transversal pada kolom **K600** adalah $\phi 12 - 120$ sepanjang l_0 dan $\phi 12 - 200$ ditengah bentang.
 - Tulangan transversal pada kolom **K500** adalah $\phi 10 - 100$ sepanjang l_0 dan $\phi 10 - 200$ ditengah bentang.
- Dari hasil perhitungan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) didapat:
 - Tulangan transversal pada balok **B1 (300x500)** adalah $\phi 10 - 100$ pada jarak $2h$ dan $\phi 10 - 200$ diluar jarak $2h$.
 - Tulangan transversal pada balok **B2 (300x500)** adalah $\phi 10 - 100$ pada jarak $2h$ dan $\phi 10 - 200$ diluar jarak $2h$.
 - Tulangan transversal pada balok **B3 (250x300)** adalah $\phi 10 - 50$ pada jarak $2h$ dan $\phi 10 - 100$ diluar jarak $2h$.
 - Tulangan transversal pada kolom **K700** adalah $\phi 12 - 70$ sepanjang l_0 dan $\phi 12 - 400$ ditengah bentang.
 - Tulangan transversal pada kolom **K600** adalah $\phi 12 - 100$ sepanjang l_0 dan $\phi 12 - 200$ ditengah bentang.
 - Tulangan transversal pada kolom **K500** adalah $\phi 12 - 130$ sepanjang l_0 dan $\phi 12 - 400$ ditengah bentang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengerjaan tugas akhir ini, saran-saran yang dapat saya berikan untuk pengembangan lebih lanjut antara lain:

- Penggunaan analisis beban gempa statik ekuivalen memberikan keterbatasan dalam desain model yang di analisis, terutama dalam hal tinggi bangunan. Untuk pengembangan studi lebih lanjut dapat digunakan analisis *dinamik non linier* untuk struktur bangunan yang lebih tinggi;
- Perlu untuk meninjau model struktur yang lain sehingga dapat di analisis beberapa variasi ukuran gedung baik variasi panjang bentang maupun jumlah tingkat, sehingga dapat diambil suatu hubungan antara pembebanan, bentang, dan jumlah tingkat terhadap gaya-gaya rencana dalam kaitannya dengan beban gempa;
- Untuk desain yang ekonomis, desain gedung bertingkat seperti struktur model ini harus dimulai dengan desain SRPMK atau daktilitas penuh. Namun dalam desain ini perlu untuk menerapkan *push over analysis*, sehingga model dan mekanisme keruntuhan jika terjadi gempa dasar dapat direncanakan, dalam hal mengurangi resiko yang besar.
- Sangat penting untuk memperhitungkan pengaruh gempa pada suatu perencanaan bangunan gedung dan mengaplikasikannya pada daerah yang rawan gempa tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2002). SNI 03-1726-2002 *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Bandung: ICS
- Badan Standarisasi Nasional (2002). SNI 03-1729-2002 *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: ICS
- Badan Standarisasi Nasional (2002). SNI 03-2847-2002 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: ICS
- Dewobroto, Wiryanto (2005). *Aplikasi Rekayasa Konstruksi Dengan Visual Basic 6.0*. Jakarta: Elex Media Komputindo
- Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik (2010). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: ITB
- Pramono, Handi, dkk. (2007). *12 Tutorial Dan Latihan Desain Konstruksi Dengan SAP2000 Versi 9.0*. Yogyakarta: Andi Offset

LAMPIRAN

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
935	0.00000	MAT1	LinStatic	-8.367	-74.060	-2.607
935	0.70625	MAT1	LinStatic	-8.367	-64.851	-2.607
935	1.41250	MAT1	LinStatic	-8.367	-55.147	-2.607
935	2.11875	MAT1	LinStatic	-8.367	-45.443	-2.607
935	2.82500	MAT1	LinStatic	-8.367	-35.739	-2.607
935	0.00000	HIDUP	LinStatic	-7.612	-12.262	-0.574
935	0.70625	HIDUP	LinStatic	-7.612	-11.711	-0.574
935	1.41250	HIDUP	LinStatic	-7.612	-10.891	-0.574
935	2.11875	HIDUP	LinStatic	-7.612	-10.072	-0.574
935	2.82500	HIDUP	LinStatic	-7.612	-9.253	-0.574
935	0.00000	EX	LinStatic	-53.278	16.345	2.060
935	0.70625	EX	LinStatic	-53.278	16.345	2.060
935	1.41250	EX	LinStatic	-53.278	16.345	2.060
935	2.11875	EX	LinStatic	-53.278	16.345	2.060
935	2.82500	EX	LinStatic	-53.278	16.345	2.060
935	0.00000	EY	LinStatic	6.775	-3.694	13.633
935	0.70625	EY	LinStatic	6.775	-3.694	13.633
935	1.41250	EY	LinStatic	6.775	-3.694	13.633
935	2.11875	EY	LinStatic	6.775	-3.694	13.633
935	2.82500	EY	LinStatic	6.775	-3.694	13.633
935	0.00000	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.623E-03
935	0.70625	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.623E-03
935	1.41250	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.623E-03
935	2.11875	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.623E-03
935	2.82500	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.623E-03
935	0.00000	WY	LinStatic	0.259	-0.131	0.498
935	0.70625	WY	LinStatic	0.259	-0.131	0.498
935	1.41250	WY	LinStatic	0.259	-0.131	0.498
935	2.11875	WY	LinStatic	0.259	-0.131	0.498
935	2.82500	WY	LinStatic	0.259	-0.131	0.498
935	0.00000	COMB1	Combination	-11.714	-103.684	-3.650
935	0.70625	COMB1	Combination	-11.714	-90.791	-3.650
935	1.41250	COMB1	Combination	-11.714	-77.206	-3.650
935	2.11875	COMB1	Combination	-11.714	-63.621	-3.650
935	2.82500	COMB1	Combination	-11.714	-50.035	-3.650
935	0.00000	COMB2	Combination	-22.220	-108.490	-4.047
935	0.70625	COMB2	Combination	-22.220	-96.558	-4.047
935	1.41250	COMB2	Combination	-22.220	-83.603	-4.047
935	2.11875	COMB2	Combination	-22.220	-70.647	-4.047
935	2.82500	COMB2	Combination	-22.220	-57.692	-4.047
935	0.00000	COMB3	Combination	-69.565	-85.971	3.097
935	0.70625	COMB3	Combination	-69.565	-74.369	3.097
935	1.41250	COMB3	Combination	-69.565	-61.905	3.097
935	2.11875	COMB3	Combination	-69.565	-49.441	3.097
935	2.82500	COMB3	Combination	-69.565	-36.977	3.097
935	0.00000	COMB4	Combination	34.259	-116.296	-10.502
935	0.70625	COMB4	Combination	34.259	-104.695	-10.502
935	1.41250	COMB4	Combination	34.259	-92.231	-10.502
935	2.11875	COMB4	Combination	34.259	-79.767	-10.502
935	2.82500	COMB4	Combination	34.259	-67.303	-10.502
935	0.00000	COMB5	Combination	-28.283	-99.873	10.950
935	0.70625	COMB5	Combination	-28.283	-88.271	10.950
935	1.41250	COMB5	Combination	-28.283	-75.807	10.950
935	2.11875	COMB5	Combination	-28.283	-63.343	10.950
935	2.82500	COMB5	Combination	-28.283	-50.879	10.950
935	0.00000	COMB6	Combination	-7.023	-102.395	-18.356
935	0.70625	COMB6	Combination	-7.023	-90.793	-18.356
935	1.41250	COMB6	Combination	-7.023	-78.329	-18.356
935	2.11875	COMB6	Combination	-7.023	-65.865	-18.356

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
935	2.82500	COMB6	Combination	-7.023	-53.401	-18.356
935	0.00000	COMB7	Combination	-59.442	-51.491	4.453
935	0.70625	COMB7	Combination	-59.442	-43.203	4.453
935	1.41250	COMB7	Combination	-59.442	-34.470	4.453
935	2.11875	COMB7	Combination	-59.442	-25.736	4.453
935	2.82500	COMB7	Combination	-59.442	-17.003	4.453
935	0.00000	COMB8	Combination	44.381	-81.817	-9.146
935	0.70625	COMB8	Combination	44.381	-73.529	-9.146
935	1.41250	COMB8	Combination	44.381	-64.795	-9.146
935	2.11875	COMB8	Combination	44.381	-56.062	-9.146
935	2.82500	COMB8	Combination	44.381	-47.328	-9.146
935	0.00000	COMB9	Combination	-18.161	-65.393	12.306
935	0.70625	COMB9	Combination	-18.161	-57.105	12.306
935	1.41250	COMB9	Combination	-18.161	-48.371	12.306
935	2.11875	COMB9	Combination	-18.161	-39.638	12.306
935	2.82500	COMB9	Combination	-18.161	-30.904	12.306
935	0.00000	COMB10	Combination	3.099	-67.915	-16.999
935	0.70625	COMB10	Combination	3.099	-59.627	-16.999
935	1.41250	COMB10	Combination	3.099	-50.893	-16.999
935	2.11875	COMB10	Combination	3.099	-42.160	-16.999
935	2.82500	COMB10	Combination	3.099	-33.426	-16.999
936	0.00000	MAT1	LinStatic	-8.870	-33.832	5.835
936	0.43125	MAT1	LinStatic	-8.870	-27.548	5.835
936	0.86250	MAT1	LinStatic	-8.870	-20.545	5.835
936	1.29375	MAT1	LinStatic	-8.870	-12.826	5.835
936	1.72500	MAT1	LinStatic	-8.870	-4.879	5.835
936	0.00000	HIDUP	LinStatic	-7.805	-9.348	2.226
936	0.43125	HIDUP	LinStatic	-7.805	-8.727	2.226
936	0.86250	HIDUP	LinStatic	-7.805	-7.863	2.226
936	1.29375	HIDUP	LinStatic	-7.805	-6.759	2.226
936	1.72500	HIDUP	LinStatic	-7.805	-5.678	2.226
936	0.00000	EX	LinStatic	-51.662	16.539	-6.079
936	0.43125	EX	LinStatic	-51.662	16.539	-6.079
936	0.86250	EX	LinStatic	-51.662	16.539	-6.079
936	1.29375	EX	LinStatic	-51.662	16.539	-6.079
936	1.72500	EX	LinStatic	-51.662	16.539	-6.079
936	0.00000	EY	LinStatic	6.580	2.524	-13.698
936	0.43125	EY	LinStatic	6.580	2.524	-13.698
936	0.86250	EY	LinStatic	6.580	2.524	-13.698
936	1.29375	EY	LinStatic	6.580	2.524	-13.698
936	1.72500	EY	LinStatic	6.580	2.524	-13.698
936	0.00000	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
936	0.43125	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
936	0.86250	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
936	1.29375	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
936	1.72500	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
936	0.00000	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.596
936	0.43125	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.596
936	0.86250	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.596
936	1.29375	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.596
936	1.72500	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.596
936	0.00000	COMB1	Combination	-12.418	-47.365	8.169
936	0.43125	COMB1	Combination	-12.418	-38.567	8.169
936	0.86250	COMB1	Combination	-12.418	-28.763	8.169
936	1.29375	COMB1	Combination	-12.418	-17.956	8.169
936	1.72500	COMB1	Combination	-12.418	-6.831	8.169
936	0.00000	COMB2	Combination	-23.132	-55.556	10.564
936	0.43125	COMB2	Combination	-23.132	-47.020	10.564
936	0.86250	COMB2	Combination	-23.132	-37.235	10.564
936	1.29375	COMB2	Combination	-23.132	-26.206	10.564
936	1.72500	COMB2	Combination	-23.132	-14.940	10.564

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
936	0.00000	COMB3	Combination	-68.740	-32.404	-1.763
936	0.43125	COMB3	Combination	-68.740	-24.241	-1.763
936	0.86250	COMB3	Combination	-68.740	-14.974	-1.763
936	1.29375	COMB3	Combination	-68.740	-4.607	-1.763
936	1.72500	COMB3	Combination	-68.740	6.010	-1.763
936	0.00000	COMB4	Combination	31.842	-67.490	20.219
936	0.43125	COMB4	Combination	31.842	-59.327	20.219
936	0.86250	COMB4	Combination	31.842	-50.060	20.219
936	1.29375	COMB4	Combination	31.842	-39.693	20.219
936	1.72500	COMB4	Combination	31.842	-29.076	20.219
936	0.00000	COMB5	Combination	-28.733	-42.216	-6.815
936	0.43125	COMB5	Combination	-28.733	-34.053	-6.815
936	0.86250	COMB5	Combination	-28.733	-24.786	-6.815
936	1.29375	COMB5	Combination	-28.733	-14.419	-6.815
936	1.72500	COMB5	Combination	-28.733	-3.802	-6.815
936	0.00000	COMB6	Combination	-8.165	-57.678	25.272
936	0.43125	COMB6	Combination	-8.165	-49.515	25.272
936	0.86250	COMB6	Combination	-8.165	-40.248	25.272
936	1.29375	COMB6	Combination	-8.165	-29.881	25.272
936	1.72500	COMB6	Combination	-8.165	-19.264	25.272
936	0.00000	COMB7	Combination	-58.274	-12.906	-5.740
936	0.43125	COMB7	Combination	-58.274	-7.250	-5.740
936	0.86250	COMB7	Combination	-58.274	-0.947	-5.740
936	1.29375	COMB7	Combination	-58.274	6.000	-5.740
936	1.72500	COMB7	Combination	-58.274	13.152	-5.740
936	0.00000	COMB8	Combination	42.308	-47.992	16.243
936	0.43125	COMB8	Combination	42.308	-42.336	16.243
936	0.86250	COMB8	Combination	42.308	-36.033	16.243
936	1.29375	COMB8	Combination	42.308	-29.086	16.243
936	1.72500	COMB8	Combination	42.308	-21.934	16.243
936	0.00000	COMB9	Combination	-18.267	-22.718	-10.792
936	0.43125	COMB9	Combination	-18.267	-17.062	-10.792
936	0.86250	COMB9	Combination	-18.267	-10.759	-10.792
936	1.29375	COMB9	Combination	-18.267	-3.812	-10.792
936	1.72500	COMB9	Combination	-18.267	3.340	-10.792
936	0.00000	COMB10	Combination	2.301	-38.180	21.295
936	0.43125	COMB10	Combination	2.301	-32.524	21.295
936	0.86250	COMB10	Combination	2.301	-26.221	21.295
936	1.29375	COMB10	Combination	2.301	-19.274	21.295
936	1.72500	COMB10	Combination	2.301	-12.122	21.295
937	0.00000	MATI	LinStatic	9.711	49.417	-1.489
937	0.69375	MATI	LinStatic	9.711	64.017	-1.489
937	1.38750	MATI	LinStatic	9.711	80.047	-1.489
937	2.08125	MATI	LinStatic	9.711	94.218	-1.489
937	2.77500	MATI	LinStatic	9.711	104.307	-1.489
937	0.00000	HIDUP	LinStatic	2.119	15.678	-1.293
937	0.69375	HIDUP	LinStatic	2.119	18.114	-1.293
937	1.38750	HIDUP	LinStatic	2.119	21.487	-1.293
937	2.08125	HIDUP	LinStatic	2.119	24.232	-1.293
937	2.77500	HIDUP	LinStatic	2.119	25.147	-1.293
937	0.00000	EX	LinStatic	-61.335	17.665	-4.289
937	0.69375	EX	LinStatic	-61.335	17.665	-4.289
937	1.38750	EX	LinStatic	-61.335	17.665	-4.289
937	2.08125	EX	LinStatic	-61.335	17.665	-4.289
937	2.77500	EX	LinStatic	-61.335	17.665	-4.289
937	0.00000	EY	LinStatic	-1.358	-0.046	-3.367
937	0.69375	EY	LinStatic	-1.358	-0.046	-3.367
937	1.38750	EY	LinStatic	-1.358	-0.046	-3.367
937	2.08125	EY	LinStatic	-1.358	-0.046	-3.367
937	2.77500	EY	LinStatic	-1.358	-0.046	-3.367
937	0.00000	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
937	0.69375	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
937	1.38750	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
937	2.08125	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
937	2.77500	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
937	0.00000	WY	LinStatic	-0.090	3.118E-03	-0.187
937	0.69375	WY	LinStatic	-0.090	3.118E-03	-0.187
937	1.38750	WY	LinStatic	-0.090	3.118E-03	-0.187
937	2.08125	WY	LinStatic	-0.090	3.118E-03	-0.187
937	2.77500	WY	LinStatic	-0.090	3.118E-03	-0.187
937	0.00000	COMB1	Combination	13.596	69.183	-2.085
937	0.69375	COMB1	Combination	13.596	89.624	-2.085
937	1.38750	COMB1	Combination	13.596	112.066	-2.085
937	2.08125	COMB1	Combination	13.596	131.905	-2.085
937	2.77500	COMB1	Combination	13.596	146.029	-2.085
937	0.00000	COMB2	Combination	15.043	84.384	-3.856
937	0.69375	COMB2	Combination	15.043	105.803	-3.856
937	1.38750	COMB2	Combination	15.043	130.435	-3.856
937	2.08125	COMB2	Combination	15.043	151.833	-3.856
937	2.77500	COMB2	Combination	15.043	165.404	-3.856
937	0.00000	COMB3	Combination	-49.126	92.733	-8.643
937	0.69375	COMB3	Combination	-49.126	112.690	-8.643
937	1.38750	COMB3	Combination	-49.126	135.298	-8.643
937	2.08125	COMB3	Combination	-49.126	155.049	-8.643
937	2.77500	COMB3	Combination	-49.126	168.071	-8.643
937	0.00000	COMB4	Combination	76.671	57.222	2.483
937	0.69375	COMB4	Combination	76.671	77.180	2.483
937	1.38750	COMB4	Combination	76.671	99.788	2.483
937	2.08125	COMB4	Combination	76.671	119.539	2.483
937	2.77500	COMB4	Combination	76.671	132.560	2.483
937	0.00000	COMB5	Combination	-7.747	80.396	-7.917
937	0.69375	COMB5	Combination	-7.747	100.353	-7.917
937	1.38750	COMB5	Combination	-7.747	122.961	-7.917
937	2.08125	COMB5	Combination	-7.747	142.712	-7.917
937	2.77500	COMB5	Combination	-7.747	155.733	-7.917
937	0.00000	COMB6	Combination	35.291	69.559	1.757
937	0.69375	COMB6	Combination	35.291	89.517	1.757
937	1.38750	COMB6	Combination	35.291	112.125	1.757
937	2.08125	COMB6	Combination	35.291	131.876	1.757
937	2.77500	COMB6	Combination	35.291	144.897	1.757
937	0.00000	COMB7	Combination	-54.158	62.230	-6.904
937	0.69375	COMB7	Combination	-54.158	75.371	-6.904
937	1.38750	COMB7	Combination	-54.158	89.798	-6.904
937	2.08125	COMB7	Combination	-54.158	102.551	-6.904
937	2.77500	COMB7	Combination	-54.158	111.631	-6.904
937	0.00000	COMB8	Combination	71.639	26.720	4.223
937	0.69375	COMB8	Combination	71.639	39.860	4.223
937	1.38750	COMB8	Combination	71.639	54.287	4.223
937	2.08125	COMB8	Combination	71.639	67.041	4.223
937	2.77500	COMB8	Combination	71.639	76.121	4.223
937	0.00000	COMB9	Combination	-12.779	49.893	-6.178
937	0.69375	COMB9	Combination	-12.779	63.034	-6.178
937	1.38750	COMB9	Combination	-12.779	77.460	-6.178
937	2.08125	COMB9	Combination	-12.779	90.214	-6.178
937	2.77500	COMB9	Combination	-12.779	99.294	-6.178
937	0.00000	COMB10	Combination	30.259	39.057	3.497
937	0.69375	COMB10	Combination	30.259	52.197	3.497
937	1.38750	COMB10	Combination	30.259	66.624	3.497
937	2.08125	COMB10	Combination	30.259	79.378	3.497
937	2.77500	COMB10	Combination	30.259	88.458	3.497

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
935	0.00000	MAT1	-3.5709	-106.4038
935	0.70625	MAT1	-1.7296	-57.2524
935	1.41250	MAT1	0.1118	-14.8781
935	2.11875	MAT1	1.9532	20.6428
935	2.82500	MAT1	3.7945	49.3104
935	0.00000	HIDUP	-0.7654	-21.2002
935	0.70625	HIDUP	-0.3601	-12.6817
935	1.41250	HIDUP	0.0452	-4.7004
935	2.11875	HIDUP	0.4505	2.7023
935	2.82500	HIDUP	0.8558	9.5264
935	0.00000	EX	2.0085	59.3839
935	0.70625	EX	0.5536	47.8399
935	1.41250	EX	-0.9013	36.2959
935	2.11875	EX	-2.3562	24.7519
935	2.82500	EX	-3.8112	13.2079
935	0.00000	EY	19.2388	-6.1814
935	0.70625	EY	9.6103	-3.5728
935	1.41250	EY	-0.0182	-0.9643
935	2.11875	EY	-9.6467	1.6443
935	2.82500	EY	-19.2752	4.2529
935	0.00000	WX	0.0102	0.4327
935	0.70625	WX	0.0083	0.3480
935	1.41250	WX	0.0065	0.2633
935	2.11875	WX	0.0046	0.1786
935	2.82500	WX	0.0027	0.0939
935	0.00000	WY	0.6965	-0.1959
935	0.70625	WY	0.3450	-0.1032
935	1.41250	WY	-0.0066	-0.0106
935	2.11875	WY	-0.3582	0.0821
935	2.82500	WY	-0.7098	0.1748
935	0.00000	COMB1	-4.9993	-148.9654
935	0.70625	COMB1	-2.4214	-80.1534
935	1.41250	COMB1	0.1565	-20.8294
935	2.11875	COMB1	2.7344	28.9000
935	2.82500	COMB1	5.3123	69.0346
935	0.00000	COMB2	-5.5098	-161.6050
935	0.70625	COMB2	-2.6516	-88.9936
935	1.41250	COMB2	0.2065	-25.3744
935	2.11875	COMB2	3.0646	29.0951
935	2.82500	COMB2	5.9227	74.4148
935	0.00000	COMB3	3.6433	-91.2639
935	0.70625	COMB3	1.4562	-34.4724
935	1.41250	COMB3	-0.7309	13.6493
935	2.11875	COMB3	-2.9179	52.9685
935	2.82500	COMB3	-5.1050	83.4850
935	0.00000	COMB4	-13.7443	-206.5057
935	0.70625	COMB4	-6.3274	-128.2968
935	1.41250	COMB4	1.0896	-58.7576
935	2.11875	COMB4	8.5065	1.9790
935	2.82500	COMB4	15.9235	53.9129
935	0.00000	COMB5	15.3613	-136.8453
935	0.70625	COMB5	7.6276	-70.2357
935	1.41250	COMB5	-0.1061	-12.2958
935	2.11875	COMB5	-7.8398	36.8414
935	2.82500	COMB5	-15.5735	77.1761
935	0.00000	COMB6	-25.4623	-160.9243
935	0.70625	COMB6	-12.4988	-92.5335
935	1.41250	COMB6	0.4648	-32.8124
935	2.11875	COMB6	13.4284	18.1060

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
935	2.82500	COMB6	26.3920	60.2218
935	0.00000	COMB7	5.4800	-38.1425
935	0.70625	COMB7	2.3352	-4.6150
935	1.41250	COMB7	-0.8096	22.8132
935	2.11875	COMB7	-3.9544	44.0733
935	2.82500	COMB7	-7.0992	59.1654
935	0.00000	COMB8	-11.9076	-153.3843
935	0.70625	COMB8	-5.4484	-98.4394
935	1.41250	COMB8	1.0108	-49.5938
935	2.11875	COMB8	7.4701	-6.9162
935	2.82500	COMB8	13.9293	29.5933
935	0.00000	COMB9	17.1980	-83.7240
935	0.70625	COMB9	8.5066	-40.3783
935	1.41250	COMB9	-0.1849	-3.1320
935	2.11875	COMB9	-8.8763	27.9463
935	2.82500	COMB9	-17.5677	52.8565
935	0.00000	COMB10	-23.6257	-107.8029
935	0.70625	COMB10	-11.6198	-62.6761
935	1.41250	COMB10	0.3861	-23.6486
935	2.11875	COMB10	12.3920	9.2108
935	2.82500	COMB10	24.3978	35.9023
936	0.00000	MAT1	5.0898	44.4929
936	0.43125	MAT1	2.5734	57.7537
936	0.86250	MAT1	0.0570	68.1495
936	1.29375	MAT1	-2.4594	75.3704
936	1.72500	MAT1	-4.9758	79.1830
936	0.00000	HIDUP	1.4699	8.2423
936	0.43125	HIDUP	0.5098	12.1485
936	0.86250	HIDUP	-0.4502	15.7345
936	1.29375	HIDUP	-1.4102	18.8960
936	1.72500	HIDUP	-2.3703	21.5696
936	0.00000	EX	-6.8792	18.4950
936	0.43125	EX	-4.2574	11.3623
936	0.86250	EX	-1.6357	4.2297
936	1.29375	EX	0.9861	-2.9030
936	1.72500	EX	3.6078	-10.0356
936	0.00000	EY	-17.9595	4.1942
936	0.43125	EY	-12.0524	3.1056
936	0.86250	EY	-6.1453	2.0171
936	1.29375	EY	-0.2383	0.9285
936	1.72500	EY	5.6688	-0.1601
936	0.00000	WX	-0.0430	0.1290
936	0.43125	WX	-0.0278	0.0791
936	0.86250	WX	-0.0127	0.0292
936	1.29375	WX	0.0024	-0.0207
936	1.72500	WX	0.0175	-0.0706
936	0.00000	WY	-0.7744	0.1760
936	0.43125	WY	-0.5175	0.1250
936	0.86250	WY	-0.2606	0.0740
936	1.29375	WY	-0.0037	0.0230
936	1.72500	WY	0.2532	-0.0280
936	0.00000	COMB1	7.1257	62.2901
936	0.43125	COMB1	3.6028	80.8552
936	0.86250	COMB1	0.0798	95.4093
936	1.29375	COMB1	-3.4431	105.5186
936	1.72500	COMB1	-6.9661	110.8562
936	0.00000	COMB2	8.4596	66.5792
936	0.43125	COMB2	3.9038	88.7421
936	0.86250	COMB2	-0.6519	106.9546
936	1.29375	COMB2	-5.2076	120.6780
936	1.72500	COMB2	-9.7634	129.5310

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
936	0.00000	COMB3	-5.7305	81.7191
936	0.43125	COMB3	-4.9703	93.9728
936	0.86250	COMB3	-4.2101	102.4683
936	1.29375	COMB3	-3.4498	106.7294
936	1.72500	COMB3	-2.6896	106.4128
936	0.00000	COMB4	20.8858	41.5485
936	0.43125	COMB4	12.1662	68.9332
936	0.86250	COMB4	3.4465	92.5595
936	1.29375	COMB4	-5.2732	111.9515
936	1.72500	COMB4	-13.9928	126.7657
936	0.00000	COMB5	-13.1210	71.6850
936	0.43125	COMB5	-10.1819	88.1702
936	0.86250	COMB5	-7.2428	100.8971
936	1.29375	COMB5	-4.3038	109.3896
936	1.72500	COMB5	-1.3647	113.3044
936	0.00000	COMB6	28.2763	51.5826
936	0.43125	COMB6	17.3778	74.7358
936	0.86250	COMB6	6.4793	94.1308
936	1.29375	COMB6	-4.4192	109.2913
936	1.72500	COMB6	-15.3177	119.8742
936	0.00000	COMB7	-8.7273	60.1289
936	0.43125	COMB7	-6.2522	64.4982
936	0.86250	COMB7	-3.7770	66.2889
936	1.29375	COMB7	-1.3018	65.2224
936	1.72500	COMB7	1.1734	61.0883
936	0.00000	COMB8	17.8890	19.9583
936	0.43125	COMB8	10.8843	39.4585
936	0.86250	COMB8	3.8796	56.3801
936	1.29375	COMB8	-3.1251	70.4444
936	1.72500	COMB8	-10.1298	81.4412
936	0.00000	COMB9	-16.1178	50.0948
936	0.43125	COMB9	-11.4638	58.6955
936	0.86250	COMB9	-6.8098	64.7177
936	1.29375	COMB9	-2.1557	67.8825
936	1.72500	COMB9	2.4983	67.9798
936	0.00000	COMB10	25.2795	29.9924
936	0.43125	COMB10	16.0959	45.2612
936	0.86250	COMB10	6.9124	57.9514
936	1.29375	COMB10	-2.2712	67.7842
936	1.72500	COMB10	-11.4547	74.5496
937	0.00000	MAT1	-2.5417	80.9952
937	0.69375	MAT1	-1.5086	41.8519
937	1.38750	MAT1	-0.4754	-8.0993
937	2.08125	MAT1	0.5578	-68.7834
937	2.77500	MAT1	1.5910	-137.8827
937	0.00000	HIDUP	-1.8816	23.6923
937	0.69375	HIDUP	-0.9847	12.0658
937	1.38750	HIDUP	-0.0877	-1.6374
937	2.08125	HIDUP	0.8092	-17.6020
937	2.77500	HIDUP	1.7061	-34.8363
937	0.00000	EX	-4.7399	-11.2643
937	0.69375	EX	-1.7646	-23.5197
937	1.38750	EX	1.2107	-35.7751
937	2.08125	EX	4.1860	-48.0305
937	2.77500	EX	7.1613	-60.2859
937	0.00000	EY	-2.1677	-0.1570
937	0.69375	EY	0.1682	-0.1253
937	1.38750	EY	2.5040	-0.0937
937	2.08125	EY	4.8399	-0.0621
937	2.77500	EY	7.1758	-0.0305
937	0.00000	WX	-0.0303	-0.0761

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
937	0.69375	WX	-0.0122	-0.1624
937	1.38750	WX	0.0060	-0.2486
937	2.08125	WX	0.0241	-0.3349
937	2.77500	WX	0.0422	-0.4211
937	0.00000	WY	-0.1225	-0.0228
937	0.69375	WY	0.0074	-0.0250
937	1.38750	WY	0.1374	-0.0272
937	2.08125	WY	0.2673	-0.0293
937	2.77500	WY	0.3972	-0.0315
937	0.00000	COMB1	-3.5584	113.3933
937	0.69375	COMB1	-2.1120	58.5927
937	1.38750	COMB1	-0.6655	-11.3390
937	2.08125	COMB1	0.7809	-96.2968
937	2.77500	COMB1	2.2274	-193.0357
937	0.00000	COMB2	-6.0606	135.1019
937	0.69375	COMB2	-3.3857	69.5275
937	1.38750	COMB2	-0.7109	-12.3390
937	2.08125	COMB2	1.9640	-110.7033
937	2.77500	COMB2	4.6389	-221.1973
937	0.00000	COMB3	-10.5053	109.4845
937	0.69375	COMB3	-4.5091	38.5683
937	1.38750	COMB3	1.4871	-47.3940
937	2.08125	COMB3	7.4833	-148.4972
937	2.77500	COMB3	13.4795	-260.9684
937	0.00000	COMB4	0.6420	132.2886
937	0.69375	COMB4	-1.0808	86.0078
937	1.38750	COMB4	-2.8035	24.6809
937	2.08125	COMB4	-4.5263	-51.7870
937	2.77500	COMB4	-6.2490	-139.6227
937	0.00000	COMB5	-8.6587	117.2330
937	0.69375	COMB5	-3.1660	54.8757
937	1.38750	COMB5	2.3267	-22.5277
937	2.08125	COMB5	7.8194	-115.0721
937	2.77500	COMB5	13.3120	-218.9844
937	0.00000	COMB6	-1.2046	124.5401
937	0.69375	COMB6	-2.4239	69.7004
937	1.38750	COMB6	-3.6431	-0.1854
937	2.08125	COMB6	-4.8623	-85.2121
937	2.77500	COMB6	-6.0816	-181.6067
937	0.00000	COMB7	-7.8612	61.4936
937	0.69375	COMB7	-3.0719	13.9470
937	1.38750	COMB7	1.7175	-43.3268
937	2.08125	COMB7	6.5068	-110.2602
937	2.77500	COMB7	11.2961	-184.7672
937	0.00000	COMB8	3.2861	84.2977
937	0.69375	COMB8	0.3565	61.3865
937	1.38750	COMB8	-2.5731	28.7481
937	2.08125	COMB8	-5.5028	-13.5500
937	2.77500	COMB8	-8.4324	-63.4216
937	0.00000	COMB9	-6.0146	69.2421
937	0.69375	COMB9	-1.7288	30.2544
937	1.38750	COMB9	2.5571	-18.4605
937	2.08125	COMB9	6.8429	-76.8351
937	2.77500	COMB9	11.1287	-142.7833
937	0.00000	COMB10	1.4395	76.5492
937	0.69375	COMB10	-0.9866	45.0791
937	1.38750	COMB10	-3.4127	3.8819
937	2.08125	COMB10	-5.8388	-46.9751
937	2.77500	COMB10	-8.2649	-105.4055

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
66	0.00000	MAT1	LinStatic	3.099	-65.814	0.218
66	0.70000	MAT1	LinStatic	3.099	-55.430	0.218
66	1.40000	MAT1	LinStatic	3.099	-40.516	0.218
66	2.10000	MAT1	LinStatic	3.099	-25.603	0.218
66	2.80000	MAT1	LinStatic	3.099	-15.218	0.218
66	0.00000	HIDUP	LinStatic	1.414	-18.399	0.128
66	0.70000	HIDUP	LinStatic	1.414	-17.174	0.128
66	1.40000	HIDUP	LinStatic	1.414	-13.499	0.128
66	2.10000	HIDUP	LinStatic	1.414	-9.824	0.128
66	2.80000	HIDUP	LinStatic	1.414	-8.599	0.128
66	0.00000	EX	LinStatic	-0.094	-0.865	0.900
66	0.70000	EX	LinStatic	-0.094	-0.865	0.900
66	1.40000	EX	LinStatic	-0.094	-0.865	0.900
66	2.10000	EX	LinStatic	-0.094	-0.865	0.900
66	2.80000	EX	LinStatic	-0.094	-0.865	0.900
66	0.00000	EY	LinStatic	-7.396	40.499	-0.133
66	0.70000	EY	LinStatic	-7.396	40.499	-0.133
66	1.40000	EY	LinStatic	-7.396	40.499	-0.133
66	2.10000	EY	LinStatic	-7.396	40.499	-0.133
66	2.80000	EY	LinStatic	-7.396	40.499	-0.133
66	0.00000	WX	LinStatic	-2.494E-04	-4.331E-03	0.012
66	0.70000	WX	LinStatic	-2.494E-04	-4.331E-03	0.012
66	1.40000	WX	LinStatic	-2.494E-04	-4.331E-03	0.012
66	2.10000	WX	LinStatic	-2.494E-04	-4.331E-03	0.012
66	2.80000	WX	LinStatic	-2.494E-04	-4.331E-03	0.012
66	0.00000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.522E-03
66	0.70000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.522E-03
66	1.40000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.522E-03
66	2.10000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.522E-03
66	2.80000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.522E-03
66	0.00000	COMB1	Combination	4.339	-92.140	0.306
66	0.70000	COMB1	Combination	4.339	-77.602	0.306
66	1.40000	COMB1	Combination	4.339	-56.723	0.306
66	2.10000	COMB1	Combination	4.339	-35.844	0.306
66	2.80000	COMB1	Combination	4.339	-21.305	0.306
66	0.00000	COMB2	Combination	5.981	-108.415	0.466
66	0.70000	COMB2	Combination	5.981	-93.994	0.466
66	1.40000	COMB2	Combination	5.981	-70.218	0.466
66	2.10000	COMB2	Combination	5.981	-46.442	0.466
66	2.80000	COMB2	Combination	5.981	-32.020	0.466
66	0.00000	COMB3	Combination	1.688	-83.677	1.261
66	0.70000	COMB3	Combination	1.688	-69.990	1.261
66	1.40000	COMB3	Combination	1.688	-48.419	1.261
66	2.10000	COMB3	Combination	1.688	-26.848	1.261
66	2.80000	COMB3	Combination	1.688	-13.161	1.261
66	0.00000	COMB4	Combination	8.577	-111.076	-0.482
66	0.70000	COMB4	Combination	8.577	-97.389	-0.482
66	1.40000	COMB4	Combination	8.577	-75.818	-0.482
66	2.10000	COMB4	Combination	8.577	-54.247	-0.482
66	2.80000	COMB4	Combination	8.577	-40.560	-0.482
66	0.00000	COMB5	Combination	-2.988	-55.654	0.543
66	0.70000	COMB5	Combination	-2.988	-41.968	0.543
66	1.40000	COMB5	Combination	-2.988	-20.397	0.543
66	2.10000	COMB5	Combination	-2.988	1.174	0.543
66	2.80000	COMB5	Combination	-2.988	14.861	0.543
66	0.00000	COMB6	Combination	13.253	-139.098	0.236
66	0.70000	COMB6	Combination	13.253	-125.411	0.236
66	1.40000	COMB6	Combination	13.253	-103.840	0.236
66	2.10000	COMB6	Combination	13.253	-82.269	0.236

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
66	2.80000	COMB6	Combination	13.253	-68.583	0.236
66	0.00000	COMB7	Combination	-0.656	-45.533	1.068
66	0.70000	COMB7	Combination	-0.656	-36.187	1.068
66	1.40000	COMB7	Combination	-0.656	-22.765	1.068
66	2.10000	COMB7	Combination	-0.656	-9.343	1.068
66	2.80000	COMB7	Combination	-0.656	3.191E-03	1.068
66	0.00000	COMB8	Combination	6.234	-72.932	-0.675
66	0.70000	COMB8	Combination	6.234	-63.586	-0.675
66	1.40000	COMB8	Combination	6.234	-50.164	-0.675
66	2.10000	COMB8	Combination	6.234	-36.742	-0.675
66	2.80000	COMB8	Combination	6.234	-27.396	-0.675
66	0.00000	COMB9	Combination	-5.332	-17.511	0.350
66	0.70000	COMB9	Combination	-5.332	-8.165	0.350
66	1.40000	COMB9	Combination	-5.332	5.257	0.350
66	2.10000	COMB9	Combination	-5.332	18.679	0.350
66	2.80000	COMB9	Combination	-5.332	28.025	0.350
66	0.00000	COMB10	Combination	10.910	-100.954	0.043
66	0.70000	COMB10	Combination	10.910	-91.608	0.043
66	1.40000	COMB10	Combination	10.910	-78.186	0.043
66	2.10000	COMB10	Combination	10.910	-64.764	0.043
66	2.80000	COMB10	Combination	10.910	-55.418	0.043
101	0.00000	MAT1	LinStatic	3.045	27.264	-0.344
101	0.70000	MAT1	LinStatic	3.045	37.649	-0.344
101	1.40000	MAT1	LinStatic	3.045	52.214	-0.344
101	2.10000	MAT1	LinStatic	3.045	66.779	-0.344
101	2.80000	MAT1	LinStatic	3.045	77.164	-0.344
101	0.00000	HIDUP	LinStatic	1.412	10.336	-0.138
101	0.70000	HIDUP	LinStatic	1.412	11.562	-0.138
101	1.40000	HIDUP	LinStatic	1.412	15.051	-0.138
101	2.10000	HIDUP	LinStatic	1.412	18.540	-0.138
101	2.80000	HIDUP	LinStatic	1.412	19.766	-0.138
101	0.00000	EX	LinStatic	0.048	-0.732	0.593
101	0.70000	EX	LinStatic	0.048	-0.732	0.593
101	1.40000	EX	LinStatic	0.048	-0.732	0.593
101	2.10000	EX	LinStatic	0.048	-0.732	0.593
101	2.80000	EX	LinStatic	0.048	-0.732	0.593
101	0.00000	EY	LinStatic	-7.330	36.436	-0.141
101	0.70000	EY	LinStatic	-7.330	36.436	-0.141
101	1.40000	EY	LinStatic	-7.330	36.436	-0.141
101	2.10000	EY	LinStatic	-7.330	36.436	-0.141
101	2.80000	EY	LinStatic	-7.330	36.436	-0.141
101	0.00000	WX	LinStatic	8.110E-04	-3.550E-03	2.993E-03
101	0.70000	WX	LinStatic	8.110E-04	-3.550E-03	2.993E-03
101	1.40000	WX	LinStatic	8.110E-04	-3.550E-03	2.993E-03
101	2.10000	WX	LinStatic	8.110E-04	-3.550E-03	2.993E-03
101	2.80000	WX	LinStatic	8.110E-04	-3.550E-03	2.993E-03
101	0.00000	WY	LinStatic	-0.863	1.673	-8.197E-04
101	0.70000	WY	LinStatic	-0.863	1.673	-8.197E-04
101	1.40000	WY	LinStatic	-0.863	1.673	-8.197E-04
101	2.10000	WY	LinStatic	-0.863	1.673	-8.197E-04
101	2.80000	WY	LinStatic	-0.863	1.673	-8.197E-04
101	0.00000	COMB1	Combination	4.263	38.170	-0.481
101	0.70000	COMB1	Combination	4.263	52.709	-0.481
101	1.40000	COMB1	Combination	4.263	73.100	-0.481
101	2.10000	COMB1	Combination	4.263	93.491	-0.481
101	2.80000	COMB1	Combination	4.263	108.030	-0.481
101	0.00000	COMB2	Combination	5.913	49.255	-0.633
101	0.70000	COMB2	Combination	5.913	63.679	-0.633
101	1.40000	COMB2	Combination	5.913	86.739	-0.633
101	2.10000	COMB2	Combination	5.913	109.800	-0.633
101	2.80000	COMB2	Combination	5.913	124.223	-0.633

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
101	0.00000	COMB3	Combination	1.794	55.424	2.250E-03
101	0.70000	COMB3	Combination	1.794	69.112	2.250E-03
101	1.40000	COMB3	Combination	1.794	90.079	2.250E-03
101	2.10000	COMB3	Combination	1.794	111.047	2.250E-03
101	2.80000	COMB3	Combination	1.794	124.735	2.250E-03
101	0.00000	COMB4	Combination	8.338	30.682	-1.102
101	0.70000	COMB4	Combination	8.338	44.370	-1.102
101	1.40000	COMB4	Combination	8.338	65.337	-1.102
101	2.10000	COMB4	Combination	8.338	86.304	-1.102
101	2.80000	COMB4	Combination	8.338	99.992	-1.102
101	0.00000	COMB5	Combination	-2.939	80.604	-0.510
101	0.70000	COMB5	Combination	-2.939	94.292	-0.510
101	1.40000	COMB5	Combination	-2.939	115.259	-0.510
101	2.10000	COMB5	Combination	-2.939	136.226	-0.510
101	2.80000	COMB5	Combination	-2.939	149.914	-0.510
101	0.00000	COMB6	Combination	13.070	5.503	-0.591
101	0.70000	COMB6	Combination	13.070	19.191	-0.591
101	1.40000	COMB6	Combination	13.070	40.158	-0.591
101	2.10000	COMB6	Combination	13.070	61.125	-0.591
101	2.80000	COMB6	Combination	13.070	74.813	-0.591
101	0.00000	COMB7	Combination	-0.531	36.909	0.243
101	0.70000	COMB7	Combination	-0.531	46.255	0.243
101	1.40000	COMB7	Combination	-0.531	59.364	0.243
101	2.10000	COMB7	Combination	-0.531	72.472	0.243
101	2.80000	COMB7	Combination	-0.531	81.819	0.243
101	0.00000	COMB8	Combination	6.012	12.167	-0.862
101	0.70000	COMB8	Combination	6.012	21.513	-0.862
101	1.40000	COMB8	Combination	6.012	34.622	-0.862
101	2.10000	COMB8	Combination	6.012	47.730	-0.862
101	2.80000	COMB8	Combination	6.012	57.077	-0.862
101	0.00000	COMB9	Combination	-5.264	62.088	-0.269
101	0.70000	COMB9	Combination	-5.264	71.435	-0.269
101	1.40000	COMB9	Combination	-5.264	84.543	-0.269
101	2.10000	COMB9	Combination	-5.264	97.652	-0.269
101	2.80000	COMB9	Combination	-5.264	106.998	-0.269
101	0.00000	COMB10	Combination	10.745	-13.013	-0.350
101	0.70000	COMB10	Combination	10.745	-3.666	-0.350
101	1.40000	COMB10	Combination	10.745	9.442	-0.350
101	2.10000	COMB10	Combination	10.745	22.551	-0.350
101	2.80000	COMB10	Combination	10.745	31.897	-0.350

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
66	0.00000	MAT1	0.2665	-58.9380
66	0.70000	MAT1	0.1137	-16.2385
66	1.40000	MAT1	-0.0392	17.6068
66	2.10000	MAT1	-0.1920	40.4841
66	2.80000	MAT1	-0.3449	54.5072
66	0.00000	HIDUP	0.1683	-19.6675
66	0.70000	HIDUP	0.0790	-7.0740
66	1.40000	HIDUP	-0.0103	3.8045
66	2.10000	HIDUP	-0.0997	11.8247
66	2.80000	HIDUP	-0.1890	18.1298
66	0.00000	EX	1.4721	-2.3239
66	0.70000	EX	0.8420	-1.7187
66	1.40000	EX	0.2119	-1.1135
66	2.10000	EX	-0.4182	-0.5083
66	2.80000	EX	-1.0483	0.0969

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
66	0.00000	EY	-0.2364	110.0419
66	0.70000	EY	-0.1431	81.6928
66	1.40000	EY	-0.0499	53.3437
66	2.10000	EY	0.0434	24.9946
66	2.80000	EY	0.1367	-3.3545
66	0.00000	WX	0.0187	-0.0116
66	0.70000	WX	0.0104	-0.0086
66	1.40000	WX	0.0021	-0.0055
66	2.10000	WX	-0.0062	-0.0025
66	2.80000	WX	-0.0145	5.431E-04
66	0.00000	WY	0.0019	5.0561
66	0.70000	WY	8.831E-04	3.7541
66	1.40000	WY	-1.827E-04	2.4521
66	2.10000	WY	-0.0012	1.1502
66	2.80000	WY	-0.0023	-0.1518
66	0.00000	COMB1	0.3731	-82.5132
66	0.70000	COMB1	0.1591	-22.7338
66	1.40000	COMB1	-0.0549	24.6495
66	2.10000	COMB1	-0.2689	56.6778
66	2.80000	COMB1	-0.4829	76.3101
66	0.00000	COMB2	0.5892	-102.1936
66	0.70000	COMB2	0.2628	-30.8046
66	1.40000	COMB2	-0.0636	27.2153
66	2.10000	COMB2	-0.3899	67.5004
66	2.80000	COMB2	-0.7163	94.4164
66	0.00000	COMB3	1.9068	-53.1408
66	0.70000	COMB3	1.0239	1.1025
66	1.40000	COMB3	0.1410	43.0056
66	2.10000	COMB3	-0.7419	68.8889
66	2.80000	COMB3	-1.6248	82.4322
66	0.00000	COMB4	-0.9305	-127.6454
66	0.70000	COMB4	-0.5931	-54.2228
66	1.40000	COMB4	-0.2557	6.8596
66	2.10000	COMB4	0.0816	51.9223
66	2.80000	COMB4	0.4190	84.6449
66	0.00000	COMB5	0.7192	22.9815
66	0.70000	COMB5	0.3391	57.6092
66	1.40000	COMB5	-0.0411	79.8968
66	2.10000	COMB5	-0.4212	86.1647
66	2.80000	COMB5	-0.8014	80.0924
66	0.00000	COMB6	0.2571	-203.7677
66	0.70000	COMB6	0.0917	-110.7296
66	1.40000	COMB6	-0.0736	-30.0316
66	2.10000	COMB6	-0.2390	34.6466
66	2.80000	COMB6	-0.4044	86.9846
66	0.00000	COMB7	1.6585	-15.7919
66	0.70000	COMB7	0.9108	13.0480
66	1.40000	COMB7	0.1631	33.9191
66	2.10000	COMB7	-0.5846	44.9190
66	2.80000	COMB7	-1.3323	47.9502
66	0.00000	COMB8	-1.1788	-90.2965
66	0.70000	COMB8	-0.7062	-42.2773
66	1.40000	COMB8	-0.2336	-2.2269
66	2.10000	COMB8	0.2389	27.9524
66	2.80000	COMB8	0.7115	50.1629
66	0.00000	COMB9	0.4709	60.3304
66	0.70000	COMB9	0.2260	69.5548
66	1.40000	COMB9	-0.0190	70.8103
66	2.10000	COMB9	-0.2639	62.1948
66	2.80000	COMB9	-0.5089	45.6104
66	0.00000	COMB10	0.0088	-166.4187

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
66	0.70000	COMB10	-0.0214	-98.7840
66	1.40000	COMB10	-0.0516	-39.1181
66	2.10000	COMB10	-0.0817	10.6767
66	2.80000	COMB10	-0.1119	52.5026
101	0.00000	MATI	-0.4921	51.8567
101	0.70000	MATI	-0.2516	29.4013
101	1.40000	MATI	-0.0111	-1.8769
101	2.10000	MATI	0.2294	-43.6985
101	2.80000	MATI	0.4699	-94.3429
101	0.00000	HIDUP	-0.2091	17.2118
101	0.70000	HIDUP	-0.1127	9.6903
101	1.40000	HIDUP	-0.0162	0.4697
101	2.10000	HIDUP	0.0802	-11.3816
101	2.80000	HIDUP	0.1767	-24.9320
101	0.00000	EX	0.4704	0.0855
101	0.70000	EX	0.0552	0.5981
101	1.40000	EX	-0.3601	1.1107
101	2.10000	EX	-0.7754	1.6234
101	2.80000	EX	-1.1906	2.1360
101	0.00000	EY	-0.1418	-2.0378
101	0.70000	EY	-0.0433	-27.5431
101	1.40000	EY	0.0553	-53.0483
101	2.10000	EY	0.1538	-78.5536
101	2.80000	EY	0.2524	-104.0589
101	0.00000	WX	3.713E-04	5.302E-04
101	0.70000	WX	-0.0017	0.0030
101	1.40000	WX	-0.0038	0.0055
101	2.10000	WX	-0.0059	0.0080
101	2.80000	WX	-0.0080	0.0105
101	0.00000	WY	-0.0015	-0.0915
101	0.70000	WY	-9.010E-04	-1.2629
101	1.40000	WY	-3.272E-04	-2.4343
101	2.10000	WY	2.466E-04	-3.6057
101	2.80000	WY	8.203E-04	-4.7771
101	0.00000	COMB1	-0.6889	72.5994
101	0.70000	COMB1	-0.3522	41.1619
101	1.40000	COMB1	-0.0155	-2.6276
101	2.10000	COMB1	0.3212	-61.1779
101	2.80000	COMB1	0.6579	-132.0801
101	0.00000	COMB2	-0.9251	89.7669
101	0.70000	COMB2	-0.4822	50.7861
101	1.40000	COMB2	-0.0393	-1.5007
101	2.10000	COMB2	0.4037	-70.6487
101	2.80000	COMB2	0.8466	-153.1027
101	0.00000	COMB3	-0.3734	78.7955
101	0.70000	COMB3	-0.3749	35.6678
101	1.40000	COMB3	-0.3765	-19.7464
101	2.10000	COMB3	-0.3781	-90.4435
101	2.80000	COMB3	-0.3797	-173.4270
101	0.00000	COMB4	-1.2259	80.0842
101	0.70000	COMB4	-0.4542	54.2761
101	1.40000	COMB4	0.3175	16.1814
101	2.10000	COMB4	1.0892	-37.1961
101	2.80000	COMB4	1.8609	-102.8601
101	0.00000	COMB5	-0.8010	77.3552
101	0.70000	COMB5	-0.4443	16.6019
101	1.40000	COMB5	-0.0875	-56.4379
101	2.10000	COMB5	0.2693	-144.7605
101	2.80000	COMB5	0.6260	-245.3697
101	0.00000	COMB6	-0.7983	81.5245
101	0.70000	COMB6	-0.3849	73.3420

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
101	1.40000	COMB6	0.0284	52.8729
101	2.10000	COMB6	0.4418	17.1210
101	2.80000	COMB6	0.8552	-30.9174
101	0.00000	COMB7	-0.0166	46.0267
101	0.70000	COMB7	-0.1868	17.1571
101	1.40000	COMB7	-0.3570	-19.6531
101	2.10000	COMB7	-0.5271	-65.9523
101	2.80000	COMB7	-0.6973	-120.1921
101	0.00000	COMB8	-0.8691	47.3154
101	0.70000	COMB8	-0.2661	35.7654
101	1.40000	COMB8	0.3370	16.2748
101	2.10000	COMB8	0.9401	-12.7050
101	2.80000	COMB8	1.5432	-49.6252
101	0.00000	COMB9	-0.4443	44.5864
101	0.70000	COMB9	-0.2561	-1.9088
101	1.40000	COMB9	-0.0679	-56.3446
101	2.10000	COMB9	0.1202	-120.2694
101	2.80000	COMB9	0.3084	-192.1348
101	0.00000	COMB10	-0.4415	48.7557
101	0.70000	COMB10	-0.1967	54.8312
101	1.40000	COMB10	0.0480	52.9662
101	2.10000	COMB10	0.2928	41.6121
101	2.80000	COMB10	0.5375	22.3175

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
73	0.00000	MAT1	LinStatic	-2.027	-22.600	0.065
73	1.12500	MAT1	LinStatic	-2.027	-14.726	0.065
73	2.25000	MAT1	LinStatic	-2.027	1.507	0.065
73	3.37500	MAT1	LinStatic	-2.027	17.740	0.065
73	4.50000	MAT1	LinStatic	-2.027	25.614	0.065
73	0.00000	HIDUP	LinStatic	-0.230	-10.180	0.014
73	1.12500	HIDUP	LinStatic	-0.230	-7.015	0.014
73	2.25000	HIDUP	LinStatic	-0.230	0.670	0.014
73	3.37500	HIDUP	LinStatic	-0.230	8.356	0.014
73	4.50000	HIDUP	LinStatic	-0.230	11.520	0.014
73	0.00000	EX	LinStatic	14.922	2.081	-0.612
73	1.12500	EX	LinStatic	14.922	2.081	-0.612
73	2.25000	EX	LinStatic	14.922	2.081	-0.612
73	3.37500	EX	LinStatic	14.922	2.081	-0.612
73	4.50000	EX	LinStatic	14.922	2.081	-0.612
73	0.00000	EY	LinStatic	1.980	0.035	-0.333
73	1.12500	EY	LinStatic	1.980	0.035	-0.333
73	2.25000	EY	LinStatic	1.980	0.035	-0.333
73	3.37500	EY	LinStatic	1.980	0.035	-0.333
73	4.50000	EY	LinStatic	1.980	0.035	-0.333
73	0.00000	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.241E-03
73	1.12500	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.241E-03
73	2.25000	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.241E-03
73	3.37500	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.241E-03
73	4.50000	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.241E-03
73	0.00000	WY	LinStatic	0.092	2.731E-03	-0.013
73	1.12500	WY	LinStatic	0.092	2.731E-03	-0.013
73	2.25000	WY	LinStatic	0.092	2.731E-03	-0.013
73	3.37500	WY	LinStatic	0.092	2.731E-03	-0.013
73	4.50000	WY	LinStatic	0.092	2.731E-03	-0.013
73	0.00000	COMB1	Combination	-2.838	-31.640	0.091
73	1.12500	COMB1	Combination	-2.838	-20.617	0.091
73	2.25000	COMB1	Combination	-2.838	2.110	0.091
73	3.37500	COMB1	Combination	-2.838	24.836	0.091
73	4.50000	COMB1	Combination	-2.838	35.859	0.091
73	0.00000	COMB2	Combination	-2.800	-43.407	0.100
73	1.12500	COMB2	Combination	-2.800	-28.896	0.100
73	2.25000	COMB2	Combination	-2.800	2.881	0.100
73	3.37500	COMB2	Combination	-2.800	34.658	0.100
73	4.50000	COMB2	Combination	-2.800	49.169	0.100
73	0.00000	COMB3	Combination	13.024	-35.194	-0.644
73	1.12500	COMB3	Combination	13.024	-22.582	-0.644
73	2.25000	COMB3	Combination	13.024	4.584	-0.644
73	3.37500	COMB3	Combination	13.024	31.750	-0.644
73	4.50000	COMB3	Combination	13.024	44.362	-0.644
73	0.00000	COMB4	Combination	-18.348	-39.405	0.827
73	1.12500	COMB4	Combination	-18.348	-26.792	0.827
73	2.25000	COMB4	Combination	-18.348	0.373	0.827
73	3.37500	COMB4	Combination	-18.348	27.539	0.827
73	4.50000	COMB4	Combination	-18.348	40.152	0.827
73	0.00000	COMB5	Combination	3.949	-36.621	-0.445
73	1.12500	COMB5	Combination	3.949	-24.008	-0.445
73	2.25000	COMB5	Combination	3.949	3.157	-0.445
73	3.37500	COMB5	Combination	3.949	30.323	-0.445
73	4.50000	COMB5	Combination	3.949	42.936	-0.445
73	0.00000	COMB6	Combination	-9.274	-37.978	0.629
73	1.12500	COMB6	Combination	-9.274	-25.365	0.629
73	2.25000	COMB6	Combination	-9.274	1.800	0.629
73	3.37500	COMB6	Combination	-9.274	28.966	0.629

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
73	4.50000	COMB6	Combination	-9.274	41.578	0.629
73	0.00000	COMB7	Combination	13.862	-18.235	-0.677
73	1.12500	COMB7	Combination	13.862	-11.148	-0.677
73	2.25000	COMB7	Combination	13.862	3.461	-0.677
73	3.37500	COMB7	Combination	13.862	18.071	-0.677
73	4.50000	COMB7	Combination	13.862	25.158	-0.677
73	0.00000	COMB8	Combination	-17.510	-22.445	0.794
73	1.12500	COMB8	Combination	-17.510	-15.359	0.794
73	2.25000	COMB8	Combination	-17.510	-0.749	0.794
73	3.37500	COMB8	Combination	-17.510	13.861	0.794
73	4.50000	COMB8	Combination	-17.510	20.947	0.794
73	0.00000	COMB9	Combination	4.787	-19.661	-0.479
73	1.12500	COMB9	Combination	4.787	-12.575	-0.479
73	2.25000	COMB9	Combination	4.787	2.035	-0.479
73	3.37500	COMB9	Combination	4.787	16.645	-0.479
73	4.50000	COMB9	Combination	4.787	23.731	-0.479
73	0.00000	COMB10	Combination	-8.436	-21.019	0.595
73	1.12500	COMB10	Combination	-8.436	-13.932	0.595
73	2.25000	COMB10	Combination	-8.436	0.678	0.595
73	3.37500	COMB10	Combination	-8.436	15.287	0.595
73	4.50000	COMB10	Combination	-8.436	22.374	0.595

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
73	0.00000	MATI	0.2008	-15.7593
73	1.12500	MATI	0.1279	6.3334
73	2.25000	MATI	0.0550	13.9338
73	3.37500	MATI	-0.0179	2.9429
73	4.50000	MATI	-0.0908	-22.5403
73	0.00000	HIDUP	0.0307	-7.3132
73	1.12500	HIDUP	0.0151	2.9523
73	2.25000	HIDUP	-4.786E-04	6.6103
73	3.37500	HIDUP	-0.0161	1.4437
73	4.50000	HIDUP	-0.0316	-10.3303
73	0.00000	EX	-1.8150	4.4717
73	1.12500	EX	-1.1263	2.1311
73	2.25000	EX	-0.4377	-0.2095
73	3.37500	EX	0.2510	-2.5501
73	4.50000	EX	0.9396	-4.8907
73	0.00000	EY	-0.8093	0.3114
73	1.12500	EY	-0.4342	0.2722
73	2.25000	EY	-0.0592	0.2330
73	3.37500	EY	0.3159	0.1938
73	4.50000	EY	0.6909	0.1546
73	0.00000	WX	-0.0196	0.0293
73	1.12500	WX	-0.0114	0.0142
73	2.25000	WX	-0.0033	-8.770E-04
73	3.37500	WX	0.0049	-0.0160
73	4.50000	WX	0.0130	-0.0311
73	0.00000	WY	-0.0336	0.0180
73	1.12500	WY	-0.0186	0.0149
73	2.25000	WY	-0.0037	0.0119
73	3.37500	WY	0.0113	0.0088
73	4.50000	WY	0.0262	0.0057
73	0.00000	COMB1	0.2811	-22.0630
73	1.12500	COMB1	0.1791	8.8667
73	2.25000	COMB1	0.0770	19.5073
73	3.37500	COMB1	-0.0250	4.1200

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
73	4.50000	COMB1	-0.1271	-31.5564
73	0.00000	COMB2	0.2900	-30.6122
73	1.12500	COMB2	0.1776	12.3237
73	2.25000	COMB2	0.0653	27.2970
73	3.37500	COMB2	-0.0471	5.8414
73	4.50000	COMB2	-0.1595	-43.5769
73	0.00000	COMB3	-1.8454	-21.6123
73	1.12500	COMB3	-1.1214	12.7959
73	2.25000	COMB3	-0.3973	23.2060
73	3.37500	COMB3	0.3268	2.4819
73	4.50000	COMB3	1.0508	-42.2404
73	0.00000	COMB4	2.3887	-30.8364
73	1.12500	COMB4	1.4585	8.3087
73	2.25000	COMB4	0.5284	23.4557
73	3.37500	COMB4	-0.4018	7.4685
73	4.50000	COMB4	-1.3319	-32.5169
73	0.00000	COMB5	-1.1344	-24.5188
73	1.12500	COMB5	-0.6333	11.4943
73	2.25000	COMB5	-0.1321	23.5094
73	3.37500	COMB5	0.3690	4.3902
73	4.50000	COMB5	0.8702	-38.7271
73	0.00000	COMB6	1.6777	-27.9298
73	1.12500	COMB6	0.9705	9.6103
73	2.25000	COMB6	0.2632	23.1523
73	3.37500	COMB6	-0.4440	5.5601
73	4.50000	COMB6	-1.1512	-36.0302
73	0.00000	COMB7	-1.9363	-9.5714
73	1.12500	COMB7	-1.1748	7.9436
73	2.25000	COMB7	-0.4133	12.4155
73	3.37500	COMB7	0.3482	0.1553
73	4.50000	COMB7	1.1097	-25.1480
73	0.00000	COMB8	2.2978	-18.7954
73	1.12500	COMB8	1.4051	3.4565
73	2.25000	COMB8	0.5124	12.6652
73	3.37500	COMB8	-0.3803	5.1419
73	4.50000	COMB8	-1.2730	-15.4245
73	0.00000	COMB9	-1.2253	-12.4779
73	1.12500	COMB9	-0.6868	6.6421
73	2.25000	COMB9	-0.1482	12.7189
73	3.37500	COMB9	0.3904	2.0637
73	4.50000	COMB9	0.9290	-21.6347
73	0.00000	COMB10	1.5868	-15.8889
73	1.12500	COMB10	0.9170	4.7580
73	2.25000	COMB10	0.2472	12.3619
73	3.37500	COMB10	-0.4226	3.2336
73	4.50000	COMB10	-1.0924	-18.9378

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
22	0.00000	MAT1	LinStatic	-1105.215	18.073	12.349
22	1.83500	MAT1	LinStatic	-1083.635	18.073	12.349
22	3.67000	MAT1	LinStatic	-1062.056	18.073	12.349
22	0.00000	HIDUP	LinStatic	-237.820	4.500	2.002
22	1.83500	HIDUP	LinStatic	-237.820	4.500	2.002
22	3.67000	HIDUP	LinStatic	-237.820	4.500	2.002
22	0.00000	EX	LinStatic	84.032	78.661	5.122
22	1.83500	EX	LinStatic	84.032	78.661	5.122
22	3.67000	EX	LinStatic	84.032	78.661	5.122
22	0.00000	EY	LinStatic	72.000	-0.639	65.564
22	1.83500	EY	LinStatic	72.000	-0.639	65.564
22	3.67000	EY	LinStatic	72.000	-0.639	65.564
22	0.00000	WX	LinStatic	0.500	0.674	0.039
22	1.83500	WX	LinStatic	0.500	0.674	0.039
22	3.67000	WX	LinStatic	0.500	0.674	0.039
22	0.00000	WY	LinStatic	3.317	0.017	3.604
22	1.83500	WY	LinStatic	3.317	0.017	3.604
22	3.67000	WY	LinStatic	3.317	0.017	3.604
22	0.00000	COMB1	Combination	-1547.301	25.303	17.289
22	1.83500	COMB1	Combination	-1517.089	25.303	17.289
22	3.67000	COMB1	Combination	-1486.878	25.303	17.289
22	0.00000	COMB2	Combination	-1706.770	28.888	18.022
22	1.83500	COMB2	Combination	-1680.874	28.888	18.022
22	3.67000	COMB2	Combination	-1654.979	28.888	18.022
22	0.00000	COMB3	Combination	-1453.734	105.218	46.329
22	1.83500	COMB3	Combination	-1427.839	105.218	46.329
22	3.67000	COMB3	Combination	-1401.943	105.218	46.329
22	0.00000	COMB4	Combination	-1674.421	-52.842	-12.687
22	1.83500	COMB4	Combination	-1648.526	-52.842	-12.687
22	3.67000	COMB4	Combination	-1622.630	-52.842	-12.687
22	0.00000	COMB5	Combination	-1463.565	50.037	86.857
22	1.83500	COMB5	Combination	-1437.669	50.037	86.857
22	3.67000	COMB5	Combination	-1411.774	50.037	86.857
22	0.00000	COMB6	Combination	-1664.591	2.339	-53.214
22	1.83500	COMB6	Combination	-1638.695	2.339	-53.214
22	3.67000	COMB6	Combination	-1612.800	2.339	-53.214
22	0.00000	COMB7	Combination	-884.350	95.296	40.622
22	1.83500	COMB7	Combination	-864.928	95.296	40.622
22	3.67000	COMB7	Combination	-845.507	95.296	40.622
22	0.00000	COMB8	Combination	-1105.037	-62.764	-18.394
22	1.83500	COMB8	Combination	-1085.615	-62.764	-18.394
22	3.67000	COMB8	Combination	-1066.194	-62.764	-18.394
22	0.00000	COMB9	Combination	-894.180	40.115	81.150
22	1.83500	COMB9	Combination	-874.759	40.115	81.150
22	3.67000	COMB9	Combination	-855.337	40.115	81.150
22	0.00000	COMB10	Combination	-1095.207	-7.583	-58.921
22	1.83500	COMB10	Combination	-1075.785	-7.583	-58.921
22	3.67000	COMB10	Combination	-1056.363	-7.583	-58.921

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
22	0.00000	MAT1	25.4855	21.0696
22	1.83500	MAT1	2.8249	-12.0951
22	3.67000	MAT1	-19.8356	-45.2599
22	0.00000	HIDUP	5.3910	6.1949
22	1.83500	HIDUP	1.7169	-2.0625

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
22	3.67000	HIDUP	-1.9572	-10.3199
22	0.00000	EX	16.4545	262.8435
22	1.83500	EX	7.0561	118.5005
22	3.67000	EX	-2.3422	-25.8425
22	0.00000	EY	221.7167	-3.0553
22	1.83500	EY	101.4058	-1.8825
22	3.67000	EY	-18.9050	-0.7097
22	0.00000	WX	0.1298	2.0509
22	1.83500	WX	0.0577	0.8144
22	3.67000	WX	-0.0145	-0.4220
22	0.00000	WY	11.6369	0.0264
22	1.83500	WY	5.0234	-0.0045
22	3.67000	WY	-1.5901	-0.0354
22	0.00000	COMB1	35.6797	29.4975
22	1.83500	COMB1	3.9549	-16.9332
22	3.67000	COMB1	-27.7699	-63.3639
22	0.00000	COMB2	39.2083	35.1954
22	1.83500	COMB2	6.1370	-17.8142
22	3.67000	COMB2	-26.9343	-70.8237
22	0.00000	COMB3	134.1750	295.0804
22	1.83500	COMB3	49.1613	102.0047
22	3.67000	COMB3	-35.8524	-91.0709
22	0.00000	COMB4	-62.2277	-232.1235
22	1.83500	COMB4	-38.9476	-135.1581
22	3.67000	COMB4	-15.6675	-38.1927
22	0.00000	COMB5	272.1049	109.9635
22	1.83500	COMB5	112.7232	18.1461
22	3.67000	COMB5	-46.6585	-73.6713
22	0.00000	COMB6	-200.1577	-47.0066
22	1.83500	COMB6	-102.5095	-51.2994
22	3.67000	COMB6	-4.8614	-55.5923
22	0.00000	COMB7	121.1383	282.5646
22	1.83500	COMB7	46.5969	107.6958
22	3.67000	COMB7	-27.9445	-67.1730
22	0.00000	COMB8	-75.2644	-244.6393
22	1.83500	COMB8	-41.5120	-129.4670
22	3.67000	COMB8	-7.7596	-14.2948
22	0.00000	COMB9	259.0682	97.4477
22	1.83500	COMB9	110.1588	23.8371
22	3.67000	COMB9	-38.7506	-49.7734
22	0.00000	COMB10	-213.1944	-59.5224
22	1.83500	COMB10	-105.0739	-45.6084
22	3.67000	COMB10	3.0465	-31.6944

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
229	0.00000	MAT1	LinStatic	-817.039	23.986	9.957
229	1.60000	MAT1	LinStatic	-803.215	23.986	9.957
229	3.20000	MAT1	LinStatic	-789.391	23.986	9.957
229	0.00000	HIDUP	LinStatic	-176.447	5.528	0.218
229	1.60000	HIDUP	LinStatic	-176.447	5.528	0.218
229	3.20000	HIDUP	LinStatic	-176.447	5.528	0.218
229	0.00000	EX	LinStatic	63.143	68.034	5.245
229	1.60000	EX	LinStatic	63.143	68.034	5.245
229	3.20000	EX	LinStatic	63.143	68.034	5.245
229	0.00000	EY	LinStatic	55.915	-1.693	70.949
229	1.60000	EY	LinStatic	55.915	-1.693	70.949
229	3.20000	EY	LinStatic	55.915	-1.693	70.949
229	0.00000	WX	LinStatic	0.362	0.397	0.042
229	1.60000	WX	LinStatic	0.362	0.397	0.042
229	3.20000	WX	LinStatic	0.362	0.397	0.042
229	0.00000	WY	LinStatic	2.500	-0.017	3.331
229	1.60000	WY	LinStatic	2.500	-0.017	3.331
229	3.20000	WY	LinStatic	2.500	-0.017	3.331
229	0.00000	COMB1	Combination	-1143.854	33.580	13.940
229	1.60000	COMB1	Combination	-1124.501	33.580	13.940
229	3.20000	COMB1	Combination	-1105.147	33.580	13.940
229	0.00000	COMB2	Combination	-1262.761	37.627	12.297
229	1.60000	COMB2	Combination	-1246.173	37.627	12.297
229	3.20000	COMB2	Combination	-1229.584	37.627	12.297
229	0.00000	COMB3	Combination	-1073.436	102.132	43.060
229	1.60000	COMB3	Combination	-1056.847	102.132	43.060
229	3.20000	COMB3	Combination	-1040.258	102.132	43.060
229	0.00000	COMB4	Combination	-1240.351	-33.510	-18.727
229	1.60000	COMB4	Combination	-1223.762	-33.510	-18.727
229	3.20000	COMB4	Combination	-1207.173	-33.510	-18.727
229	0.00000	COMB5	Combination	-1079.565	53.530	87.408
229	1.60000	COMB5	Combination	-1062.976	53.530	87.408
229	3.20000	COMB5	Combination	-1046.387	53.530	87.408
229	0.00000	COMB6	Combination	-1234.222	15.091	-63.075
229	1.60000	COMB6	Combination	-1217.633	15.091	-63.075
229	3.20000	COMB6	Combination	-1201.044	15.091	-63.075
229	0.00000	COMB7	Combination	-651.878	89.408	39.855
229	1.60000	COMB7	Combination	-639.436	89.408	39.855
229	3.20000	COMB7	Combination	-626.994	89.408	39.855
229	0.00000	COMB8	Combination	-818.792	-46.234	-21.932
229	1.60000	COMB8	Combination	-806.350	-46.234	-21.932
229	3.20000	COMB8	Combination	-793.909	-46.234	-21.932
229	0.00000	COMB9	Combination	-658.007	40.807	84.203
229	1.60000	COMB9	Combination	-645.565	40.807	84.203
229	3.20000	COMB9	Combination	-633.123	40.807	84.203
229	0.00000	COMB10	Combination	-812.663	2.368	-66.280
229	1.60000	COMB10	Combination	-800.221	2.368	-66.280
229	3.20000	COMB10	Combination	-787.780	2.368	-66.280

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
229	0.00000	MAT1	18.2330	41.3869
229	1.60000	MAT1	2.3015	3.0095
229	3.20000	MAT1	-13.6301	-35.3680
229	0.00000	HIDUP	1.0430	9.8663
229	1.60000	HIDUP	0.6948	1.0222

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
229	3.20000	HIDUP	0.3466	-7.8219
229	0.00000	EX	9.6700	121.8957
229	1.60000	EX	1.2785	13.0421
229	3.20000	EX	-7.1130	-95.8115
229	0.00000	EY	130.5658	-2.1434
229	1.60000	EY	17.0478	0.5647
229	3.20000	EY	-96.4702	3.2729
229	0.00000	WX	0.0766	0.6123
229	1.60000	WX	0.0098	-0.0222
229	3.20000	WX	-0.0571	-0.6568
229	0.00000	WY	5.8357	0.0011
229	1.60000	WY	0.5053	0.0282
229	3.20000	WY	-4.8251	0.0552
229	0.00000	COMB1	25.5262	57.9416
229	1.60000	COMB1	3.2221	4.2132
229	3.20000	COMB1	-19.0821	-49.5151
229	0.00000	COMB2	23.5485	65.4503
229	1.60000	COMB2	3.8735	5.2469
229	3.20000	COMB2	-15.8016	-54.9566
229	0.00000	COMB3	79.4101	181.2745
229	1.60000	COMB3	10.5141	17.8639
229	3.20000	COMB3	-58.3819	-145.5467
229	0.00000	COMB4	-33.5648	-62.2134
229	1.60000	COMB4	-3.6009	-8.5968
229	3.20000	COMB4	26.3629	45.0198
229	0.00000	COMB5	161.1577	94.7527
229	1.60000	COMB5	21.3049	9.1045
229	3.20000	COMB5	-118.5479	-76.5436
229	0.00000	COMB6	-115.3123	24.3084
229	1.60000	COMB6	-14.3917	0.1626
229	3.20000	COMB6	86.5289	-23.9833
229	0.00000	COMB7	72.8972	158.9921
229	1.60000	COMB7	9.1289	15.9389
229	3.20000	COMB7	-54.6395	-127.1144
229	0.00000	COMB8	-40.0777	-84.4958
229	1.60000	COMB8	-4.9862	-10.5218
229	3.20000	COMB8	30.1053	63.4521
229	0.00000	COMB9	154.6447	72.4703
229	1.60000	COMB9	19.9196	7.1795
229	3.20000	COMB9	-114.8055	-58.1113
229	0.00000	COMB10	-121.8253	2.0260
229	1.60000	COMB10	-15.7769	-1.7625
229	3.20000	COMB10	90.2714	-5.5510

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
657	0.00000	MAT1	LinStatic	-331.635	22.344	6.579
657	1.60000	MAT1	LinStatic	-322.035	22.344	6.579
657	3.20000	MAT1	LinStatic	-312.435	22.344	6.579
657	0.00000	HIDUP	LinStatic	-72.221	5.470	-0.932
657	1.60000	HIDUP	LinStatic	-72.221	5.470	-0.932
657	3.20000	HIDUP	LinStatic	-72.221	5.470	-0.932
657	0.00000	EX	LinStatic	12.701	33.017	1.436
657	1.60000	EX	LinStatic	12.701	33.017	1.436
657	3.20000	EX	LinStatic	12.701	33.017	1.436
657	0.00000	EY	LinStatic	13.039	-1.206	37.310
657	1.60000	EY	LinStatic	13.039	-1.206	37.310
657	3.20000	EY	LinStatic	13.039	-1.206	37.310
657	0.00000	WX	LinStatic	0.081	0.155	0.014
657	1.60000	WX	LinStatic	0.081	0.155	0.014
657	3.20000	WX	LinStatic	0.081	0.155	0.014
657	0.00000	WY	LinStatic	0.605	-0.020	1.557
657	1.60000	WY	LinStatic	0.605	-0.020	1.557
657	3.20000	WY	LinStatic	0.605	-0.020	1.557
657	0.00000	COMB1	Combination	-464.289	31.282	9.210
657	1.60000	COMB1	Combination	-450.849	31.282	9.210
657	3.20000	COMB1	Combination	-437.409	31.282	9.210
657	0.00000	COMB2	Combination	-513.516	35.565	6.403
657	1.60000	COMB2	Combination	-501.996	35.565	6.403
657	3.20000	COMB2	Combination	-490.476	35.565	6.403
657	0.00000	COMB3	Combination	-452.719	65.035	21.626
657	1.60000	COMB3	Combination	-441.199	65.035	21.626
657	3.20000	COMB3	Combination	-429.679	65.035	21.626
657	0.00000	COMB4	Combination	-487.647	-0.469	-7.702
657	1.60000	COMB4	Combination	-476.127	-0.469	-7.702
657	3.20000	COMB4	Combination	-464.607	-0.469	-7.702
657	0.00000	COMB5	Combination	-452.745	41.167	45.967
657	1.60000	COMB5	Combination	-441.225	41.167	45.967
657	3.20000	COMB5	Combination	-429.705	41.167	45.967
657	0.00000	COMB6	Combination	-487.622	23.399	-32.043
657	1.60000	COMB6	Combination	-476.102	23.399	-32.043
657	3.20000	COMB6	Combination	-464.582	23.399	-32.043
657	0.00000	COMB7	Combination	-281.008	52.862	20.585
657	1.60000	COMB7	Combination	-272.368	52.862	20.585
657	3.20000	COMB7	Combination	-263.728	52.862	20.585
657	0.00000	COMB8	Combination	-315.936	-12.643	-8.743
657	1.60000	COMB8	Combination	-307.296	-12.643	-8.743
657	3.20000	COMB8	Combination	-298.656	-12.643	-8.743
657	0.00000	COMB9	Combination	-281.033	28.994	44.926
657	1.60000	COMB9	Combination	-272.393	28.994	44.926
657	3.20000	COMB9	Combination	-263.753	28.994	44.926
657	0.00000	COMB10	Combination	-315.910	11.226	-33.084
657	1.60000	COMB10	Combination	-307.270	11.226	-33.084
657	3.20000	COMB10	Combination	-298.630	11.226	-33.084

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
657	0.00000	MAT1	8.3176	32.9568
657	1.60000	MAT1	-2.2085	-2.7935
657	3.20000	MAT1	-12.7346	-38.5439
657	0.00000	HIDUP	-1.6940	8.0259
657	1.60000	HIDUP	-0.2022	-0.7264

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
657	3.20000	HIDUP	1.2895	-9.4787
657	0.00000	EX	0.8661	35.0365
657	1.60000	EX	-1.4309	-17.7904
657	3.20000	EX	-3.7278	-70.6174
657	0.00000	EY	45.6906	-1.5673
657	1.60000	EY	-14.0051	0.3627
657	3.20000	EY	-73.7008	2.2928
657	0.00000	WX	0.0131	0.1778
657	1.60000	WX	-0.0100	-0.0704
657	3.20000	WX	-0.0331	-0.3185
657	0.00000	WY	1.9300	-0.0213
657	1.60000	WY	-0.5610	0.0114
657	3.20000	WY	-3.0520	0.0441
657	0.00000	COMB1	11.6446	46.1396
657	1.60000	COMB1	-3.0919	-3.9110
657	3.20000	COMB1	-17.8284	-53.9615
657	0.00000	COMB2	7.2707	52.3897
657	1.60000	COMB2	-2.9738	-4.5145
657	3.20000	COMB2	-13.2182	-61.4187
657	0.00000	COMB3	25.3798	82.2550
657	1.60000	COMB3	-9.2222	-21.8017
657	3.20000	COMB3	-43.8242	-125.8584
657	0.00000	COMB4	-8.8056	12.8932
657	1.60000	COMB4	3.5173	13.6444
657	3.20000	COMB4	15.8402	14.3955
657	0.00000	COMB5	55.7985	56.7318
657	1.60000	COMB5	-17.7486	-9.1354
657	3.20000	COMB5	-91.2958	-75.0026
657	0.00000	COMB6	-39.2244	38.4164
657	1.60000	COMB6	12.0438	0.9780
657	3.20000	COMB6	63.3119	-36.4603
657	0.00000	COMB7	24.5785	64.3421
657	1.60000	COMB7	-8.3574	-20.2372
657	3.20000	COMB7	-41.2933	-104.8165
657	0.00000	COMB8	-9.6069	-5.0198
657	1.60000	COMB8	4.3821	15.2088
657	3.20000	COMB8	18.3711	35.4374
657	0.00000	COMB9	54.9973	38.8189
657	1.60000	COMB9	-16.8839	-7.5709
657	3.20000	COMB9	-88.7650	-53.9607
657	0.00000	COMB10	-40.0257	20.5034
657	1.60000	COMB10	12.9085	2.5425
657	3.20000	COMB10	65.8427	-15.4184

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
1	0.00000	MATI	LinStatic	-9.854	-79.625	-3.550
1	0.70625	MATI	LinStatic	-9.854	-70.416	-3.550
1	1.41250	MATI	LinStatic	-9.854	-60.712	-3.550
1	2.11875	MATI	LinStatic	-9.854	-51.008	-3.550
1	2.82500	MATI	LinStatic	-9.854	-41.304	-3.550
1	0.00000	HIDUP	LinStatic	-8.155	-14.296	-0.898
1	0.70625	HIDUP	LinStatic	-8.155	-13.745	-0.898
1	1.41250	HIDUP	LinStatic	-8.155	-12.926	-0.898
1	2.11875	HIDUP	LinStatic	-8.155	-12.106	-0.898
1	2.82500	HIDUP	LinStatic	-8.155	-11.287	-0.898
1	0.00000	EX	LinStatic	-82.324	25.247	3.173
1	0.70625	EX	LinStatic	-82.324	25.247	3.173
1	1.41250	EX	LinStatic	-82.324	25.247	3.173
1	2.11875	EX	LinStatic	-82.324	25.247	3.173
1	2.82500	EX	LinStatic	-82.324	25.247	3.173
1	0.00000	EY	LinStatic	10.467	-5.705	21.064
1	0.70625	EY	LinStatic	10.467	-5.705	21.064
1	1.41250	EY	LinStatic	10.467	-5.705	21.064
1	2.11875	EY	LinStatic	10.467	-5.705	21.064
1	2.82500	EY	LinStatic	10.467	-5.705	21.064
1	0.00000	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.499E-03
1	0.70625	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.499E-03
1	1.41250	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.499E-03
1	2.11875	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.499E-03
1	2.82500	WX	LinStatic	-1.253	0.120	2.499E-03
1	0.00000	WY	LinStatic	0.258	-0.131	0.498
1	0.70625	WY	LinStatic	0.258	-0.131	0.498
1	1.41250	WY	LinStatic	0.258	-0.131	0.498
1	2.11875	WY	LinStatic	0.258	-0.131	0.498
1	2.82500	WY	LinStatic	0.258	-0.131	0.498
1	0.00000	COMB1	Combination	-13.796	-111.474	-4.970
1	0.70625	COMB1	Combination	-13.796	-98.582	-4.970
1	1.41250	COMB1	Combination	-13.796	-84.996	-4.970
1	2.11875	COMB1	Combination	-13.796	-71.411	-4.970
1	2.82500	COMB1	Combination	-13.796	-57.825	-4.970
1	0.00000	COMB2	Combination	-24.872	-118.423	-5.696
1	0.70625	COMB2	Combination	-24.872	-106.490	-5.696
1	1.41250	COMB2	Combination	-24.872	-93.535	-5.696
1	2.11875	COMB2	Combination	-24.872	-80.579	-5.696
1	2.82500	COMB2	Combination	-24.872	-67.624	-5.696
1	0.00000	COMB3	Combination	-99.829	-86.384	4.983
1	0.70625	COMB3	Combination	-99.829	-74.783	4.983
1	1.41250	COMB3	Combination	-99.829	-62.319	4.983
1	2.11875	COMB3	Combination	-99.829	-49.855	4.983
1	2.82500	COMB3	Combination	-99.829	-37.391	4.983
1	0.00000	COMB4	Combination	59.870	-133.306	-15.298
1	0.70625	COMB4	Combination	59.870	-121.704	-15.298
1	1.41250	COMB4	Combination	59.870	-109.240	-15.298
1	2.11875	COMB4	Combination	59.870	-96.776	-15.298
1	2.82500	COMB4	Combination	59.870	-84.313	-15.298
1	0.00000	COMB5	Combination	-35.631	-107.925	17.260
1	0.70625	COMB5	Combination	-35.631	-96.323	17.260
1	1.41250	COMB5	Combination	-35.631	-83.859	17.260
1	2.11875	COMB5	Combination	-35.631	-71.396	17.260
1	2.82500	COMB5	Combination	-35.631	-58.932	17.260
1	0.00000	COMB6	Combination	-4.328	-111.765	-27.575
1	0.70625	COMB6	Combination	-4.328	-100.164	-27.575
1	1.41250	COMB6	Combination	-4.328	-87.700	-27.575
1	2.11875	COMB6	Combination	-4.328	-75.236	-27.575

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
1	2.82500	COMB6	Combination	-4.328	-62.772	-27.575
1	0.00000	COMB7	Combination	-88.718	-48.201	6.946
1	0.70625	COMB7	Combination	-88.718	-39.913	6.946
1	1.41250	COMB7	Combination	-88.718	-31.180	6.946
1	2.11875	COMB7	Combination	-88.718	-22.446	6.946
1	2.82500	COMB7	Combination	-88.718	-13.713	6.946
1	0.00000	COMB8	Combination	70.981	-95.123	-13.335
1	0.70625	COMB8	Combination	70.981	-86.835	-13.335
1	1.41250	COMB8	Combination	70.981	-78.101	-13.335
1	2.11875	COMB8	Combination	70.981	-69.368	-13.335
1	2.82500	COMB8	Combination	70.981	-60.634	-13.335
1	0.00000	COMB9	Combination	-24.520	-69.742	19.222
1	0.70625	COMB9	Combination	-24.520	-61.454	19.222
1	1.41250	COMB9	Combination	-24.520	-52.720	19.222
1	2.11875	COMB9	Combination	-24.520	-43.987	19.222
1	2.82500	COMB9	Combination	-24.520	-35.253	19.222
1	0.00000	COMB10	Combination	6.783	-73.582	-25.612
1	0.70625	COMB10	Combination	6.783	-65.294	-25.612
1	1.41250	COMB10	Combination	6.783	-56.561	-25.612
1	2.11875	COMB10	Combination	6.783	-47.827	-25.612
1	2.82500	COMB10	Combination	6.783	-39.094	-25.612
2	0.00000	MAT1	LinStatic	-10.356	-32.050	6.828
2	0.43125	MAT1	LinStatic	-10.356	-25.765	6.828
2	0.86250	MAT1	LinStatic	-10.356	-18.763	6.828
2	1.29375	MAT1	LinStatic	-10.356	-11.044	6.828
2	1.72500	MAT1	LinStatic	-10.356	-3.097	6.828
2	0.00000	HIDUP	LinStatic	-8.347	-8.920	2.567
2	0.43125	HIDUP	LinStatic	-8.347	-8.299	2.567
2	0.86250	HIDUP	LinStatic	-8.347	-7.435	2.567
2	1.29375	HIDUP	LinStatic	-8.347	-6.331	2.567
2	1.72500	HIDUP	LinStatic	-8.347	-5.250	2.567
2	0.00000	EX	LinStatic	-79.809	25.559	-9.447
2	0.43125	EX	LinStatic	-79.809	25.559	-9.447
2	0.86250	EX	LinStatic	-79.809	25.559	-9.447
2	1.29375	EX	LinStatic	-79.809	25.559	-9.447
2	1.72500	EX	LinStatic	-79.809	25.559	-9.447
2	0.00000	EY	LinStatic	10.162	3.900	-21.152
2	0.43125	EY	LinStatic	10.162	3.900	-21.152
2	0.86250	EY	LinStatic	10.162	3.900	-21.152
2	1.29375	EY	LinStatic	10.162	3.900	-21.152
2	1.72500	EY	LinStatic	10.162	3.900	-21.152
2	0.00000	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
2	0.43125	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
2	0.86250	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
2	1.29375	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
2	1.72500	WX	LinStatic	-1.231	0.116	-0.035
2	0.00000	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.595
2	0.43125	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.595
2	0.86250	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.595
2	1.29375	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.595
2	1.72500	WY	LinStatic	0.294	0.118	-0.595
2	0.00000	COMB1	Combination	-14.498	-44.870	9.560
2	0.43125	COMB1	Combination	-14.498	-36.071	9.560
2	0.86250	COMB1	Combination	-14.498	-26.268	9.560
2	1.29375	COMB1	Combination	-14.498	-15.461	9.560
2	1.72500	COMB1	Combination	-14.498	-4.336	9.560
2	0.00000	COMB2	Combination	-25.782	-52.732	12.302
2	0.43125	COMB2	Combination	-25.782	-44.197	12.302
2	0.86250	COMB2	Combination	-25.782	-34.412	12.302
2	1.29375	COMB2	Combination	-25.782	-23.382	12.302
2	1.72500	COMB2	Combination	-25.782	-12.116	12.302

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
2	0.00000	COMB3	Combination	-98.136	-20.404	-5.833
2	0.43125	COMB3	Combination	-98.136	-12.242	-5.833
2	0.86250	COMB3	Combination	-98.136	-2.975	-5.833
2	1.29375	COMB3	Combination	-98.136	7.392	-5.833
2	1.72500	COMB3	Combination	-98.136	18.009	-5.833
2	0.00000	COMB4	Combination	56.589	-74.355	27.355
2	0.43125	COMB4	Combination	56.589	-66.193	27.355
2	0.86250	COMB4	Combination	56.589	-56.926	27.355
2	1.29375	COMB4	Combination	56.589	-46.559	27.355
2	1.72500	COMB4	Combination	56.589	-35.942	27.355
2	0.00000	COMB5	Combination	-35.919	-35.567	-13.747
2	0.43125	COMB5	Combination	-35.919	-27.404	-13.747
2	0.86250	COMB5	Combination	-35.919	-18.137	-13.747
2	1.29375	COMB5	Combination	-35.919	-7.770	-13.747
2	1.72500	COMB5	Combination	-35.919	2.847	-13.747
2	0.00000	COMB6	Combination	-5.628	-59.193	35.269
2	0.43125	COMB6	Combination	-5.628	-51.030	35.269
2	0.86250	COMB6	Combination	-5.628	-41.763	35.269
2	1.29375	COMB6	Combination	-5.628	-31.396	35.269
2	1.72500	COMB6	Combination	-5.628	-20.779	35.269
2	0.00000	COMB7	Combination	-86.683	-1.869	-10.448
2	0.43125	COMB7	Combination	-86.683	3.787	-10.448
2	0.86250	COMB7	Combination	-86.683	10.089	-10.448
2	1.29375	COMB7	Combination	-86.683	17.036	-10.448
2	1.72500	COMB7	Combination	-86.683	24.188	-10.448
2	0.00000	COMB8	Combination	68.043	-55.820	22.739
2	0.43125	COMB8	Combination	68.043	-50.164	22.739
2	0.86250	COMB8	Combination	68.043	-43.862	22.739
2	1.29375	COMB8	Combination	68.043	-36.915	22.739
2	1.72500	COMB8	Combination	68.043	-29.763	22.739
2	0.00000	COMB9	Combination	-24.466	-17.032	-18.362
2	0.43125	COMB9	Combination	-24.466	-11.376	-18.362
2	0.86250	COMB9	Combination	-24.466	-5.073	-18.362
2	1.29375	COMB9	Combination	-24.466	1.874	-18.362
2	1.72500	COMB9	Combination	-24.466	9.026	-18.362
2	0.00000	COMB10	Combination	5.826	-40.658	30.653
2	0.43125	COMB10	Combination	5.826	-35.002	30.653
2	0.86250	COMB10	Combination	5.826	-28.699	30.653
2	1.29375	COMB10	Combination	5.826	-21.752	30.653
2	1.72500	COMB10	Combination	5.826	-14.600	30.653
3	0.00000	MATI	LinStatic	8.802	53.548	-1.235
3	0.69375	MATI	LinStatic	8.802	68.149	-1.235
3	1.38750	MATI	LinStatic	8.802	84.178	-1.235
3	2.08125	MATI	LinStatic	8.802	98.349	-1.235
3	2.77500	MATI	LinStatic	8.802	108.438	-1.235
3	0.00000	HIDUP	LinStatic	1.773	17.417	-1.206
3	0.69375	HIDUP	LinStatic	1.773	19.854	-1.206
3	1.38750	HIDUP	LinStatic	1.773	23.226	-1.206
3	2.08125	HIDUP	LinStatic	1.773	25.972	-1.206
3	2.77500	HIDUP	LinStatic	1.773	26.887	-1.206
3	0.00000	EX	LinStatic	-94.833	27.286	-6.682
3	0.69375	EX	LinStatic	-94.833	27.286	-6.682
3	1.38750	EX	LinStatic	-94.833	27.286	-6.682
3	2.08125	EX	LinStatic	-94.833	27.286	-6.682
3	2.77500	EX	LinStatic	-94.833	27.286	-6.682
3	0.00000	EY	LinStatic	-2.093	-0.066	-5.194
3	0.69375	EY	LinStatic	-2.093	-0.066	-5.194
3	1.38750	EY	LinStatic	-2.093	-0.066	-5.194
3	2.08125	EY	LinStatic	-2.093	-0.066	-5.194
3	2.77500	EY	LinStatic	-2.093	-0.066	-5.194
3	0.00000	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
3	0.69375	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
3	1.38750	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
3	2.08125	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
3	2.77500	WX	LinStatic	-1.298	0.124	-0.026
3	0.00000	WY	LinStatic	-0.090	3.269E-03	-0.187
3	0.69375	WY	LinStatic	-0.090	3.269E-03	-0.187
3	1.38750	WY	LinStatic	-0.090	3.269E-03	-0.187
3	2.08125	WY	LinStatic	-0.090	3.269E-03	-0.187
3	2.77500	WY	LinStatic	-0.090	3.269E-03	-0.187
3	0.00000	COMB1	Combination	12.322	74.967	-1.730
3	0.69375	COMB1	Combination	12.322	95.408	-1.730
3	1.38750	COMB1	Combination	12.322	117.850	-1.730
3	2.08125	COMB1	Combination	12.322	137.689	-1.730
3	2.77500	COMB1	Combination	12.322	151.813	-1.730
3	0.00000	COMB2	Combination	13.398	92.125	-3.412
3	0.69375	COMB2	Combination	13.398	113.544	-3.412
3	1.38750	COMB2	Combination	13.398	138.176	-3.412
3	2.08125	COMB2	Combination	13.398	159.574	-3.412
3	2.77500	COMB2	Combination	13.398	173.145	-3.412
3	0.00000	COMB3	Combination	-84.282	109.045	-11.193
3	0.69375	COMB3	Combination	-84.282	129.002	-11.193
3	1.38750	COMB3	Combination	-84.282	151.610	-11.193
3	2.08125	COMB3	Combination	-84.282	171.361	-11.193
3	2.77500	COMB3	Combination	-84.282	184.382	-11.193
3	0.00000	COMB4	Combination	108.951	54.305	5.816
3	0.69375	COMB4	Combination	108.951	74.262	5.816
3	1.38750	COMB4	Combination	108.951	96.870	5.816
3	2.08125	COMB4	Combination	108.951	116.621	5.816
3	2.77500	COMB4	Combination	108.951	129.643	5.816
3	0.00000	COMB5	Combination	-19.969	89.958	-10.071
3	0.69375	COMB5	Combination	-19.969	109.916	-10.071
3	1.38750	COMB5	Combination	-19.969	132.524	-10.071
3	2.08125	COMB5	Combination	-19.969	152.275	-10.071
3	2.77500	COMB5	Combination	-19.969	165.296	-10.071
3	0.00000	COMB6	Combination	44.638	73.391	4.694
3	0.69375	COMB6	Combination	44.638	93.348	4.694
3	1.38750	COMB6	Combination	44.638	115.957	4.694
3	2.08125	COMB6	Combination	44.638	135.707	4.694
3	2.77500	COMB6	Combination	44.638	148.729	4.694
3	0.00000	COMB7	Combination	-88.695	75.563	-9.616
3	0.69375	COMB7	Combination	-88.695	88.704	-9.616
3	1.38750	COMB7	Combination	-88.695	103.131	-9.616
3	2.08125	COMB7	Combination	-88.695	115.884	-9.616
3	2.77500	COMB7	Combination	-88.695	124.964	-9.616
3	0.00000	COMB8	Combination	104.538	20.823	7.392
3	0.69375	COMB8	Combination	104.538	33.964	7.392
3	1.38750	COMB8	Combination	104.538	48.391	7.392
3	2.08125	COMB8	Combination	104.538	61.145	7.392
3	2.77500	COMB8	Combination	104.538	70.224	7.392
3	0.00000	COMB9	Combination	-24.382	56.477	-8.495
3	0.69375	COMB9	Combination	-24.382	69.617	-8.495
3	1.38750	COMB9	Combination	-24.382	84.044	-8.495
3	2.08125	COMB9	Combination	-24.382	96.798	-8.495
3	2.77500	COMB9	Combination	-24.382	105.878	-8.495
3	0.00000	COMB10	Combination	40.225	39.910	6.271
3	0.69375	COMB10	Combination	40.225	53.050	6.271
3	1.38750	COMB10	Combination	40.225	67.477	6.271
3	2.08125	COMB10	Combination	40.225	80.231	6.271
3	2.77500	COMB10	Combination	40.225	89.311	6.271

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
1	0.00000	MAT1	-4.8831	-115.2199
1	0.70625	MAT1	-2.3761	-62.1385
1	1.41250	MAT1	0.1309	-15.8343
1	2.11875	MAT1	2.6379	23.6167
1	2.82500	MAT1	5.1449	56.2142
1	0.00000	HIDUP	-1.2167	-24.4874
1	0.70625	HIDUP	-0.5826	-14.5321
1	1.41250	HIDUP	0.0516	-5.1141
1	2.11875	HIDUP	0.6858	3.7253
1	2.82500	HIDUP	1.3200	11.9861
1	0.00000	EX	3.0810	91.7283
1	0.70625	EX	0.8404	73.8977
1	1.41250	EX	-1.4002	56.0672
1	2.11875	EX	-3.6409	38.2367
1	2.82500	EX	-5.8815	20.4062
1	0.00000	EY	29.7265	-9.5439
1	0.70625	EY	14.8500	-5.5148
1	1.41250	EY	-0.0266	-1.4857
1	2.11875	EY	-14.9032	2.5434
1	2.82500	EY	-29.7798	6.5724
1	0.00000	WX	0.0099	0.4325
1	0.70625	WX	0.0082	0.3478
1	1.41250	WX	0.0064	0.2632
1	2.11875	WX	0.0046	0.1785
1	2.82500	WX	0.0029	0.0939
1	0.00000	WY	0.6962	-0.1955
1	0.70625	WY	0.3448	-0.1029
1	1.41250	WY	-0.0066	-0.0104
1	2.11875	WY	-0.3580	0.0822
1	2.82500	WY	-0.7093	0.1747
1	0.00000	COMB1	-6.8363	-161.3078
1	0.70625	COMB1	-3.3265	-86.9939
1	1.41250	COMB1	0.1833	-22.1680
1	2.11875	COMB1	3.6931	33.0633
1	2.82500	COMB1	7.2029	78.6999
1	0.00000	COMB2	-7.8065	-177.4436
1	0.70625	COMB2	-3.7834	-97.8176
1	1.41250	COMB2	0.2397	-27.1837
1	2.11875	COMB2	4.2628	34.3004
1	2.82500	COMB2	8.2859	86.6348
1	0.00000	COMB3	5.8355	-73.7943
1	0.70625	COMB3	2.3163	-16.7106
1	1.41250	COMB3	-1.2029	31.7033
1	2.11875	COMB3	-4.7221	71.3146
1	2.82500	COMB3	-8.2414	102.1233
1	0.00000	COMB4	-19.9883	-251.7082
1	0.70625	COMB4	-9.1840	-161.4861
1	1.41250	COMB4	1.6204	-79.9338
1	2.11875	COMB4	12.4248	-7.1841
1	2.82500	COMB4	23.2291	56.7630
1	0.00000	COMB5	24.1443	-144.3708
1	0.70625	COMB5	11.9547	-72.0740
1	1.41250	COMB5	-0.2349	-8.4470
1	2.11875	COMB5	-12.4245	46.3775
1	2.82500	COMB5	-24.6141	92.3992
1	0.00000	COMB6	-38.2971	-181.1317
1	0.70625	COMB6	-18.8224	-106.1227
1	1.41250	COMB6	0.6524	-39.7835
1	2.11875	COMB6	20.1271	17.7531

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
1	2.82500	COMB6	39.6018	66.4870
1	0.00000	COMB7	8.5172	-14.7409
1	0.70625	COMB7	3.6117	16.4631
1	1.41250	COMB7	-1.2938	41.5677
1	2.11875	COMB7	-6.1993	60.5044
1	2.82500	COMB7	-11.1048	73.2730
1	0.00000	COMB8	-17.3067	-192.6548
1	0.70625	COMB8	-7.8886	-128.3124
1	1.41250	COMB8	1.5295	-70.0694
1	2.11875	COMB8	10.9476	-17.9944
1	2.82500	COMB8	20.3657	27.9126
1	0.00000	COMB9	26.8259	-85.3174
1	0.70625	COMB9	13.2501	-38.9003
1	1.41250	COMB9	-0.3258	1.4175
1	2.11875	COMB9	-13.9017	35.5672
1	2.82500	COMB9	-27.4775	63.5489
1	0.00000	COMB10	-35.6155	-122.0784
1	0.70625	COMB10	-17.5270	-72.9491
1	1.41250	COMB10	0.5615	-29.9191
1	2.11875	COMB10	18.6499	6.9428
1	2.82500	COMB10	36.7384	37.6367
2	0.00000	MAT1	6.3795	51.0970
2	0.43125	MAT1	3.4347	63.5892
2	0.86250	MAT1	0.4900	73.2164
2	1.29375	MAT1	-2.4548	79.6687
2	1.72500	MAT1	-5.3995	82.7127
2	0.00000	HIDUP	1.9132	10.5775
2	0.43125	HIDUP	0.8061	14.2990
2	0.86250	HIDUP	-0.3010	17.7004
2	1.29375	HIDUP	-1.4081	20.6772
2	1.72500	HIDUP	-2.5153	23.1662
2	0.00000	EX	-10.6786	28.5802
2	0.43125	EX	-6.6047	17.5578
2	0.86250	EX	-2.5309	6.5354
2	1.29375	EX	1.5429	-4.4870
2	1.72500	EX	5.6168	-15.5094
2	0.00000	EY	-27.7365	6.4820
2	0.43125	EY	-18.6146	4.7999
2	0.86250	EY	-9.4928	3.1179
2	1.29375	EY	-0.3709	1.4358
2	1.72500	EY	8.7510	-0.2463
2	0.00000	WX	-0.0430	0.1290
2	0.43125	WX	-0.0279	0.0791
2	0.86250	WX	-0.0127	0.0292
2	1.29375	WX	0.0025	-0.0207
2	1.72500	WX	0.0177	-0.0706
2	0.00000	WY	-0.7736	0.1760
2	0.43125	WY	-0.5170	0.1250
2	0.86250	WY	-0.2604	0.0740
2	1.29375	WY	-0.0038	0.0231
2	1.72500	WY	0.2527	-0.0279
2	0.00000	COMB1	8.9312	71.5358
2	0.43125	COMB1	4.8086	89.0249
2	0.86250	COMB1	0.6860	102.5029
2	1.29375	COMB1	-3.4367	111.5362
2	1.72500	COMB1	-7.5593	115.7977
2	0.00000	COMB2	10.7165	78.2404
2	0.43125	COMB2	5.4115	99.1855
2	0.86250	COMB2	0.1064	116.1803
2	1.29375	COMB2	-5.1987	128.6859
2	1.72500	COMB2	-10.5038	136.3211

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
2	0.00000	COMB3	-10.4710	102.7506
2	0.43125	COMB3	-7.9557	109.8296
2	0.86250	COMB3	-5.4405	113.1504
2	1.29375	COMB3	-2.9252	112.2367
2	1.72500	COMB3	-0.4099	106.7454
2	0.00000	COMB4	29.6082	41.0372
2	0.43125	COMB4	17.8113	71.3826
2	0.86250	COMB4	6.0144	97.9697
2	1.29375	COMB4	-5.7825	120.3224
2	1.72500	COMB4	-17.5794	138.0974
2	0.00000	COMB5	-22.0463	87.2583
2	0.43125	COMB5	-16.1181	100.8761
2	0.86250	COMB5	-10.1899	110.7357
2	1.29375	COMB5	-4.2617	116.3608
2	1.72500	COMB5	1.6665	117.4082
2	0.00000	COMB6	41.1835	56.5294
2	0.43125	COMB6	25.9736	80.3361
2	0.86250	COMB6	10.7638	100.3844
2	1.29375	COMB6	-4.4460	116.1983
2	1.72500	COMB6	-19.6558	127.4346
2	0.00000	COMB7	-14.2981	76.8440
2	0.43125	COMB7	-9.7923	76.4538
2	0.86250	COMB7	-5.2864	73.4851
2	1.29375	COMB7	-0.7806	67.6590
2	1.72500	COMB7	3.7252	58.7654
2	0.00000	COMB8	25.7811	15.1306
2	0.43125	COMB8	15.9748	38.0068
2	0.86250	COMB8	6.1684	58.3044
2	1.29375	COMB8	-3.6379	75.7447
2	1.72500	COMB8	-13.4443	90.1174
2	0.00000	COMB9	-25.8734	61.3517
2	0.43125	COMB9	-17.9546	67.5003
2	0.86250	COMB9	-10.0359	71.0704
2	1.29375	COMB9	-2.1171	71.7831
2	1.72500	COMB9	5.8016	69.4282
2	0.00000	COMB10	37.3564	30.6229
2	0.43125	COMB10	24.1371	46.9603
2	0.86250	COMB10	10.9178	60.7191
2	1.29375	COMB10	-2.3014	71.6206
2	1.72500	COMB10	-15.5207	79.4546
3	0.00000	MAT1	-2.3872	85.1287
3	0.69375	MAT1	-1.5302	43.1192
3	1.38750	MAT1	-0.6731	-9.6982
3	2.08125	MAT1	0.1839	-73.2486
3	2.77500	MAT1	1.0410	-145.2140
3	0.00000	HIDUP	-1.8290	25.5290
3	0.69375	HIDUP	-0.9922	12.6957
3	1.38750	HIDUP	-0.1554	-2.2142
3	2.08125	HIDUP	0.6813	-19.3855
3	2.77500	HIDUP	1.5181	-37.8266
3	0.00000	EX	-7.3585	-17.4065
3	0.69375	EX	-2.7230	-36.3362
3	1.38750	EX	1.9126	-55.2660
3	2.08125	EX	6.5481	-74.1957
3	2.77500	EX	11.1836	-93.1255
3	0.00000	EY	-3.3473	-0.2416
3	0.69375	EY	0.2564	-0.1957
3	1.38750	EY	3.8601	-0.1497
3	2.08125	EY	7.4638	-0.1037
3	2.77500	EY	11.0675	-0.0577
3	0.00000	WX	-0.0304	-0.0761

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
3	0.69375	WX	-0.0122	-0.1623
3	1.38750	WX	0.0061	-0.2485
3	2.08125	WX	0.0243	-0.3347
3	2.77500	WX	0.0426	-0.4209
3	0.00000	WY	-0.1224	-0.0228
3	0.69375	WY	0.0073	-0.0251
3	1.38750	WY	0.1369	-0.0274
3	2.08125	WY	0.2666	-0.0296
3	2.77500	WY	0.3962	-0.0319
3	0.00000	COMB1	-3.3421	119.1802
3	0.69375	COMB1	-2.1422	60.3669
3	1.38750	COMB1	-0.9423	-13.5775
3	2.08125	COMB1	0.2575	-102.5480
3	2.77500	COMB1	1.4574	-203.2997
3	0.00000	COMB2	-5.7910	143.0009
3	0.69375	COMB2	-3.4237	72.0562
3	1.38750	COMB2	-1.0564	-15.1806
3	2.08125	COMB2	1.3109	-118.9151
3	2.77500	COMB2	3.6781	-234.7794
3	0.00000	COMB3	-13.2398	110.1139
3	0.69375	COMB3	-5.4747	27.8813
3	1.38750	COMB3	2.2903	-69.3973
3	2.08125	COMB3	10.0553	-181.8169
3	2.77500	COMB3	17.8203	-305.6044
3	0.00000	COMB4	3.8525	145.2530
3	0.69375	COMB4	-0.1820	100.9962
3	1.38750	COMB4	-4.2166	41.6932
3	2.08125	COMB4	-8.2512	-32.7507
3	2.77500	COMB4	-12.2858	-118.5625
3	0.00000	COMB5	-10.3859	122.1026
3	0.69375	COMB5	-3.3989	53.1111
3	1.38750	COMB5	3.5881	-30.9265
3	2.08125	COMB5	10.5751	-130.1051
3	2.77500	COMB5	17.5622	-240.6515
3	0.00000	COMB6	0.9986	133.2643
3	0.69375	COMB6	-2.2579	75.7664
3	1.38750	COMB6	-5.5145	3.2224
3	2.08125	COMB6	-8.7710	-84.4626
3	2.77500	COMB6	-12.0276	-183.5154
3	0.00000	COMB7	-10.6946	59.0462
3	0.69375	COMB7	-4.0235	2.2498
3	1.38750	COMB7	2.6477	-64.2737
3	2.08125	COMB7	9.3188	-140.4569
3	2.77500	COMB7	15.9899	-224.2136
3	0.00000	COMB8	6.3977	94.1854
3	0.69375	COMB8	1.2692	75.3647
3	1.38750	COMB8	-3.8592	46.8169
3	2.08125	COMB8	-8.9877	8.6094
3	2.77500	COMB8	-14.1161	-37.1717
3	0.00000	COMB9	-7.8407	71.0350
3	0.69375	COMB9	-1.9476	27.4796
3	1.38750	COMB9	3.9455	-25.8028
3	2.08125	COMB9	9.8386	-88.7450
3	2.77500	COMB9	15.7318	-159.2607
3	0.00000	COMB10	3.5438	82.1966
3	0.69375	COMB10	-0.8067	50.1349
3	1.38750	COMB10	-5.1571	8.3461
3	2.08125	COMB10	-9.5075	-43.1025
3	2.77500	COMB10	-13.8580	-102.1246

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F142	0.00000	MATI	LinStatic	3.100	-65.818	0.224
F142	0.70000	MATI	LinStatic	3.100	-55.433	0.224
F142	1.40000	MATI	LinStatic	3.100	-40.520	0.224
F142	2.10000	MATI	LinStatic	3.100	-25.606	0.224
F142	2.80000	MATI	LinStatic	3.100	-15.222	0.224
F142	0.00000	HIDUP	LinStatic	1.414	-18.401	0.129
F142	0.70000	HIDUP	LinStatic	1.414	-17.176	0.129
F142	1.40000	HIDUP	LinStatic	1.414	-13.501	0.129
F142	2.10000	HIDUP	LinStatic	1.414	-9.826	0.129
F142	2.80000	HIDUP	LinStatic	1.414	-8.601	0.129
F142	0.00000	EX	LinStatic	-0.145	-1.361	1.384
F142	0.70000	EX	LinStatic	-0.145	-1.361	1.384
F142	1.40000	EX	LinStatic	-0.145	-1.361	1.384
F142	2.10000	EX	LinStatic	-0.145	-1.361	1.384
F142	2.80000	EX	LinStatic	-0.145	-1.361	1.384
F142	0.00000	EY	LinStatic	-11.429	62.598	-0.206
F142	0.70000	EY	LinStatic	-11.429	62.598	-0.206
F142	1.40000	EY	LinStatic	-11.429	62.598	-0.206
F142	2.10000	EY	LinStatic	-11.429	62.598	-0.206
F142	2.80000	EY	LinStatic	-11.429	62.598	-0.206
F142	0.00000	WX	LinStatic	-2.512E-04	-4.474E-03	0.012
F142	0.70000	WX	LinStatic	-2.512E-04	-4.474E-03	0.012
F142	1.40000	WX	LinStatic	-2.512E-04	-4.474E-03	0.012
F142	2.10000	WX	LinStatic	-2.512E-04	-4.474E-03	0.012
F142	2.80000	WX	LinStatic	-2.512E-04	-4.474E-03	0.012
F142	0.00000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.554E-03
F142	0.70000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.554E-03
F142	1.40000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.554E-03
F142	2.10000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.554E-03
F142	2.80000	WY	LinStatic	-0.871	1.860	1.554E-03
F142	0.00000	COMB1	Combination	4.340	-92.145	0.314
F142	0.70000	COMB1	Combination	4.340	-77.607	0.314
F142	1.40000	COMB1	Combination	4.340	-56.728	0.314
F142	2.10000	COMB1	Combination	4.340	-35.849	0.314
F142	2.80000	COMB1	Combination	4.340	-21.311	0.314
F142	0.00000	COMB2	Combination	5.982	-108.423	0.476
F142	0.70000	COMB2	Combination	5.982	-94.001	0.476
F142	1.40000	COMB2	Combination	5.982	-70.225	0.476
F142	2.10000	COMB2	Combination	5.982	-46.449	0.476
F142	2.80000	COMB2	Combination	5.982	-32.027	0.476
F142	0.00000	COMB3	Combination	0.428	-77.549	1.733
F142	0.70000	COMB3	Combination	0.428	-63.863	1.733
F142	1.40000	COMB3	Combination	0.428	-42.292	1.733
F142	2.10000	COMB3	Combination	0.428	-20.720	1.733
F142	2.80000	COMB3	Combination	0.428	-7.034	1.733
F142	0.00000	COMB4	Combination	9.840	-117.215	-0.936
F142	0.70000	COMB4	Combination	9.840	-103.529	-0.936
F142	1.40000	COMB4	Combination	9.840	-81.958	-0.936
F142	2.10000	COMB4	Combination	9.840	-60.386	-0.936
F142	2.80000	COMB4	Combination	9.840	-46.700	-0.936
F142	0.00000	COMB5	Combination	-7.036	-33.710	0.625
F142	0.70000	COMB5	Combination	-7.036	-20.024	0.625
F142	1.40000	COMB5	Combination	-7.036	1.547	0.625
F142	2.10000	COMB5	Combination	-7.036	23.119	0.625
F142	2.80000	COMB5	Combination	-7.036	36.805	0.625
F142	0.00000	COMB6	Combination	17.303	-161.054	0.172
F142	0.70000	COMB6	Combination	17.303	-147.368	0.172
F142	1.40000	COMB6	Combination	17.303	-125.797	0.172
F142	2.10000	COMB6	Combination	17.303	-104.225	0.172

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F142	2.80000	COMB6	Combination	17.303	-90.539	0.172
F142	0.00000	COMB7	Combination	-1.916	-39.403	1.536
F142	0.70000	COMB7	Combination	-1.916	-30.057	1.536
F142	1.40000	COMB7	Combination	-1.916	-16.635	1.536
F142	2.10000	COMB7	Combination	-1.916	-3.213	1.536
F142	2.80000	COMB7	Combination	-1.916	6.133	1.536
F142	0.00000	COMB8	Combination	7.496	-79.069	-1.133
F142	0.70000	COMB8	Combination	7.496	-69.723	-1.133
F142	1.40000	COMB8	Combination	7.496	-56.301	-1.133
F142	2.10000	COMB8	Combination	7.496	-42.879	-1.133
F142	2.80000	COMB8	Combination	7.496	-33.533	-1.133
F142	0.00000	COMB9	Combination	-9.380	4.436	0.428
F142	0.70000	COMB9	Combination	-9.380	13.782	0.428
F142	1.40000	COMB9	Combination	-9.380	27.204	0.428
F142	2.10000	COMB9	Combination	-9.380	40.626	0.428
F142	2.80000	COMB9	Combination	-9.380	49.972	0.428
F142	0.00000	COMB10	Combination	14.960	-122.908	-0.025
F142	0.70000	COMB10	Combination	14.960	-113.562	-0.025
F142	1.40000	COMB10	Combination	14.960	-100.140	-0.025
F142	2.10000	COMB10	Combination	14.960	-86.718	-0.025
F142	2.80000	COMB10	Combination	14.960	-77.372	-0.025
F143	0.00000	MATI	LinStatic	3.045	27.261	-0.346
F143	0.70000	MATI	LinStatic	3.045	37.646	-0.346
F143	1.40000	MATI	LinStatic	3.045	52.211	-0.346
F143	2.10000	MATI	LinStatic	3.045	66.776	-0.346
F143	2.80000	MATI	LinStatic	3.045	77.161	-0.346
F143	0.00000	HIDUP	LinStatic	1.412	10.335	-0.139
F143	0.70000	HIDUP	LinStatic	1.412	11.561	-0.139
F143	1.40000	HIDUP	LinStatic	1.412	15.050	-0.139
F143	2.10000	HIDUP	LinStatic	1.412	18.539	-0.139
F143	2.80000	HIDUP	LinStatic	1.412	19.765	-0.139
F143	0.00000	EX	LinStatic	0.073	-1.154	0.913
F143	0.70000	EX	LinStatic	0.073	-1.154	0.913
F143	1.40000	EX	LinStatic	0.073	-1.154	0.913
F143	2.10000	EX	LinStatic	0.073	-1.154	0.913
F143	2.80000	EX	LinStatic	0.073	-1.154	0.913
F143	0.00000	EY	LinStatic	-11.328	56.319	-0.217
F143	0.70000	EY	LinStatic	-11.328	56.319	-0.217
F143	1.40000	EY	LinStatic	-11.328	56.319	-0.217
F143	2.10000	EY	LinStatic	-11.328	56.319	-0.217
F143	2.80000	EY	LinStatic	-11.328	56.319	-0.217
F143	0.00000	WX	LinStatic	8.080E-04	-3.680E-03	2.989E-03
F143	0.70000	WX	LinStatic	8.080E-04	-3.680E-03	2.989E-03
F143	1.40000	WX	LinStatic	8.080E-04	-3.680E-03	2.989E-03
F143	2.10000	WX	LinStatic	8.080E-04	-3.680E-03	2.989E-03
F143	2.80000	WX	LinStatic	8.080E-04	-3.680E-03	2.989E-03
F143	0.00000	WY	LinStatic	-0.862	1.674	-7.756E-04
F143	0.70000	WY	LinStatic	-0.862	1.674	-7.756E-04
F143	1.40000	WY	LinStatic	-0.862	1.674	-7.756E-04
F143	2.10000	WY	LinStatic	-0.862	1.674	-7.756E-04
F143	2.80000	WY	LinStatic	-0.862	1.674	-7.756E-04
F143	0.00000	COMB1	Combination	4.264	38.165	-0.485
F143	0.70000	COMB1	Combination	4.264	52.704	-0.485
F143	1.40000	COMB1	Combination	4.264	73.095	-0.485
F143	2.10000	COMB1	Combination	4.264	93.486	-0.485
F143	2.80000	COMB1	Combination	4.264	108.025	-0.485
F143	0.00000	COMB2	Combination	5.914	49.248	-0.638
F143	0.70000	COMB2	Combination	5.914	63.672	-0.638
F143	1.40000	COMB2	Combination	5.914	86.733	-0.638
F143	2.10000	COMB2	Combination	5.914	109.793	-0.638
F143	2.80000	COMB2	Combination	5.914	124.217	-0.638

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F143	0.00000	COMB3	Combination	0.621	60.962	0.295
F143	0.70000	COMB3	Combination	0.621	74.650	0.295
F143	1.40000	COMB3	Combination	0.621	95.617	0.295
F143	2.10000	COMB3	Combination	0.621	116.584	0.295
F143	2.80000	COMB3	Combination	0.621	130.272	0.295
F143	0.00000	COMB4	Combination	9.512	25.134	-1.404
F143	0.70000	COMB4	Combination	9.512	38.822	-1.404
F143	1.40000	COMB4	Combination	9.512	59.789	-1.404
F143	2.10000	COMB4	Combination	9.512	80.756	-1.404
F143	2.80000	COMB4	Combination	9.512	94.444	-1.404
F143	0.00000	COMB5	Combination	-6.929	100.354	-0.494
F143	0.70000	COMB5	Combination	-6.929	114.042	-0.494
F143	1.40000	COMB5	Combination	-6.929	135.009	-0.494
F143	2.10000	COMB5	Combination	-6.929	155.976	-0.494
F143	2.80000	COMB5	Combination	-6.929	169.664	-0.494
F143	0.00000	COMB6	Combination	17.061	-14.259	-0.615
F143	0.70000	COMB6	Combination	17.061	-0.571	-0.615
F143	1.40000	COMB6	Combination	17.061	20.396	-0.615
F143	2.10000	COMB6	Combination	17.061	41.364	-0.615
F143	2.80000	COMB6	Combination	17.061	55.052	-0.615
F143	0.00000	COMB7	Combination	-1.705	42.449	0.538
F143	0.70000	COMB7	Combination	-1.705	51.795	0.538
F143	1.40000	COMB7	Combination	-1.705	64.904	0.538
F143	2.10000	COMB7	Combination	-1.705	78.012	0.538
F143	2.80000	COMB7	Combination	-1.705	87.359	0.538
F143	0.00000	COMB8	Combination	7.187	6.621	-1.161
F143	0.70000	COMB8	Combination	7.187	15.967	-1.161
F143	1.40000	COMB8	Combination	7.187	29.076	-1.161
F143	2.10000	COMB8	Combination	7.187	42.184	-1.161
F143	2.80000	COMB8	Combination	7.187	51.531	-1.161
F143	0.00000	COMB9	Combination	-9.254	81.841	-0.251
F143	0.70000	COMB9	Combination	-9.254	91.187	-0.251
F143	1.40000	COMB9	Combination	-9.254	104.296	-0.251
F143	2.10000	COMB9	Combination	-9.254	117.405	-0.251
F143	2.80000	COMB9	Combination	-9.254	126.751	-0.251
F143	0.00000	COMB10	Combination	14.736	-32.772	-0.372
F143	0.70000	COMB10	Combination	14.736	-23.425	-0.372
F143	1.40000	COMB10	Combination	14.736	-10.317	-0.372
F143	2.10000	COMB10	Combination	14.736	2.792	-0.372
F143	2.80000	COMB10	Combination	14.736	12.138	-0.372

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F142	0.00000	MAT1	0.2749	-58.9481
F142	0.70000	MAT1	0.1181	-16.2459
F142	1.40000	MAT1	-0.0388	17.6019
F142	2.10000	MAT1	-0.1956	40.4819
F142	2.80000	MAT1	-0.3525	54.5076
F142	0.00000	HIDUP	0.1709	-19.6722
F142	0.70000	HIDUP	0.0803	-7.0775
F142	1.40000	HIDUP	-0.0103	3.8022
F142	2.10000	HIDUP	-0.1008	11.8236
F142	2.80000	HIDUP	-0.1914	18.1300
F142	0.00000	EX	2.2640	-3.6592
F142	0.70000	EX	1.2949	-2.7065
F142	1.40000	EX	0.3258	-1.7537
F142	2.10000	EX	-0.6433	-0.8010
F142	2.80000	EX	-1.6124	0.1517

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F142	0.00000	EY	-0.3646	170.0895
F142	0.70000	EY	-0.2207	126.2709
F142	1.40000	EY	-0.0769	82.4523
F142	2.10000	EY	0.0670	38.6337
F142	2.80000	EY	0.2109	-5.1849
F142	0.00000	WX	0.0186	-0.0120
F142	0.70000	WX	0.0104	-0.0088
F142	1.40000	WX	0.0021	-0.0057
F142	2.10000	WX	-0.0062	-0.0026
F142	2.80000	WX	-0.0145	5.548E-04
F142	0.00000	WY	0.0020	5.0568
F142	0.70000	WY	9.173E-04	3.7547
F142	1.40000	WY	-1.706E-04	2.4525
F142	2.10000	WY	-0.0013	1.1503
F142	2.80000	WY	-0.0023	-0.1518
F142	0.00000	COMB1	0.3849	-82.5273
F142	0.70000	COMB1	0.1653	-22.7443
F142	1.40000	COMB1	-0.0543	24.6426
F142	2.10000	COMB1	-0.2739	56.6746
F142	2.80000	COMB1	-0.4935	76.3106
F142	0.00000	COMB2	0.6033	-102.2132
F142	0.70000	COMB2	0.2702	-30.8191
F142	1.40000	COMB2	-0.0630	27.2058
F142	2.10000	COMB2	-0.3961	67.4960
F142	2.80000	COMB2	-0.7292	94.4170
F142	0.00000	COMB3	2.6729	-36.4779
F142	0.70000	COMB3	1.4601	13.4762
F142	1.40000	COMB3	0.2474	51.0901
F142	2.10000	COMB3	-0.9654	72.6843
F142	2.80000	COMB3	-2.1781	81.9384
F142	0.00000	COMB4	-1.6714	-144.3418
F142	0.70000	COMB4	-1.0162	-66.6214
F142	1.40000	COMB4	-0.3610	-1.2412
F142	2.10000	COMB4	0.2942	48.1194
F142	2.80000	COMB4	0.9493	85.1397
F142	0.00000	COMB5	0.8412	82.6118
F142	0.70000	COMB5	0.4039	101.8786
F142	1.40000	COMB5	-0.0334	108.8052
F142	2.10000	COMB5	-0.4706	99.7121
F142	2.80000	COMB5	-0.9079	78.2789
F142	0.00000	COMB6	0.1603	-263.4315
F142	0.70000	COMB6	0.0400	-155.0238
F142	1.40000	COMB6	-0.0803	-58.9563
F142	2.10000	COMB6	-0.2006	21.0916
F142	2.80000	COMB6	-0.3209	88.7992
F142	0.00000	COMB7	2.4195	0.8787
F142	0.70000	COMB7	1.3444	25.4275
F142	1.40000	COMB7	0.2693	42.0073
F142	2.10000	COMB7	-0.8058	48.7162
F142	2.80000	COMB7	-1.8810	47.4561
F142	0.00000	COMB8	-1.9247	-106.9852
F142	0.70000	COMB8	-1.1319	-54.6702
F142	1.40000	COMB8	-0.3391	-10.3240
F142	2.10000	COMB8	0.4537	24.1512
F142	2.80000	COMB8	1.2465	50.6575
F142	0.00000	COMB9	0.5878	119.9684
F142	0.70000	COMB9	0.2882	113.8298
F142	1.40000	COMB9	-0.0115	99.7224
F142	2.10000	COMB9	-0.3111	75.7440
F142	2.80000	COMB9	-0.6107	43.7966
F142	0.00000	COMB10	-0.0930	-226.0749

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F142	0.70000	COMB10	-0.0757	-143.0725
F142	1.40000	COMB10	-0.0584	-68.0390
F142	2.10000	COMB10	-0.0410	-2.8766
F142	2.80000	COMB10	-0.0237	54.3170
F143	0.00000	MATI	-0.4969	51.8569
F143	0.70000	MATI	-0.2545	29.4038
F143	1.40000	MATI	-0.0121	-1.8720
F143	2.10000	MATI	0.2303	-43.6913
F143	2.80000	MATI	0.4727	-94.3334
F143	0.00000	HIDUP	-0.2110	17.2119
F143	0.70000	HIDUP	-0.1138	9.6915
F143	1.40000	HIDUP	-0.0165	0.4720
F143	2.10000	HIDUP	0.0807	-11.3782
F143	2.80000	HIDUP	0.1780	-24.9276
F143	0.00000	EX	0.7250	0.1331
F143	0.70000	EX	0.0856	0.9412
F143	1.40000	EX	-0.5538	1.7494
F143	2.10000	EX	-1.1933	2.5575
F143	2.80000	EX	-1.8327	3.3656
F143	0.00000	EY	-0.2183	-3.1498
F143	0.70000	EY	-0.0665	-42.5728
F143	1.40000	EY	0.0852	-81.9957
F143	2.10000	EY	0.2370	-121.4187
F143	2.80000	EY	0.3887	-160.8416
F143	0.00000	WX	3.736E-04	5.368E-04
F143	0.70000	WX	-0.0017	0.0031
F143	1.40000	WX	-0.0038	0.0057
F143	2.10000	WX	-0.0059	0.0083
F143	2.80000	WX	-0.0080	0.0108
F143	0.00000	WY	-0.0014	-0.0915
F143	0.70000	WY	-8.835E-04	-1.2631
F143	1.40000	WY	-3.406E-04	-2.4346
F143	2.10000	WY	2.023E-04	-3.6062
F143	2.80000	WY	7.453E-04	-4.7778
F143	0.00000	COMB1	-0.6956	72.5996
F143	0.70000	COMB1	-0.3563	41.1654
F143	1.40000	COMB1	-0.0169	-2.6208
F143	2.10000	COMB1	0.3224	-61.1678
F143	2.80000	COMB1	0.6618	-132.0668
F143	0.00000	COMB2	-0.9339	89.7672
F143	0.70000	COMB2	-0.4874	50.7910
F143	1.40000	COMB2	-0.0409	-1.4913
F143	2.10000	COMB2	0.4055	-70.6347
F143	2.80000	COMB2	0.8520	-153.0842
F143	0.00000	COMB3	-0.1493	78.5098
F143	0.70000	COMB3	-0.3561	31.5060
F143	1.40000	COMB3	-0.5628	-27.7843
F143	2.10000	COMB3	-0.7695	-102.3574
F143	2.80000	COMB3	-0.9763	-189.2171
F143	0.00000	COMB4	-1.4652	80.3704
F143	0.70000	COMB4	-0.4822	58.4462
F143	1.40000	COMB4	0.5008	24.2354
F143	2.10000	COMB4	1.4837	-25.2582
F143	2.80000	COMB4	2.4667	-87.0383
F143	0.00000	COMB5	-0.8087	76.2577
F143	0.70000	COMB5	-0.4630	1.6793
F143	1.40000	COMB5	-0.1172	-85.1857
F143	2.10000	COMB5	0.2286	-187.3335
F143	2.80000	COMB5	0.5744	-301.7678
F143	0.00000	COMB6	-0.8058	82.6225
F143	0.70000	COMB6	-0.3753	88.2729

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F143	1.40000	COMB6	0.0551	81.6368
F143	2.10000	COMB6	0.4856	59.7179
F143	2.80000	COMB6	0.9161	25.5124
F143	0.00000	COMB7	0.2108	45.7409
F143	0.70000	COMB7	-0.1659	12.9934
F143	1.40000	COMB7	-0.5427	-27.6947
F143	2.10000	COMB7	-0.9194	-77.8718
F143	2.80000	COMB7	-1.2961	-135.9895
F143	0.00000	COMB8	-1.1051	47.6015
F143	0.70000	COMB8	-0.2921	39.9335
F143	1.40000	COMB8	0.5209	24.3250
F143	2.10000	COMB8	1.3339	-0.7725
F143	2.80000	COMB8	2.1469	-33.8107
F143	0.00000	COMB9	-0.4486	43.4888
F143	0.70000	COMB9	-0.2728	-16.8334
F143	1.40000	COMB9	-0.0970	-85.0960
F143	2.10000	COMB9	0.0788	-162.8478
F143	2.80000	COMB9	0.2546	-248.5402
F143	0.00000	COMB10	-0.4457	49.8535
F143	0.70000	COMB10	-0.1852	69.7602
F143	1.40000	COMB10	0.0753	81.7264
F143	2.10000	COMB10	0.3358	84.2035
F143	2.80000	COMB10	0.5963	78.7400

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F60	0.00000	MAT1	LinStatic	-2.189	-22.607	0.074
F60	1.12500	MAT1	LinStatic	-2.189	-14.733	0.074
F60	2.25000	MAT1	LinStatic	-2.189	1.500	0.074
F60	3.37500	MAT1	LinStatic	-2.189	17.733	0.074
F60	4.50000	MAT1	LinStatic	-2.189	25.607	0.074
F60	0.00000	HIDUP	LinStatic	-0.288	-10.182	0.017
F60	1.12500	HIDUP	LinStatic	-0.288	-7.018	0.017
F60	2.25000	HIDUP	LinStatic	-0.288	0.668	0.017
F60	3.37500	HIDUP	LinStatic	-0.288	8.354	0.017
F60	4.50000	HIDUP	LinStatic	-0.288	11.518	0.017
F60	0.00000	EX	LinStatic	23.061	3.213	-0.922
F60	1.12500	EX	LinStatic	23.061	3.213	-0.922
F60	2.25000	EX	LinStatic	23.061	3.213	-0.922
F60	3.37500	EX	LinStatic	23.061	3.213	-0.922
F60	4.50000	EX	LinStatic	23.061	3.213	-0.922
F60	0.00000	EY	LinStatic	3.058	0.054	-0.522
F60	1.12500	EY	LinStatic	3.058	0.054	-0.522
F60	2.25000	EY	LinStatic	3.058	0.054	-0.522
F60	3.37500	EY	LinStatic	3.058	0.054	-0.522
F60	4.50000	EY	LinStatic	3.058	0.054	-0.522
F60	0.00000	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.191E-03
F60	1.12500	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.191E-03
F60	2.25000	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.191E-03
F60	3.37500	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.191E-03
F60	4.50000	WX	LinStatic	0.063	0.013	-7.191E-03
F60	0.00000	WY	LinStatic	0.092	2.735E-03	-0.014
F60	1.12500	WY	LinStatic	0.092	2.735E-03	-0.014
F60	2.25000	WY	LinStatic	0.092	2.735E-03	-0.014
F60	3.37500	WY	LinStatic	0.092	2.735E-03	-0.014
F60	4.50000	WY	LinStatic	0.092	2.735E-03	-0.014
F60	0.00000	COMB1	Combination	-3.065	-31.650	0.103
F60	1.12500	COMB1	Combination	-3.065	-20.627	0.103
F60	2.25000	COMB1	Combination	-3.065	2.099	0.103
F60	3.37500	COMB1	Combination	-3.065	24.826	0.103
F60	4.50000	COMB1	Combination	-3.065	35.849	0.103
F60	0.00000	COMB2	Combination	-3.089	-43.420	0.117
F60	1.12500	COMB2	Combination	-3.089	-28.908	0.117
F60	2.25000	COMB2	Combination	-3.089	2.869	0.117
F60	3.37500	COMB2	Combination	-3.089	34.646	0.117
F60	4.50000	COMB2	Combination	-3.089	49.157	0.117
F60	0.00000	COMB3	Combination	21.233	-34.067	-0.996
F60	1.12500	COMB3	Combination	21.233	-21.454	-0.996
F60	2.25000	COMB3	Combination	21.233	5.711	-0.996
F60	3.37500	COMB3	Combination	21.233	32.877	-0.996
F60	4.50000	COMB3	Combination	21.233	45.489	-0.996
F60	0.00000	COMB4	Combination	-27.064	-40.554	1.208
F60	1.12500	COMB4	Combination	-27.064	-27.941	1.208
F60	2.25000	COMB4	Combination	-27.064	-0.776	1.208
F60	3.37500	COMB4	Combination	-27.064	26.390	1.208
F60	4.50000	COMB4	Combination	-27.064	39.003	1.208
F60	0.00000	COMB5	Combination	7.215	-36.273	-0.713
F60	1.12500	COMB5	Combination	7.215	-23.660	-0.713
F60	2.25000	COMB5	Combination	7.215	3.505	-0.713
F60	3.37500	COMB5	Combination	7.215	30.671	-0.713
F60	4.50000	COMB5	Combination	7.215	43.284	-0.713
F60	0.00000	COMB6	Combination	-13.047	-38.348	0.925
F60	1.12500	COMB6	Combination	-13.047	-25.735	0.925
F60	2.25000	COMB6	Combination	-13.047	1.430	0.925
F60	3.37500	COMB6	Combination	-13.047	28.596	0.925

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F60	4.50000	COMB6	Combination	-13.047	41.209	0.925
F60	0.00000	COMB7	Combination	22.178	-17.103	-1.036
F60	1.12500	COMB7	Combination	22.178	-10.017	-1.036
F60	2.25000	COMB7	Combination	22.178	4.593	-1.036
F60	3.37500	COMB7	Combination	22.178	19.203	-1.036
F60	4.50000	COMB7	Combination	22.178	26.289	-1.036
F60	0.00000	COMB8	Combination	-26.119	-23.590	1.169
F60	1.12500	COMB8	Combination	-26.119	-16.503	1.169
F60	2.25000	COMB8	Combination	-26.119	-1.894	1.169
F60	3.37500	COMB8	Combination	-26.119	12.716	1.169
F60	4.50000	COMB8	Combination	-26.119	19.803	1.169
F60	0.00000	COMB9	Combination	8.161	-19.309	-0.752
F60	1.12500	COMB9	Combination	8.161	-12.223	-0.752
F60	2.25000	COMB9	Combination	8.161	2.387	-0.752
F60	3.37500	COMB9	Combination	8.161	16.997	-0.752
F60	4.50000	COMB9	Combination	8.161	24.083	-0.752
F60	0.00000	COMB10	Combination	-12.102	-21.384	0.885
F60	1.12500	COMB10	Combination	-12.102	-14.297	0.885
F60	2.25000	COMB10	Combination	-12.102	0.312	0.885
F60	3.37500	COMB10	Combination	-12.102	14.922	0.885
F60	4.50000	COMB10	Combination	-12.102	22.009	0.885

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F60	0.00000	MATI	0.2263	-15.7862
F60	1.12500	MATI	0.1432	6.3147
F60	2.25000	MATI	0.0601	13.9233
F60	3.37500	MATI	-0.0230	2.9406
F60	4.50000	MATI	-0.1061	-22.5344
F60	0.00000	HIDUP	0.0407	-7.3224
F60	1.12500	HIDUP	0.0210	2.9457
F60	2.25000	HIDUP	0.0014	6.6063
F60	3.37500	HIDUP	-0.0183	1.4422
F60	4.50000	HIDUP	-0.0380	-10.3292
F60	0.00000	EX	-2.7509	6.9057
F60	1.12500	EX	-1.7136	3.2913
F60	2.25000	EX	-0.6763	-0.3232
F60	3.37500	EX	0.3610	-3.9377
F60	4.50000	EX	1.3983	-7.5521
F60	0.00000	EY	-1.2658	0.4815
F60	1.12500	EY	-0.6787	0.4208
F60	2.25000	EY	-0.0915	0.3601
F60	3.37500	EY	0.4956	0.2994
F60	4.50000	EY	1.0828	0.2387
F60	0.00000	WX	-0.0194	0.0293
F60	1.12500	WX	-0.0114	0.0142
F60	2.25000	WX	-0.0033	-8.744E-04
F60	3.37500	WX	0.0048	-0.0160
F60	4.50000	WX	0.0129	-0.0311
F60	0.00000	WY	-0.0342	0.0180
F60	1.12500	WY	-0.0190	0.0149
F60	2.25000	WY	-0.0037	0.0119
F60	3.37500	WY	0.0116	0.0088
F60	4.50000	WY	0.0269	0.0057
F60	0.00000	COMB1	0.3168	-22.1006
F60	1.12500	COMB1	0.2005	8.8406
F60	2.25000	COMB1	0.0841	19.4926
F60	3.37500	COMB1	-0.0322	4.1168

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F60	4.50000	COMB1	-0.1486	-31.5482
F60	0.00000	COMB2	0.3367	-30.6592
F60	1.12500	COMB2	0.2055	12.2907
F60	2.25000	COMB2	0.0743	27.2780
F60	3.37500	COMB2	-0.0569	5.8363
F60	4.50000	COMB2	-0.1882	-43.5680
F60	0.00000	COMB3	-2.8784	-19.1687
F60	1.12500	COMB3	-1.7580	13.9716
F60	2.25000	COMB3	-0.6377	23.1138
F60	3.37500	COMB3	0.4827	1.1217
F60	4.50000	COMB3	1.6030	-44.8685
F60	0.00000	COMB4	3.5030	-33.3628
F60	1.12500	COMB4	2.1438	7.0750
F60	2.25000	COMB4	0.7846	23.5147
F60	3.37500	COMB4	-0.5745	8.8202
F60	4.50000	COMB4	-1.9337	-29.8725
F60	0.00000	COMB5	-1.8315	-23.6600
F60	1.12500	COMB5	-1.0298	11.9619
F60	2.25000	COMB5	-0.2281	23.5857
F60	3.37500	COMB5	0.5735	4.0753
F60	4.50000	COMB5	1.3752	-39.4333
F60	0.00000	COMB6	2.4561	-28.8714
F60	1.12500	COMB6	1.4156	9.0847
F60	2.25000	COMB6	0.3751	23.0428
F60	3.37500	COMB6	-0.6654	5.8666
F60	4.50000	COMB6	-1.7059	-35.3077
F60	0.00000	COMB7	-2.9870	-7.1105
F60	1.12500	COMB7	-1.8220	9.1315
F60	2.25000	COMB7	-0.6571	12.3305
F60	3.37500	COMB7	0.5079	-1.2027
F60	4.50000	COMB7	1.6729	-27.7789
F60	0.00000	COMB8	3.3944	-21.3046
F60	1.12500	COMB8	2.0798	2.2350
F60	2.25000	COMB8	0.7653	12.7314
F60	3.37500	COMB8	-0.5493	6.4958
F60	4.50000	COMB8	-1.8639	-12.7830
F60	0.00000	COMB9	-1.9401	-11.6018
F60	1.12500	COMB9	-1.0938	7.1218
F60	2.25000	COMB9	-0.2475	12.8024
F60	3.37500	COMB9	0.5987	1.7509
F60	4.50000	COMB9	1.4450	-22.3437
F60	0.00000	COMB10	2.3474	-16.8132
F60	1.12500	COMB10	1.3516	4.2447
F60	2.25000	COMB10	0.3557	12.2595
F60	3.37500	COMB10	-0.6402	3.5422
F60	4.50000	COMB10	-1.6360	-18.2182

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F9	0.00000	MAT1	LinStatic	-1106.872	19.831	12.706
F9	1.83500	MAT1	LinStatic	-1085.292	19.831	12.706
F9	3.67000	MAT1	LinStatic	-1063.713	19.831	12.706
F9	0.00000	HIDUP	LinStatic	-239.544	5.210	2.120
F9	1.83500	HIDUP	LinStatic	-239.544	5.210	2.120
F9	3.67000	HIDUP	LinStatic	-239.544	5.210	2.120
F9	0.00000	EX	LinStatic	135.696	121.493	8.314
F9	1.83500	EX	LinStatic	135.696	121.493	8.314
F9	3.67000	EX	LinStatic	135.696	121.493	8.314
F9	0.00000	EY	LinStatic	114.042	-0.984	101.224
F9	1.83500	EY	LinStatic	114.042	-0.984	101.224
F9	3.67000	EY	LinStatic	114.042	-0.984	101.224
F9	0.00000	WX	LinStatic	0.525	0.674	0.040
F9	1.83500	WX	LinStatic	0.525	0.674	0.040
F9	3.67000	WX	LinStatic	0.525	0.674	0.040
F9	0.00000	WY	LinStatic	3.406	0.017	3.600
F9	1.83500	WY	LinStatic	3.406	0.017	3.600
F9	3.67000	WY	LinStatic	3.406	0.017	3.600
F9	0.00000	COMB1	Combination	-1549.620	27.763	17.789
F9	1.83500	COMB1	Combination	-1519.409	27.763	17.789
F9	3.67000	COMB1	Combination	-1489.198	27.763	17.789
F9	0.00000	COMB2	Combination	-1711.516	32.133	18.640
F9	1.83500	COMB2	Combination	-1685.621	32.133	18.640
F9	3.67000	COMB2	Combination	-1659.725	32.133	18.640
F9	0.00000	COMB3	Combination	-1393.033	150.766	60.762
F9	1.83500	COMB3	Combination	-1367.138	150.766	60.762
F9	3.67000	COMB3	Combination	-1341.242	150.766	60.762
F9	0.00000	COMB4	Combination	-1742.547	-92.751	-26.026
F9	1.83500	COMB4	Combination	-1716.651	-92.751	-26.026
F9	3.67000	COMB4	Combination	-1690.756	-92.751	-26.026
F9	0.00000	COMB5	Combination	-1409.632	65.360	124.018
F9	1.83500	COMB5	Combination	-1383.736	65.360	124.018
F9	3.67000	COMB5	Combination	-1357.841	65.360	124.018
F9	0.00000	COMB6	Combination	-1725.949	-7.346	-89.283
F9	1.83500	COMB6	Combination	-1700.053	-7.346	-89.283
F9	3.67000	COMB6	Combination	-1674.157	-7.346	-89.283
F9	0.00000	COMB7	Combination	-821.428	139.606	54.829
F9	1.83500	COMB7	Combination	-802.006	139.606	54.829
F9	3.67000	COMB7	Combination	-782.585	139.606	54.829
F9	0.00000	COMB8	Combination	-1170.941	-103.911	-31.958
F9	1.83500	COMB8	Combination	-1151.520	-103.911	-31.958
F9	3.67000	COMB8	Combination	-1132.098	-103.911	-31.958
F9	0.00000	COMB9	Combination	-838.026	54.201	118.086
F9	1.83500	COMB9	Combination	-818.604	54.201	118.086
F9	3.67000	COMB9	Combination	-799.183	54.201	118.086
F9	0.00000	COMB10	Combination	-1154.343	-18.505	-95.215
F9	1.83500	COMB10	Combination	-1134.921	-18.505	-95.215
F9	3.67000	COMB10	Combination	-1115.500	-18.505	-95.215

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F9	0.00000	MAT1	26.2775	23.2093
F9	1.83500	MAT1	2.9616	-13.1802
F9	3.67000	MAT1	-20.3542	-49.5698
F9	0.00000	HIDUP	5.6738	7.0442
F9	1.83500	HIDUP	1.7828	-2.5166

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F9	3.67000	HIDUP	-2.1083	-12.0774
F9	0.00000	EX	26.9952	405.9728
F9	1.83500	EX	11.7383	183.0333
F9	3.67000	EX	-3.5187	-39.9063
F9	0.00000	EY	342.2763	-4.7129
F9	1.83500	EY	156.5309	-2.9067
F9	3.67000	EY	-29.2145	-1.1005
F9	0.00000	WX	0.1343	2.0500
F9	1.83500	WX	0.0600	0.8140
F9	3.67000	WX	-0.0142	-0.4219
F9	0.00000	WY	11.6210	0.0270
F9	1.83500	WY	5.0154	-0.0043
F9	3.67000	WY	-1.5903	-0.0355
F9	0.00000	COMB1	36.7885	32.4930
F9	1.83500	COMB1	4.1463	-18.4523
F9	3.67000	COMB1	-28.4959	-69.3977
F9	0.00000	COMB2	40.6111	39.1219
F9	1.83500	COMB2	6.4064	-19.8428
F9	3.67000	COMB2	-27.7983	-78.8075
F9	0.00000	COMB3	182.0996	441.1294
F9	1.83500	COMB3	70.6022	164.4741
F9	3.67000	COMB3	-40.8951	-112.1812
F9	0.00000	COMB4	-107.6860	-371.3386
F9	1.83500	COMB4	-59.9288	-201.1398
F9	3.67000	COMB4	-12.1715	-30.9410
F9	0.00000	COMB5	397.0530	154.6609
F9	1.83500	COMB5	169.4794	34.7253
F9	3.67000	COMB5	-58.0942	-85.2103
F9	0.00000	COMB6	-322.6394	-84.8701
F9	1.83500	COMB6	-158.8059	-71.3910
F9	3.67000	COMB6	5.0275	-57.9118
F9	0.00000	COMB7	168.5425	427.1223
F9	1.83500	COMB7	67.9310	170.9447
F9	3.67000	COMB7	-32.6806	-85.2329
F9	0.00000	COMB8	-121.2431	-385.3456
F9	1.83500	COMB8	-62.6001	-194.6691
F9	3.67000	COMB8	-3.9570	-3.9927
F9	0.00000	COMB9	383.4959	140.6538
F9	1.83500	COMB9	166.8081	41.1959
F9	3.67000	COMB9	-49.8796	-58.2620
F9	0.00000	COMB10	-336.1965	-98.8771
F9	1.83500	COMB10	-161.4772	-64.9203
F9	3.67000	COMB10	13.2420	-30.9635

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F227	0.00000	MAT1	LinStatic	-814.378	24.966	9.977
F227	1.60000	MAT1	LinStatic	-800.554	24.966	9.977
F227	3.20000	MAT1	LinStatic	-786.730	24.966	9.977
F227	0.00000	HIDUP	LinStatic	-176.359	5.925	0.226
F227	1.60000	HIDUP	LinStatic	-176.359	5.925	0.226
F227	3.20000	HIDUP	LinStatic	-176.359	5.925	0.226
F227	0.00000	EX	LinStatic	103.367	104.968	8.661
F227	1.60000	EX	LinStatic	103.367	104.968	8.661
F227	3.20000	EX	LinStatic	103.367	104.968	8.661
F227	0.00000	EY	LinStatic	89.236	-2.606	109.515
F227	1.60000	EY	LinStatic	89.236	-2.606	109.515
F227	3.20000	EY	LinStatic	89.236	-2.606	109.515
F227	0.00000	WX	LinStatic	0.387	0.396	0.043
F227	1.60000	WX	LinStatic	0.387	0.396	0.043
F227	3.20000	WX	LinStatic	0.387	0.396	0.043
F227	0.00000	WY	LinStatic	2.592	-0.016	3.326
F227	1.60000	WY	LinStatic	2.592	-0.016	3.326
F227	3.20000	WY	LinStatic	2.592	-0.016	3.326
F227	0.00000	COMB1	Combination	-1140.129	34.953	13.967
F227	1.60000	COMB1	Combination	-1120.775	34.953	13.967
F227	3.20000	COMB1	Combination	-1101.421	34.953	13.967
F227	0.00000	COMB2	Combination	-1259.428	39.439	12.334
F227	1.60000	COMB2	Combination	-1242.839	39.439	12.334
F227	3.20000	COMB2	Combination	-1226.250	39.439	12.334
F227	0.00000	COMB3	Combination	-1019.796	140.366	58.072
F227	1.60000	COMB3	Combination	-1003.208	140.366	58.072
F227	3.20000	COMB3	Combination	-986.619	140.366	58.072
F227	0.00000	COMB4	Combination	-1287.428	-68.597	-33.676
F227	1.60000	COMB4	Combination	-1270.839	-68.597	-33.676
F227	3.20000	COMB4	Combination	-1254.251	-68.597	-33.676
F227	0.00000	COMB5	Combination	-1030.790	65.270	127.028
F227	1.60000	COMB5	Combination	-1014.202	65.270	127.028
F227	3.20000	COMB5	Combination	-997.613	65.270	127.028
F227	0.00000	COMB6	Combination	-1276.434	6.499	-102.632
F227	1.60000	COMB6	Combination	-1259.845	6.499	-102.632
F227	3.20000	COMB6	Combination	-1243.257	6.499	-102.632
F227	0.00000	COMB7	Combination	-599.124	126.951	54.853
F227	1.60000	COMB7	Combination	-586.682	126.951	54.853
F227	3.20000	COMB7	Combination	-574.241	126.951	54.853
F227	0.00000	COMB8	Combination	-866.756	-82.012	-36.895
F227	1.60000	COMB8	Combination	-854.314	-82.012	-36.895
F227	3.20000	COMB8	Combination	-841.872	-82.012	-36.895
F227	0.00000	COMB9	Combination	-610.118	51.855	123.809
F227	1.60000	COMB9	Combination	-597.676	51.855	123.809
F227	3.20000	COMB9	Combination	-585.235	51.855	123.809
F227	0.00000	COMB10	Combination	-855.762	-6.916	-105.851
F227	1.60000	COMB10	Combination	-843.320	-6.916	-105.851
F227	3.20000	COMB10	Combination	-830.879	-6.916	-105.851

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F227	0.00000	MAT1	18.2186	43.8016
F227	1.60000	MAT1	2.2560	3.8553
F227	3.20000	MAT1	-13.7066	-36.0910
F227	0.00000	HIDUP	1.0337	10.8484
F227	1.60000	HIDUP	0.6720	1.3692

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F227	3.20000	HIDUP	0.3104	-8.1100
F227	0.00000	EX	16.2802	188.1863
F227	1.60000	EX	2.4228	20.2371
F227	3.20000	EX	-11.4346	-147.7120
F227	0.00000	EY	201.4842	-3.2977
F227	1.60000	EY	26.2607	0.8724
F227	3.20000	EY	-148.9628	5.0425
F227	0.00000	WX	0.0803	0.6114
F227	1.60000	WX	0.0109	-0.0219
F227	3.20000	WX	-0.0584	-0.6552
F227	0.00000	WY	5.8228	0.0018
F227	1.60000	WY	0.5013	0.0282
F227	3.20000	WY	-4.8202	0.0546
F227	0.00000	COMB1	25.5061	61.3222
F227	1.60000	COMB1	3.1584	5.3974
F227	3.20000	COMB1	-19.1892	-50.5274
F227	0.00000	COMB2	23.5162	69.9193
F227	1.60000	COMB2	3.7825	6.8170
F227	3.20000	COMB2	-15.9512	-56.2853
F227	0.00000	COMB3	107.2553	251.0988
F227	1.60000	COMB3	14.3407	26.5135
F227	3.20000	COMB3	-78.5739	-198.0718
F227	0.00000	COMB4	-61.4632	-124.2782
F227	1.60000	COMB4	-7.5821	-14.5225
F227	3.20000	COMB4	46.2990	95.2333
F227	0.00000	COMB5	234.0268	117.3648
F227	1.60000	COMB5	30.7820	12.9331
F227	3.20000	COMB5	-172.4628	-91.4986
F227	0.00000	COMB6	-188.2348	9.4558
F227	1.60000	COMB6	-24.0235	-0.9421
F227	3.20000	COMB6	140.1878	-11.3400
F227	0.00000	COMB7	100.7561	227.1099
F227	1.60000	COMB7	12.9918	23.9877
F227	3.20000	COMB7	-74.7724	-179.1344
F227	0.00000	COMB8	-67.9625	-148.2671
F227	1.60000	COMB8	-8.9310	-17.0482
F227	3.20000	COMB8	50.1005	114.1706
F227	0.00000	COMB9	227.5276	93.3759
F227	1.60000	COMB9	29.4331	10.4073
F227	3.20000	COMB9	-168.6613	-72.5612
F227	0.00000	COMB10	-194.7340	-14.5331
F227	1.60000	COMB10	-25.3723	-3.4678
F227	3.20000	COMB10	143.9894	7.5974

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN
F655	0.00000	MAT1	LinStatic	-329.105	22.433	6.786
F655	1.60000	MAT1	LinStatic	-319.505	22.433	6.786
F655	3.20000	MAT1	LinStatic	-309.905	22.433	6.786
F655	0.00000	HIDUP	LinStatic	-72.197	5.484	-0.909
F655	1.60000	HIDUP	LinStatic	-72.197	5.484	-0.909
F655	3.20000	HIDUP	LinStatic	-72.197	5.484	-0.909
F655	0.00000	EX	LinStatic	24.876	50.548	3.526
F655	1.60000	EX	LinStatic	24.876	50.548	3.526
F655	3.20000	EX	LinStatic	24.876	50.548	3.526
F655	0.00000	EY	LinStatic	23.187	-1.822	57.694
F655	1.60000	EY	LinStatic	23.187	-1.822	57.694
F655	3.20000	EY	LinStatic	23.187	-1.822	57.694
F655	0.00000	WX	LinStatic	0.104	0.152	0.018
F655	1.60000	WX	LinStatic	0.104	0.152	0.018
F655	3.20000	WX	LinStatic	0.104	0.152	0.018
F655	0.00000	WY	LinStatic	0.704	-0.020	1.557
F655	1.60000	WY	LinStatic	0.704	-0.020	1.557
F655	3.20000	WY	LinStatic	0.704	-0.020	1.557
F655	0.00000	COMB1	Combination	-460.747	31.406	9.500
F655	1.60000	COMB1	Combination	-447.307	31.406	9.500
F655	3.20000	COMB1	Combination	-433.867	31.406	9.500
F655	0.00000	COMB2	Combination	-510.441	35.694	6.689
F655	1.60000	COMB2	Combination	-498.921	35.694	6.689
F655	3.20000	COMB2	Combination	-487.401	35.694	6.689
F655	0.00000	COMB3	Combination	-434.292	82.501	30.107
F655	1.60000	COMB3	Combination	-422.772	82.501	30.107
F655	3.20000	COMB3	Combination	-411.252	82.501	30.107
F655	0.00000	COMB4	Combination	-499.954	-17.693	-15.639
F655	1.60000	COMB4	Combination	-488.434	-17.693	-15.639
F655	3.20000	COMB4	Combination	-476.914	-17.693	-15.639
F655	0.00000	COMB5	Combination	-435.774	45.928	67.255
F655	1.60000	COMB5	Combination	-424.254	45.928	67.255
F655	3.20000	COMB5	Combination	-412.734	45.928	67.255
F655	0.00000	COMB6	Combination	-498.471	18.880	-52.787
F655	1.60000	COMB6	Combination	-486.951	18.880	-52.787
F655	3.20000	COMB6	Combination	-475.431	18.880	-52.787
F655	0.00000	COMB7	Combination	-263.363	70.287	28.980
F655	1.60000	COMB7	Combination	-254.723	70.287	28.980
F655	3.20000	COMB7	Combination	-246.083	70.287	28.980
F655	0.00000	COMB8	Combination	-329.025	-29.908	-16.766
F655	1.60000	COMB8	Combination	-320.385	-29.908	-16.766
F655	3.20000	COMB8	Combination	-311.745	-29.908	-16.766
F655	0.00000	COMB9	Combination	-264.846	33.714	66.128
F655	1.60000	COMB9	Combination	-256.206	33.714	66.128
F655	3.20000	COMB9	Combination	-247.566	33.714	66.128
F655	0.00000	COMB10	Combination	-327.543	6.665	-53.914
F655	1.60000	COMB10	Combination	-318.903	6.665	-53.914
F655	3.20000	COMB10	Combination	-310.263	6.665	-53.914

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F655	0.00000	MAT1	8.4693	33.3724
F655	1.60000	MAT1	-2.3876	-2.5204
F655	3.20000	MAT1	-13.2444	-38.4132
F655	0.00000	HIDUP	-1.6734	8.1612
F655	1.60000	HIDUP	-0.2195	-0.6137

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M2 KN-m	M3 KN-m
F655	3.20000	HIDUP	1.2345	-9.3885
F655	0.00000	EX	3.7556	57.8805
F655	1.60000	EX	-1.8853	-22.9959
F655	3.20000	EX	-7.5261	-103.8722
F655	0.00000	EY	70.8830	-2.4114
F655	1.60000	EY	-21.4272	0.5038
F655	3.20000	EY	-113.7373	3.4191
F655	0.00000	WX	0.0193	0.1945
F655	1.60000	WX	-0.0092	-0.0488
F655	3.20000	WX	-0.0376	-0.2922
F655	0.00000	WY	1.9362	-0.0209
F655	1.60000	WY	-0.5558	0.0104
F655	3.20000	WY	-3.0478	0.0417
F655	0.00000	COMB1	11.8570	46.7214
F655	1.60000	COMB1	-3.3426	-3.5285
F655	3.20000	COMB1	-18.5422	-53.7785
F655	0.00000	COMB2	7.4857	53.1048
F655	1.60000	COMB2	-3.2162	-4.0063
F655	3.20000	COMB2	-13.9181	-61.1174
F655	0.00000	COMB3	36.0428	105.4935
F655	1.60000	COMB3	-12.1278	-26.5084
F655	3.20000	COMB3	-60.2983	-158.5103
F655	0.00000	COMB4	-19.0633	-9.0773
F655	1.60000	COMB4	5.9587	19.2322
F655	3.20000	COMB4	30.9807	47.5418
F655	0.00000	COMB5	82.0734	63.3969
F655	1.60000	COMB5	-25.5338	-10.0882
F655	3.20000	COMB5	-133.1411	-83.5734
F655	0.00000	COMB6	-65.0939	33.0193
F655	1.60000	COMB6	19.3648	2.8120
F655	3.20000	COMB6	103.8235	-27.3952
F655	0.00000	COMB7	35.1754	87.3206
F655	1.60000	COMB7	-11.1921	-25.1387
F655	3.20000	COMB7	-57.5595	-137.5979
F655	0.00000	COMB8	-19.9306	-27.2502
F655	1.60000	COMB8	6.8945	20.6020
F655	3.20000	COMB8	33.7196	68.4542
F655	0.00000	COMB9	81.2060	45.2240
F655	1.60000	COMB9	-24.5981	-8.7185
F655	3.20000	COMB9	-130.4023	-62.6610
F655	0.00000	COMB10	-65.9613	14.8464
F655	1.60000	COMB10	20.3005	4.1818
F655	3.20000	COMB10	106.5623	-6.4828