



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN “X” SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

WIDYANTORO WICAKSONO
NRP. 3114 030 121

NURYANI HANDAYANI
NRP. 3114 030 132

Dosen Pembimbing

RADEN BUYUNG ANUGRAHA AFFANDHIE, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN “X” SURABAYA DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)**

**WIDYANTORO WICAKSONO
NRP. 3114 030 121**

**NURYANI HANDAYANI
NRP. 3114 030 132**

Dosen Pembimbing

**RADEN BUYUNG ANUGRAHA AFFANDHIE, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL APPLIED PROJECT - RC145501

**BUILDING STRUCTURAL DESIGN OF “GEDUNG
APARTEMEN “X” SURABAYA” WITH
INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME
METHOD**

**WIDYANTORO WICAKSONO
NRP. 3114 030 121**

**NURYANI HANDAYANI
NRP. 3114 030 132**

Consellor Lecturer

**RADEN BUYUNG ANUGRAHA AFFANDHIE, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002**

**CIVIL ENGINEERING DIPLOMA PROGRAM
CIVIL ENGINEERING INFRASTRUCTURE DEPARTEMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN “X”
SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)”

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan Pada
Konsentrasi Bangunan Gedung Program Studi Diploma Tiga
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

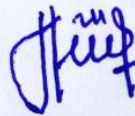
Surabaya, Juli 2017

Mahasiswa I



Widyantoro Wicaksono
NRP. 3114030121

Mahasiswa II



Nuryani Handayani
NRP. 3114030132

Disetujui Oleh:
Dosen Pembimbing

19 JUL 2017



Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT.
NIP. 19740203 200212 1 002



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7/6/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Gedung Apartemen "X" Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)		
Nama Mahasiswa 1	Widyantoro W	NRP	3114030121
Nama Mahasiswa 2	Nuryani Handayani	NRP	3114030132
Dosen Pembimbing 1	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
	 Ir. Srie Subekti, MT. NIP 19560520 198903 2 001
<ul style="list-style-type: none">- kontrol lendutan pada balok.- letak sambungan / overlap pada tumpang balok- kontrol retak pada plat beton	 Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D. NIP 19730710 199802 1 002
	NIP -
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Srie Subekti, MT. NIP 19560520 198903 2 001	Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D. NIP 19730710 199802 1 002	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	NIP -

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN “X” SURABAYA DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)**

Dosen Pembimbing : Raden Buyung Anugraha Affandhie,
ST., MT.
NIP : 19740203 200212 1 002

Mahasiswa 1 : Widyantoro Wicaksono
NRP : 3114030121

Mahasiswa 2 : Nuryani Handayani
NRP : 3114030132

Jurusan : Departemen Teknik Infrastruktur
Sipil FV-ITS

ABSTRAK

Gedung Apartemen “X” Surabaya terletak di kota Surabaya dengan luas bangunan $1843,2 \text{ m}^2$ (48m x 38,4m) yang terdiri dari 6 lantai, yaitu lantai pertama berfungsi untuk tempat parkir, lantai kedua untuk lobi dan lantai ketiga sampai enam untuk apartemen dengan ketinggian 21 m.

Perhitungan struktur menggunakan metode SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) yang mengacu pada SNI 2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung). Karena bangunan masuk dalam kategori bangunan beraturan maka dalam perencanaan beban akibat gempa menggunakan statik ekuivalen yang mengacu pada SNI 1726-2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung) dan Peta Hazard Gempa

Indonesia Tahun 2010. Sedangkan pembebanan non gempa dapat disesuaikan dengan peraturan SNI 1727-2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain).

Elemen struktur direncanakan menggunakan struktur beton bertulang. Hasil yang diharapkan agar dimensi yang direncanakan dapat menahan gaya-gaya yang terjadi yaitu akibat beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Setelah semua perhitungan selesai, dilakukan penggambaran detail elemen struktur yang terdiri dari dua portal yaitu satu portal memanjang dan satu portal melintang. Menghitung volume tulangan pada satu portal memanjang dan satu portal melintang untuk mengetahui volume tulangan per m^3 beton serta tahapan pelaksanaan pada struktur kolom

**Kata kunci : Analisis Statik Ekuivalen, Bangunan Gedung,
Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah**

**BUILDING STRUCTURAL DESIGN OF
“GEDUNG APARTEMEN “X” SURABAYA” WITH
INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME
METHOD**

Conselor : Raden Buyung Anugraha Affandhie,
ST., MT.
NIP : 19740203 200212 1 002

Student Name : Widyanoro Wicaksono
NRP : 3114030121

Student Name : Nuryani Handayani
NRP : 3114030132

Major : Departemen Teknik Infrastruktur
Sipil FV-ITS

ABSTRACT

Apartment “X” Building Surabaya is located in Surabaya with 1843,2 m² building area, which has 6 floors, there are 1st floor for parking area, 2nd floor for lobby and 3rd to 6th floor for apartment with 21m highness.

The calculation of its structure uses SRPMM methods that refers to SNI 2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung). Because this building is inculde in regular building category, in the load planning due to earthquake using equivalen static that refers to SNI 1726-2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung) and Peta Hazard Gempa Indonesia Tahun 2010. While non-earthquake loading can be adjusted with the SNI 1727-2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain).

The structural elements are planned using reinforced concrete structures. The expected results are for the planned dimensions can withstand the forces that occur that is due to dead loads, live loads, wind loads and earthquake loads. After all the result done, detailed description of the elements of the structure consists of 2 portals, there are one elongated portal and one transverse portal. Calculates the reinforcement volume on one elongated portal and one transverse portal to know the volume of reinforcement per m^3 of concrete as well as stage of the implementation on the structure of the collum.

Keywords: Analysis Equivalen Statics, Building Structures, Intermediate Moment Frame System Method

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan **Tugas Akhir Terapan** dengan judul “**Perencanaan Struktur Gedung Apartemen “X” Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**”.

Tersusunnya Proposal Tugas Akhir Terapan ini tidak lepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara – saudara kami tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, yang telah banyak memberikan dukungan moril maupun materiil, serta doanya.
2. Bapak Machsus, ST, MT, selaku koordinator Program Studi Diploma Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak R. Buyung Anugraha A., ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan.

Menyadari bahwa dalam penyusunan **Tugas Akhir Terapan** ini tidaklah sempurna, maka kami ucapkan mohon maaf jika ada kekurangan dalam penyusunan.

Akhir kata, semoga apa yang kami sajikan dalam **Tugas Akhir Terapan** ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terlibat.

Surabaya, 07 Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Lokasi Studi.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Peraturan yang Digunakan	7
2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen	7
2.3 Pembebanan.....	8
2.3.1 Beban Mati	8
2.3.2 Beban Hidup.....	8
2.3.3 Beban Angin.....	8
2.3.4 Beban Gempa	18
2.4 Kombinasi Pembebanan	29

2.5	Syarat-syarat dan Perumusan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).....	29
2.5.1	Plat.....	29
2.5.2	Tangga.....	36
2.5.3	Balok.....	37
2.5.4	Kolom.....	45
BAB III METODOLOGI		53
3.1.	Pengumpulan Data.....	53
3.1.1	Gambar Arsitektur.....	53
3.1.2	Data Tanah.....	53
3.2	Peraturan yang Digunakan.....	53
3.4	Preliminary Design.....	55
3.4.1	Penentuan Dimensi Plat.....	55
3.4.2	Penentuan Dimensi Balok Sloof.....	55
3.4.3	Penentuan Dimensi Balok.....	55
3.4.4	Penentuan Dimensi Kolom.....	56
3.4.5	Penentuan Dimensi Tangga.....	56
3.5	Perhitungan Pembebanan.....	56
3.6	Permodelan Struktur.....	57
3.7	Analisa Gaya Dalam.....	58
3.8	Perhitungan Penulangan Struktur.....	58
3.8.1	Plat.....	58
3.8.2	Tangga dan Bordes.....	59
3.8.3	Balok.....	59
3.8.4	Kolom.....	61

3.9	Cek Persyaratan	63
3.10	Gambar Perencanaan	63
3.11	Perhitungan Volume Tulangan	64
3.12	Metode Pelaksanaan	64
3.13	Flow Chart	65
3.13.1	Proses Penyusunan Laporan	65
3.13.2	Sistem Rangka Pemikul Momen	67
3.13.3	Balok	69
3.13.4	Kolom	74
3.13.5	Plat Lantai dan Atap	76
3.13.6	Plat Tangga dan Bordes	78
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		81
4.1	Perencanaan Dimensi Struktur	81
4.1.1	Perencanaan Dimensi Balok	81
4.1.2	Perencanaan Dimensi Kolom	83
4.1.3	Perencanaan Dimensi Sloof	86
4.1.4	Perencanaan Dimensi Plat	88
4.1.5	Perencanaan Dimensi Tangga	95
4.2	Pembebanan Struktur	99
4.2.1	Pembebanan Plat Lantai	99
4.2.2	Pembebanan Tangga	100
4.2.3	Pembebanan Dinding	100
4.2.4	Pembebanan Angin	102
4.2.5	Pembebanan Gempa	106
4.3	Perencanaan Tulangan Plat	129

4.3.1	Perencanaan Plat.....	129
4.3.2	Perencanaan Tangga.....	140
4.4	Perhitungan Balok	152
4.4.1	Perhitungan Balok Induk	152
4.4.2	Perhitungan Balok Anak.....	191
4.4.3	Perhitungan Balok Kantilever	227
4.4.4	Perhitungan Balok Lift	253
4.4.5	Perhitungan Balok Bordes	292
4.5	Perhitungan Kolom.....	330
4.5.1	Perhitungan Lentur Kolom	330
4.5.2	Perhitungan Penulangan Geser Kolom.....	348
4.5.3	Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom.....	354
4.5.4	Panjang Penyaluran Tulangan Kolom	354
4.6	Perhitungan Volume Tulangan	356
4.6.1	Volume Tulangan Memanjang	356
4.6.2	Volume Tulangan Melintang.....	362
4.7	Tahapan Pelaksanaan Kolom.....	368
4.7.1	Pembesian Kolom.....	368
4.6.2	Pengangkatan Tulangan Kolom dengan <i>Tower Crane</i>	371
4.6.3	Penyambungan Tulangan Kolom	371
4.6.4	Pemasangan Beton <i>Decking</i> pada Kolom.....	374
4.6.5	Pemasangan <i>Bekisting</i> Kolom	376
4.6.6	Pengecoran Kolom	378
4.6.7	Pembongkaran <i>Bekisting</i> Kolom.....	382

BAB V PENUTUP.....	385
5.1 Kesimpulan.....	385
5.2 Saran.....	395
DAFTAR PUSTAKA.....	397

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tampak Eksisting Bangunan	2
Gambar 1. 2 Tampak Rencana Bangunan	2
Gambar 1. 3 Peta Lokasi Gedung Apatment “X” Surabaya	5
Gambar 2. 1 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)	16
Gambar 2. 2 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun	20
Gambar 2. 3 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun	20
Gambar 2. 4 Beban Bangunan.....	28
Gambar 2. 5 Perpanjangan Minimum untuk Tulangan pada Slab tanpa Balok	35
Gambar 2. 6 Geser Desain untuk Balok	40
Gambar 2. 7 Geser Desain untuk Kolom.....	48
Gambar 3. 1 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor	62
Gambar 3. 2 Flow Chart Penyusunan Laporan	66
Gambar 3. 3 Flow Chart Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen	68
Gambar 3. 4 Flow Chart Penulangan Torsi Balok	70
Gambar 3. 5 Flow Chart Penulangan Lentur Balok	72
Gambar 3. 6 Flow Chart Penulangan Geser Balok.....	73
Gambar 3. 7 Flow Chart Penulangan Kolom	75
Gambar 3. 8 Flow Chart Penulangan Lantai dan Atap.....	77
Gambar 3. 9 Flow Chart Penulangan Plat Tangga dan Bordes ...	79
Gambar 4. 1 Gambar Denah Rencana Balok Induk	81
Gambar 4. 2 Rencana Dimensi Balok Induk 40/70	82
Gambar 4. 3 Denah Rencana Balok Anak.....	82

Gambar 4. 4 Rencana Dimensi Balok Anak 30/40.....	83
Gambar 4. 5 Denah Rencana Kolom Lantai 1	84
Gambar 4. 6 Rencana Dimensi Kolom K1 80/80.....	85
Gambar 4. 7 Denah Rencana Kolom Lantai 3.....	85
Gambar 4. 8 Rencana Dimensi Kolom K2 65/65.....	86
Gambar 4. 9 Denah Rencana Balok Sloof.....	87
Gambar 4. 10 Rencana Dimensi Balok Sloof 40/70.....	87
Gambar 4. 11 Rencana Denah Plat.....	89
Gambar 4. 12 Rencana Denah Tangga Tipe 1.....	96
Gambar 4. 13 Potongan Tangga Tipe 1.....	97
Gambar 4. 14 Potongan Tangga Tipe 1.....	97
Gambar 4. 15 Input Beban Angin.....	106
Gambar 4. 16 Perhitungan Momen Plat	130
Gambar 4. 17 Tampak Atas Penulangan Plat S3.....	139
Gambar 4. 18 Detail Tulangan Tangga Tipe 1	151
Gambar 4. 19 Denah Struktur Lantai 2.....	152
Gambar 4. 20 Tinggi Efektif Balok.....	154
Gambar 4. 21 Diagram Torsi pada Balok.....	155
Gambar 4. 22 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi dan Gempa	155
Gambar 4. 23 Diagram Momen (+) pada Lapangan Akibat Gravitasi dan Gempa	155
Gambar 4. 24 Diagram Geser pada Tumpuan	155
Gambar 4. 25 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	156
Gambar 4. 26 Luasan Acp dan Pcp	157
Gambar 4. 27 Diagram Defleksi pada Balok.....	178
Gambar 4. 28 Pembagian Wilayah Geser pada Balok.....	180
Gambar 4. 29 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar.....	188
Gambar 4. 30 Detail Penulangan Balok BI-3	190

Gambar 4. 31 Denah Struktur Lantai 2	191
Gambar 4. 32 Tinggi Efektif Balok.....	192
Gambar 4. 33 Diagram Torsi pada Balok.....	193
Gambar 4. 34 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi	194
Gambar 4. 35 Diagram Momen (+) pada Lapangan Akibat Gravitasi dan Gempa.....	194
Gambar 4. 36 Diagram Geser pada Tumpuan	194
Gambar 4. 37 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	195
Gambar 4. 38 Luasan Acp dan Pcp	196
Gambar 4. 39 Diagram Defleksi pada Balok.....	214
Gambar 4. 40 Pembagian Wilayah Geser pada Balok	216
Gambar 4. 41 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar.....	224
Gambar 4. 42 Detail Penulangan Balok BA-2	226
Gambar 4. 43 Denah Struktur Lantai 3	227
Gambar 4. 44 Tinggi Efektif Balok.....	228
Gambar 4. 45 Diagram Torsi pada Balok.....	229
Gambar 4. 46 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi	230
Gambar 4. 47 Diagram Geser pada Tumpuan	230
Gambar 4. 48 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	231
Gambar 4. 49 Luasan Acp dan Pcp	231
Gambar 4. 50 Diagram Defleksi pada Balok.....	245
Gambar 4. 51 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar.....	250
Gambar 4. 52 Detail Penulangan Balok BK-1	252
Gambar 4. 53 Denah Struktur Lantai 2	253

Gambar 4. 54 Tinggi Efektif Balok	254
Gambar 4. 55 Diagram Torsi pada Balok.....	255
Gambar 4. 56 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi	256
Gambar 4. 57 Diagram Momen (+) pada Lapangan Akibat Gravitasi dan Gempa	256
Gambar 4. 58 Diagram Geser pada Tumpuan	256
Gambar 4. 59 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	257
Gambar 4. 60 Luasan Acp dan Pcp	258
Gambar 4. 61 Diagram Defleksi pada Balok.....	279
Gambar 4. 62 Pembagian wilayah Geser balok.....	281
Gambar 4. 63 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar	289
Gambar 4. 64 Detail Penulangan Balok BL-5	291
Gambar 4. 65 Tinggi Efektif Balok	293
Gambar 4. 66 Diagram Torsi pada Balok.....	294
Gambar 4. 67 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi dan Gempa	294
Gambar 4. 68 Diagram Momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa	294
Gambar 4. 69 Diagram Geser pada Tumpuan	295
Gambar 4. 70 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	296
Gambar 4. 71 Diagram Defleksi pada Balok.....	317
Gambar 4. 72 Pembagian Wilayah Geser Balok	319
Gambar 4. 73 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar	327
Gambar 4. 74 Detail Penulangan Balok BB-2.....	329
Gambar 4. 75 Tinggi Efektif	331
Gambar 4. 76 Grafik Aligment.....	338

Gambar 4. 77 Diagram Interaksi	341
Gambar 4. 78 Detail Penulangan Kolom K2.....	355
Gambar 4. 79 Detail Tulangan Kolom K1	368
Gambar 4. 80 <i>Bar Cutter</i>	369
Gambar 4. 81 <i>Bar Bender</i>	369
Gambar 4. 82 Hasil Pemasangan Tulangan Kolom.....	370
Gambar 4. 83 Pengangkatan Tulangan Kolom dengan <i>Tower Crane</i>	371
Gambar 4. 84 Detail Lokasi Sambungan Lewatan Tulangan Kolom.....	372
Gambar 4. 85 Penyambungan Tulangan Kolom	373
Gambar 4. 86 Hasil Penyambungan Tulangan Kolom.....	373
Gambar 4. 87 Jarak Senggang Kolom.....	374
Gambar 4. 88 Beton <i>Decking</i> Kolom	375
Gambar 4. 89 Hasil Pemasangan Beton <i>Decking</i> pada Kolom .	375
Gambar 4. 90 Pemasangan <i>Bekisting</i> Kolom	376
Gambar 4. 91 Posisi Unting-unting untuk Pengecekan Posisi Vertikal <i>Bekisting</i> Kolom.....	377
Gambar 4. 92 Bagian-bagian <i>Bekisting</i> Kolom.....	377
Gambar 4. 93 <i>Slump Test</i> di Lapangan.....	379
Gambar 4. 94 Pengangkutan Beton Menggunakan <i>Bucket</i>	380
Gambar 4. 95 Penuangan Beton pada <i>Bekisting</i> Kolom.....	381
Gambar 4. 96 Pemasangan Beton Kolom dengan <i>Vibrator</i>	381
Gambar 4. 97 Pembongkaran <i>Bekisting</i> Kolom	383

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es	9
Tabel 2. 2 Faktor Arah Angin (K_d)	10
Tabel 2. 3 Faktor Topografi (K_{zt})	12
Tabel 2. 4 Koefisien Tekanan Internal (G_{Cpi})	14
Tabel 2. 5 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_h dan K_z) .	15
Tabel 2. 6 Konstanta Eksposur Daratan	15
Tabel 2. 7 Faktor Keutamaan Gempa	18
Tabel 2. 8 Faktor Reduksi Gempa	19
Tabel 2. 9 Kelas Situs	21
Tabel 2. 10 Koefisien Situs (F_a)	23
Tabel 2. 11 Koefisien Situs (F_v)	23
Tabel 2. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	24
Tabel 2. 13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	24
Tabel 2. 14 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	25
Tabel 2. 15 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_1 dan x	25
Tabel 2. 16 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Plat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung	30
Tabel 2. 17 Tebal Minimum Plat Tanpa Balok Interior*	31
Tabel 3. 1 Sistem Rangka Pemikul Momen Berdasarkan Kategori Desain Seismik	54
Tabel 4. 1 Faktor Arah Angin K_d	103
Tabel 4. 2 Koefisien Tekanan Internal	104
Tabel 4. 3 Koefisien Eksposur Tekanan Viskositas	104
Tabel 4. 4 Nilai SPT	107
Tabel 4. 5 Perhitungan Nilai F_a Secara Interpolasi Linier	109

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Rasio Pembesian Balok Portal	
Memanjang	359
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Rasio Pembesian Kolom Portal	
Memanjang	361
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Rasio Pembesian Balok Portal Melintang	
.....	365
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Rasio Pembesian Kolom Portal	
Melintang.....	367

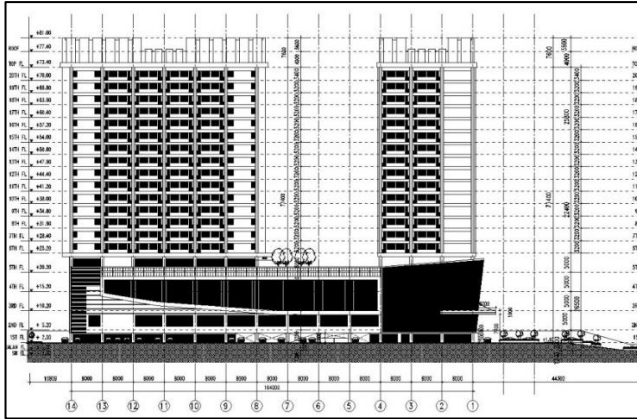
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam suatu perencanaan bangunan gedung bertingkat perlu memperhatikan beberapa aspek diantaranya kekuatan, estetika, dan ekonomis. Dalam merencanakan suatu bangunan bertingkat baik itu bangunan tingkat rendah maupun bangunan tingkat tinggi dari segi struktur perlu pertimbangan yang matang, terutama pada pembebanan gempa. Beban gempa digunakan untuk menentukan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) terdiri dari tiga macam sistem, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB); Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM); dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pemilihan system tersebut berdasarkan kategori desain seismic (KDS). Terdapat 5 kategori desain seismic yaitu kategori A, B, C, D, E, dan F. Untuk KDS A dan B perencanaan menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Untuk KDS C menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Untuk KDS D, E, F perencanaan menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sebagai bahan untuk pembuatan Tugas Akhir Terapan digunakan data proyek Gedung My Tower Apartment Surabaya yang terletak di Jalan Rungkut Industri Raya No. 4 Surabaya. Gedung My Tower Apartment merupakan gedung bertingkat 20 lantai yang terdiri dari 2 tower, yaitu tower A dan B. Gedung My Tower Apartment menggunakan dual sistem yaitu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser.



Apartemen “X” Surabaya masuk dalam kategori desain sesimik C. Maka dari itu perencanaan Gedung Apartemen “X” Surabaya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau pada perencanaan Gedung Apartemen “X” Surabaya adalah :

1. Bagaimana cara merencanakan struktur beton bertulang pada Gedung Apartemen “X” Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah?
2. Bagaimana menganalisa gaya dan momen yang dihasilkan akibat beban yang diterima oleh struktur bangunan?
3. Bagaimana merencanakan penulangan elemen struktur berdasarkan analisa gaya dan momen?
4. Bagaimana mengaplikasikan perhitungan struktur dalam bentuk gambar perencanaan?
5. Bagaimana perhitungan volume tulangan kolom dan balok pada satu portal memanjang dan satu portal melintang?
6. Bagaimana merencanakan metode pelaksanaan pada elemen struktur kolom?

1.3 Batasan Masalah

Hal-hal yang menjadi batasan masalah dalam perencanaan struktur Gedung Apartemen “X” Surabaya adalah:

1. Perhitungan dilakukan pada semua elemen struktur, tetapi hanya menampilkan perhitungan dua portal yaitu satu portal memanjang dan satu portal melintang.
2. Analisa Gempa dilakukan dengan metode Statik Ekuivalen.
3. Perhitungan struktur bawah hanya meninjau pada balok sloof dan output program SAP2000 (gaya dan momen)

yang dapat digunakan sebagai acuan untuk perencanaan desain pondasi.

4. Perencanaan gedung ini tidak memperhitungkan segi manajemen konstruksi dan anggaran biaya.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan laporan tugas akhir terapan yaitu :

1. Mengetahui cara perhitungan Struktur Beton Bertulang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.
2. Mengetahui cara menganalisa gaya dan momen yang dihasilkan akibat beban yang diterima oleh struktur bangunan.
3. Mengetahui cara merencanakan penulangan elemen struktur berdasarkan analisa gaya dan momen.
4. Menyajikan detail perhitungan struktur dalam bentuk gambar teknik.
5. Mengetahui cara perhitungan volume tulangan kolom dan balok pada satu portal memanjang dan satu portal melintang.
6. Mengetahui cara merencanakan metode pelaksanaan pada elemen struktur kolom.

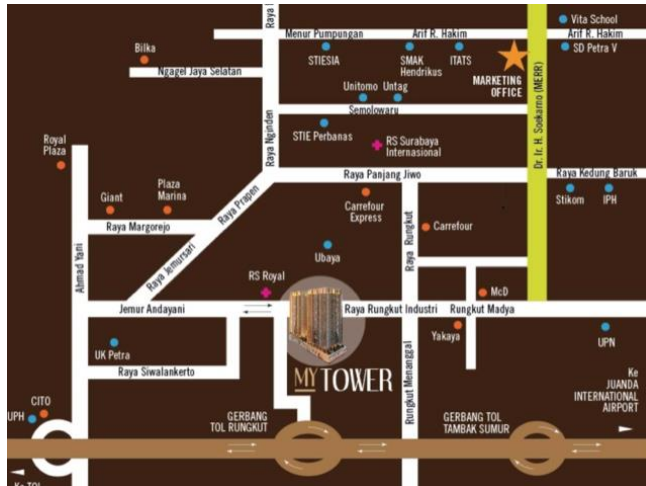
1.5 Manfaat

Manfaat dari pembuatan laporan tugas akhir terapan yaitu:

1. Untuk penulis : mampu menerapkan perencanaan struktur beton bertulang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.
2. Untuk pembaca : dapat menjadi bahan referensi dalam mengerjakan tugas yang sejenis.

1.6 Lokasi Studi

Gedung Apartemen “X” Surabaya terletak di Jalan Rungkut Industri Raya No. 4 Surabaya, dengan peta lokasi sebagai berikut.



Gambar 1. 3 Peta Lokasi Gedung Apartment “X” Surabaya

Data perencanaan Gedung Apartemen “X” Surabaya adalah sebagai berikut.

Nama Proyek	: Pembangunan Gedung Apartemen “X”
Alamat	: Surabaya
Fungsi Bangunan	: Apartment
Jumlah lantai	: 6 lantai
Konstruksi Bangunan	: Beton bertulang
Konstruksi Atap	: Beton bertulang
Mutu beton	: 25 Mpa
Mutu tulangan lentur	: 400 Mpa
Mutu tulangan geser	: 400 Mpa

Elemen Struktur :

- Struktur primer : kolom dan balok induk
- Struktur sekunder : plat lantai, plat tangga, plat
bordes dan balok anak
- Struktur atap : plat atap
- Bangunan bawah : balok sloof

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam menyelesaikan perencanaan struktur beton bertulang harus dapat memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh sebuah gedung.

2.1 Peraturan yang Digunakan

- SNI 2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung)
- SNI 1727-2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain)
- SNI 1726-2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung).
- PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) terdiri dari tiga macam sistem, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB); Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM); dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sesuai dengan judul tugas akhir ini, maka akan dibahas mengenai teori dan syarat-syarat perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

Pada perencanaan bangunan gedung Apartemen “X” Surabaya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dimana semua rangka struktur bangunan memikul beban gravitasi dan beban lateral yang diakibatkan oleh beban gempa sedang.

2.3 Pembebanan

Beban adalah gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Beban-beban yang akan diperhitungkan dalam struktur gedung antara lain :

2.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Dalam hal ini beban mati disimbolkan sebagai D.

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan bahan lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Dalam hal ini beban hidup disimbolkan sebagai L.

2.3.3 Beban Angin

Beban angin merupakan semua beban yang bekerja pada suatu gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin dihitung berdasarkan *SNI 1727-2013 Tabel 27.2-1*. Dalam hal ini beban angin disimbolkan dengan W.

a. Kategori Risiko Bangunan

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV	II
<p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.</p>	III
<p>Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis^a.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.</p>	IV

Catatan:*Jenis bangunan sesuai dengan *Tabel 1 SNI 1726-2012*

^aBangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap Kategori Risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya. Pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan Kategori Risiko.

[SNI 1727-2013 Tabel 1.5-1)]

b. Kecepatan Angin Dasar (V)

Kecepatan angin dasar dan arah angin didapatkan dari BMKG Jawa Timur <http://meteo.bmkg.go.id>

c. Parameter Beban Angin

- Faktor Arah Angin (K_d)

Faktor arah angin, K_d , harus ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. 2 Faktor Arah Angin (K_d)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	0,90
Segi empat	0,95
Segi enam	0,95
Bundar	
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

* Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2.

Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

[SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1]

- Kategori Eksposur
 - **Eksposur B:** Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500ft (457m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.
 - **Eksposur C:** Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau D tidak berlaku.
 - **Eksposur D:** Eksposur D berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagai mana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600ft (183m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara katagori exposure, harus menggunakan hasil katagori di gaya angin terbesar.

- **Pengecualian:** Eksposur menengah antara kategori sebelumnya diperbolehkan di zona transisi asalkan itu ditentukan oleh metode analisis rasional yang dijelaskan dalam literatur dikenal.

[SNI 1727-2013 Pasal 26.7]

- Faktor Topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam tabel di bawah ini. Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan, $K_{zt} = 1,0$.

Tabel 2. 3 Faktor Topografi (K_{zt})

Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing						
Bentuk bukit	$K1/(H/Lh)$			γ	μ	
	Eksposur				Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak
	B	C	D			
Bukit memanjang 2-dimensi (atau lembah dengan negatif H dalam $K1/(H/Lh)$)	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

[SNI 1727-2013 Pasal 26.8.2 dan Gambar 26.8-1]

- Faktor Efek Tiupan Angin (G)
 - Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.
 - Untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung atau struktur lain adalah kaku atau fleksibel, frekuensi alami fundamental, n_1 , harus ditetapkan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang dibuktikan secara benar. Bangunan bertingkat rendah diizinkan untuk dianggap kaku.

[SNI 1727-2013 Pasal 26.9]

- Klasifikasi Ketertutupan

Untuk menentukan koefisien tekanan internal, semua bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, tertutup sebagian, atau terbuka. Jika sebuah bangunan memenuhi definisi bangunan "terbuka" dan "tertutup sebagian", harus diklasifikasikan sebagai bangunan "terbuka". Suatu bangunan yang tidak memenuhi definisi bangunan "terbuka" atau "tertutup sebagian" harus diklasifikasikan sebagai bangunan "tertutup".

[SNI 1727-2013 Pasal 26.10]

- Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan Internal, (GC_{pi}), harus ditentukan dari Tabel di bawah ini berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung.

Tabel 2. 4 Koefisien Tekanan Internal (G_{Cpi})

Sistem Penahan Beban Angin Utama dan Komponen dan Kledning		Semua Ketinggian
Tabel 26.11-1	Koefisien Tekanan Internal, (G_{Cpi})	Dinding & Atap
Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, dan Terbuka		
Klasifikasi Ketertutupan	(G_{Cpi})	
Bangunan gedung terbuka	0,00	
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55	
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18	

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal.
2. Nilai (G_{Cpi}) harus digunakan dengan q_e atau q_s seperti yang ditetapkan.
3. Dua kasus harus dipertimbangkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - (i) nilai positif dari (G_{Cpi}) diterapkan untuk seluruh permukaan internal
 - (ii) nilai negatif dari (G_{Cpi}) diterapkan untuk seluruh permukaan internal

[SNI 1727-2013 Tabel 26.11-1]

d. Koefisien Eksposur Tekanan Velocitas (K_z atau K_h)

Berdasarkan kategori eksposur yang telah ditentukan, koefisien eksposur tekanan velocitas K_z atau K_h , sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel di bawah ini. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, diizinkan untuk menggunakan nilai menengah dari K_z atau K_h , asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang tercantum dalam literatur yang dikenal.

Tabel 2. 5 Koefisien Eksposur Tekanan Velocitas (Kh dan Kz)

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	(m)	B	C	D
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

Catatan:
 1. Koefisien eksposur tekanan velocitas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:
 Untuk $15 \text{ ft} \leq z \leq z_g$ Untuk $z < 15 \text{ ft}$.
 $K_z = 2,01(z/z_g)^{2\alpha}$ $K_z = 2,01(15/z_g)^{2\alpha}$
 2. α dan z_g ditabulasi dalam Tabel 26.9.1.
 3. Interpolasi linier untuk nilai menengah tinggi z yang sesuai.
 4. Kategori eksposur yang ditetapkan dalam Pasal 26.7

[SNI 1727-2013 Tabel 27.3-1]

Tabel 2. 6 Konstanta Eksposur Daratan

Eksposur	α	Z_g (ft)	Dalam metrik							
			\hat{a}	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (ft)	$\bar{\xi}$	Z_{\min} (m)*
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

* Z_{\min} = tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekuivalen \bar{z} yang lebih besar dari 0,6h atau Z_{\min} .

Untuk bangunan gedung dengan $h \leq Z_{\min}$, \bar{z} harus diambil sebesar Z_{\min} .

[SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1]

e. Tekanan velocitas (q atau q_h)

Tekanan velocitas, qz , dievaluasi pada ketinggian z harus dihitung dengan persamaan berikut:

g. Tekanan angin (p)

Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung fleksibel harus ditentukan persamaan berikut:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi})(\text{lb/ft}^2)(\text{N/m}^2)$$

di mana :

$q = q_z$ untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah

$q = q_h$ untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian h

$q_i = q_h$ untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian

$q_i = q_z$ untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah berpartikel terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak, harus diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan Pasal 26.10.3. Untuk menghitung tekanan internal positif, q_i secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian h ($q_i = q_h$)

G = faktor efek-tiupan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

(GC_{pi}) = koefisien tekanan internal

q dan q_i harus dihitung dengan menggunakan eksposur. Tekanan harus diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan disisi angin pergi pada permukaan atap seperti ditetapkan dalam gambar di bawah ini.

[SNI 1727-2013 Pasal 27.4.2]

2.3.4 Beban Gempa

Beban Gempa yang digunakan dalam perencanaan beban gempa pada gedung Apartment “X” Surabaya adalah statik ekuivalen dengan mengacu pada *SNI 1726-2012*. Dalam hal ini beban gempa disimbolkan dengan E.

1) Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung ditentukan oleh tabel 2.1, pengaruh gempa terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa (I_e)
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,5

[SNI 1726-2012 Pasal 4.1.2]

2) Faktor Redukdi (R)

Gedung ini direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) beton bertulang, sehingga berdasarkan tabel dibawah ini didapatkan nilai faktor reduksi gempa $R = 5$, $C_d = 4,5$, $\Omega_0 = 3$.

Tabel 2. 8 Faktor Reduksi Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R_a	Faktor Kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^e
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

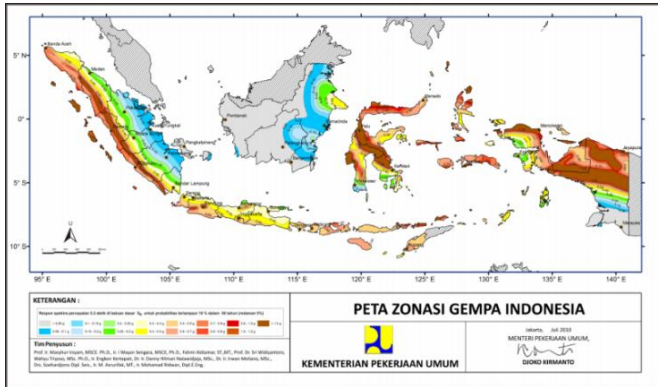
TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diiijinkan

[SNI 1726-2012 Tabel 9]

3) Parameter Percepatan Tanah (S_s , S_1)

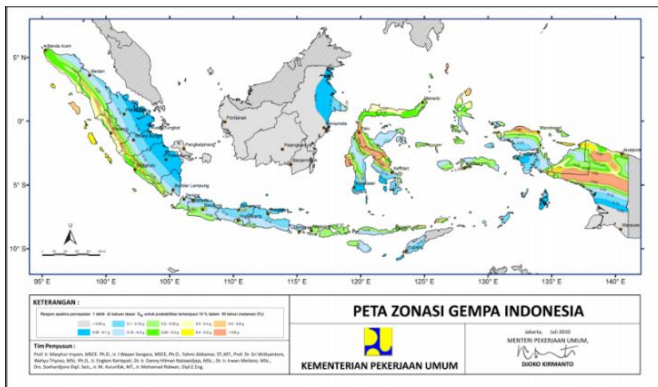
Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_s (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan

dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Mengacu pada *Peta Hazard Indonesia 2010*.
 [SNI 1726-2012 Pasal 6.1.1]



Gambar 2. Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_a) di batuan dasar (S_b) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Gambar 2. 2 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun



Gambar 3. Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_b) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Gambar 2. 3 Peta Respon Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun

4) Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah, maka kelas situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu sehingga profil tanah dapat diketahui.

Tabel 2. 9 Kelas Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

[SNI 1726-2012 Tabel 3]

Dan berdasarkan data tanah dari lokasi bangunan dengan menentukan N-SPT rata-rata sebagai berikut :

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Keterangan :

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter.

N_i = tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 305 pukulan/m. Jika ditemukan perlawanan lapisan batuan, maka nilai N_i tidak boleh diambil lebih dari 305 pukulan/m.

[SNI 1726-2012 Pasal 5.4.2]

5) Koefisien-Koefisien Situs Dan Parameter-Parameter

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S \quad \text{dan} \quad S_{M1} = F_v S_1$$

Keterangan:

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

Dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 9 dan tabel 10.

Tabel 2. 10 Koefisien Situs (Fa)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2. 11 Koefisien Situs (Fv)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,2	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik

[SNI 1726-2012 Pasal 6.2]

6) Parameter Percepatan Spektral Desain

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \text{dan} \quad S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

[SNI 1726-2012 Pasal 6.3]

7) Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} , S_{D1} dan kategori resiko bangunan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Tabel 2. 13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

[SNI 1726-2012 Pasal 6.5]

8) Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh

melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.11 dan perioda fundamental pendekatan, T_a . Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, $a T$, yang dihitung dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.12 .

Tabel 2. 14 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

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

Tabel 2. 15 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8

Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

[SNI 1726-2012 Pasal 7.8.2]

9) Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan di bawah ini.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R I_e}$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana $1 S$ sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Keterangan:

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam poin a dan b

- S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 1,0 detik
 T = perioda fundamental struktur (detik)
 S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

[SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1.1]

10) Berat Total Bangunan (W_i)

Dihitung dari beban mati dan beban hidup tereduksi . Berat seismik efektif struktur, W , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini :

- Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5 persen dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan);
- Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar di antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m²;
- Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
- Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

[SNI 1726-2012 Pasal 7.7.2]

Besarnya koefisien reduksi beban hidup, ditentukan sebagai berikut :

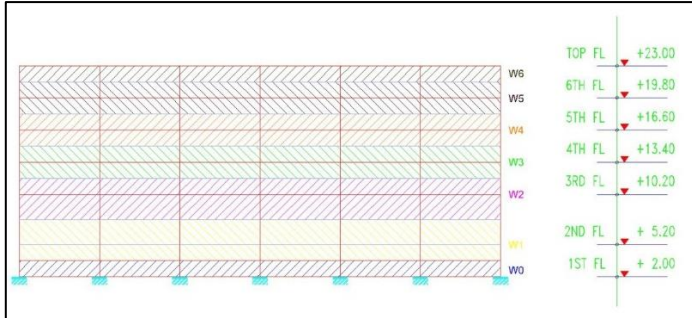
Perumahan/penghunian : rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit = 0,30

Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah = 0,50

Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pertunjukan = 0,50

Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,30

Gedung perdagangan dan ruang penyimpanan, toko, toserba, pasar, gudang, ruang arsip, perpustakaan = 0,80
 Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,50
 Bangunan industri : pabrik, bengkel = 0,90



Gambar 2. 4 Beban Bangunan

11) Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s W$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

[SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1]

12) Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{dan} \quad C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

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

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k=1$

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k=2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.4 Kombinasi Pembebanan

Beban beban yang ada harus dikombinasikan agar mendapatkan kekuatan perlu (U) bangunan. Berikut adalah kekuatan perlu dari kombinasi beban terfaktor:

$$U = 1,4D$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L_r \text{ atau } 0,5W)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$$

$$U = 0,9D + 1,0W$$

$$U = 0,9D + 1,0E$$

[SNI 2847-2013 Pasal 9.2]

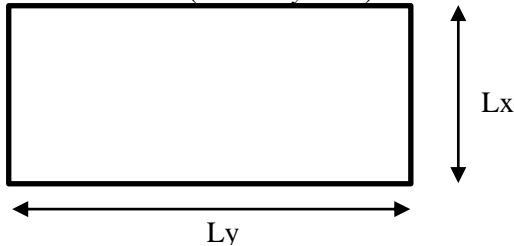
2.5 Syarat-syarat dan Perumusan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

2.5.1 Plat

Plat merupakan elemen struktur yang menerima beban mati dan beban hidup secara langsung. Plat dibagi menjadi dua tipe, yaitu plat satu arah (*one way slab*) dan plat dua arah (*two ways slab*). Ada 2 hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan plat, yaitu tebal plat dan penulangannya.

2.5.1.1 Perencanaan Tebal Plat

- Plat Satu Arah (*One Way Slab*)



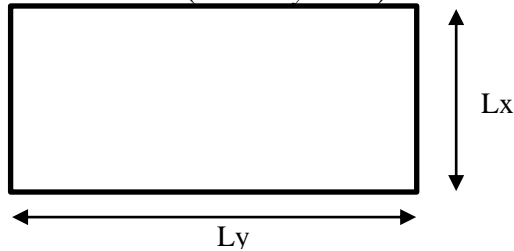
- Plat dinamakan satu arah apabila $\frac{L_y}{L_x} > 2$
- Konstruksi plat satu arah (non-prategang) telah diatur pada *SNI 2847-2013 Pasal 9.5.2*
- Tebal minimum balok non-prategang dan plat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tabel 2. 16 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Plat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h.			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Plat masif satu-arah	$l/20$	$l/24$	$l/26$	$l/10$
Balok atau plat rusak satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
CATATAN : Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut : (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c , dimana 1440 sampai 1840 kg/m^3 , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$				

[SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a)]

- Plat Dua Arah (*Two Ways Slab*)



- Plat dinamakan dua arah apabila $\frac{L_y}{L_x} < 2$
- Konstruksi plat dua arah (non-prategang) telah diatur pada *SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3*
- Untuk plat tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan dan memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan tabel 9.5(c) dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:
 - (a) Tanpa panel drop (*drop panels*) adalah 125 mm
 - (b) Dengan panel drop (*drop panels*) adalah 100 mm

[*SNI 2847-2013 Pasal 13.2.5*]

Tabel 2. 17 Tebal Minimum Plat Tanpa Balok Interior*

Tegangan-leleh, f_y MPa [†]	Tanpa penebalan [‡]			Dengan penebalan [‡]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dgn balok pinggir [§]		Tanpa balok pinggir	Dgn balok pinggir [§]	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

* untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada plat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus lain.

[†]Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

[‡]Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5

[§]Plat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

[SNI 2847-2013 Tabel 9.5(b)]

- Untuk plat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :
 - a) Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan;
 - b) Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$$

Dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

- c) Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan plat minimum tidak kurang dari :

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

- d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan dua persamaan di atas harus dinaikkan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

[SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.2]

- Plat dengan tebal kurang dari tebal minimum, boleh digunakan bila dapat ditunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi batas

lendutan yang ditetapkan dalam *Tabel 9.5(b) SNI 2847-2013*. Lendutan tersebut harus ditentukan dengan memperhitungkan pengaruh dari ukuran dan bentuk panel, kondisi tumpuan, dan keadaan kekangan pada sisi panel. Modulus elastisitas beton, E_c , harus dihitung berdasarkan ketentuan 8.5.1. Momen inersia efektif, I_e , harus dihitung sesuai dengan *Pers. (9-8) SNI 2847-2013*; harga lain boleh dipakai bila perhitungan lendutan yang didapat dengan menggunakan harga tersebut mendekati hasil yang didapat dari pengujian yang menyeluruh dan lengkap. Lendutan jangka panjang tambahan harus dihitung berdasarkan ketentuan *SNI 2847-2013 Pasal 9.5.2.5*.

2.5.1.2 Penulangan plat

- Perencanaan penulangan plat dimulai dengan menentukan tegangan leleh baja tulangan dan tebal plat beton
- Perhitungkan beban-beban yang membebani plat, diantaranya beban mati dan beban hidup
- Penentuan kategori jenis plat, termasuk plat dua arah atau plat satu arah berdasarkan bentang panjang, l_y dan bentang pendek, l_x .
- Perhitungkan momen-momen yang terjadi, momen tersebut harus diasumsikan berporos pada sumbu tegak lurus terhadap diagonal dari sudut pada sisi atas plat dan berporos terhadap sumbu yang paralel terhadap diagonal dari sudut pada didi bawah plat.

[SNI 2847-2013 Pasal 13.3.6.2]

- Periksa rasio penulangan plat sesuai dengan $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ untuk memnentukan luas tulangan yang diperlukan.
- Luas tulangan plat dalam masing-masing arah untuk plat 2 arah ditentukan berdasarkan momen-momen pada penampang kritis, tetapi paling sedikit memiliki rasio

luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak boleh kurang dari 0,0014

- Spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dua kali tebal plat

[SNI 2847-2013 Pasal 13.3.2]

- Periksa tulangan susut dan suhu
 - Tulangan untuk tegangan susut dan suhu tegak lurus terhadap tulangan lentur harus disediakan dalam plat struktural dimana tulangan lentur menerus dalam satu arah saja.

[SNI 2847-2013 Pasal 7.12.1]

- Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014

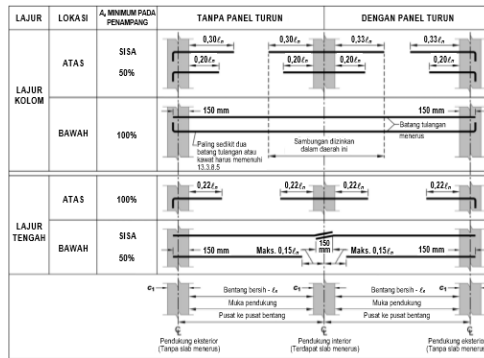
- a) Plat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350 adalah 0,0020
- b) Plat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 adalah 0,0018
- c) Plat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 35% adalah $\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

[SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1]

- Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal plat atau tidak lebih dari 450 mm.

[SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.2]

- Panjang penyaluran plat tanpa balok harus mempunyai perpanjangan minimum sebagai berikut sesuai dengan gambar di bawah ini.



Gambar 2. 5 Perpanjangan Minimum untuk Tulangan pada Slab tanpa Balok

[SNI 2847-2013 Gambar 13.3.8]

- Penyaluran tulangan momen positif
Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat tulangna momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan

[SNI 2847-2013 Pasal 12.11.1]

- Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus memenuhi ke tepi plat paling sedikit 150 mm dalam balok, kolom atau dinding.

[SNI 2847-2013 Pasal 13.3.3]

- Penyaluran tulangan momen negatif
Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik balok tidak kurang dari :

- D
- $12 d_b$
- $l_n/16$

[SNI 2847-2013 Pasal 12.12.3]

- Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus dibengkokkan, diakit, atau jikalau

tidak diangkur dalam balok, kolom atau dinding dan harus disalurkan ke muka tumpuan.

[SNI 2847-2013 Pasal 13.3.4]

2.5.2 Tangga

2.5.1.3 Perencanaan Dimensi Anak Tangga

- a) Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes.
Merencanakan dimensi tanjakan dan injakan dengan :

$$60 \text{ cm} < (2t + i) < 65 \text{ cm}$$

Keterangan :

t = tinggi tanjakan < 25 cm

i = lebar injakan, dengan $25 \text{ cm} < i < 40 \text{ cm}$

- b) Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

- c) Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

- d) Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$

- e) Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

- f) Tebal efektif plat anak tangga

Dengan perbandingan luas segitiga :

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} i \cdot t = \frac{1}{2} \sqrt{i^2 + t^2} \cdot d$$

Maka Tebal Efektif Plat Tangga = Tebal Plat Tangga Rencana + $\frac{1}{2} d$

2.5.1.4 Penulangan Struktur Tangga

Penulangan pada plat tangga dan plat bordes menggunakan perhitungan sesuai dengan prinsip perencanaan plat lantai.

2.5.3 Balok

Berdasarkan syarat-syarat dari rangka momen menengah, perhitungan tulangan balok portal yang mempunyai gaya tekan aksial terfaktor, P_u , kurang dari $A_g \cdot f_c' / 10$, harus memenuhi ketentuan seperti berikut ini :

- Kekuatan momen positif pada muka join tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka join. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu join.

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1]

- Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak boleh lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a) $d/4$;
 - b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
 - d) 300 mm.

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2]

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

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.3]

2.5.3.1 Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan dimensi balok digunakan untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan – tulangan mutu 420 MPa. Untuk merencanakan tebal minimum balok, h pada balok induk h dapat diambil sebesar $L/16$. Sedangkan pada balok anak, nilai h dapat diambil sebesar $L/21$. Untuk

balok kantilever, nilai h dapat diambil sebesar $L/8$. Ketentuan tersebut berlaku untuk $f_y = 420$ MPa, selain dari f_y tersebut nilai h harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Untuk merencanakan lebar balok, b dapat diambil $2/3$ dari tebal minimum balok

2.5.3.2 Perencanaan Tulangan Lentur Balok

Perhitungan tulangan lentur balok, sebagai berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

[SNI 2438-2013 Pasal 22.5.1]

$$d = b_w - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2}$$

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

[SNI 2438-2013 Lampiran B 8.4.2]

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

[SNI 2438-2013 Lampiran B 10.3.3]

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

[SNI 2438-2013 Pasal 22.5.1]

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

[Wang, C. Salman hal. 55 pers. 3.8.4.a]

$$X_r \leq 0,75 X_b$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$C_c' = T_1 = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_r$$

$$A_{sc} = \frac{T_1}{f_y}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{2} \right)$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = \frac{M_u}{\phi} - M_{nc}$$

a. Cek Tulangan Tunggal/Rangkap

- Jika $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini :

$$C_s' = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''}$$

$$f_s' = \left(\frac{x - d''}{x} \right) \cdot 600$$

Jika $f_s' > f_y$, maka tulangan tekan leleh

Jika $f_s' < f_y$, maka tulangan tekan tidak leleh

$$A_s' = \frac{C_s'}{f_s' - 0,85f_c'}$$

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

Hitung tulangan perlu :

Tulangan tarik : $A_s = A_{sc} + A_{ss}$

Tulangan tekan : $A_s = A_s'$

- Jika $(M_n - M_{nc}) < 0$, maka tidak perlu tulangan rangkap, untuk menentukan tulangan tunggal dapat digunakan langkah-langkah berikut ini :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka memakai ρ

$\rho_{\min} > \rho$, maka memakai ρ_{\min}

Hitung tulangan perlu :

Tulangan tarik : $A_s = \rho \cdot b \cdot d$, atau $A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$

Tulangan tekan : $A_s' = 0,3A_s$

b. Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$S = \frac{b_w - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øsengkang}) - (n \times \text{Øtul. utama})}{n - 1} \geq 40\text{mm}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 7.6.2]

c. Kontrol Kekuatan

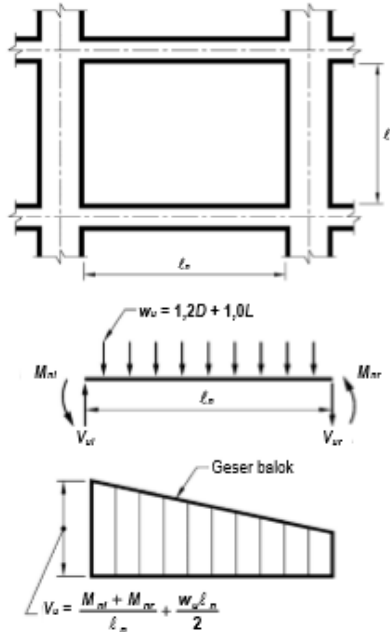
$$\phi M_n \geq M_u$$

[SNI 2847-2013 Pasal 22.5.1]

2.5.3.3 Perencanaan Tulangan Geser Balok

Berdasarkan ketentuan dari rangka pemikul momen menengah, nilai ϕV_n yang menahan gaya gempa, E, tidak boleh kurang dari nilai yang lebih kecil dari a) dan b) :

- a) Geser maksimum yang terkait dengan perkembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor



Gambar 2. 6 Geser Desain untuk Balok

- b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban yang melibatkan gaya gempa, E, dengan E diasumsikan sebesar dua kali

Kekuatan geser nominal beton, V_n , merupakan kombinasi dari kuat geser yang dipikul oleh beton, V_c , dan kuat geser yang dipikul oleh baja tulangan, V_s , atau dalam persamaan dapat ditulis :

$$V_n = V_c + V_s$$

Besarnya V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur adalah :

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd$$

[SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1.1]

Dan besarnya V_s minimum yang harus dimiliki oleh tulangan geser adalah :

$$V_{s(\min)} = \frac{1}{3}b_wd$$

Dalam merencanakan tulangan geser, pada dasarnya dibagi atas beberapa kondisi sebagai berikut :

Kondisi 1) $V_u \leq 0,5 \phi V_c$

Kondisi 2) $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$

Kondisi 3) $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s(\min)})$

Kondisi 4) $\phi (V_c + V_{s(\min)}) < V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}b_wd \right)$

Kondisi 5) $\phi \left(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}b_wd \right) < V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}b_wd \right)$

Perencanaan geser minimum digunakan apabila gaya geser terfaktor, V_u , masuk pada kondisi 2 dan kondisi 3. Apabila gaya geser terfaktor masuk pada kondisi 4 dan

5, maka diperluakn tulangan geser. Apabila gaya geser terfaktor masuk pada kondisi 1, tulangan geser harus tetap diberikan mengingat perencanaan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah. Pada perencanaan tulangan geser minimum, luas tulangan geser, A_v , tidak boleh kurang dari $(0,35b_wS)/f_{yt}$, dan $V_s = V_{s(\min)}$. Spasi yang digunakan tidak lebih dari $d/2$ pada komponen struktur non-prategang, taua 600 mm. Sedangkan untuk perencanaan tulangan geser yang masuk pada kondisi 4, luas tulangan geser adalah :

$$A_v = \frac{V_s \cdot S}{f_{yt} \cdot d}, \text{ dengan } \emptyset V_{s, \text{perlu}} = V_u - \emptyset V_c, \text{ dan } S_{\text{maks}} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

Perencanaan yang masuk kondisi 5, luas tulangan geser sama seperti kondisi 4. Tetapi spasi yang diberikan harus dikurangi setengahnya, atau dalam persamaan dapat ditulis :

$$S_{\text{maks}} \leq \frac{d}{2} \leq 300 \text{ mm}$$

2.5.3.4 Perencanaan Tulangan Torsi Balok

Balok yang memiliki puntir diakibatkan oleh tidak seimbangnnya beban pada balok pendukung plat. Pengaruh torsi boleh diabaikan pada momen torsi terfaktor, T_u , kurang dari :

$$\emptyset 0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ untuk struktur non-prategang}$$

Untuk memikul geser oleh lentur dan puntir, dimensi penampang harus direncanakan sedemikian agar dapat dipenuhi persyaratn sebagai berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u V_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \emptyset \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66\sqrt{f_c'} \right)$$

untuk penampang solid

Untuk mendesain tulangan torsi, harus memenuhi :

$$\emptyset T_n \geq T_u$$

Pilih tulangan tertutup torsi perlu digunakan sebagai tulangan transversal

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{S} \cot \theta$$

Dengan A_0 boleh diambil sama dengan $0,85 A_{oh}$ dan θ bisa diambil sama dengan 45° untuk komponen struktur non-prategang atau komponen struktur prategang kurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan longitudinal. Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi, A_t , diambil sebesar

$$A_t = \frac{A_t}{S} Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

2.5.3.5 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

- a) Panjang Penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tarik
- Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus sebagai berikut:
 - Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus sebesar :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

Dimana ruas pengekangan $(C_d + K_{cr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn}$$

Dimana n adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr} = 0$ sebagai penyederhanaan disain meskipun terdapat tulangan transversal.

[SNI 2847-2013 Pasal 12.2.3]

- Faktor-faktor yang digunakan dalam perumusan-perumusan untuk peyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik :
 - Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan, $\psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\psi_t = 1,0$.
 - Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\psi_e = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (dikalvalis), $\psi_e = 1,0$.
 - Untuk batang tulangan ulir atau kawat ulir D-19 atau lebih kecil, $\psi_s = 0,8$. Untuk batang tulangan D-22 dan yang lebih besar, $\psi_s = 1,0$.
 - Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi 0,75 kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila beton berat normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

[SNI 2847-2013 Pasal 12.2.4]

- b) Panjang penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tekan
1. Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan, l_{dc} harus ditetapkan sesuai dengan ketentuan pada poin selanjutnya, tetapi l_{dc} tidak boleh kurang dari 200 mm.
[SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1]
 2. Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari:
 $\left(\frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f_{c'}}}\right) d_b$ dan $(0,043f_y)d_b$, dengan konstanta 0,043 mempunyai satuan mm^2/N .

[SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2]

3. Panjang l_{dc} di atas diizinkan untuk dikalikan dengan faktor sesuai untuk :
 - Tulangan yang melebihi dari yang diperlukan oleh analisis.....(A_s perlu)/(A_s terpasang)
 - Tulangan dilingkupi tulangan spiral tidak kurang dari diameter 6 mm dan tidak lebih dari spasi 100 mm atau dalam pengikat berdiameter 13 dan berspasi pusat-ke-pusat tidak lebih dari 100 mm.....0,75.

2.5.4 Kolom

Berdasarkan syarat-syarat dari rangka momen menengah, perhitungan tulangan kolom yang mempunyai gaya tekan aksial terfaktor, P_u , lebih dari $A_g \cdot f_c' / 10$, harus memenuhi ketentuan berikut ini :

- Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_o sepanjang panjang l_o diukur dari muka join. Spasi s_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - b) 24 kali diameter batang tulangan begel;
 - c) Setengah dimensi penampang kolom terkecil;
 - d) 300 mm.
- Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:
 - a) Seperenam bentang bersih kolom;
 - b) Dimensi penampang maksimum kolom;
 - c) 450 mm.
- Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o / 2$ dari muka join.
- Di luar panjang l_o , spasi tulangan transversal tidak boleh kurang dari $d/2$ untuk komponen struktur non-prategang, atau 600 mm.

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.5]

2.5.5.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Dimensi kolom direncanakan lebar kolom, b , sama dengan tinggi kolom, h , sehingga dimensi dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

Dengan L adalah bentang bersih, dan I adalah momen inersia sebesar $1/12 b h^3$.

2.5.5.2 Perencanaan Lentur dan Aksial Kolom

a. Kekakuan (EI)

Nilai EI bisa diambil dari nilai yang lebih kecil dari :

$$EI = \frac{0,2E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}}$$

Atau

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.12]

b. Faktor Kekangan Ujung

Faktor kekangan ujung dalam hal ini didefinisikan sebagai rasio antara sigma kekakuan dibagi panjang kolom-kolom dengan rasio antara sigma kekakuan dibagi panjang balok-balok pada joint yang ditinjau. Persamaan dapat ditulis :

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L} \right) \text{kolom} - \text{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L} \right) \text{balok} - \text{balok}}$$

setelah mendapatkan nilai faktor kekangan pada kedua ujung kolom, dapat dicari nilai faktor panjang efektif, k , pada nomogram

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7.2]

c. Kontrol Kelangsingan

Kolom yang dibeban gaya aksial dan lentur harus ditinjau terhadap bahaya tekuk sehingga harus dikontrol kelangsingannya. Sebelum diperiksa kelangsingannya, ddefiniskan apakah kolom tergolong kolom dengan pengaku atau tanpa pengaku. Untuk kolom dengan pengaku, dikatakan langsing apabila:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

Sedangkan untuk kolom tanpa pengaku, kolom dikatakan langsing apabila:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22$$

Dimana $r = \sqrt{I/A}$

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1]

d. Faktor Pembesaran Momen

Faktor pembesaran momen dibedakan menjadi kolom tak bergoyang dan bergoyang. Untuk kolom tak bergoyang faktor pembesaran momen, M_c , besarnya adalah :

$$M_c = \delta_{ns} M_2$$

Sedangkan untuk kolom bergoyang, momen M_1 dan M_2 di ujung komponen struktur individu harus diambil sebesar :

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

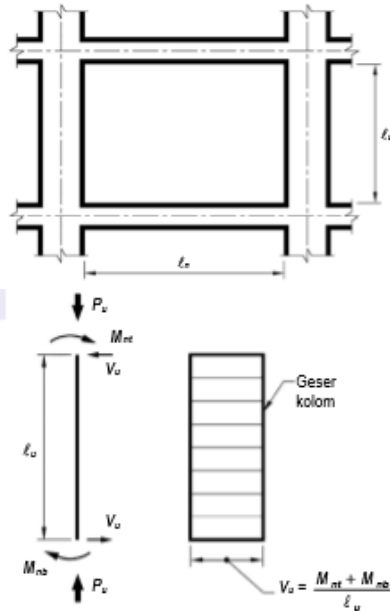
Setelah menghitung pembesaran momen, cari nilai ρ pada diagram interaksi atau bisa dengan program PCACOL. Sehingga didapatkan luas tulangan kolom.

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7]

2.5.5.3 Perencanaan Tulangan Geser Kolom

Berdasarkan ketentuan dari rangka pemikul momen menengah, nilai ϕV_n yang menahan gaya gempa, E, tidak boleh kurang dari nilai yang lebih kecil dari a) dan b) :

- a) Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur bali. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.



Gambar 2. 7 Geser Desain untuk Kolom

- b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban yang melibatkan gaya gempa, E, dengan E ditingkatkan Ω_0 .

Kekuatan geser nominal beton, V_n , merupakan kombinasi dari kuat geser yang dipikul oleh beton, V_c ,

dan kuat geser yang dipikul oleh baja tulangan, V_s , atau dalam persamaan dapat ditulis :

$$V_n = V_c + V_s$$

Besarnya V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur adalah :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

[SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1.1]

Dan besarnya V_s minimum yang harus dimiliki oleh tulangan geser adalah :

$$V_{s(\min)} = \frac{1}{3} b_w d$$

Perencanaan tulangan geser dibagi menjadi beberapa kondisi seperti yang sudah dijelaskan pada perencanaan geser balok. Setelah mengetahui kondisi dari gaya geser terfaktor, maka dapat menghitung kebutuhan tulangan geser kolom.

2.5.5.4 Sambungan pada Kolom

a. Sambungan lewatan pada kolom

Bila tegangan batang tulangan akibat beban terfaktor adalah tekan, sambungan lewatan harus memenuhi :

- Panjang sambungan lewatan tekan harus sebesar $0,071f_y d_b$, untuk f_y sebesar 420 MPa atau kurang, atau $(0,13f_y - 24)d_b$ untuk f_y yang lebih besar dari 420 MPa, tetapi tidak kurang dari 300 mm. Untuk f_c' kurang dari 21 MPa, panjang lewatan harus ditambah sepertiganya.

(SNI 2847-2013 Pasal 12.16.1)

- Bila batang-batang tulangan dengan ukuran berbeda disambung lewatan dalam kondisi tekan, panjang sambungan harus merupakan yang lebih besar dari l_{dc} dari batang tulangan yang lebih besar dan panjang sambungan lewatan tekan dari batang tulangan yang lebih kecil. Sambungan lewatan dari batang tulangan

D-43 dan D-57 sampai batang tulangan D-36 dan lebih kecil diizinkan.

[SNI 2847-2013 Pasal 12.16.2]

- Bila tegangan batang tulangan akibat beban terfaktor adalah tarik dan tidak melebihi $0,5f_y$ dalam kondisi tarik, sambungan lewatan harus merupakan sambungan lewatan tarik Kelas B jika lebih dari setengah batang-batang tulangan disambung pada suatu irisan penampang, atau sambungan lewatan tarik Kelas A jika setengah atau kurang batangbatang tulangan disambung pada suatu irisan penampang dan sambungan lewatan seling diseling-seling dengan d_b .

[SNI 2847-2013 Pasal 12.17.2.2]

- Bila tegangan batang tulangan akibat beban terfaktor lebih dari $0,5f_y$ dalam kondisi tarik, sambungan lewatan harus merupakan sambungan lewatan tarik Kelas B.

[SNI 2847-2013 Pasal 12.17.2.3]

- Pada komponen struktur tekan bertulangan pengikat, dimana pengikat sepanjang panjang sambungan lewatan memiliki luas efektif tidak kurang dari $0,0015h_s$ dalam kedua arah, panjang sambungan lewatan diizinkan untuk dikalikan dengan 0,83, tetapi panjang lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm. Kaki pengikat yang tegak lurus terhadap dimensi h harus digunakan dalam menentukan luas efektif.

[SNI 2847-2013 Pasal 12.17.2.4]

- Pada komponen struktur tekan bertulangan spiral, panjang sambungan lewatan batang tulangan dalam spiral diizinkan untuk dikalikan dengan 0,75, tetapi panjang lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 2847-2013 Pasal 12.17.2.5]

- Sambungan mekanis atau las pada kolom

Sambungan mekanis atau las pada kolom harus memenuhi persyaratan di bawah ini.

- a. Suatu sambungan mekanis penuh harus mengembangkan tarik atau tekan, seperti disyaratkan, paling sedikit $1,25f_y$ batang tulangan.
[SNI 2847-2013 Pasal 12.14.3.2]
 - b. Suatu sambungan las penuh harus mengembangkan paling sedikit $1,25f_y$ batang tulangan.
[SNI 2847-2013 Pasal 12.14.3.4]
- Sambungan tumpuan ujung pada kolom
- a. Sambungan tumpuan ujung yang memenuhi SNI 2847-2013 Pasal 12.16.4 diizinkan digunakan untuk batang tulangan kolom yang tertegang dalam kondisi tekan asalkan sambungan diseling atau batang tulangan tambahan disediakan pada lokasi sambungan. Batang tulangan menerus pada setiap muka kolom harus mempunyai kekuatan tarik, berdasarkan pada f_y , tidak kurang dari $0,25f_y$ kali luas tulangan vertikal pada muka tersebut.
[SNI 2847-2013 Pasal 12.17.4]

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Langkah – langkah yang digunakan dalam perencanaan Apartment “X” Surabaya dengan menggunakan metode Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah:

3.1. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan adalah:

3.1.1 Gambar Arsitektur

Gambar arsitektur digunakan untuk menentukan dimensi komponen struktur gedung. Terdapat beberapa perubahan untuk perencanaan apartment ini. Pertama, lantai semi basement dirubah menjadi lantai dasar gedung dan yang kedua, gedung direncanakan menjadi berjumlah 6 lantai yang sebelumnya berjumlah 20 lantai. Maka, perlu dilakukan penggambaran ulang untuk gambar arsitektur yang dibutuhkan untuk perhitungan dimensi komponen struktur gedung atau perhitungan lainnya.

3.1.2 Data Tanah

Data tanah berupa data SPT yang dipergunakan untuk perhitungan gempa. Data SPT didapatkan dari proyek yang bersangkutan.

3.2 Peraturan yang Digunakan

- a. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (*SNI 2847-2013*)
- b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (*SNI 1726-2012*)
- c. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (*SNI 1727-2013*)
- d. PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur
- e. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

3.3 Penentuan Sistem Struktur

- a. Kategori Resiko Bangunan
Kategori resiko bangunan ditentukan berdasarkan pada bab 2 sub bab 2.3.4 poin a.
- b. Parameter Percepatan Tanah (S_s, S_1)
Parameter percepatan tanah ditentukan berdasarkan bab 2, sub bab 2.3.4 poin c.
- c. Klasifikasi situs
Klasifikasi situs ditentukan berdasarkan bab 2, sub bab 2.3.4 poin d.
- d. Koefisien situs S_{MS}, S_{M1}, F_a dan F_v
Koefisien situs S_{MS}, S_{M1}, F_a dan F_v ditentukan dan dihitung berdasarkan bab 2, sub bab 2.3.4 poin d.
- e. Parameter percepatan spektral desain (S_{DS} dan S_{D1})
Parameter percepatan spektral desain (S_{DS} dan S_{D1}) ditentukan dan dihitung berdasarkan bab 2, sub bab 2.3.4 poin f.
- f. Kategori Desain Seismik
Kategori Desain Seismik (KDS) ditentukan berdasarkan nilai S_{DS}, S_{D1} dan kategori resiko bangunan berdasarkan bab 2, sub bab 2.3.4 poin g.
- g. Sistem Rangka Pemikul Momen
Sistem Rangka Pemikul Momen ditentukan berdasarkan tabel di bawah ini.

Tabel 3. 1 Sistem Rangka Pemikul Momen Berdasarkan Kategori Desain Seismik

Sistem Rangka Pemikul Momen	Kategori Desain Seismik
SRPMB	KDS A dan B
SRPMM	KDS C
SRPMK	KDS D, E, dan F

3.4 Preliminary Design

Penentuan dimensi elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada *SNI 2847-2013* maupun ketentuan lain sesuai literatur yang dipakai. Elemen struktur yang perlu direncanakan adalah :

3.4.1 Penentuan Dimensi Plat

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

a) Perencanaan plat satu arah (one way slab)

Plat satu arah terjadi apabila $\frac{l_y}{l_x} > 2$; dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang. Untuk langkah selanjutnya dapat mengacu pada bab 2, sub bab 2.5.1.1.

b) Perencanaan plat dua arah (two ways slab)

Plat dua arah terjadi apabila $\frac{l_y}{l_x} < 2$; dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang. Untuk langkah selanjutnya dapat mengacu pada bab 2, sub bab 2.5.1.1.

3.4.2 Penentuan Dimensi Balok Sloof

Untuk menentukan tinggi balok sloof, dapat menggunakan *SNI 2847-2013*, *Tabel 11* , sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai $2/3$ dari tinggi balok sloof yang telah didapat.

3.4.3 Penentuan Dimensi Balok

Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan *SNI 2847-2013*, *Tabel 11*, sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai $2/3$ dari tinggi balok yang telah didapat.

3.4.4 Penentuan Dimensi Kolom

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

Dimana :

I_{kolom} : inersia kolom $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$

L_{kolom} : tinggi bersih kolom

I_{balok} : inersia balok $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$

L_{balok} : panjang bersih balok

b_k dan $d_k \geq 250$ mm

$$\frac{h_k}{b_k \text{ atau } d_k} \leq 25$$

3.4.5 Penentuan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes.
Merencanakan dimensi tanjakan dan injakan dengan :

$$60 \text{ cm} < (2t + i) < 65 \text{ cm}$$

Keterangan :

t = tinggi tanjakan < 25 cm

i = lebar injakan, dengan $25 \text{ cm} < i < 40 \text{ cm}$ dan maksimal sudut tangga sebesar 40°

3.5 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan *SNI 1727-2013*. Analisa pembebanan adalah sebagai berikut :

a) Beban konstruksi atap dan kantilever

- Beban mati

Terdiri dari : beban plafond dan penggantung dan instalasi gedung.

- Beban hidup

Terdiri dari : beban hidup atap dan beban air hujan.

- b) Beban pada konstruksi plat lantai lobby
 - Beban mati
Terdiri dari : beban spesi, keramik, plafond dan penggantung, dan instalasi gedung.
 - Beban hidup
Beban sesuai dengan fungsi lantai bangunan yaitu untuk lobby.

- c) Beban pada konstruksi plat lantai apartment
 - Beban mati
Terdiri dari : beban spesi, keramik, plafond dan penggantung, dan instalasi gedung.
 - Beban hidup
Beban sesuai dengan fungsi bangunan untuk apartmen.
 - Beban mati
Terdiri dari :beban spasi, keramik, handrill dan anak tangga.
 - Beban hidup
Beban sesuai dengan fungsi tangga pada bangunan apartment.

- d) Beban angin
Beban angin dihitung berdasarkan *SNI 1727-2013 Tabel 27.2-1*.

- e) Beban gempa
Analisa pembebanan gempa bangunan sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (*SNI 1726-2012*). Dalam proyek akhir ini perhitungan beban gempa menggunakan analisa beban gempa statik ekuivalen.

3.6 Permodelan Struktur

Model struktur dibuat sesuai dengan desain yang direncanakan. Semua komponen struktur baik primer maupun sekunder dimodelkan dalam SAP2000.

3.7 Analisa Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh dari bantuan program SAP2000 dengan kombinasi pembebanan sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 9.2* sebagai berikut :

$1,4D$
 $1,2D + 1,6L$
 $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$
 $1,2D + 1,6L + 0,5R$
 $1,2D + 1,6Lr + 1,0L$
 $1,2D + 1,6Lr + 0,5W$
 $1,2D + 1,6R + 1,0L$
 $1,2D + 1,6R + 0,5W$
 $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5Lr$
 $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5R$
 $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$
 $1,2D + 0,3Ex + 1,0Ey + 1,0L$
 $0,9D + 1,0W$
 $0,9D + 1,0Ex + 0,3Ey$
 $0,9D + 0,3Ex + 1,0Ey$

Keterangan :

D : Beban Mati (Dead Load)
 L : Beban Hidup (Life Load)
 Ex : Beban gempa searah sumbu X (Earthquake – X)
 Ey : Beban gempa searah sumbu Y (Earthquake – Y)
 W : Beban Angin (Wind)
 Lr : Beban Hidup Atap (Life Roof)
 R : Beban Air Hujan (Rain)

3.8 Perhitungan Penulangan Struktur

3.8.1 Plat

- Momen arah X dan Y pada plat diperoleh dari perhitungan menggunakan *PBBI 1971*.
- Menghitung nilai parameter M_n , R_n , m , ρ_{min} , $\rho_{balance}$, dan ρ_{max} .
- Mnetukan luas tulangan perlu (A_s)

- d. NB : apabila $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$, maka digunakan $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}}$
- e. Cek persyaratan :
- Kontrol jarak spasi tulangan
 - Kontrol perlu tulangan susut dan suhu
 - Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
 - Kontrol retak plat

3.8.2 Tangga dan Bordes

Langkah-langkah perencanaan penulangan pada plat tangga dan bordes sama dengan plat lantai.

3.8.3 Balok

3.8.3.1 Perhitungan tulangan lentur

- a. Momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program SAP2000
- b. Menghitung nilai parameter $M_n, d, d', R_n, m, \rho_{\text{balance}}, \rho_{\text{max}}, \rho_{\text{min}}, X_b, A_{sc}, M_{nc}$ dan M_{ns}
- c. Cek tulangan tunggal/rangkap
 - Jika $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka perlu tulangan rangkap, kemudian hitung C_s', f_s', A_s' dan A_{ss}
 Hitung tulangan perlu :
 Tulangan tarik : $A_s = A_{sc} + A_{ss}$
 Tulangan tekan : $A_s = A_s'$
 - Jika $(M_n - M_{nc}) < 0$, maka tidak perlu tulangan rangkap, kemudian hitung ρ , jika :
 $\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$, maka memakai ρ
 $\rho_{\text{min}} > \rho$, maka memakai ρ_{min}
 Hitung tulangan perlu :
 Tulangan tarik : $A_s = \rho \cdot b \cdot d$, atau $A_s = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d$
 Tulangan tekan : $A_s' = 0,3A_s$
- d. Kontrol jarak spasi tulangan sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 7.6.2*

$$S = \frac{b_w - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{sengkang}) - (n \times \emptyset \text{tul. utama})}{n - 1} \geq 40 \text{mm}$$

- e. Kontrol kekuatan sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 22.5.1*
 $\phi M_n \geq M_u$
- f. Kontrol Lendutan sesuai *SNI 2847-2013*

3.8.3.2 Perhitungan tulangan geser

- a. Nilai V_u pada daerah tumpuan dan lapangan diperoleh dari output program SAP2000
- b. Menghitung nilai parameter V_n , V_c , $V_{s_{\min}}$ dan $V_{s_{\max}}$
- c. Hitung luas tulangan geser minimum ($A_{v_{\min}}$)
- d. Cek kondisi perhitungan tulangan geser :
 - 1) Kondisi 1
 $V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$ (tidak perlu tulangan geser)
 - 2) Kondisi 2
 $0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$ (perlu tulangan geser minimum)
 - 3) Kondisi 3
 $\phi \times V_c < V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\min}})$ (perlu tulangan geser minimum)
 - 4) Kondisi 4
 $\phi(V_c + V_{s_{\min}}) < V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \right)$
 (perlu tulangan geser)
 - 5) Kondisi 5
 $\phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \right) < V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \right)$ (perlu tulangan geser)

3.8.3.3 Perhitungan Tulangan Torsi

Pengaruh torsi boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari:

- a. Untuk komponen struktur non-prategang

$$\phi 0,083 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

- b. Untuk komponen struktur prategang

$$\phi 0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}$$

- c. Untuk komponen struktur non-prategang yang dikenai gaya tarik atau tekan aksial

$$\phi 0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}$$

- d. Cek persyaratan

- Kontrol momen

$$M_n > \frac{M_u}{\phi}$$

- Kontrol penulangan geser

$$S_{\max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

3.8.4 Kolom

3.8.4.1 Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

- Bedakan antara kolom dengan pengaku (braced frame) atau kolom tanpa pengaku (unbraced frame)
- Hitung faktor kekakuan (EI) kolom
- Hitung faktor kekangan ujung-ujung kolom ψ_A dan ψ_B .
- Hitung faktor panjang efektif (k)
- Hitung P_c (Beban kritis) kolom-kolom yang bersangkutan
- Hitung faktor pembesaran momen (δ_s dan δ_{ns})

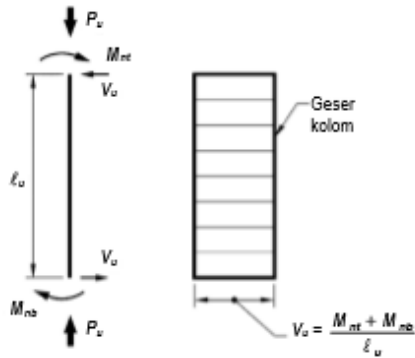
Hitung :

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

3.8.4.2 Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Untuk mendapatkan nilai V_u pada kolom sesuai dengan perencanaan SRPMM dapat diperoleh dari rumus berikut :



Gambar 3. 1 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat geser (V_c) harus dihitung menggunakan rumus :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Kondisi perhitungan tulangan geser pada kolom sama dengan kondisi perhitungan pada balok.

❖ Cek persyaratan

- a. Kontrol momen

$$M_n > \frac{M_u}{\phi}$$

- b. Kontrol kemampuan kolom

Kontrol kemampuan kolom dilakukan dengan menggunakan program PCACOL.

$$M_{ux} < M_{nx}$$

$$M_{uy} < M_{ny}$$

❖ Perhitungan panjang penyaluran tulangan kolom

- a. Tulangan kondisi tarik

$$\frac{\lambda_d}{d_s} = \frac{3f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5\sqrt{f'_c}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{pasang}}}} \lambda_d$$

b. Tulangan kondisi tekan

$$\lambda_d = \frac{d_b \cdot f_y}{4\sqrt{f'_c}} \geq 0,04 \cdot d_b f_y$$

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{pasang}}}} \lambda_d$$

c. Tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$\lambda_{hb} = \frac{100d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

3.9 Cek Persyaratan

a. Plat

- Kontrol jarak spasi tulangan
- Kontrol jarak spasi tulangan susut atau suhu
- Kontrol perlu tulangan susut
- Kontrol retak

b. Balok

- Kontrol M_n pasang $\geq M_n$ untuk penulangan lentur
- Kontrol lendutan
- Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 5 kondisi

c. Kolom

- Kontrol kemampuan kolom
- Kontrol momen yang terjadi, M_n pasang $\geq M_n$ hitungan

3.10 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan meliputi :

- a) Gambar Arsitek : - Gambar Denah
- Gambar tampak
- b) Gambar Potongan : - Potongan memanjang
- Potongan melintang
- c) Gambar Struktur : - Gambar denah plat
- Gambar denah balok
- Gambar denah kolom
- Gambar denah balok sloof

- d) Gambar Penulangan : - Gambar penulangan plat
 - Gambar penulangan tangga
 - Gambar penulangan balok
 - Gambar penulangan kolom
 - Denah penulangan balok sloof
- e) Gambar Detail : - Gambar detail panjang penyaluran
 - Gambar detail penjangkaran tulangan
- f) Gambar Portal : - Gambar portal memanjang
 - Gambar portal melintang

3.11 Perhitungan Volume Tulangan

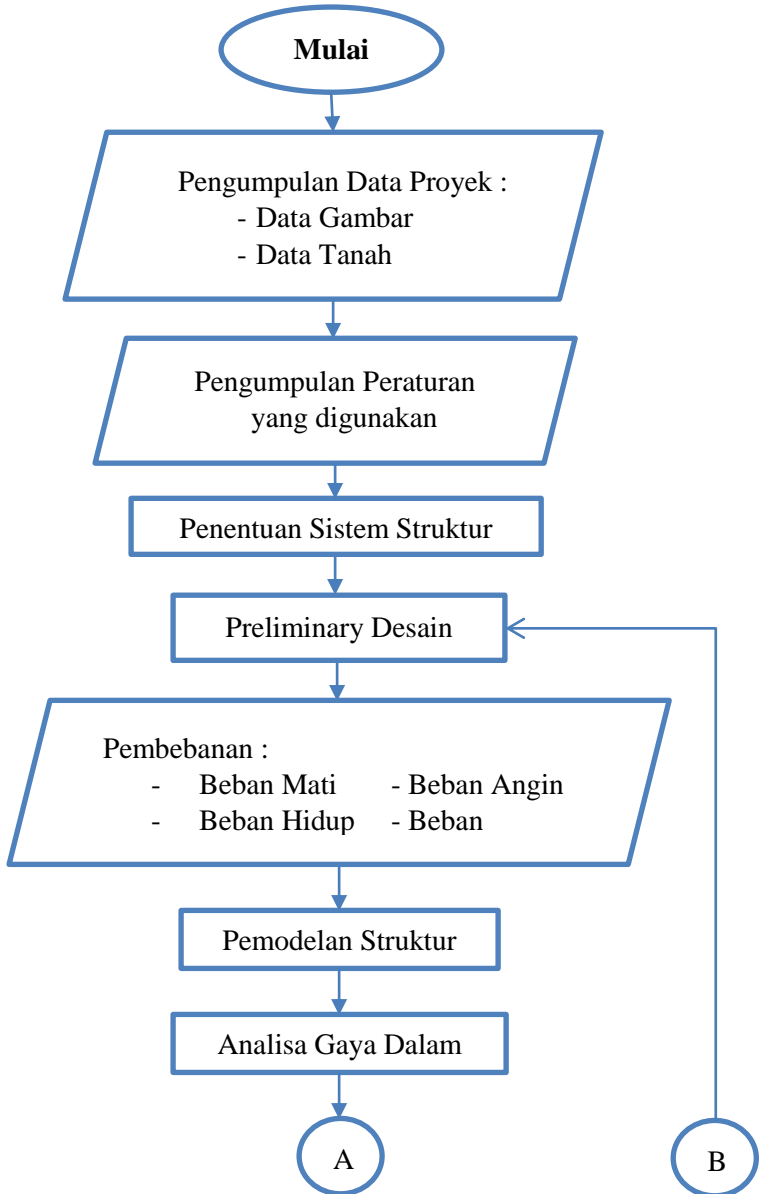
Perhitungan volume tulangan kolom dan balok pada dua portal yaitu satu portal memanjang dan satu portal melintang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui volume tulangan per m^3 beton dan dapat digunakan sebagai data untuk merencanakan konstruksi yang kuat dan ekonomis.

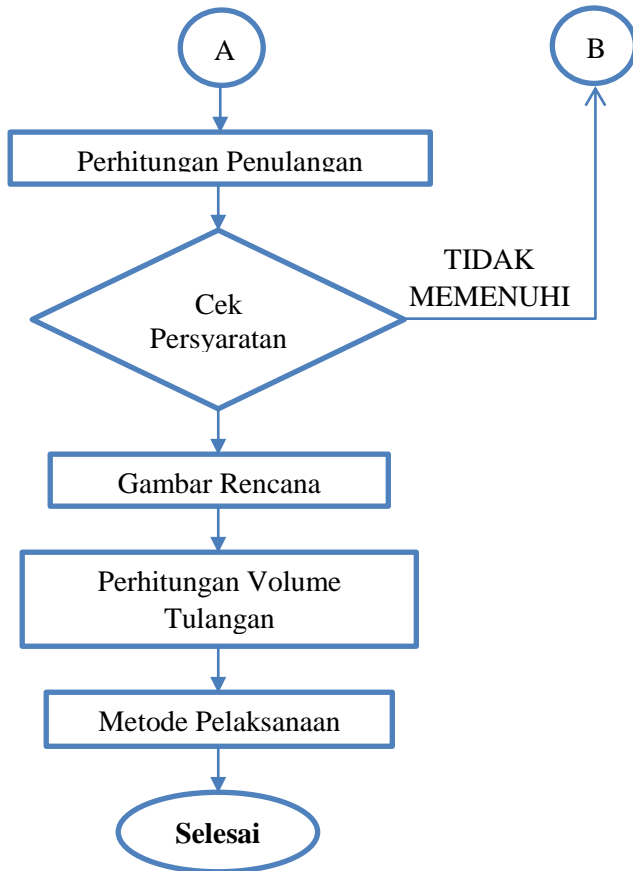
3.12 Metode Pelaksanaan

Metode dan tahapan pelaksanaan hanya meninjau salah satu elemen struktur yaitu kolom, dimulai dengan pembesian kolom, pemasangan bekisting, pengecoran, pembongkaran bekisting.

3.13 Flow Chart

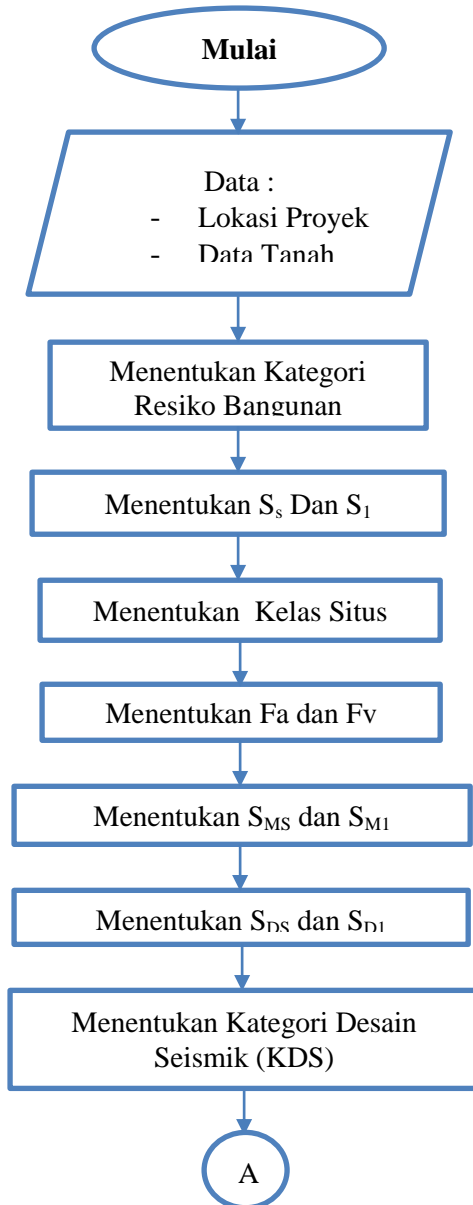
3.13.1 Proses Penyusunan Laporan

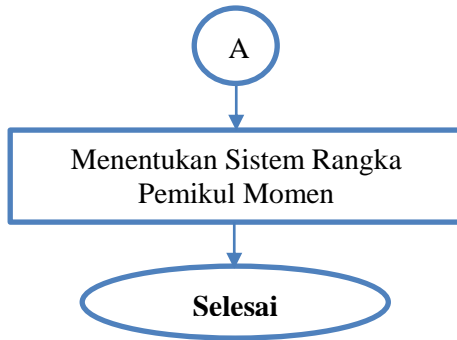




Gambar 3. 2 Flow Chart Penyusunan Laporan

3.13.2 Sistem Rangka Pemikul Momen

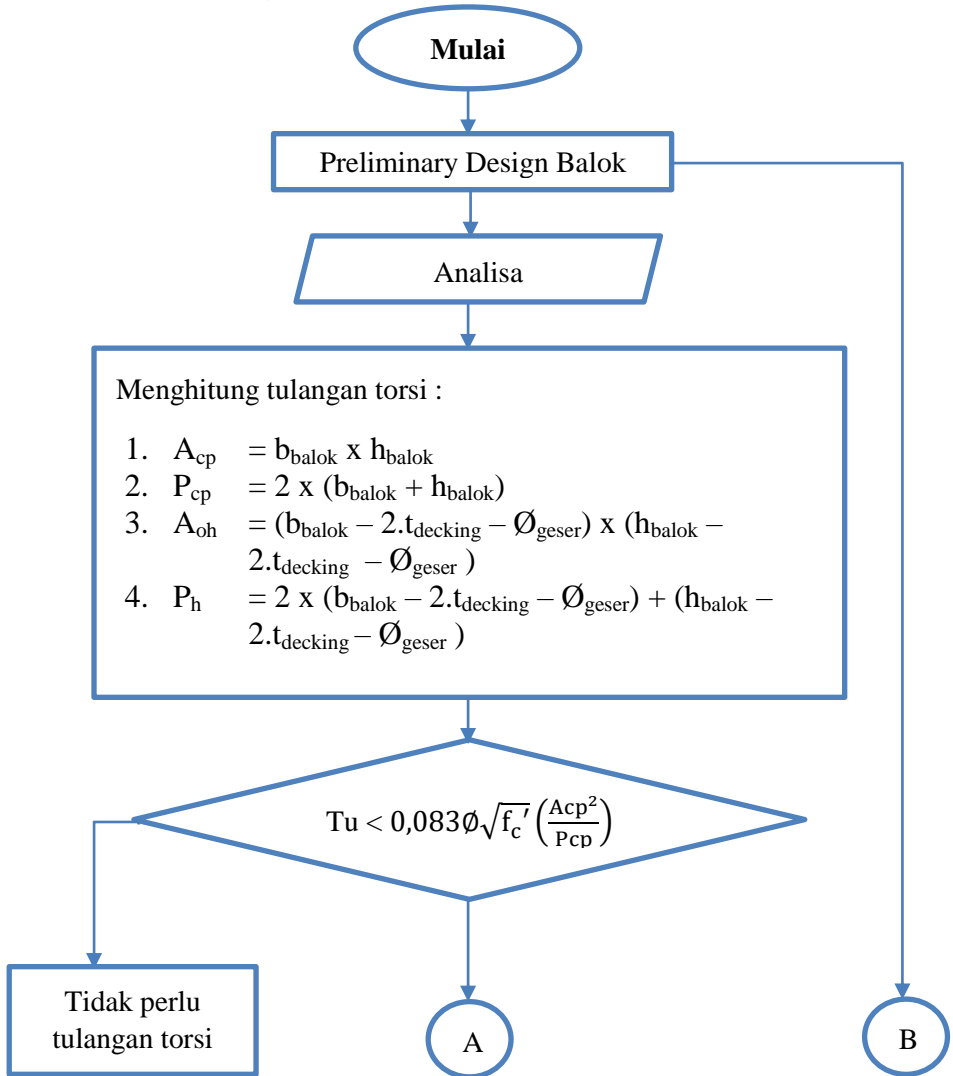


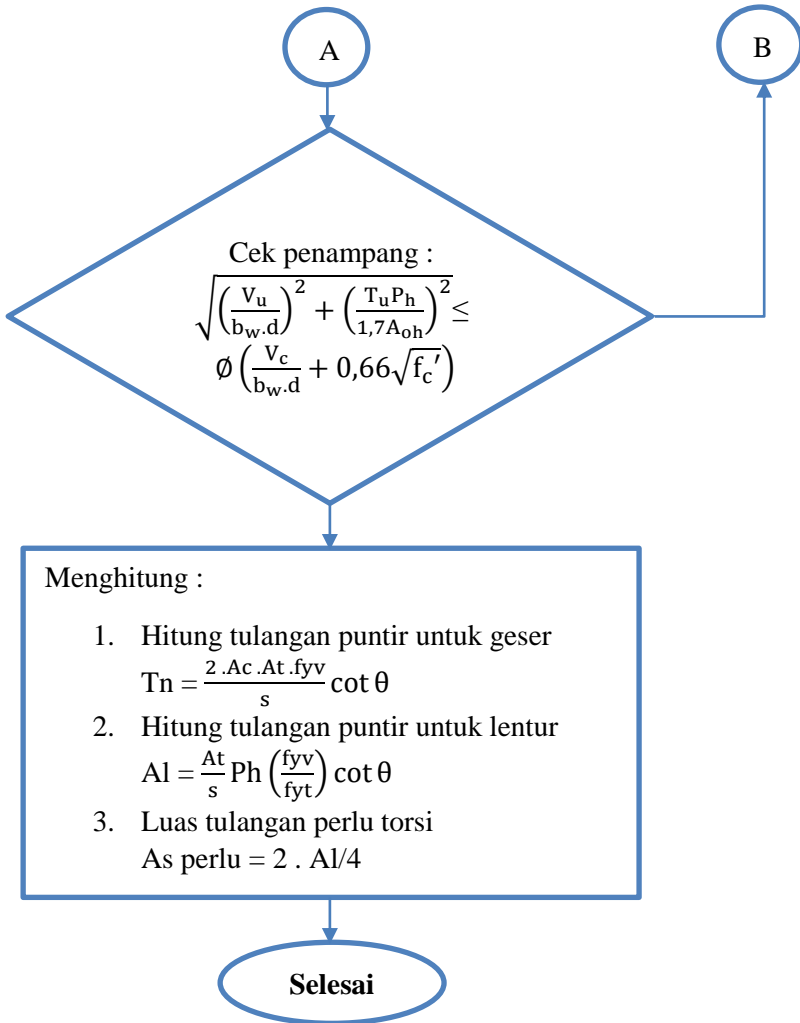


Gambar 3. 3 Flow Chart Penentuan Sistem Rangka Pemikul Momen

3.13.3 Balok

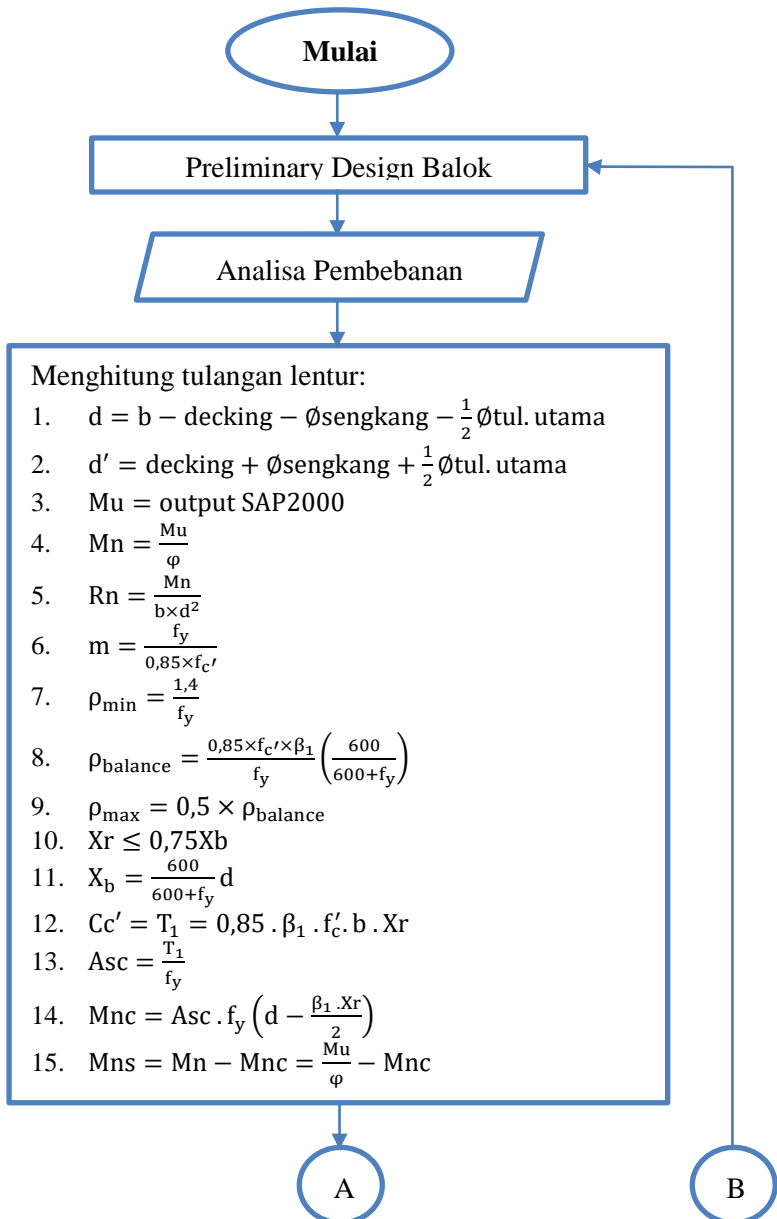
- Tulangan Torsi

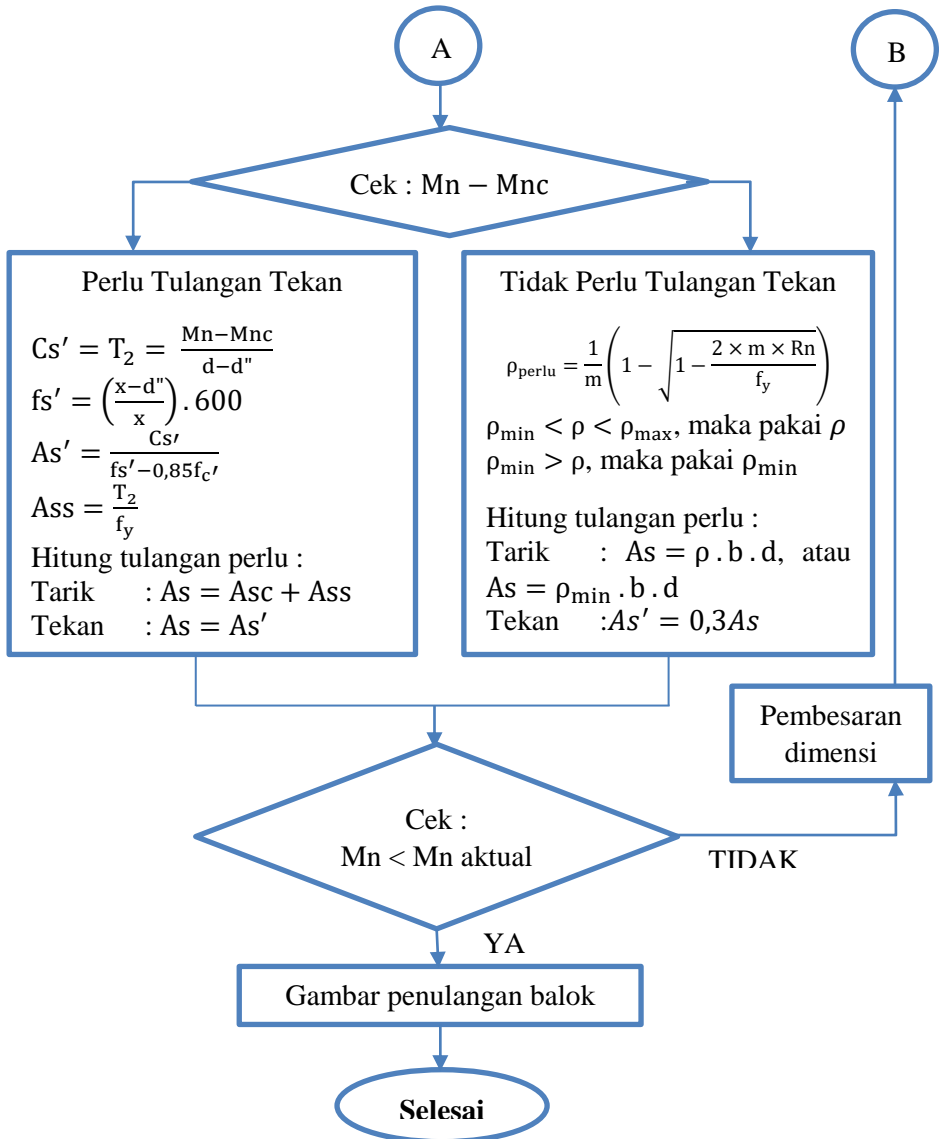




Gambar 3. 4 Flow Chart Penulangan Torsi Balok

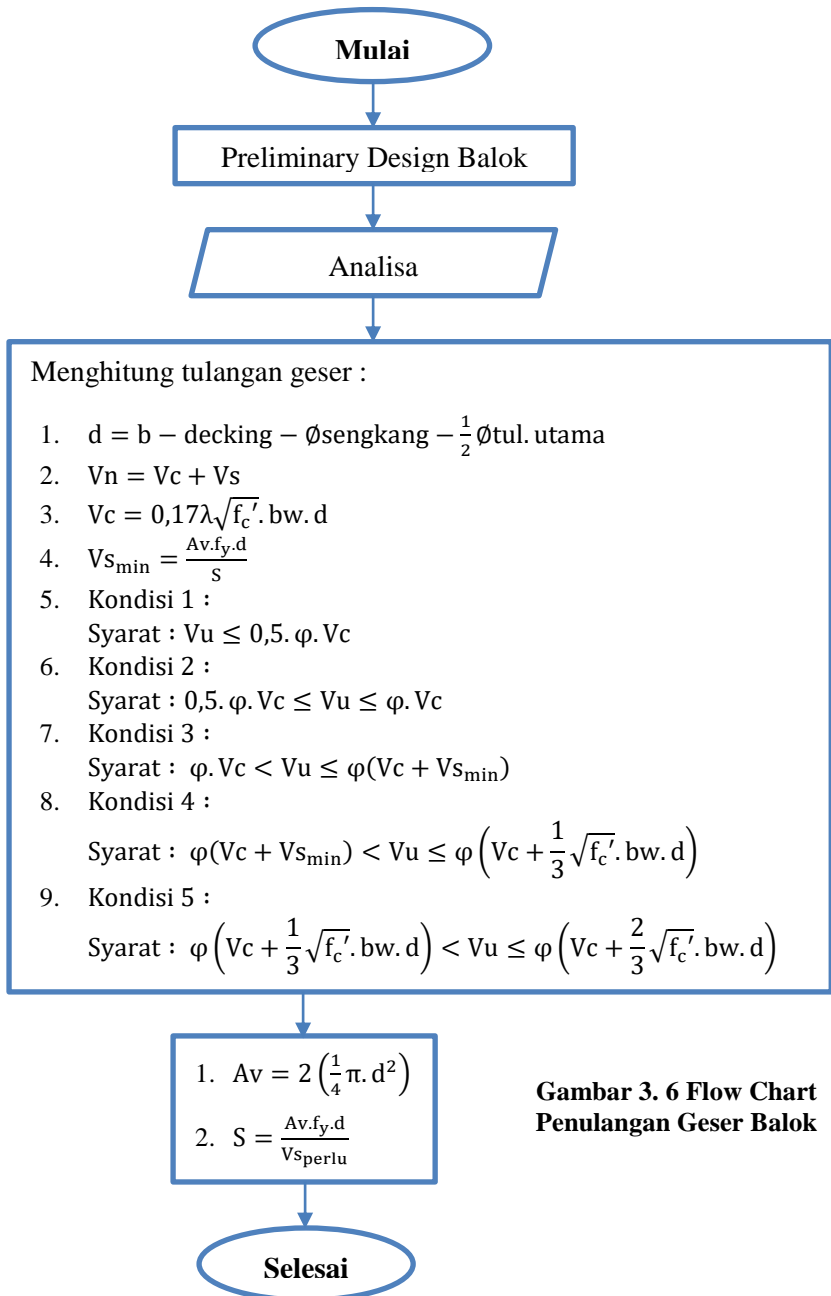
- Tulangan Lentur





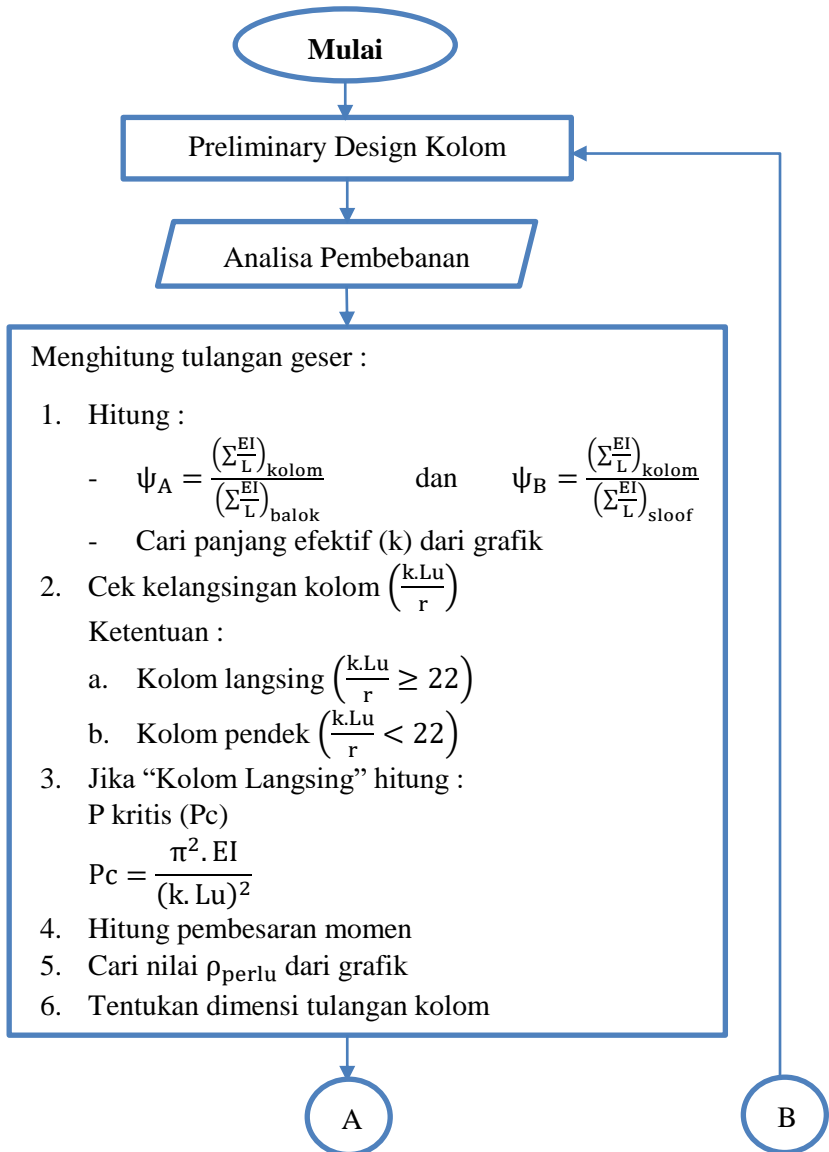
Gambar 3. 5 Flow Chart Penulangan Lentur Balok

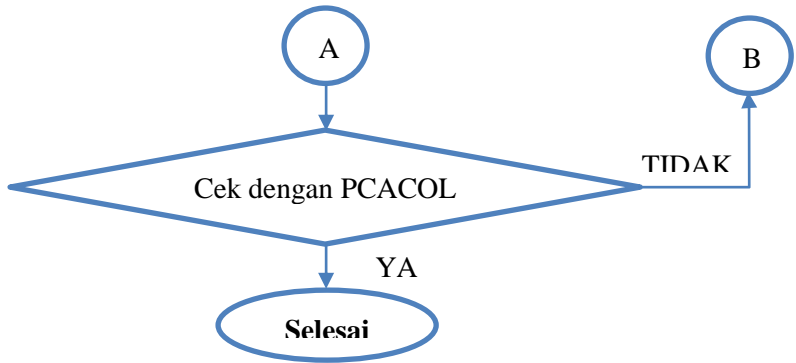
- Tulangan Geser



Gambar 3. 6 Flow Chart Penulangan Geser Balok

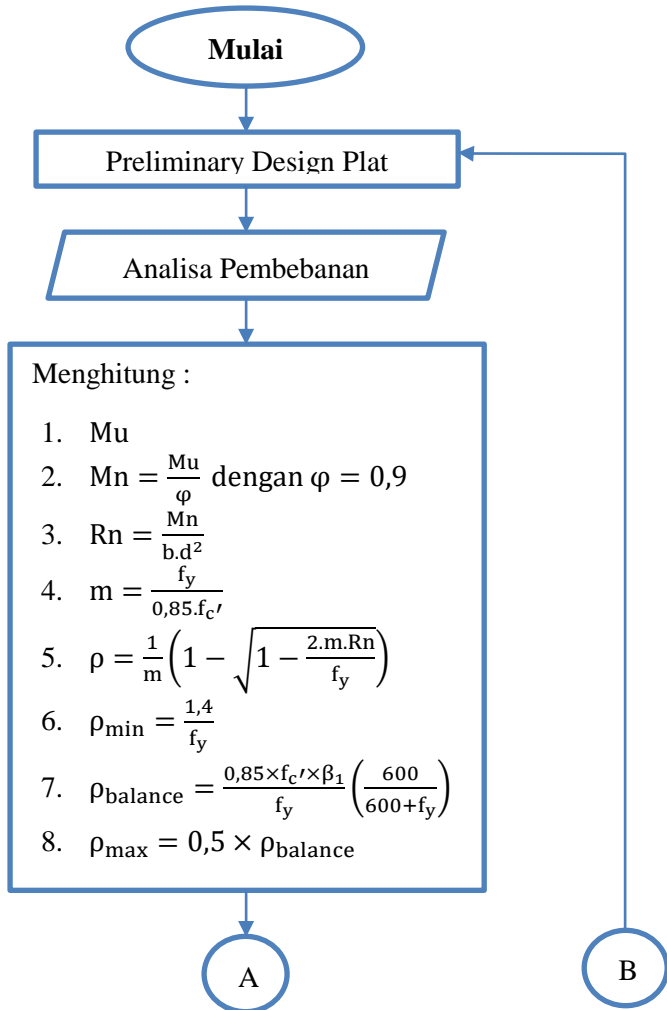
3.13.4 Kolom

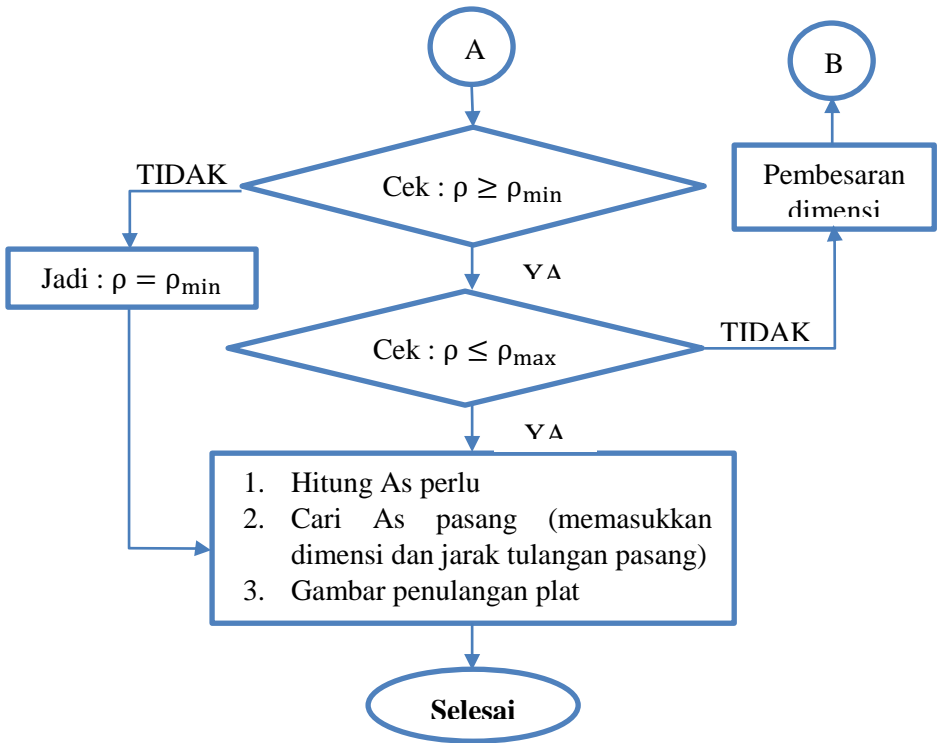




Gambar 3. 7 Flow Chart Penulangan Kolom

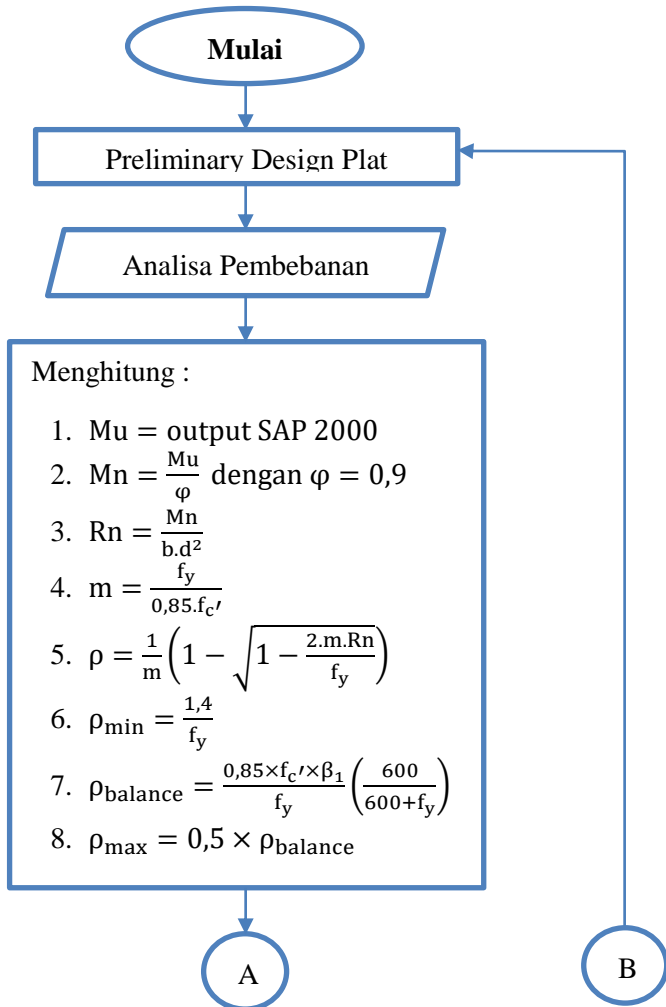
3.13.5 Plat Lantai dan Atap

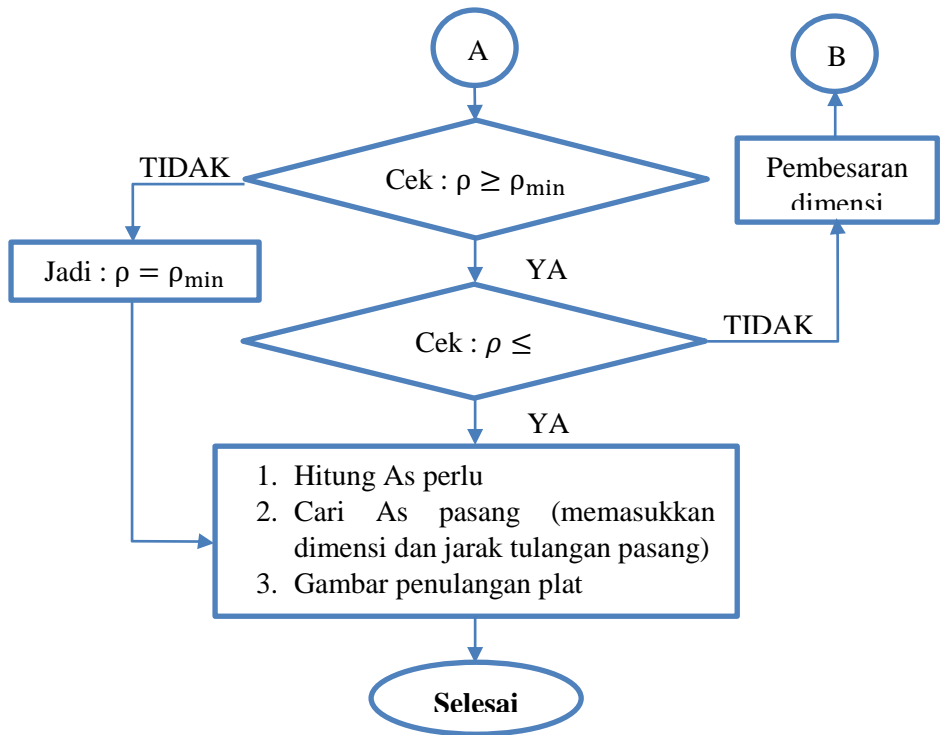




Gambar 3. 8 Flow Chart Penulangan Lantai dan Atap

3.13.6 Plat Tangga dan Bordes





Gambar 3. 9 Flow Chart Penulangan Plat Tangga dan Bordes

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

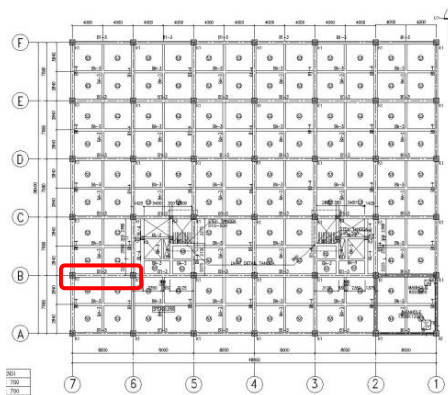
Dalam merencanakan struktur bangunan gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Adapun data-data perencanaan, yaitu gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi Balok Induk [BI] data perencanaan dimensi struktur gedung Apartemen “X” Surabaya adalah sebagai berikut :

a. Balok Induk

- Data-data perencanaan :
 - Tipe balok : BI
 - As balok : B (6-7)
 - Bentang balok (L_{balok}) : 8000 mm
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
- Gambar Denah Perencanaan :



Gambar 4. 1 Gambar Denah Rencana Balok Induk

- Perhitungan Perencanaan :

$$h \geq \frac{L}{12} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad b = \frac{1}{2} h$$

$$h \geq \frac{8000}{12} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \quad b = \frac{1}{2} \times 70$$

$$h \geq 647,62 \text{ mm} \quad b = 35 \text{ cm}$$

$$h \geq 64,76 \text{ cm} \quad b = 40 \text{ cm}$$

$$h \approx 70 \text{ cm}$$

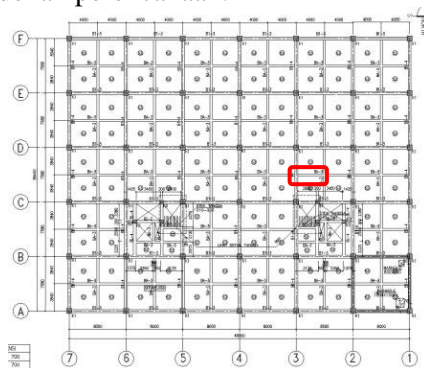
Maka direncanakan dimensi Balok Induk dengan ukuran 40/70.



Gambar 4. 2 Rencana Dimensi Balok Induk 40/70

b. Balok Anak

- Data-data perencanaan :
- Tipe balok : B1
 - As balok : C' (2'-3)
 - Bentang balok (L_{balok}) : 8000 mm
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
- Gambar denah perencanaan:

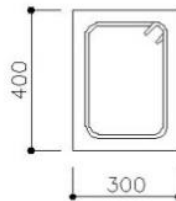


Gambar 4. 3 Denah Rencana Balok Anak

➤ Perhitungan perencanaan :

$$\begin{aligned}
 h &\geq \frac{L}{21} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) & b &= \frac{2}{3} h \\
 h &\geq \frac{8000}{21} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) & b &= \frac{2}{3} \times 40 \\
 h &\geq 370,07 \text{ mm} & b &= 26,67 \text{ cm} \\
 h &\geq 37,01 \text{ cm} & b &= 30 \text{ cm} \\
 h &\approx 40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan dimensi Balok Anak dengan ukuran 30/40



Gambar 4. 4 Rencana Dimensi Balok Anak 30/40

c. Balok Kantilever

Balok kantilever direncanakan memiliki dimensi sama dengan balok induk 40/70 dan balok anak 30/40, karena plat yang ditumpu oleh balok kantilever difungsikan sebagai ruangan (apartemen).

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Adapun data-data perencanaan, yaitu gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil akhir gambar perencanaan dimensi kolom [K] adalah sebagai berikut :

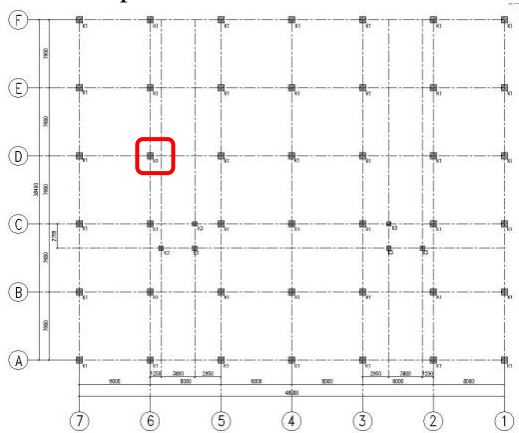
a. Kolom (K1)

- Data-data perencanaan :
- Tipe kolom : K1
 - Tinggi kolom (H_{kolom}) : 500 cm
 - Bentang balok (L_{balok}) : 800 cm
 - Dimensi balok (b_{balok}) : 40 cm
 - Dimensi balok (h_{balok}) : 70 cm

- Ketentuan perencanaan :

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

- Gambar denah perencanaan:



Gambar 4. 5 Denah Rencana Kolom Lantai 1

- Perhitungan perencanaan :

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{balok}}}$$

$$\frac{H_{\text{kolom}}}{L_{\text{balok}}} \geq \frac{L_{\text{balok}}}{L_{\text{kolom}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times h^4}{500} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{800}$$

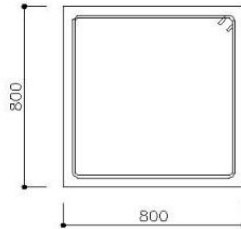
$$h = 54,11 \text{ cm}$$

$$h \approx 80 \text{ cm}$$

$$b = h = 80 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran 80 cm x 80 cm.

dimana $h = b$



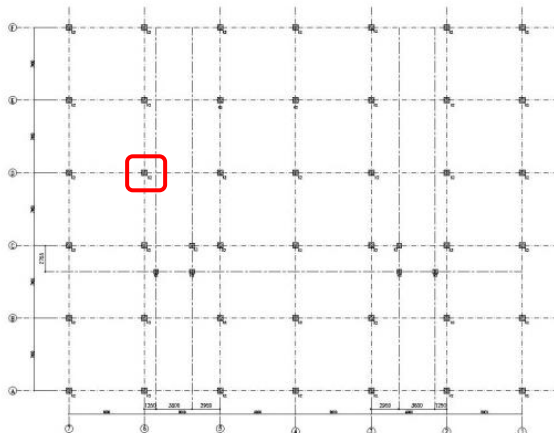
Gambar 4. 6 Rencana Dimensi Kolom K1 80/80

b. Kolom (K2)

- Data-data perencanaan :
 - Tipe kolom : K2
 - Tinggi kolom (H_{kolom}) : 320 cm
 - Bentang balok (L_{balok}) : 800 cm
 - Dimensi balok (b_{balok}) : 40 cm
 - Dimensi balok (h_{balok}) : 70 cm
- Ketentuan perencanaan :

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

- Gambar denah perencanaan:



Gambar 4. 7 Denah Rencana Kolom Lantai 3

➤ Perhitungan perencanaan :

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{balok}}}$$

$$\frac{H_{\text{kolom}}}{\frac{1}{12} \times h^4} \geq \frac{L_{\text{balok}}}{\frac{1}{12} \times b \times h^3}$$

$$\frac{H_{\text{kolom}}}{\frac{1}{12} \times h^4} \geq \frac{L_{\text{balok}}}{\frac{1}{12} \times 40 \times (70)^3}$$

$$\frac{320}{320} \geq \frac{800}{800}$$

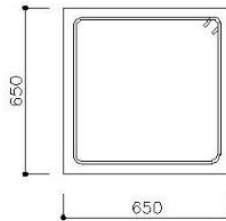
$$h = 48,40 \text{ cm}$$

$$h \approx 65 \text{ cm}$$

$$b = h = 65 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran 65 cm x 65 cm.

dimana $h = b$



Gambar 4. 8 Rencana Dimensi Kolom K2 65/65

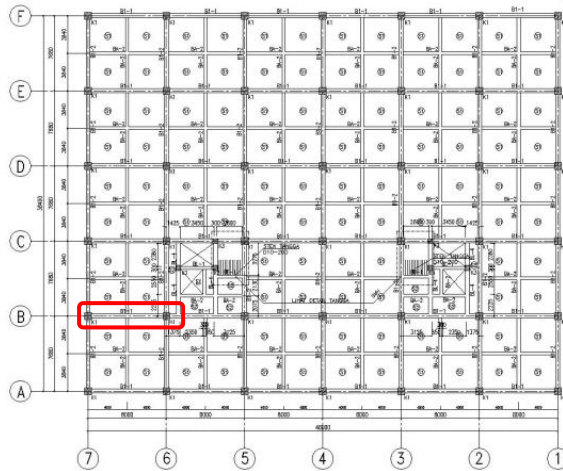
4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Adapun data-data perencanaan, yaitu gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil akhir gambar perencanaan dimensi sloof adalah sebagai berikut :

➤ Data-data perencanaan :

- Tipe sloof : BI
- As balok : B (6-7)
- Bentang balok (L_{balok}) : 8000 mm
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

➤ Gambar Denah Perencanaan :

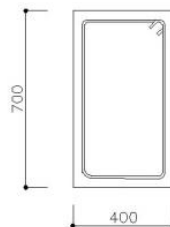


Gambar 4. 9 Denah Rencana Balok Sloof

➤ Perhitungan Perencanaan :

$$\begin{aligned}
 h &\geq \frac{L}{12} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) & b &= \frac{1}{2} h \\
 h &\geq \frac{8000}{12} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) & b &= \frac{1}{2} \times 70 \\
 h &\geq 647,62 \text{ mm} & b &= 35 \text{ cm} \\
 h &\geq 64,76 \text{ cm} & b &= 40 \text{ cm} \\
 h &\approx 70 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan dimensi Sloof dengan ukuran 40/70.



Gambar 4. 10 Rencana Dimensi Balok Sloof 40/70

Kesimpulan :

Dari hasil perhitungan perencanaan di atas, maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut :

a. Balok

Balok induk	: 40/70
Balok anak	: 30/40
Balok kantilever	: 40/70
Sloof	: 40/70

b. Kolom

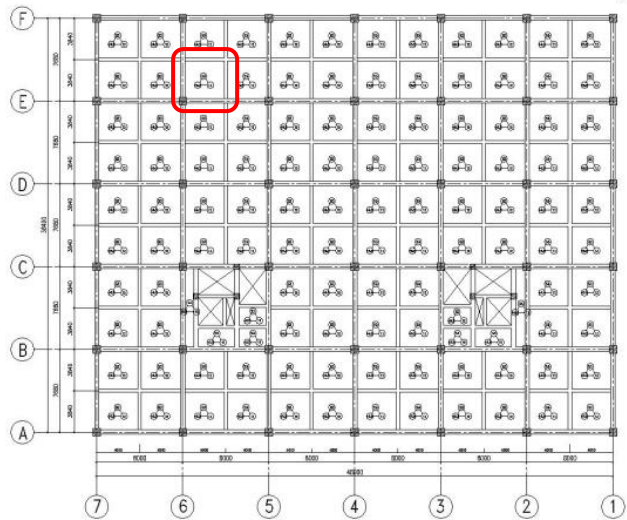
K1 (Lantai 1-2)	: 80/80
K2 (Lantai 3-6)	: 65/65

4.1.4 Perencanaan Dimensi Plat

Adapun data-data perencanaan, yaitu gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil akhir gambar perencanaan dimensi plat adalah sebagai berikut :

- Data-data perencanaan :
 - Tipe plat : S3
 - Kuat teka beton (f_c') : 25 MPa
 - Kuat leleh tulangan (f_y) : 400 MPa
 - Rencana tebal plat : 12 cm
 - Bentang plat sumbu panjang (L_y) : 400 cm
 - Bentang plat sumbu pendek (L_x) : 384 cm
 - Balok BI : 40/70
 - Balok BA : 30/40

➤ Gambar Denah Perencanaan :



Gambar 4. 11 Rencana Denah Plat

➤ Perhitungan Perencanaan :

- Bentang bersih plat sumbu panjang :

$$L_n = l_y - \left[\frac{b_w}{2} + \frac{b_w}{2} \right]$$

$$L_n = 400 - \left[\frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right]$$

$$L_n = 365 \text{ cm}$$

- Bentang bersih plat sumbu pendek :

$$S_n = l_x - \left[\frac{b_w}{2} + \frac{b_w}{2} \right]$$

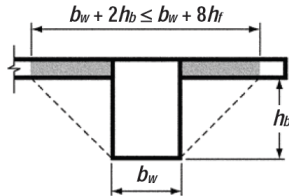
$$S_n = 384 - \left[\frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right]$$

$$S_n = 349 \text{ cm}$$

- Rasio anata bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = 1,05 < 2 \quad \text{(Two ways slab)}$$

- Balok BI As 6 (E-E') (40/70)
- Menentukan lebar efektif sayap balok-T



[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t)$$

$$= 40 + 2(70 - 12)$$

$$= 180 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$= 40 + 8 \times 12$$

$$= 136 \text{ cm}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

Pilih yang terkecil antara b_{e1} dan b_{e2} , $b_e = 136 \text{ cm}$

- Factor modifikasi (*Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES G. SALMON 16.4.2.b*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left[4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$k = 1,61$$

- Momen inersia penampang-T

$$I_b = k \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,61 \frac{40 \cdot 70^3}{12}$$

$$I_b = 1843576,77 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur plat

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(400+400) \cdot 12^3}{12}$$

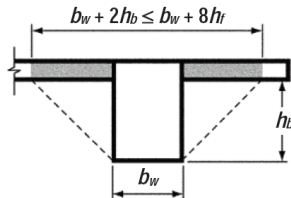
$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap plat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = 32,01$$

➤ Balok B1 As E (5'-6) (40/70)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T



[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

$$b_{e1} = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) \\ &= 40 + 2(40 - 12) \\ &= 180 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 40 + 8 \times 12 \\ &= 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

Pilih yang terkecil antara b_{e1} dan b_{e2} , $b_e = 136 \text{ cm}$

- Factor modifikasi (*Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES G. SALMON 16.4.2.b*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{70}\right) + 4 \left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$k = 1,61$$

- Momen inersia penampang-T

$$I_b = k \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,61 \frac{40 \cdot 70^3}{12}$$

$$I_b = 1843576,77 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur plat

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(384+384) \cdot 12^3}{12}$$

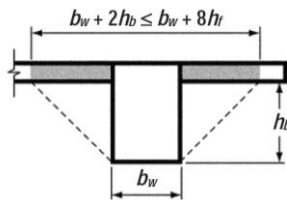
$$I_p = 55296 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap plat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = 33,34$$

➤ Balok B1 As 5' (E-E') (30/40)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T



[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) \\ &= 30 + 2(40 - 12) \\ &= 110 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{e2} &= b_w + 8hf \\
 &= 30 + 8 \times 12 \\
 &= 126 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

Pilih yang terkecil antara b_{e1} dan b_{e2} , $b_e = 110 \text{ cm}$

- Factor modifikasi (*Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES G. SALMON 16.4.2.b*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right) \left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,73$$

- Momen inersia penampang-T

$$\begin{aligned}
 I_b &= k \frac{b_w \cdot h^3}{12} \\
 I_b &= 1,73 \frac{30 \cdot 40^3}{12} \\
 I_b &= 276053,33 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

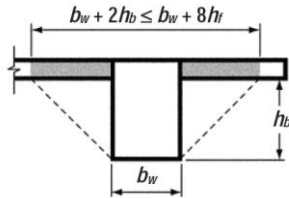
- Momen inersia lajur plat

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{b_p \cdot t^3}{12} \\
 I_p &= \frac{0,5(400+400) \cdot 12^3}{12} \\
 I_p &= 57600 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Rasio kekakuan balok terhadap plat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = 4,79$$

- Balok B1 As E' (5'-6)
- Menentukan lebar efektif sayap balok-T



[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t)$$

$$= 30 + 2(70 - 12)$$

$$= 110 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8hf$$

$$= 30 + 8 \times 12$$

$$= 126 \text{ cm}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 13.2.4]

Pilih yang terkecil antara b_{e1} dan b_{e2} , $b_e = 110 \text{ cm}$

- Factor modifikasi (*Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES G. SALMON 16.4.2.b*)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,73$$

- Momen inersia penampang-T

$$I_b = k \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,73 \frac{50 \cdot 70^3}{12}$$

$$I_b = 276053,33 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur plat

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(400+400) \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 55296 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap plat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = 4,99$$

- Dari keempat balok di atas didapatkan rata-rata :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 18,78$$

[SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3(c)]

Karena $\alpha_m > 2$, dipakai persamaan :
(h tidak boleh kurang dari 90 mm)

$$h = \frac{\text{Ln}\left(0,80 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

$$h = \frac{3650\left(0,80 + \frac{400}{1400}\right)}{36 + 9(1,05)}$$

$$h = 95,63 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

maka digunakan tebal plat beton, $h = 120 \text{ mm}$

4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

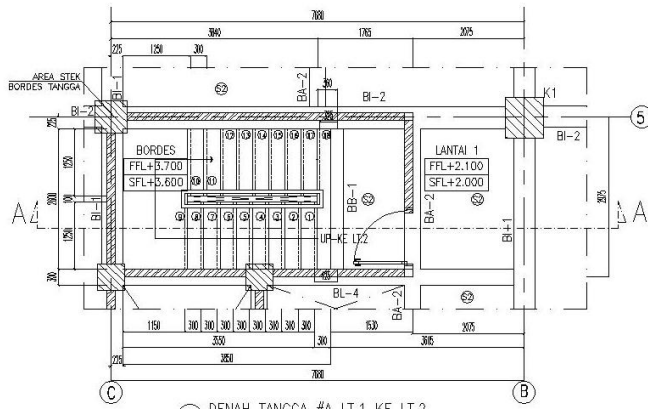
Pemodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang diinput adalah sebagai berikut :

- Perletakan : jepit – sendi – sendi
- Pembebanan : Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
- Kombinasi : 1,2 DL + 1,6 LL
- Distribusi : (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.

Dalam perencanaan ini, terdapat 2 macam tipe tangga yaitu tangga tipe 1 dan tangga tipe 2. Elevasi tiap lantai mempunyai ketinggian yang berbeda. Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 As B'-C (5-6'). Adapun data-data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut :

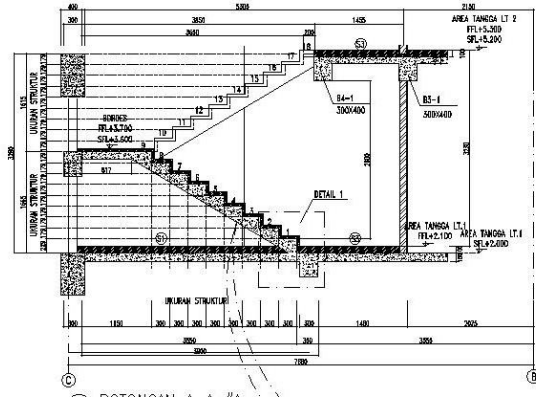
- Data-data perencanaan :
 - Tipe tangga : Tipe 1
 - Panjang datar tangga : 240 cm
 - Tinggi tangga : 320 cm
 - Tinggi plat bordes : 160 cm
 - Tebal plat tangga : 15 cm
 - Tebal plat bordes : 15 cm
 - Lebar injakan (i) : 30 cm
 - Tinggi tahanan(t) : 17,6 cm

- Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 12 Rencana Denah Tangga Tipe 1

Perhitungan perencanaan :
Perencanaan miring tangga

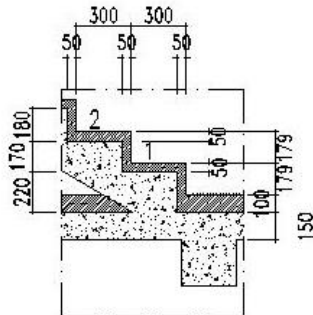


Gambar 4.13 Potongan Tangga Tipe 1

$$= \sqrt{(2,4)^2 + (1,6)^2}$$

$$= 2,88 \text{ m}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4.14 Potongan Tangga Tipe 1

$$BC = 30 \text{ cm}$$

$$AB = 17,6 \text{ cm}$$

$$AC = \sqrt{(30)^2 + (17,6)^2} = 34,78 \text{ cm}$$

Jumlah tanjakan (nt)

Tinggi bordes = 1,6 m = 160 cm

$$nt = \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi tanjakan}} = \frac{320}{17,6} = 18 \text{ buah}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i} = \arctan \frac{17,6}{30} \\ = 28,07^\circ \approx 28^\circ$$

Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 28^\circ \leq 40^\circ \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tebal plat ekuivalen

$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{30 \times 17,6}{34,78}$$

$$BD = 15,18 \text{ cm}$$

$$\text{Tag} = \frac{2}{3} \times BD$$

$$= \frac{2}{3} \times 15,18 \text{ cm}$$

$$= 10,12 \text{ cm}$$

Maka tebal efektif plat tangga = 10,12 \approx 15 cm

4.2 Pembebanan Struktur

4.2.1 Pembebanan Plat Lantai

Pembebanan struktur plat merupakan komponen struktur sekunder dengan syarat mengalami kehancuran lebih awal daripada komponen struktur primer. Dengan demikian komponen struktur plat pada perencanaan tidak dimasukkan pada pemodelan sap 2000, sehingga perhitungan komponen struktur plat lantai atau plat atap harus direncanakan, dibebankan dan dihitung sendiri.

Pembebanan yang terdapat pada komponen struktur plat disesuaikan dengan peraturan *Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Karena struktur plat merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan *SNI 1727-2013 pasal 9.2.1*, yaitu $1,2DL + 1,6LL$.

- Beban mati sesuai *ASCE* dan brosur :

Berat plat (12 cm)	: 288 kg/m ²
Berat kramik	: 15 kg/m ²
Berat spesi	: 12 kg/m ²
Berat plafond dan penggantung	: 16,4 kg/m ²
Mekanikal elektrik	: 19 kg/m ²
Waterproofing	: 7 kg/m ²

- Beban hidup sesuai *SNI 1727-2013 tabel 4-1* :

Beban Hidup parkir	: 2000 kg/m ²
Beban hidup apartemen	: 479 kg/m ²
Beban hidup lobi	: 479 kg/m ²
Beban hidup lantai atap	: 96 kg/m ²
Beban hujan (atap)	: 24,5 kg/m ²

4.2.2 Pembebanan Tangga

Tidak berbeda dengan pembebanan plat lantai ataupun plat atap dan tangga, pembebanan yang terdapat pada komponen struktur disesuaikan dengan peraturan *Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Karena struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan *SNI 1727-2013 pasal 9.2.1*, yaitu $1,2DL + 1,6LL$.

❖ Berat plat anak tangga

- Beban mati sesuai *ASCE* dan brosur :

Berat plat (22 cm)	: 528 kg/m ²
Berat kramik	: 15 kg/m ²
Berat spesi	: 12 kg/m ²
Railing	: 30 kg/m ²

- Beban hidup sesuai *SNI 1727-2013 tabel 4-1* :

Beban hidup tangga	: 479 kg/m ²
--------------------	-------------------------

❖ Berat plat bordes

- Beban mati sesuai *ASCE* dan brosur :

Berat plat (15 cm)	: 360 kg/m ²
Berat kramik	: 15 kg/m ²
Berat spesi	: 12 kg/m ²
Railing	: 30 kg/m ²

- Beban hidup sesuai *SNI 1727-2013 tabel 4-1* :

Beban hidup bordes	: 479 kg/m ²
--------------------	-------------------------

4.2.3 Pembebanan Dinding

Komponen struktur dinding tidak dimasukkan dalam pemodelan sap 2000 sehingga dibebankan/didistribusikan pada komponen yang berada di atas sisi komponen balok. Pendistribusian beban komponen balok merupakan distribusi beban tetap (beban mati).

Dikarekan beban pada komponen dinding yaitu luasan, sedangkan beban pada komponen balok merupakan beban merata, sehingga beban harus dikonveksikan ke beban balok. Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan *SNI 1727-2013* yang sesuai dengan brosur yaitu:

Bata ringan Citicon (600 kg/m ³ x 0,1 m)	: 60 kg/m ²
Plester D200 ((20 kg/m ² /10mm) x 20 mm)	: 40 kg/m ²
Acian NP S540 ((3 kg/m ² /2mm) x 5 mm)	: 7,5 kg/m ² +
	<u>107,5 kg/m²</u>

❖ Tinggi dinding tiap lantai

Lantai 1 (H1) : 3,2 m

Lantai 2 (H2) : 5,0 m

Lantai 3 (H3) : 3,2 m

Lantai 4 (H4) : 3,2 m

Lantai 5 (H5) : 3,2 m

Lantai 6 (H6) : 3,2 m

❖ Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Beban merata lantai 1} &= H1 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 3,2 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata lantai 2} &= H1 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 5,0 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 537,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata lantai 3} &= H1 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 3,2 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata lantai 4} &= H1 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 3,2 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata lantai 5} &= H1 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 3,2 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban merata lantai 6} &= H1 \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 3,2 \text{ m} \times 107,5 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 344 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Catatan : Pada pemodelan sap 2000, beban dinding ditambahkan pada balok-balok tertentu, yaitu pada daerah yang terkena beban dinding atau penyekat ruangan serta pada plat secara merata.

4.2.4 Pembebanan Angin

Dalam perhitungan pembebanan angin menggunakan *SNI 1727-2013* tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Dalam peraturan tersebut beban angin di desain untuk bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari empat prosedur yaitu prosedur pengarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian, prosedur amplop untuk bangunan gedung bertingkat rendah, prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan gedung, dan prosedur terowongan angin.

Berikut perhitungan pembebanan angin bangunan gedung Apartemen "X" Surabaya :

Beban pada kolom berupa beban angin secara vertikal yang dihitung seperti berikut ini :

1. Data Perencanaan:

Fungsi bangunan	: Perkuliahan
Tinggi bangunan	: 20,8 m
Panjang bangunan	: 52 m
Lebar bangunan	: 24 m
Tinggi lantai	: h1 = 3,2 m
	h2 = 5,0 m
	h3 = 3,2m
	h4 = 3,2 m
	h5 = 3,2 m
	h6 = 3,2 m

2. Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPBAU untuk bangunan gedung tertutup dengan prosedur pengarah *SNI 1727-2013 Tabel 27.2-1*.
- Kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain Berdasarkan Tabel 2.18 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es. Diperoleh hasil sebagai berikut :
 Kategori bangunan : II
 Faktor kepentingan Es-Angin (I_w) : 1
[SNI 1727-2013 tabel 1.5-1]
 - Kecepatan angin dasar
 Diperoleh dari : BMKG Jawa Timur, 05 Oktober 2016, <http://meteo.bmkg.go.id/prakiraan/propinsi/16>
 $V = 30 \text{ km/jam}$
 $= 8,33 \text{ m/s}$
 Arah angin : Timur
 - Parameter beban angin
 - Faktor angin (K_d) : 0,85

Tabel 4. 1 Faktor Arah Angin K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

[SNI 1727-2013 tabel 26.6-1]

- Kategori exposur : B
[SNI 1727-2013 pasal 26.7]
- Faktor topografi (K_{zt}) : 1
[SNI 1727-2013 pasal 26.8.2]

- Faktor efek tiupan angin (G) : 0,85
[SNI 1727-2013 pasal 26.9.1]
- Koefisien tekanan internal :

Tabel 4. 2 Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	(G_{ci})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

[SNI 1727-2013 tabel 27.3-1]

$$G_{ci} \quad : + 0,18$$

$$\quad \quad - 0,18$$

- d. Koefisien exposur tekanan viskositas

$$z = 22,2 \text{ m}$$

$$\alpha = 7$$

$$Z_g = 365,76 \text{ m}$$

Tabel 4. 3 Koefisien Eksposur Tekanan Viskositas

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

[SNI 1727:2013 tabel 27.3-1]

Kh diperoleh dari hasil interpolasi :

z (m)	Eksposur B
21,3	0,89
22,2	Kh
24,4	0,93

$$\begin{aligned} K_h &= 0,93 + \left(\frac{22,2-21,3}{24,4-21,3} \right) (0,93 - 0,89) \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_z &= 2,01(Z/Z_g)^{2/\alpha} \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

e. Tekanan velositas

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613K_zK_{zt}K_dV^2 \\ &= 32,66 \text{ N/m}^2 \\ &= 3,27 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613K_hK_{zt}K_dV^2 \\ &= 32,62 \text{ N/m}^2 \\ &= 3,26 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

[SNI 1727-2013 pasal 27.3.2]

f. Koefisien tekanan eksternal

L : dimensi horizontal bangunan gedung, diukur tegak lurus terhadap arah angin = 38,4 m

B : dimensi horizontal bangunan gedung, diukur sejajar terhadap arah angin = 48 m

Koefisien tekanan dinding (Cp)

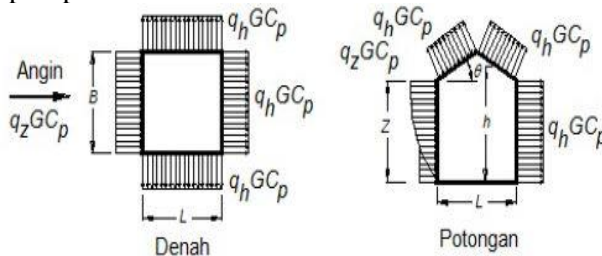
Permukaan	L/B	Cp	Digunakan
Dinding di sisi angin datang	0,80	0,80	qz
Dinding di sisi angin pergi	0,80	-0,50	qz
Dinding tepi	0,80	-0,70	qz

g. Tekanan angin (P)

$$\rho = qGC_p$$

Permukaan	C _p	Digunakan dengan	P
Dinding di sisi angin datang	0,80	$qz = 3,27 \text{ kg/m}^2$	$2,22 \text{ kg/m}^2$
Dinding di sisi angin pergi	-0,50	$qh = 3,26 \text{ kg/m}^2$	$-1,39 \text{ kg/m}^2$
Dinding tepi	-0,70	$qh = 3,26 \text{ kg/m}^2$	$-1,94 \text{ kg/m}^2$

h. Input beban angin di SAP 2000. Beban angin di inputkan ke dalam kolom sebagai beban merata pada tiap-tiap kolom arah X dan Y.



Atap pelana, atap perisai

Gambar 4. 15 Input Beban Angin

4.2.5 Pembebanan Gempa

Gedung Apartemen “X” Surabaya merupakan bangunan bertingkat. Gedung ini didirikan di kota Surabaya. Jumlah tingkat gedung ialah 6 tingkat. Pada perhitungan beban gempa struktur ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk menentukan jenis gedung apakah termasuk gedung beraturan atau tidak beraturan dan bila sudah dikategorikan, selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap kategori gedung tersebut.

Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi bila suatu gedung termasuk gedung beraturan atau gedung tidak beraturan. Gedung Apartemen “X” Surabaya termasuk gedung yang beraturan.

Oleh karena itu struktur gedung Apartemen “X” Surabaya merupakan struktur gedung beraturan. Pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung tersebut ditentukan berdasarkan analisa statik ekuivalen.

a. Klasifikasi Situs

Sesuai *SNI 1726-2012 Pasal 5.3* jenis kategori tanah dibedakan menjadi tanah keras, sedang, lunak, khusus. Jenis tanah pada lokasi bangunan adalah tanah sedang maka menggunakan perhitungan data SPT berikut ini :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Tabel 4. 4 Nilai SPT

Lapisan ke (i)	Tebal per lapisan (di)	Ni	di/Ni
1	0	0	0,00
2	2	1	2,00
3	2	2	1,00
4	2	1	2,00
5	2	1	2,00
6	2	3	0,67
7	2	6	0,33
8	2	10	0,20
9	2	17	0,12
10	2	27	0,07
11	2	23	0,09
12	2	14	0,14

13	2	17	0,12
14	2	19	0,11
15	2	33	0,06
16	2	21	0,10
17	2	21	0,10
18	2	48	0,04
19	2	35	0,06
20	2	30	0,07
21	2	33	0,06
Σ	40	362	9,32

Sehingga didapatkan nilai \bar{N} sebagai berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_i} = \frac{40}{9.32} = 4,29$$

Sesuai *SNI 1726-2013 Tabel 3*, karena $\bar{N} = 4,29$ maka termasuk dalam tanah lunak (SE) karena $\bar{N} < 15$.

b. Faktor Percepatan Batuan Dasar (S_s, S_1)

Perhitungan gaya gempa terjadi periode 50 tahun.

Diketahui dari lokasi bangunan :

$$S_s = 0,30 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,10 \text{ g}$$

[*Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*]

c. Faktor Koefisien Situs (F_a, F_v) dan Parameter respon (S_{MS}, S_{DI})

$S_s = 0,30 \text{ g}$ berada di antara $S_s < 0,25$ dengan $S_s = 0,5$ maka dilakukan interpolasi linier.

[*SNI 1726-2012 Tabel 4*]

Tabel 4. 5 Perhitungan Nilai Fa Secara Interpolasi Linier

S_s	Fa
0,5	1,7
0,3	X
0,25	2,5

$$X = 1,7 + \left(\frac{0,3-0,5}{0,25-0,5} \right) (2,5 - 1,7)$$

$$X = 2,34$$

Maka Fa = 2,34

$$S_1 = 0,10 \text{ g berada si } S_1 \leq 0,10$$

[SNI 1726-2013 Tabel 5]

Maka Fv = 3,5

Koefisien situs

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 2,34 \times 0,3 = 0,70 \text{ g}$$

[SNI 1726-2013 Pasal 6.2]

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 3,5 \times 0,1 = 0,35 \text{ g}$$

[SNI 1726-2013 Pasal 6.2]

d. Parameter Percepatan Spektral Desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,70 = 0,47$$

[SNI 1726-2013 Pasal 6.3]

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,35 = 0,20$$

[SNI 1726-2013 Pasal 6.3]

e. Periode Fundamental Pendekatan

$$T = T_a = C_t h_n^x$$

Dimana:

- h_n = ketinggian struktur
= 25,2 m

- Koefisien C_t dan x (Rangka beton pemikul momen)

[SNI 1726-2012 Tabel 15]

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

- Sehingga :

$$T = T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 25,2^{0,9} = 0,85$$

Nilai T tidak boleh melebihi koefisien C_u , dengan nilai C_u diperoleh dari *SNI 1726-2012 Tabel 14*

$$C_u = 1,40$$

- Cek Syarat :

$$T < C_u$$

$$0,85 < 1,40 \quad (\text{OK})$$

[*SNI 1726-2012 Pasal 7.8.2.1*]

f. Ketentuan Nilai k

- Nilai $T < 0,5$ detik ; maka nilai $k = 1$

- Nilai $T > 2,5$ detik ; maka nilai $k = 2$

- Nilai $0,5 \text{ detik} < T < 2,5 \text{ detik}$; maka nilai k dengan interpolasi

$$\text{Karena nilai } T = 0,85 \rightarrow 0,5 < 0,85 < 2,5$$

Maka nilai k :

$$k = 1 + \left(\frac{0,85 - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) (2 - 1)$$

$$= 1,18$$

[*SNI 1726-2012 Pasal 7.8.3*]

g. Faktor Keutamaan (I)

$$I = 1 \text{ (untuk gedung apartemen)}$$

[*SNI 1726-2012 Tabel 2*]

h. Faktor Reduksi (R)

$$R = 5 \text{ (Rangka beton pemikul momen menengah)}$$

[*SNI 1726-2012 Tabel 9*]

i. Koefisien Respons Seismik

- C_s hitungan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I} \right)} = \frac{0,47}{\left(\frac{5}{1} \right)} = 0,09$$

- C_s max :

$$C_{s \text{ max}} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} = \frac{0,20}{0,85 \left(\frac{5}{1} \right)} = 0,05$$

- $C_s \text{ min}$:

$$\begin{aligned} C_{s \text{ min}} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \geq 0,01 \\ &= 0,044 \cdot 0,47 \cdot 1 \geq 0,01 \\ &= 0,01 = 0,01 \end{aligned}$$

$$C_s \text{ min} = 0,01$$

Cek syarat :

$$C_s \text{ min} < C_s \text{ hit.} < C_s \text{ max}$$

$$0,01 < 0,09 > 0,05 \quad (\text{Tidak OK})$$

Maka digunakan $C_s = 0,05$

[SNI 1726-2012 Pasal 7.8]

j. Total Beban Per Lantai

Lantai	Beban (kg)
W0	34434,00
W1	3840516,03
W2	2147219,08
W3	1556971,01
W4	1893779,87
W5	1893779,87
W6	1893779,87
W7	1638916,02
W8	82215,94
W Total	14981611,68

k. Geser Dasar Seismik

$$\begin{aligned} V_s &= C_s W_t \\ &= 0,05 \times 14816542,08 \\ &= 813031,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

[SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1]

l. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_x \cdot h_x^k} V = C_{vx} \cdot V$$

[SNI 1726-2012 Pasal 7.8.3]

m. Beban Gempa per Kolom

Lantai	Pusat Massa (m)		Pusat Kekakuan (m)		Eksentrisitas (m)	
	arah X	arah Y	arah X	arah Y	arah X	arah Y
Lt. -1 (F0)	23,99	18,84	23,98	18,69	0,01	0,15
Lt. 1 (F1)	24,00	19,20	23,98	18,69	0,02	0,52
Lt. 2 (F2)	24,01	19,19	23,98	18,69	0,03	0,50
Lt. 3 (F3)	24,16	19,29	23,98	18,58	0,18	0,71
Lt. 4 (F4)	24,11	19,16	23,98	18,58	0,13	0,57
Lt. 5 (F5)	24,11	19,16	23,98	18,58	0,13	0,57
Lt. 6 (F6)	24,11	19,16	23,98	18,58	0,13	0,57
Atap (F7)	23,64	18,49	23,98	18,58	0,33	0,09
Lift (F8)	24,00	11,52	24,00	11,52	0,00	0,00

- **Lantai -1 (F0)**

$$F_{ix} = 0$$

$$F_{iy} = 0$$

- **Lantai 1**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_1 \\ &= 0,02 \text{ m} \cdot 12832,51 \text{ kg} \\ &= 238,68 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_1 \\ &= 0,52 \text{ m} \cdot 12832,51 \text{ kg} \\ &= 6610,01 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_1}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X} \cdot X}{\sum(y^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_i}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y.Y}}{\Sigma(x_i^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
A7	-23,99	-18,84	575,35	354,86	266,57	256,67
A6	-15,99	-18,84	255,57	354,86	266,83	256,67
A5	-7,99	-18,84	63,78	354,86	267,09	256,67
A4	0,01	-18,84	0,00	354,86	267,34	256,67
A3	8,01	-18,84	64,22	354,86	267,60	256,67
A2	16,01	-18,84	256,43	354,86	267,86	256,67
A1	24,01	-18,84	576,65	354,86	268,12	256,67
B7	-23,99	-11,16	575,35	124,50	266,57	261,02
B6	-15,99	-11,16	255,57	124,50	266,83	261,02
B5	-7,99	-11,16	63,78	124,50	267,09	261,02
B4	0,01	-11,16	0,00	124,50	267,34	261,02
B3	8,01	-11,16	64,22	124,50	267,60	261,02
B2	16,01	-11,16	256,43	124,50	267,86	261,02
B1	24,01	-11,16	576,65	124,50	268,12	261,02
C7	-23,99	-3,48	575,35	12,09	266,57	265,37
C6	-15,99	-3,48	255,57	12,09	266,83	265,37
C5'	-11,23	-3,48	126,03	12,09	266,98	265,37
C5	-7,99	-3,48	63,78	12,09	267,09	265,37
C4	0,01	-3,48	0,00	12,09	267,34	265,37
C3	8,01	-3,48	64,22	12,09	267,60	265,37
C2'	10,61	-3,48	112,65	12,09	267,69	265,37
C2	16,01	-3,48	256,43	12,09	267,86	265,37
C1	24,01	-3,48	576,65	12,09	268,12	265,37
D7	-23,99	4,20	575,35	17,66	266,57	269,73
D6	-15,99	4,20	255,57	17,66	266,83	269,73

D5	-7,99	4,20	63,78	17,66	267,09	269,73
D4	0,01	4,20	0,00	17,66	267,34	269,73
D3	8,01	4,20	64,22	17,66	267,60	269,73
D2	16,01	4,20	256,43	17,66	267,86	269,73
D1	24,01	4,20	576,65	17,66	268,12	269,73
E7	-23,99	11,88	575,35	141,19	266,57	274,08
E6	-15,99	11,88	255,57	141,19	266,83	274,08
E5	-7,99	11,88	63,78	141,19	267,09	274,08
E4	0,01	11,88	0,00	141,19	267,34	274,08
E3	8,01	11,88	64,22	141,19	267,60	274,08
E2	16,01	11,88	256,43	141,19	267,86	274,08
E1	24,01	11,88	576,65	141,19	268,12	274,08
F7	-23,99	19,56	575,35	382,68	266,57	278,43
F6	-15,99	19,56	255,57	382,68	266,83	278,43
F5	-7,99	19,56	63,78	382,68	267,09	278,43
F4	0,01	19,56	0,00	382,68	267,34	278,43
F3	8,01	19,56	64,22	382,68	267,60	278,43
F2	16,01	19,56	256,43	382,68	267,86	278,43
F1	24,01	19,56	576,65	382,68	268,12	278,43
B'-5'	-14,69	-6,31	215,69	39,79	266,87	263,77
B'-5'	-11,23	-6,31	126,03	39,79	266,98	263,77
B'-2'	10,61	-6,31	112,65	39,79	267,69	263,77
B'-2'	14,71	-6,31	216,49	39,79	267,82	263,77
Σ	-0,63	-16,97	11661,6	7414,2		

- **Lantai 2**

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas } X \cdot F_2 \\
 &= 0,03 \text{ m} \cdot 38748,52 \text{ kg} \\
 &= 1029,62 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_2 \\
 &= 0,50 \text{ m} \cdot 38748,52 \text{ kg} \\
 &= 19541,01 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X.X}}{\sum(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y.Y}}{\sum(x'^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
A7	-23,99	-18,84	575,35	354,86	803,93	775,69
A6	-15,99	-18,84	255,57	354,86	805,04	775,69
A5	-7,99	-18,84	63,78	354,86	806,15	775,69
A4	0,01	-18,84	0,00	354,86	807,26	775,69
A3	8,01	-18,84	64,22	354,86	808,37	775,69
A2	16,01	-18,84	256,43	354,86	809,48	775,69
A1	24,01	-18,84	576,65	354,86	810,60	775,69
B7	-23,99	-11,16	575,35	124,50	803,93	788,56
B6	-15,99	-11,16	255,57	124,50	805,04	788,56
B5	-7,99	-11,16	63,78	124,50	806,15	788,56
B4	0,01	-11,16	0,00	124,50	807,26	788,56
B3	8,01	-11,16	64,22	124,50	808,37	788,56
B2	16,01	-11,16	256,43	124,50	809,48	788,56
B1	24,01	-11,16	576,65	124,50	810,60	788,56
C7	-23,99	-3,48	575,35	12,09	803,93	801,43
C6	-15,99	-3,48	255,57	12,09	805,04	801,43
C5'	-11,23	-3,48	126,03	12,09	805,70	801,43
C5	-7,99	-3,48	63,78	12,09	806,15	801,43
C4	0,01	-3,48	0,00	12,09	807,26	801,43
C3	8,01	-3,48	64,22	12,09	808,37	801,43

C2'	10,61	-3,48	112,65	12,09	808,73	801,43
C2	16,01	-3,48	256,43	12,09	809,48	801,43
C1	24,01	-3,48	576,65	12,09	810,60	801,43
B7	-23,99	4,20	575,35	17,66	803,93	814,30
B6	-15,99	4,20	255,57	17,66	805,04	814,30
B5	-7,99	4,20	63,78	17,66	806,15	814,30
B4	0,01	4,20	0,00	17,66	807,26	814,30
B3	8,01	4,20	64,22	17,66	808,37	814,30
B2	16,01	4,20	256,43	17,66	809,48	814,30
B1	24,01	4,20	576,65	17,66	810,60	814,30
E7	-23,99	11,88	575,35	141,19	803,93	827,17
E6	-15,99	11,88	255,57	141,19	805,04	827,17
E5	-7,99	11,88	63,78	141,19	806,15	827,17
E4	0,01	11,88	0,00	141,19	807,26	827,17
E3	8,01	11,88	64,22	141,19	808,37	827,17
E2	16,01	11,88	256,43	141,19	809,48	827,17
E1	24,01	11,88	576,65	141,19	810,60	827,17
F7	-23,99	19,56	575,35	382,68	803,93	840,04
F6	-15,99	19,56	255,57	382,68	805,04	840,04
F5	-7,99	19,56	63,78	382,68	806,15	840,04
F4	0,01	19,56	0,00	382,68	807,26	840,04
F3	8,01	19,56	64,22	382,68	808,37	840,04
F2	16,01	19,56	256,43	382,68	809,48	840,04
F1	24,01	19,56	576,65	382,68	810,60	840,04
B'-5'	-14,69	-6,31	215,69	39,79	805,22	796,69
B'-5'	-11,23	-6,31	126,03	39,79	805,70	796,69
B'-2'	10,61	-6,31	112,65	39,79	808,73	796,69
B'-2'	14,71	-6,31	216,49	39,79	809,30	796,69
Σ	-0,63	-16,97	11661,6	7414,2		

- **Lantai 3**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_3 \\ &= 0,18 \text{ m} \cdot 70610,27 \text{ kg} \\ &= 12819,26 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_3 \\ &= 0,71 \text{ m} \cdot 70610,27 \text{ kg} \\ &= 50120,70 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_3}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X} \cdot X}{\sum(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_3}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y} \cdot Y}{\sum(x'^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
A7	-23,99	-18,90	575,46	357,11	1429,58	1389,83
A6	-15,99	-18,90	255,64	357,11	1443,41	1389,83
A5	-7,99	-18,90	63,82	357,11	1457,24	1389,83
A4	0,01	-18,90	0,00	357,11	1471,07	1389,83
A3	8,01	-18,90	64,18	357,11	1484,89	1389,83
A2	16,01	-18,90	256,36	357,11	1498,72	1389,83
A1	24,01	-18,90	576,54	357,11	1512,55	1389,83
B7	-23,99	-11,22	575,46	125,83	1429,58	1422,84
B6	-15,99	-11,22	255,64	125,83	1443,41	1422,84
B5	-7,99	-11,22	63,82	125,83	1457,24	1422,84
B4	0,01	-11,22	0,00	125,83	1471,07	1422,84
B3	8,01	-11,22	64,18	125,83	1484,89	1422,84
B2	16,01	-11,22	256,36	125,83	1498,72	1422,84
B1	24,01	-11,22	576,54	125,83	1512,55	1422,84
C7	-23,99	-3,54	575,46	12,51	1429,58	1455,84
C6	-15,99	-3,54	255,64	12,51	1443,41	1455,84

C5'	-11,23	-3,54	126,08	12,51	1451,64	1455,84
C5	-7,99	-3,54	63,82	12,51	1457,24	1455,84
C4	0,01	-3,54	0,00	12,51	1471,07	1455,84
C3	8,01	-3,54	64,18	12,51	1484,89	1455,84
C2'	10,61	-3,54	112,60	12,51	1489,39	1455,84
C2	16,01	-3,54	256,36	12,51	1498,72	1455,84
C1	24,01	-3,54	576,54	12,51	1512,55	1455,84
D7	-23,99	4,14	575,46	17,16	1429,58	1488,85
D6	-15,99	4,14	255,64	17,16	1443,41	1488,85
D5	-7,99	4,14	63,82	17,16	1457,24	1488,85
D4	0,01	4,14	0,00	17,16	1471,07	1488,85
D3	8,01	4,14	64,18	17,16	1484,89	1488,85
D2	16,01	4,14	256,36	17,16	1498,72	1488,85
D1	24,01	4,14	576,54	17,16	1512,55	1488,85
E7	-23,99	11,82	575,46	139,78	1429,58	1521,86
E6	-15,99	11,82	255,64	139,78	1443,41	1521,86
E5	-7,99	11,82	63,82	139,78	1457,24	1521,86
E4	0,01	11,82	0,00	139,78	1471,07	1521,86
E3	8,01	11,82	64,18	139,78	1484,89	1521,86
E2	16,01	11,82	256,36	139,78	1498,72	1521,86
E1	24,01	11,82	576,54	139,78	1512,55	1521,86
F7	-23,99	19,50	575,46	380,35	1429,58	1554,87
F6	-15,99	19,50	255,64	380,35	1443,41	1554,87
F5	-7,99	19,50	63,82	380,35	1457,24	1554,87
F4	0,01	19,50	0,00	380,35	1471,07	1554,87
F3	8,01	19,50	64,18	380,35	1484,89	1554,87
F2	16,01	19,50	256,36	380,35	1498,72	1554,87
F1	24,01	19,50	576,54	380,35	1512,55	1554,87
B'-5'	-14,69	-6,37	215,76	40,54	1445,66	1443,68

B'-5'	-11,23	-6,37	126,08	40,54	1451,64	1443,68
B'-2'	10,61	-6,37	112,60	40,54	1489,39	1443,68
B'-2'	14,71	-6,37	216,42	40,54	1496,48	1443,68
Σ	-0,74	-19,83	11661,6	7416,4		

- **Lantai 4**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_4 \\ &= 0,13 \text{ m} \cdot 121973,51 \text{ kg} \\ &= 15929,11 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_4 \\ &= 0,57 \text{ m} \cdot 121973,51 \text{ kg} \\ &= 69848,62 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_4}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X} \cdot X}{\Sigma(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_4}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y} \cdot Y}{\Sigma(x'^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
A7	-23,98	-18,68	575,08	349,06	2489,56	2429,21
A6	-15,98	-18,68	255,38	349,06	2506,76	2429,21
A5	-7,98	-18,68	63,69	349,06	2523,96	2429,21
A4	0,02	-18,68	0,00	349,06	2541,16	2429,21
A3	8,02	-18,68	64,31	349,06	2558,35	2429,21
A2	16,02	-18,68	256,62	349,06	2575,55	2429,21
A1	24,02	-18,68	576,92	349,06	2592,75	2429,21
B7	-23,98	-11,00	575,08	121,07	2489,56	2475,21
B6	-15,98	-11,00	255,38	121,07	2506,76	2475,21
B5	-7,98	-11,00	63,69	121,07	2523,96	2475,21
B4	0,02	-11,00	0,00	121,07	2541,16	2475,21
B3	8,02	-11,00	64,31	121,07	2558,35	2475,21

B2	16,02	-11,00	256,62	121,07	2575,55	2475,21
B1	24,02	-11,00	576,92	121,07	2592,75	2475,21
C7	-23,98	-3,32	575,08	11,04	2489,56	2521,21
C6	-15,98	-3,32	255,38	11,04	2506,76	2521,21
C5'	-11,22	-3,32	125,91	11,04	2516,99	2521,21
C5	-7,98	-3,32	63,69	11,04	2523,96	2521,21
C4	0,02	-3,32	0,00	11,04	2541,16	2521,21
C3	8,02	-3,32	64,31	11,04	2558,35	2521,21
C2'	10,62	-3,32	112,77	11,04	2563,94	2521,21
C2	16,02	-3,32	256,62	11,04	2575,55	2521,21
C1	24,02	-3,32	576,92	11,04	2592,75	2521,21
D7	-23,98	4,36	575,08	18,98	2489,56	2567,21
D6	-15,98	4,36	255,38	18,98	2506,76	2567,21
D5	-7,98	4,36	63,69	18,98	2523,96	2567,21
D4	0,02	4,36	0,00	18,98	2541,16	2567,21
D3	8,02	4,36	64,31	18,98	2558,35	2567,21
D2	16,02	4,36	256,62	18,98	2575,55	2567,21
D1	24,02	4,36	576,92	18,98	2592,75	2567,21
E7	-23,98	12,04	575,08	144,89	2489,56	2613,21
E6	-15,98	12,04	255,38	144,89	2506,76	2613,21
E5	-7,98	12,04	63,69	144,89	2523,96	2613,21
E4	0,02	12,04	0,00	144,89	2541,16	2613,21
E3	8,02	12,04	64,31	144,89	2558,35	2613,21
E2	16,02	12,04	256,62	144,89	2575,55	2613,21
E1	24,02	12,04	576,92	144,89	2592,75	2613,21
F7	-23,98	19,72	575,08	388,75	2489,56	2659,21
F6	-15,98	19,72	255,38	388,75	2506,76	2659,21
F5	-7,98	19,72	63,69	388,75	2523,96	2659,21
F4	0,02	19,72	0,00	388,75	2541,16	2659,21

F3	8,02	19,72	64,31	388,75	2558,35	2659,21
F2	16,02	19,72	256,62	388,75	2575,55	2659,21
F1	24,02	19,72	576,92	388,75	2592,75	2659,21
B'-5'	-14,68	-6,15	215,52	37,86	2509,56	2504,26
B'-5'	-11,22	-6,15	125,91	37,86	2516,99	2504,26
B'-2'	10,62	-6,15	112,77	37,86	2563,94	2504,26
B'-2'	14,72	-6,15	216,66	37,86	2572,76	2504,26
Σ	-0,36	-9,55	11661,5	7410,1		

- **Lantai 5**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_5 \\ &= 0,13 \text{ m} \cdot 159749,18 \text{ kg} \\ &= 20862,41 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_5 \\ &= 0,57 \text{ m} \cdot 159749,18 \text{ kg} \\ &= 91481,01 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_5}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X} \cdot X}{\sum(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_5}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y} \cdot Y}{\sum(x'^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
A7	-23,98	-18,68	575,08	349,06	3260,59	3181,54
A6	-15,98	-18,68	255,38	349,06	3283,12	3181,54
A5	-7,98	-18,68	63,69	349,06	3305,64	3181,54
A4	0,02	-18,68	0,00	349,06	3328,16	3181,54
A3	8,02	-18,68	64,31	349,06	3350,69	3181,54
A2	16,02	-18,68	256,62	349,06	3373,21	3181,54
A1	24,02	-18,68	576,92	349,06	3395,73	3181,54
B7	-23,98	-11,00	575,08	121,07	3260,59	3241,79

B6	-15,98	-11,00	255,38	121,07	3283,12	3241,79
B5	-7,98	-11,00	63,69	121,07	3305,64	3241,79
B4	0,02	-11,00	0,00	121,07	3328,16	3241,79
B3	8,02	-11,00	64,31	121,07	3350,69	3241,79
B2	16,02	-11,00	256,62	121,07	3373,21	3241,79
B1	24,02	-11,00	576,92	121,07	3395,73	3241,79
C7	-23,98	-3,32	575,08	11,04	3260,59	3302,04
C6	-15,98	-3,32	255,38	11,04	3283,12	3302,04
C5'	-11,22	-3,32	125,91	11,04	3296,52	3302,04
C5	-7,98	-3,32	63,69	11,04	3305,64	3302,04
C4	0,02	-3,32	0,00	11,04	3328,16	3302,04
C3	8,02	-3,32	64,31	11,04	3350,69	3302,04
C2'	10,62	-3,32	112,77	11,04	3358,01	3302,04
C2	16,02	-3,32	256,62	11,04	3373,21	3302,04
C1	24,02	-3,32	576,92	11,04	3395,73	3302,04
D7	-23,98	4,36	575,08	18,98	3260,59	3362,29
D6	-15,98	4,36	255,38	18,98	3283,12	3362,29
D5	-7,98	4,36	63,69	18,98	3305,64	3362,29
D4	0,02	4,36	0,00	18,98	3328,16	3362,29
D3	8,02	4,36	64,31	18,98	3350,69	3362,29
D2	16,02	4,36	256,62	18,98	3373,21	3362,29
D1	24,02	4,36	576,92	18,98	3395,73	3362,29
E7	-23,98	12,04	575,08	144,89	3260,59	3422,53
E6	-15,98	12,04	255,38	144,89	3283,12	3422,53
E5	-7,98	12,04	63,69	144,89	3305,64	3422,53
E4	0,02	12,04	0,00	144,89	3328,16	3422,53
E3	8,02	12,04	64,31	144,89	3350,69	3422,53
E2	16,02	12,04	256,62	144,89	3373,21	3422,53
E1	24,02	12,04	576,92	144,89	3395,73	3422,53

F7	-23,98	19,72	575,08	388,75	3260,59	3482,78
F6	-15,98	19,72	255,38	388,75	3283,12	3482,78
F5	-7,98	19,72	63,69	388,75	3305,64	3482,78
F4	0,02	19,72	0,00	388,75	3328,16	3482,78
F3	8,02	19,72	64,31	388,75	3350,69	3482,78
F2	16,02	19,72	256,62	388,75	3373,21	3482,78
F1	24,02	19,72	576,92	388,75	3395,73	3482,78
B'-5'	-14,68	-6,15	215,52	37,86	3286,78	3279,84
B'-5'	-11,22	-6,15	125,91	37,86	3296,52	3279,84
B'-2'	10,62	-6,15	112,77	37,86	3358,01	3279,84
B'-2'	14,72	-6,15	216,66	37,86	3369,55	3279,84
Σ	-0,36	-9,55	11661,5	7410,1		

- **Lantai 6**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_6 \\ &= 0,13 \text{ m} \cdot 198916,47 \text{ kg} \\ &= 25977,46 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_6 \\ &= 0,57 \text{ m} \cdot 198916,47 \text{ kg} \\ &= 113910,31 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_6}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X} \cdot X}{\sum(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_6}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y} \cdot Y}{\sum(x'^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
A7	-23,98	-18,68	575,08	349,06	4060,02	3961,60
A6	-15,98	-18,68	255,38	349,06	4088,07	3961,60
A5	-7,98	-18,68	63,69	349,06	4116,12	3961,60
A4	0,02	-18,68	0,00	349,06	4144,16	3961,60

A3	8,02	-18,68	64,31	349,06	4172,21	3961,60
A2	16,02	-18,68	256,62	349,06	4200,25	3961,60
A1	24,02	-18,68	576,92	349,06	4228,30	3961,60
B7	-23,98	-11,00	575,08	121,07	4060,02	4036,61
B6	-15,98	-11,00	255,38	121,07	4088,07	4036,61
B5	-7,98	-11,00	63,69	121,07	4116,12	4036,61
B4	0,02	-11,00	0,00	121,07	4144,16	4036,61
B3	8,02	-11,00	64,31	121,07	4172,21	4036,61
B2	16,02	-11,00	256,62	121,07	4200,25	4036,61
B1	24,02	-11,00	576,92	121,07	4228,30	4036,61
C7	-23,98	-3,32	575,08	11,04	4060,02	4111,63
C6	-15,98	-3,32	255,38	11,04	4088,07	4111,63
C5'	-11,22	-3,32	125,91	11,04	4104,76	4111,63
C5	-7,98	-3,32	63,69	11,04	4116,12	4111,63
C4	0,02	-3,32	0,00	11,04	4144,16	4111,63
C3	8,02	-3,32	64,31	11,04	4172,21	4111,63
C2'	10,62	-3,32	112,77	11,04	4181,32	4111,63
C2	16,02	-3,32	256,62	11,04	4200,25	4111,63
C1	24,02	-3,32	576,92	11,04	4228,30	4111,63
D7	-23,98	4,36	575,08	18,98	4060,02	4186,65
D6	-15,98	4,36	255,38	18,98	4088,07	4186,65
D5	-7,98	4,36	63,69	18,98	4116,12	4186,65
D4	0,02	4,36	0,00	18,98	4144,16	4186,65
D3	8,02	4,36	64,31	18,98	4172,21	4186,65
D2	16,02	4,36	256,62	18,98	4200,25	4186,65
D1	24,02	4,36	576,92	18,98	4228,30	4186,65
E7	-23,98	12,04	575,08	144,89	4060,02	4261,67
E6	-15,98	12,04	255,38	144,89	4088,07	4261,67
E5	-7,98	12,04	63,69	144,89	4116,12	4261,67

E4	0,02	12,04	0,00	144,89	4144,16	4261,67
E3	8,02	12,04	64,31	144,89	4172,21	4261,67
E2	16,02	12,04	256,62	144,89	4200,25	4261,67
E1	24,02	12,04	576,92	144,89	4228,30	4261,67
F7	-23,98	19,72	575,08	388,75	4060,02	4336,69
F6	-15,98	19,72	255,38	388,75	4088,07	4336,69
F5	-7,98	19,72	63,69	388,75	4116,12	4336,69
F4	0,02	19,72	0,00	388,75	4144,16	4336,69
F3	8,02	19,72	64,31	388,75	4172,21	4336,69
F2	16,02	19,72	256,62	388,75	4200,25	4336,69
F1	24,02	19,72	576,92	388,75	4228,30	4336,69
B'-5'	-14,68	-6,15	215,52	37,86	4092,63	4083,99
B'-5'	-11,22	-6,15	125,91	37,86	4104,76	4083,99
B'-2'	10,62	-6,15	112,77	37,86	4181,32	4083,99
B'-2'	14,72	-6,15	216,66	37,86	4195,69	4083,99
Σ	-0,36	-9,55	11661,5	7410,1		

- **Lantai Atap**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_7 \\ &= 0,33 \text{ m} \cdot 207073,40 \text{ kg} \\ &= 68803,80 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_7 \\ &= 0,09 \text{ m} \cdot 207073,40 \text{ kg} \\ &= 18803,80 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_7}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X} \cdot X}{\Sigma(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_7}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y} \cdot Y}{\Sigma(x'^2)}$$

As	x'	y'	x'^2	y'^2	Fx	Fy
A7	-23,98	-18,68	575,08	349,06	4091,36	4283,90
A6	-15,98	-18,68	255,38	349,06	4165,65	4283,90
A5	-7,98	-18,68	63,69	349,06	4239,93	4283,90
A4	0,02	-18,68	0,00	349,06	4314,21	4283,90
A3	8,02	-18,68	64,31	349,06	4388,49	4283,90
A2	16,02	-18,68	256,62	349,06	4462,77	4283,90
A1	24,02	-18,68	576,92	349,06	4537,05	4283,90
B7	-23,98	-11,00	575,08	121,07	4091,36	4296,29
B6	-15,98	-11,00	255,38	121,07	4165,65	4296,29
B5	-7,98	-11,00	63,69	121,07	4239,93	4296,29
B4	0,02	-11,00	0,00	121,07	4314,21	4296,29
B3	8,02	-11,00	64,31	121,07	4388,49	4296,29
B2	16,02	-11,00	256,62	121,07	4462,77	4296,29
B1	24,02	-11,00	576,92	121,07	4537,05	4296,29
C7	-23,98	-3,32	575,08	11,04	4091,36	4308,67
C6	-15,98	-3,32	255,38	11,04	4165,65	4308,67
C5'	-11,22	-3,32	125,91	11,04	4209,84	4308,67
C5	-7,98	-3,32	63,69	11,04	4239,93	4308,67
C4	0,02	-3,32	0,00	11,04	4314,21	4308,67
C3	8,02	-3,32	64,31	11,04	4388,49	4308,67
C2'	10,62	-3,32	112,77	11,04	4412,63	4308,67
C2	16,02	-3,32	256,62	11,04	4462,77	4308,67
C1	24,02	-3,32	576,92	11,04	4537,05	4308,67
D7	-23,98	4,36	575,08	18,98	4091,36	4321,05
D6	-15,98	4,36	255,38	18,98	4165,65	4321,05
D5	-7,98	4,36	63,69	18,98	4239,93	4321,05
D4	0,02	4,36	0,00	18,98	4314,21	4321,05
D3	8,02	4,36	64,31	18,98	4388,49	4321,05

D2	16,02	4,36	256,62	18,98	4462,77	4321,05
D1	24,02	4,36	576,92	18,98	4537,05	4321,05
E7	-23,98	12,04	575,08	144,89	4091,36	4333,44
E6	-15,98	12,04	255,38	144,89	4165,65	4333,44
E5	-7,98	12,04	63,69	144,89	4239,93	4333,44
E4	0,02	12,04	0,00	144,89	4314,21	4333,44
E3	8,02	12,04	64,31	144,89	4388,49	4333,44
E2	16,02	12,04	256,62	144,89	4462,77	4333,44
E1	24,02	12,04	576,92	144,89	4537,05	4333,44
F7	-23,98	19,72	575,08	388,75	4091,36	4345,82
F6	-15,98	19,72	255,38	388,75	4165,65	4345,82
F5	-7,98	19,72	63,69	388,75	4239,93	4345,82
F4	0,02	19,72	0,00	388,75	4314,21	4345,82
F3	8,02	19,72	64,31	388,75	4388,49	4345,82
F2	16,02	19,72	256,62	388,75	4462,77	4345,82
F1	24,02	19,72	576,92	388,75	4537,05	4345,82
B'-5'	-14,68	-6,15	215,52	37,86	4177,72	4304,11
B'-5'	-11,22	-6,15	125,91	37,86	4209,84	4304,11
B'-2'	10,62	-6,15	112,77	37,86	4412,63	4304,11
B'-2'	14,72	-6,15	216,66	37,86	4450,70	4304,11
Σ	-0,36	-9,55	11661,5	7410,10		

- **Lantai Lift**

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas X} \cdot F_8 \\
 &= 0,00 \text{ m} \cdot 12185,29 \text{ kg} \\
 &= 0,00 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas Y} \cdot F_8 \\
 &= 0,00 \text{ m} \cdot 12185,29 \text{ kg} \\
 &= 0,00 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_g}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas X.X}}{\Sigma(y'^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_g}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas Y.Y}}{\Sigma(x'^2)}$$

As	x'	y'	x' ²	y' ²	Fx	Fy
B6	-16	-3,84	256	14,75	1523,16	1523,16
B5	-8	-3,84	64	14,75	1523,16	1523,16
C6	-16	3,84	256	14,75	1523,16	1523,16
C5	-8	3,84	64	14,75	1523,16	1523,16
B3	8	-3,84	64	14,75	1523,16	1523,16
B2	16	-3,84	256	14,75	1523,16	1523,16
C3	8	3,84	64	14,75	1523,16	1523,16
C2	16	3,84	256	14,75	1523,16	1523,16
Σ	0,00	0,00	1280,00	117,96		

4.3 Perencanaan Tulangan Plat

4.3.1 Perencanaan Plat

Plat / slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam design, gaya-gaya pada plat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga plat dapat direncanakan sebagai **plat satu arah (*one way slab*)**, dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya lebih dari 2, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan plat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung disekelilingnya, dengan demikian, panel disebut **plat 2 arah (*two ways slab*)**, dengan tulangan utama dipasang 2 arah yaitu searah sumbu x dan searah sumbu y , sedangkan tulangan susut dan suhu dipasang mengitari plat tersebut. (*Desain Beton Bertulang, oleh C. K. Wang dan C. G. Salmon Bab 16*).

Plat direncanakan menerima beban berdasarkan *Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)* berdasarkan fungsi tiap lantai, kombinasi beban yang digunakan adalah :

$$U = 1,2 DL + 1,6LL$$

Dimana :

U = Beban ultimate plat

DL = Beban mati plat

LL = Beban hidup plat

Dari perhitungan harga $\alpha_m = 18,78$ pada perencanaan tebal plat, maka asumsi perletakan plat lantai dan plat atap adalah **jepit penuh**. Dimana dalam menganalisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada plat menggunakan **Perencanaan Beton**

Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 Tabel 13.3(1) halaman 202.

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5
I	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
III	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
IV	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	26	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
IVA	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25
IVB	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	9	9	9	9	9	8
IVC	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	103	108	125
VA	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
VB	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
VIA	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
VIB	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	15
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
VII	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
VIII	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
IX	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	$M_x = + 0,001 q L_x^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Gambar 4. 16 Perhitungan Momen Plat

Dikarenakan plat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada **Perencanaan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 Tabel 13.3(1)** plat termasuk pada tipe II dimana persamaan gaya dalam momen yang digunkana adalah sebagai berikut :

$$M_{tx} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{lx} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

Dimana :

- M_{tx} = Momen tumpuan arah X
- M_{lx} = Momen lapangan arah X
- M_{ty} = Momen tumpuan arah Y
- M_{ly} = Momen lapangan arah Y
- X = koefisien (Tabel 13..3.1 PBBI 1971)

Pada penulangan plat akan dibahas 1 contoh penulangan plat yaitu penulangan plat tipe S5 As E-E' (5'-6) untuk plat lantai.

4.3.1.1 Pembebanan Plat Lantai

- **Beban mati sesuai SNI 1726-2013 :**

Berat plat 12 cm	= 0,12 x 2400	= 288 kg/m ²
Berat spesi	= 1x12 kg/m ²	= 12 kg/m ²
Berat kramik	= 1x15 kg/m ²	= 15 kg/m ²
Berat dinding	= 3,2x107,5kg/m	= 344 kg/m ²
Berat plafond dan penggantung		= 16,4 kg/m ²
Berat mekanikal elektrik		= 19 kg/m ² +
qDL		= 694,4 kg/m ²

- **Beban hidup sesuai SNI 1726-2013 :**

Beban hidup lantai	= 192 kg/m ²
--------------------	-------------------------

- **Beban Ultimate**

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (694,4 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (192 \text{ kg/m}^2) \\
 &= \mathbf{1140,48 \text{ kg/m}^2}
 \end{aligned}$$

4.3.1.2 Perhitungan Penulangan Plat Lantai

a. Data perencanaan :

Tipe plat	= S3
As plat	= E-E' (5'-6)
Mutu beton (fc')	= 25 MPa
Mutu baja (fy)	= 400 MPa
Mutu baja (fyv)	= 400 MPa
Selimit beton	= 20 mm
[SNI 2847-2013 Pasal 7.7]	
D tulangan lentur	= 10 mm
Ø tulangan susut	= 8 mm
Bentang plat sumbu panjang (Ly)	= 400 cm
Bentang plat sumbu pendek (Lx)	= 384 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang plat :

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{400}{384} = 1,04 < 2 \quad (\text{Two Ways Slab})$$

b. Momen terjadi

Koefisien momen untuk plat lantai tipe S3 400x384 adalah :

$$\text{Nilai } C_{lx} = 21$$

$$\text{Nilai } C_{ly} = 21$$

$$\text{Nilai } C_{tx} = 52$$

$$\text{Nilai } C_{ty} = 52$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 1140,48 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,84 \text{ m})^2 \cdot 21 \\ &= 353,16 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 1140,48 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,84 \text{ m})^2 \cdot 21 \\ &= 353,16 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 1140,48 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,84 \text{ m})^2 \cdot 52 \\ &= 874,49 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 1140,48 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,84 \text{ m})^2 \cdot 52 \\ &= 874,49 \text{ kgm} \end{aligned}$$

c. Tebal manfaat plat

$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{plat}} - t_{\text{decking}} - (\frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{rencana}}) \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t_{\text{plat}} - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{rencana}} - (\frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{rencana}}) \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

e. Perhitungan Tulangan

Tulangan lapangan arah X

$$M_{lx} = 353,16 \text{ kgm} = 3531583 \text{ Mmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{3531583}{0,9} = 3923981 \text{ Mmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{3923981}{1000 \cdot 95^2} = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (18,82) \cdot (0,43)}{400}} \right]$$

$$= 0,0011$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 > 0,0011 < 0,0203 \quad \text{(Tidak OK)}$$

Maka digunakan $\rho = \rho_{\min} = 0,0035$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 95$$

$$= 332,50 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Dicoba dengan tulangan $D = 10 \text{ mm}$

$$S = \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{332,50}$$

$$= 236,21 \text{ mm}$$

$$S = 236,21 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

Untuk mempermudah pelaksanaan maka :

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai D10 – 200

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{200} \\
 &= 392,70 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat: } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\
 392,7 \text{ mm}^2 &> 332,5 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan arah Y

$$Mly = 353,16 \text{ kgm} = 3531583 \text{ Mmm}$$

$$Mn = \frac{Mlx}{\phi} = \frac{3531583}{0,9} = 3923981 \text{ Mmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{3923981}{1000 \cdot 85^2} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (18,82) \cdot (0,54)}{400}} \right] \\
 &= 0,0014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat: } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &> 0,0014 < 0,0203 \quad \text{(Tidak OK)}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho = \rho_{\min} = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 85 \\
 &= 297,50 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Dicoba dengan tulangan $D = 10 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\
 &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{297,50} \\
 &= 264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 264 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \text{(Tidak OK)}$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai D10 – 200

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{200} \\ &= 392,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 &> 297,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan arah X

$$M_{ly} = 874,49 \text{ kgm} = 8744872 \text{ Mmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{8744872}{0,9} = 9716525 \text{ Mmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{9716525}{1000 \cdot 95^2} = 1,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (18,82) \cdot (0,43)}{400}} \right] \\ &= 0,0028 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &> 0,0028 < 0,0203 \quad (\text{Tidak OK}) \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho = \rho_{\min} = 0,0035$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 332,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Dicoba dengan tulangan $D = 10 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{332,50} \\ &= 236,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 236,21 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Untuk mempermudah pelaksanaan maka :

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai D10 – 200

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{200} \\ &= 392,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 &> 332,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan arah Y

$$Mly = 874,49 \text{ kgm} = 8744872 \text{ Mmm}$$

$$Mn = \frac{Mlx}{\phi} = \frac{8744872}{0,9} = 9716525 \text{ Mmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{9716525}{1000 \cdot 85^2} = 1,34 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (18,82) \cdot (0,43)}{400}} \right] \\ &= 0,00348 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &> 0,0034 < 0,0203 \quad (\text{Tidak OK}) \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho = \rho_{\min} = 0,0035$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 297,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2(120 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Dicoba dengan tulangan D = 10 mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{297,50} \\ &= 264 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 264 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad (\text{Tidak OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai D10 – 200

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{200} \\ &= 392,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\ 392,7 \text{ mm}^2 &> 332,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Tulangan Susut

Menurut *SNI 2847-2013 Pasa 9.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0,018

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal plat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 5h$ atau 450 mm

$$S_{\text{maks}} = 5(120 \text{ mm}) = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\phi = 8$ mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (8)^2 (1000)}{216} \\ &= 232,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 232,71 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 200$ mm

Tulangan yang dipakai $\phi 8 - 200$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (8)^2 (1000)}{200} \\ &= 251 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\ 251 \text{ mm}^2 &> 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang l_x maupun l_y .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpu ke arah lapangan plat, masing-masing sebesar : $0,25ln$, yaitu

- Ke arah bentang panjang = $0,25 \times (400 - 0,5(40+30)) = 91,25 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek = $0,25 \times (384 - 0,5(40+30)) = 87,25 \text{ cm}$

Cek Jarak Tulangan terhadap Kontrol Retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4*.

Syarat: $s = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$ dan tidak melebihi

$$s_{\max} = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

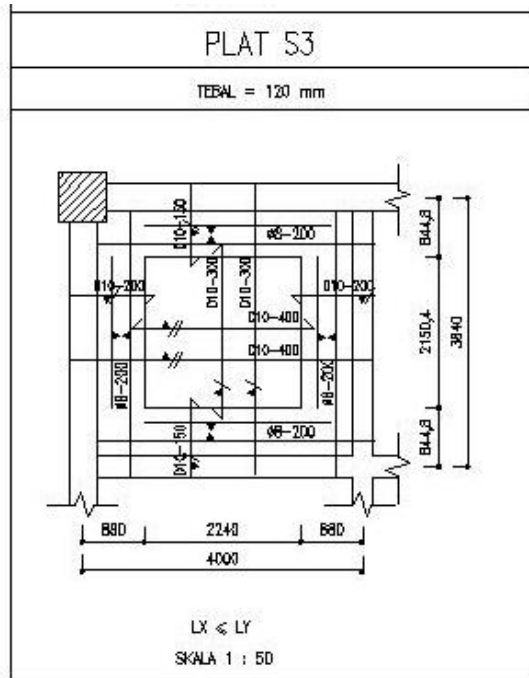
$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} 400 \text{ MPa} = 266,67 \text{ MPa}$$

Dengan c_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, sehingga $c_c = 20 \text{ mm}$

$$\text{Sehingga : } s = 300 \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5 \cdot 20 = 265 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 300 \left(\frac{280}{266,67} \right) = 315 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan dipakai = $200 \text{ mm} < 265 \text{ mm}$ (**OK**)

Gambar Detail Penulangan**Gambar 4. 17 Tampak Atas Penulangan Plat S3**

4.3.2 Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakkannya.

Dalam perencanaan ini, tangga diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi-sendi, sendi-jepit, sendi-rol.

Tangga pada gedung Apartemen “X” Surabaya ini akan dimodelkan sebagai frame statik tak tentu (penyelesaian dengan cara cross) dengan kondisi perletakan berupa sendi (diletakkan pada ujung bordes) dan jepit (diletakkan pada ujung sloof atau balok induk)

Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 As B’-C (2-2’). Adapun data-data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut :

- Data-data perencanaan

Tipe tangga	= Tipe 1
Panjang datar tangga	= 3550 mm
Tinggi tangga	= 3200 mm
Tinggi plat bordes	= 1600 mm
Tebal plat tangga	= 220 mm
Tebal plat bordes	= 150 mm
Lebar injakan	= 30 mm
Tinggi tanjakan	= 176 mm
Lebar tangga	= 2600 mm
Lebar bordes	= 1150 mm

4.3.2.1 Pembebanan Tangga

❖ Plat tangga dan anak tangga

- Beban mati (DL) sesuai *SNI 1727-2013* :

Berat plat + anak tangga	= 528 kg/m ²
Berat keramik	= 15 kg/m ²
Berat spesi	= 12 kg/m ²
Berat pegangan	= 30 kg/m ² +
	<u> = 585 kg/m²</u>

- Beban hidup (LL) sesuai *SNI 1727-2013* :
 Beban hidup tangga = 479 kg/m^2
- Beban ultimate

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (585 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1468,40 \text{ kg/m}^2$$
- Beban merata

$$Q_{\text{tangga}} = U \times \text{lebar tangga}$$

$$= 1468,40 \text{ kg/m}^2 \times 2,60 \text{ m}$$

$$= 3817,84 \text{ kg/m}$$
- Beban datar

$$Q_{\text{tangga datar}} = \frac{Q_{\text{tangga}}}{\cos \alpha}$$

$$= \frac{3817,84 \text{ kg/m}}{\frac{2,4 \text{ m}}{2,88 \text{ m}}}$$

$$= 4588,47 \text{ kg/m}$$

❖ Plat bordes

- Beban mati (DL) sesuai *SNI 1727-2013* :
 Berat plat = 360 kg/m^2
 Berat keramik = 15 kg/m^2
 Berat spesi = $\frac{12 \text{ kg/m}^2}{+}$

$$= 387 \text{ kg/m}^2$$
- Beban hidup (LL) sesuai *SNI 1727-2013* :
 Beban hidup bordes = 479 kg/m^2
- Beban ultimate

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (387 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1230,80 \text{ kg/m}^2$$
- Beban merata

$$Q_{\text{bordes}} = U \times \text{lebar tangga}$$

$$= 1230,80 \text{ kg/m}^2 \times 2,60 \text{ m}$$

$$= 3200,08 \text{ kg/m}$$

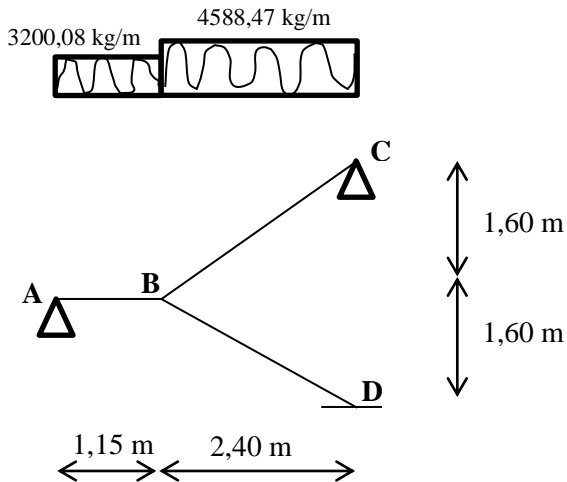
4.3.2.2 Penulangan Plat Tangga

Dalam contoh perhitungan penulangan plat ini, tipe tangga yang digunakan adalah tangga penghubung lantai 1 dengan lantai 2. Adapun data-data, gambar denah tipe plat dan perhitungan penulangan plat tangga adalah sebagai berikut :

Adapun data perencanaan sebagai berikut :

Tipe plat	= Tangga Tipe 1
As plat	= B'-C (2-2')
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
β	= 0,85
Tebal plat	= 220 mm
Tebal selimut beton	= 20 mm
Diameter tulangan lentur	= 13 mm
Diameter tulangan susut	= 10 mm
BJ beton	= 2400 kg/m ³
ϕ	= 0,9

Mekanika tangga



$$\text{Panjang miring tangga} = \sqrt{2,4^2 + 1,6^2} = 2,88 \text{ m}$$

Penyelesaian cross

$$\begin{aligned} \mu_{BA} : \mu_{BC} : \mu_{BD} &= \frac{3EI}{1,15} : \frac{3EI}{2,4} : \frac{4EI}{2,4} \\ &= 2,61EI : 1,25EI : 1,67EI \end{aligned}$$

$$\mu_{BA} = \frac{2,61EI}{2,61EI + 1,25EI + 1,67EI} = 0,47$$

$$\mu_{BC} = \frac{1,25EI}{2,61EI + 1,25EI + 1,67EI} = 0,23$$

$$\mu_{BD} = \frac{1,67EI}{2,61EI + 1,25EI + 1,67EI} = 0,30$$

$$\text{Kontrol : } \mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BD} = 1 \text{ (OK)}$$

Momen Primair





$$\text{MF BA} = -1/8 \cdot 3200,08 \cdot 1,15^2 = -529,01 \text{ kgm}$$

$$\text{MF BC} = +1/8 \cdot 4588,47 \cdot 2,4^2 = +3303,70 \text{ kgm}$$

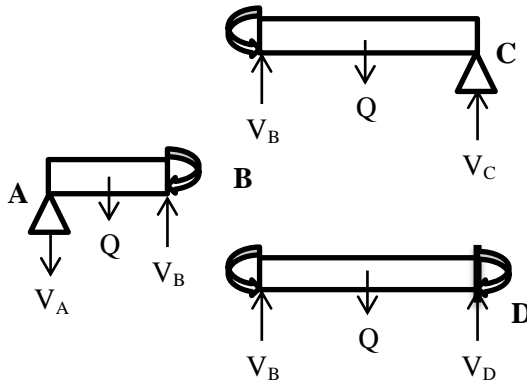
$$\text{MF BD} = +1/12 \cdot 4588,47 \cdot 2,4^2 = +2202,47 \text{ kgm}$$

$$\text{MF DB} = -\text{MF BD} = -2202,47 \text{ kgm}$$

Tabel Cross

Titik	B			D
	BA	BC	BD	DB
FD	-0,47	-0,23	-0,30	0
MF	-529,01	3303,70	2202,47	-2202,47
MD	-2349,87	-1125,98	-1501,31	0
MI	0	0	0	-750,65
MD	0	0	0	0
M akhir	-2878,88	2177,72	701,16	-2953,12
Gambar Momen				

Free Body Diagram



Batang AB

$$\begin{aligned} \Sigma M_A = 0 & \quad \text{misal } V_B \uparrow \\ - V_B \cdot L + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{BA} = 0 \\ - V_B \cdot 1,15\text{m} - \frac{1}{2} \cdot 3200,08\text{kg/m} \cdot (1,15\text{m})^2 + 2878,88\text{kgm} = 0 \\ V_B & = 4343,42 \text{ kg } \uparrow \\ V_A & = 663,33 \text{ kg } \downarrow \end{aligned}$$

Batang BC

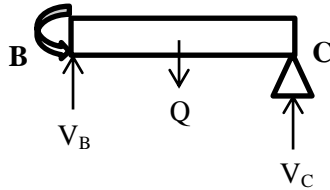
$$\begin{aligned} \Sigma M_C = 0 & \quad \text{misal } V_B \uparrow \\ V_B \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - M_{BC} = 0 \\ V_B \cdot 2,40\text{m} - \frac{1}{2} \cdot 4588,47 \text{ kg/m} \cdot (2,40\text{m})^2 - 2177,72\text{kgm} = 0 \\ V_C & = 6413,55 \text{ kg } \uparrow \\ V_B & = 4598,78 \text{ kg } \uparrow \end{aligned}$$

Batang BD

$$\begin{aligned} \Sigma M_D = 0 & \quad \text{misal } V_B \uparrow \\ V_B \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{DB} - M_{BD} = 0 \\ V_B \cdot 2,40\text{m} + \frac{1}{2} \cdot 4588,47 \text{ kg/m} \cdot (2,40\text{m})^2 + 2953,12\text{kgm} - \\ 701,16\text{kgm} = 0 \\ V_B & = 4567,85 \text{ kg } \uparrow \\ V_D & = 6444,48 \text{ kg } \uparrow \end{aligned}$$

Mencari M max

Batang BC



Dx = 0 (titik C dianggap 0)

$$- V_C + q \cdot X = 0$$

$$- 4598,78 \text{ kg} - 4588,47 \text{ kg/m} \cdot X = 0$$

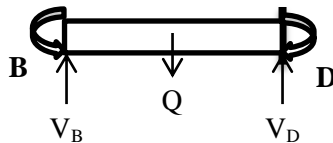
X = 1,00 m (dari titik C)

$$M_{\max} = V_C \cdot X - \frac{1}{2} q \cdot X^2$$

$$= 4598,78 \text{ kg} (1,00 \text{ m}) - \frac{1}{2} 4588,47 \text{ kg/m} (1,00 \text{ m})^2$$

$$= 2304,56 \text{ kgm}$$

Batang BD



Dx = 0 (titik D dianggap 0)

$$- V_D + q \cdot X = 0$$

$$- 6444,48 \text{ kg} - 4588,47 \text{ kg/m} \cdot X = 0$$

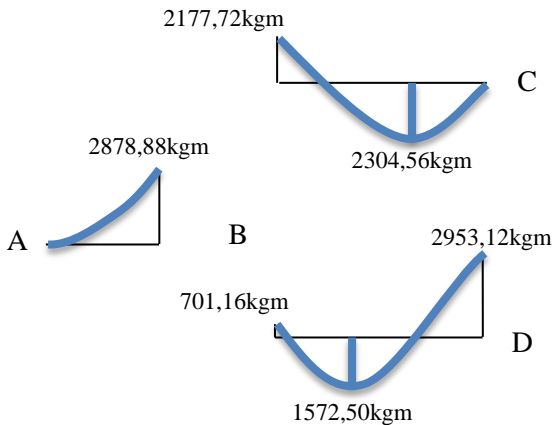
X = 1,40 m (dari titik D)

$$M_{\max} = V_D \cdot X - \frac{1}{2} q \cdot X^2 - M_{DB}$$

$$= 6444,48 \text{ kg} (1,4 \text{ m}) - \frac{1}{2} 4588,47 \text{ kg/m} (1,4 \text{ m})^2 - 2953,12 \text{ kgm}$$

$$= 1572,50 \text{ kgm}$$

Diagram Momen



Jadi, Momen tumpuan B = 2878,88 kgm
 Momen tumpuan D = 2953,12 kgm
 Momen max tangga BC = 2304,56 kgm
 Momen max tangga BD = 1572,50 kgm
 Maka, Momen tangga = 2953,12 kgm
 Momen bordes = 2878,88 kgm

Sebagai pembandingan dengan bantuan program SAP didapatkan momen sebesar 3253,68 kgm sehingga untuk perhitungan tulangan memakai momen dari program SAP.

- Tebal manfaat plat tangga

$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{plat}} - t_{\text{decking}} - \left(\frac{1}{2} \cdot \varnothing_{\text{rencana}}\right) \\ &= 220 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}\right) \\ &= 194 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t_{\text{plat}} - t_{\text{decking}} - \varnothing_{\text{rencana}} - \left(\frac{1}{2} \cdot \varnothing_{\text{rencana}}\right) \\ &= 220 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 - \left(\frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}\right) \\ &= 180,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

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

- Perhitungan Tulangan

Tulangan tangga arah Y

$$M_{lx} = 3253,68 \text{ kgm} = 32536800 \text{ Mmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{32536800}{0,9} = 36152000 \text{ Mmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{36152000}{1000 \cdot 180,5^2} = 1,11 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (18,82) \cdot (1,11)}{400}} \right] \\ &= 0,0029 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0029 < 0,0203 \quad \text{(Tidak OK)}$$

$$\text{Maka digunakan } \rho = \rho_{\min} = 0,0035$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 180,5$$

$$= 631,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat spasi antar tulangan : } S_{\text{maks}} \leq 2h$$

$$S_{\text{maks}} = 2(220 \text{ mm}) = 440 \text{ mm}$$

$$\text{Dicoba dengan tulangan } D = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{0,25 \pi \phi^2 b} \\ &= \frac{631,75}{0,25 \pi (13)^2 (1000)} \\ &= 210,10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 210,10 \text{ mm} < 440 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Untuk mempermudah pelaksanaan maka :

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai D13 – 200

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (13)^2 (1000)}{200} \\ &= 663,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\ 663,66 \text{ mm}^2 &> 631,75 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Tulangan tangga arah X

Menurut *SNI 2847-2013 Pasal 9.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0,018

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal plat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 220 \text{ mm} \\ &= 396 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \leq 5h$ atau 450 mm

$$S_{\text{maks}} = 5(220 \text{ mm}) = 1100 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\phi = 10 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{396} \\ &= 198,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 198,33 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai $\phi 10 - 150$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{150} \\ &= 523,60 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } A_{S_{\text{pakai}}} &> A_{S_{\text{perlu}}} \\ 523,60 \text{ mm}^2 &> 396 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.3.2.3 Penulangan Plat Bordes

- Tebal manfaat plat bordes

$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{plat}} - t_{\text{decking}} - \left(\frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{rencana}}\right) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}\right) \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t_{\text{plat}} - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{rencana}} - \left(\frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{rencana}}\right) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 - \left(\frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}\right) \\ &= 110,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta}{f_y}\right) \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

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

- Perhitungan Tulangan

Tulangan tangga arah Y

$$M_{lx} = 2878,88 \text{ kgm} = 28788800 \text{ Mmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{28788800}{0,9} = 31987556 \text{ Mmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{31987556}{1000 \cdot 110,5^2} = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (18,82) \cdot (2,10)}{400}} \right] \\ &= 0,0055 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,0055 < 0,0203 \quad (\mathbf{OK})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0055 \cdot 1000 \cdot 110,5$$

$$= 432,25 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2(150 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

Dicoba dengan tulangan $D = 13 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (13)^2 (1000)}{432,25} \\ &= 307,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 307,07 \text{ m} > 300 \text{ mm} \quad \text{(Tidak OK)}$$

Untuk mempermudah pelaksanaan maka :

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $D13 - 200$

$$\begin{aligned} A_{S_{pakai}} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \pi (13)^2 (1000)}{200} \\ &= 663,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } A_{S_{pakai}} &> A_{S_{perlu}} \\ 663,66 \text{ mm}^2 &> 432,25 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Tulangan tangga arah X

Menurut *SNI 2847-2013 Pasal 9.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0,018

$$\begin{aligned} A_{S_{susut}} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal plat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{maks} \leq 5h$ atau 450 mm

$$S_{maks} = 5(150 \text{ mm}) = 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $D = 10 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,24 \pi \phi^2 b}{A_{S_{perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{270} \\ &= 290,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 290,89 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

Maka digunakan $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai D10 – 150

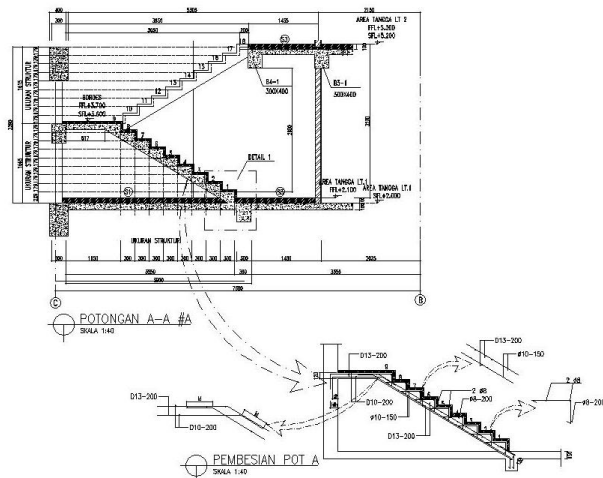
$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{200}$$

$$= 392,70 \text{ mm}^2$$

Syarat : $A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$
 $392,70 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$ (OK)

Gambar Detail Penulangan



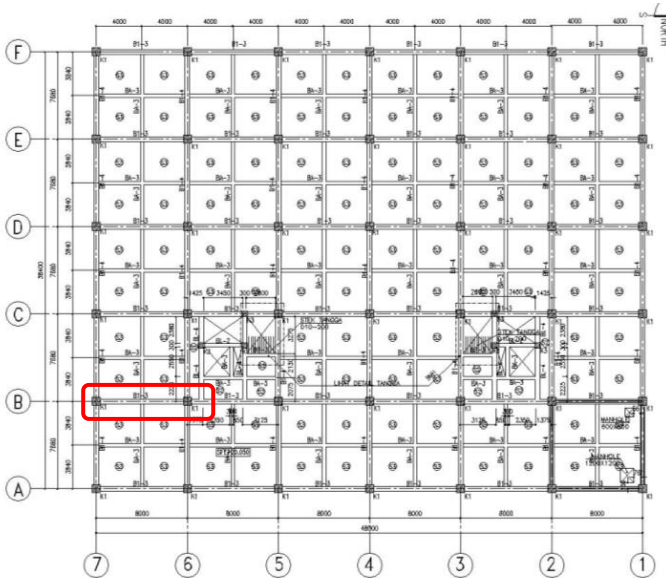
Gambar 4. 18 Detail Tulangan Tangga Tipe 1

4.4 Perhitungan Balok

4.4.1 Perhitungan Balok Induk

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok induk : BI-3 (40/70) As B (6-7) elevasi ± 5.20 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 19 Denah Struktur Lantai 2

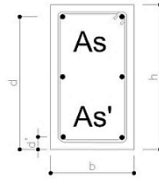
- Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	: BI-3
As balok	: B (6-7)
Bentang balok (L balok)	: 8000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm

Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 5000 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 750 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 750 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \text{Ø sengkang} - \left(\frac{1}{2} \text{Ø tul. lentur} \right) \\
 &= 700 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \cdot 25 \right) \\
 &= 638 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \text{Ø sengkang} + \left(\frac{1}{2} \text{Ø tul. lentur} \right) \\
 &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \cdot 25 \right) \\
 &= 63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 20 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban vertikal dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa :

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

Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 $U = 1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$
2. $U = 0,9D + 1,0E_x + 0,3E_y$
 $U = 0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan

gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$ adalah kombinasi kritis pada pemodelan.

Hasil Output Diagram Torsi

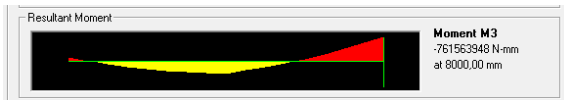


Gambar 4. 21 Diagram Torsi pada Balok

Kombinasi $0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y$

Momen torsi = 26615910,17 Nmm

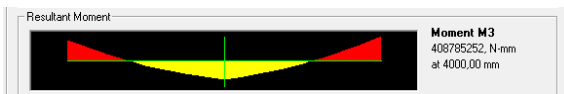
Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 22 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi dan Gempa

Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

Momen tumpuan = 761563948 Nmm



Gambar 4. 23 Diagram Momen (+) pada Lapangan Akibat Gravitasi dan Gempa

Kombinasi $1,2D + 1,6L$

Momen lapangan = 408785252 Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 24 Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2*, V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom.

Gaya geser terfaktor = 363895,11 N

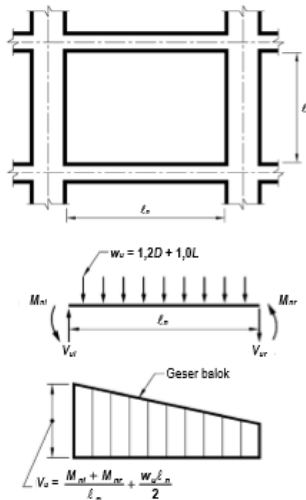
c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan *SNI 2847-2013 pasal 21.3(2)*, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \times 700 \times 25}{10} = 700000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L pada komponen struktur sebesar 371803 N < 700000 N

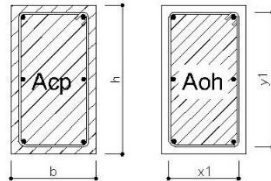
Berdasarkan *SNI 2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)*.



Gambar 4. 25 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Geser, Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/70



Gambar 4. 26 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ &= 280000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 189100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 1840 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi $0,9D + 0,3Ex + 1,0Ey$

$$T_u = 26615910,17 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{26615910,17}{0,75} \\ &= 35487880,23 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 363895,11 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\ &= 11091818,18 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\ &= 4410000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \text{ min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$$T_{u_{\min}} < T_u$$

11091818,18 Nmm < 26615910,17 Nmm → **Memerlukan Tulangan Puntir**

Jadi, penampang balok memerlukan tulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{363895,11}{400 \times 638}\right)^2 + \left(\frac{26615910,17 \times 1840}{1,7 \times 189100}\right)^2} <$$

$$0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 638}{400 \times 638} + 0,66 \sqrt{25}\right)$$

$$1,64 < 3,94 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.7* direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.6* berasal dari persamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 \times A_0 \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Untuk beton non prategang $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_0 &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 189100 \text{ mm}^2 \\ &= 160375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_0 \times f_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{35487880,23}{2 \times 160375 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 0,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka Tulangan Puntir untuk Lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,28 \times 1840 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 507,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3* tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 280000}{400} - 0,28 \times 1840 \times \frac{400}{400} \\ &= 962,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,18 \text{ mm}$$

$$\frac{A_t}{s} > 0,18 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\text{Maka nilai } \frac{A_t}{s} = 0,28 \text{ mm}$$

Kontrol :

$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}}$ maka gunakan $A_{l\text{min}}$

$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}}$ maka gunakan $A_{l\text{perlu}}$

$507,81 \text{ mm}^2 < 962,19 \text{ mm}^2 \rightarrow$ **maka gunakan $A_{l\text{min}}$**

Maka dipakai tul. puntir perlu sebesar $962,19 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{962,19}{4} = 240,55 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tul. tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tul. tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $240,55 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{962,19}{4} = 481,10 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\text{luas D puntir}} \\ &= \frac{481,10}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 2,39 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 4 D16

Luasan Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{luas D puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 804,25 \text{ mm}^2 &> 481,10 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 4 D16

4.4.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Daerah Tumpuan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 638 \\ &= 382,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 382,50 \\ &= 286,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 150 \\ &= 1083750 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{1083750}{400} \\ &= 2709,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_f}{2} \right) \\
 &= 2709,38 \times 400 \times \left(638 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right) \\
 &= 621801562,50 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{u_{tumpuan}} &= 641380477 \text{ Nmm} \\
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{761563948}{0,8} \\
 &= 951954935 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 951954935 \text{ Nmm} - 621801562,50 \text{ Nmm} \\
 &= 330153372,50 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} > 0$

$M_{ns} = 330153372 \text{ Nmm} > 0 \rightarrow$ **maka perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur rangkap

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap**

$$\begin{aligned}
 C_s' = T_2 &= \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')} \\
 &= \frac{330153372,50}{(638 - 63)} \\
 &= 574179,78 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \\
 &= \left(1 - \frac{63}{150}\right) 600 \\
 &= 350 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$F_s' \leq f_y \rightarrow$ tulangan tekan leleh ($f_s' = f_y$)

$F_s' \geq f_y \rightarrow$ tulangan tekan tidak leleh ($f_s' = f_s'$)

$350 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \rightarrow$ **tulangan tekan tidak leleh**
($f_s' = f_s'$)

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85f_c'} \\
 &= \frac{574179,78}{350 - 0,85 \times 25} \\
 &= 1746,55 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ss} &= \frac{T_2}{f_y} \\
 &= \frac{574179,78}{400} \\
 &= 1435,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga :

Luas Perlu (A_s perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{sc} + A_{ss} + \frac{A_l}{4} \\
 &= 2709,38 \text{ mm}^2 + 1435,45 \text{ mm}^2 + 240,55 \text{ mm}^2 \\
 &= 4385,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\
 &= \frac{4385,37}{0,25 \pi 25^2} \\
 &= 8,93 \approx 10 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 10 D25

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 10 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 4908,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 4908,74 \text{ mm}^2 &> 4385,37 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned} \text{As}' &= A'_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 1746,55 \text{ mm}^2 + 240,55 \text{ mm}^2 \\ &= 1987,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As' perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\ &= \frac{1987,10}{0,25 \pi 25^2} \\ &= 4,05 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 5 D25

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &> \text{As' perlu} \\ 2454,37 \text{ mm}^2 &> 1987,10 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned} S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (10 \times 25)}{10 - 1} \\ &= 5,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$5,60 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\text{maks}} \leq 40 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1

$$\begin{aligned} S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1} \\ &= 43,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$43,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2

$$\begin{aligned} S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1} \\ &= 43,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$43,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned} S \text{ tekan} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1} \\ &= 43,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$43,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 10 \times 0,25 \pi 25^2 \\ &= 4908,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \pi 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$2454,37 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (4908,74 \text{ mm}^2)$$

$$2454,37 \text{ mm}^2 > 1636,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } 10 \text{ D}25 = 4908,74 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 5 \text{ D}25 = 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{4908,74 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right) \\ &= 231 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 4908,74 \times 400 \left(638 - \frac{231}{2} \right) \\
 &= 1024945134 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 M_{n \text{ pasang}} &> M_{n \text{ perlu}} \\
 1024945134 \text{ Nmm} &> 951954935 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BI-3 (40/70) As B (6–7) untuk daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 10 D25 dan tulangan tekan 5 D25 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis
 - Lapis 1 = 5 D25
 - Lapis 2 = 5 D25
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
 - Lapis 1 = 5 D25

Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \\
 &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 638 \\
 &= 382,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 382,50 \\
 &= 286,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 150 \\ &= 1083750 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{1083750}{400} \\ &= 2709,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right) \\ &= 2709,38 \times 400 \times \left(638 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right) \\ &= 621801562,50 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{tumpuan}}} &= 416953876 \text{ Nmm} \\ M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{408785252}{0,8} \\ &= 510981565 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 510981565 \text{ Nmm} - 621801562,50 \text{ Nmm} \\ &= -110819998,50 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} > 0$$

$M_{ns} = -110819998,50 \text{ Nmm} < 0 \rightarrow$ **maka tidak perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0271 = 0,0203$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{408785252}{0,8} = 510981565 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{510981565}{400 \times 638^2} = 3,14 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 3,14}{400}} \right) \\ &= 0,0085 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0085 < 0,0203$ **(OK)**

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0085 \times 400 \times 638 \\ &= 2179,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang Ditambahkan pada Tulangan Lentur Tarik, Maka Luasan Bertambah Besar

$$A_t = 240,10 \text{ mm}^2$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik + Luasan Tulangan Puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_t \\ &= 2179,11 \text{ mm}^2 + 240,55 \text{ mm}^2 \\ &= 2419,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s' \text{ perlu}}{\text{luas an D lentur}} \\ &= \frac{2419,66}{0,25 \pi 25^2} \\ &= 4,93 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 5 D25

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas an D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 2454,37 \text{ mm}^2 &> 2419,66 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1* luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3A_s \\ &= 0,3 \times 2454,37 \text{ mm}^2 \\ &= 736,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s' \text{ perlu}}{\text{luas an D lentur}} \\ &= \frac{736,31}{0,25 \pi 25^2} \\ &= 1,50 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D25

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 981,75 \text{ mm}^2 &> 736,31 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned} S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1} \\ &= 43,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \\ 43,8 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned} S \text{ tekan} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1} \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \\ 250 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan

penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3} \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \pi 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (2454,37 \text{ mm}^2)$$

$$981,75 \text{ mm}^2 > 818,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 5 D25} = 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D25} = 981,75 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right) \\ &= 115,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,37 \times 400 \left(638 - \frac{115,50}{2} \right) \\ &= 569168364,12 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_{n \text{ pasang}} > M_{n \text{ perlu}}$$

$$569168364 \text{ Nmm} > 510981565 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BI-3 (40/70) As B (6-7) untuk daerah lapangan dipakai tulangan tarik 5 D25 dan tulangan tekan 2 D25 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5 D25
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D25

Kontrol Lentutan

Pengecekan lentutan pada balok dilakukan berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(b).

$$\begin{aligned} \text{Batas lentutan} &= \frac{l}{\frac{240}{8000}} \\ &= \frac{240}{8000} \\ &= 33,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan besarnya lentutan yang terjadi :

$$d = 638 \text{ mm}$$

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

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23500} = 8,51$$

$$I_g = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 = 1,14 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{25} = 3,1 \text{ MPa}$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{700}{2} = 350 \text{ mm}$$

Tumpuan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)2454,37}{8,51 \times 4908,74} = 0,44$$

$$k_d = \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{400} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 638 \times 400 \left(1 + 0,44 \frac{63}{638}\right) + (1 + 0,44)^2} \right) - \right. \\
 &\quad \left. (1 + 0,44) \right\} \\
 &= 1,82
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari Icr dan Mcr. Nilai dari Icr dan Mcr didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3\right) + (n \cdot A_s \cdot (d - kd)^2) + \\
 &\quad ((n - 1)A_s' \cdot (kd - d')^2) \\
 &= \left(\frac{1}{3} 400 \times 1,82^3\right) + (8,51 \times 4908,74(638 - \\
 &\quad 1,82)^2) + ((8,51 - 1) \times 2454,37 \times \\
 &\quad (1,82 - 63)^2) \\
 &= 1,69 \times 10^{10}
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 1,14 \times 10^{10}}{350} = 1,01 \times 10^8$$

Nilai Icr yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari Ig.

Menghitung Momen Inersia Efektif (Ie)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia Ie perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai Ie, dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{1,01 \times 10^8}{1024945134} = 0,10 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari

Ie tumpuan

$$= \left(\frac{1,01 \times 10^8}{1024945134} \right)^3 1,14 \times 10^{10} + \left\{ 1 - \left(\frac{1,01 \times 10^8}{1024945134} \right)^3 \right\} 1,70 \times 10^{10}$$

$$= 1,69 \times 10^{10}$$

Lapangan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)981,75}{8,51 \times 2454,37} = 0,35$$

$$kd = \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\}$$

$$= \frac{1}{400} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 638 \times 400 \left(1 + 0,35 \frac{63}{638} \right) + (1 + 0,35)^2} \right) - (1 + 0,35) \right\}$$

$$= 1,81$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I_{cr} dan M_{cr} . Nilai dari I_{cr} dan M_{cr} didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{cr} = \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3 \right) + (n \cdot As \cdot (d - kd)^2) +$$

$$\left((n - 1) As' \cdot (kd - d')^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{3} 400 \times 1,81^3 \right) + (8,51 \times 2454,37 (638 -$$

$$1,81)^2) + ((8,51 - 1) \times 981,75 \times$$

$$(1,81 - 63)^2)$$

$$= 0,85 \times 10^{10}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 1,14 \times 10^{10}}{350} = 1,01 \times 10^8$$

Nilai I_{cr} yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I_g .

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{1,01 \times 10^8}{569168364} = 0,18 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari

I_e lapangan

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{1,01 \times 10^8}{569168364}\right)^3 1,14 \times 10^{10} + \left\{1 - \left(\frac{1,01 \times 10^8}{569168364}\right)^3\right\} 0,85 \times 10^{10} \\ &= 0,85 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Nilai I_e yang dipakai dalam perhitungan lendutan besarnya merupakan kombinasi dari 0,7 I_e lapangan + 0,15 I_e tumpuan kiri + 0,15 I_e tumpuan kanan. Namun karena besarnya I_e tumpuan kanan sama besarnya I_e tumpuan kiri maka diambil nilai 0,7 I_e lapangan + 0,3 I_e tumpuan.

I_e rata-rata = 0,7 I_e lapangan + 0,3 I_e tumpuan

$$= 0,7 (0,85 \times 10^{10}) + 0,3 (1,69 \times 10^{10})$$

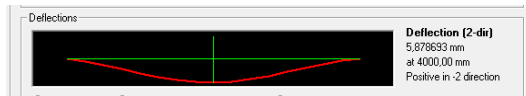
$$= 1,10 \times 10^{10}$$

Nilai dari lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}\Delta_i &= \frac{5}{48} k \frac{Ma \cdot L^2}{Ec \cdot I_{rata-rata}} \\ &= \frac{5}{48} \times 1 \times \frac{569168364 \times 8000^2}{23500 \times 1,10 \times 10^{10}} \\ &= 14,65 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
14,65 mm < 33,33 mm **(OK)**

Lendutan yang terjadi dari analisa program SAP 2000



Gambar 4. 27 Diagram Defleksi pada Balok

Lendutan terjadi = 5,88 mm

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
5,88 mm < 33,33 mm **(OK)**

4.4.1.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	= BI-3
Dimensi balok (b balok)	= 400 mm
Dimensi balok (h balok)	= 700 mm
Kuat tekan beton (fc')	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	= 400 MPa
Diameter tulangan geser (Ø geser)	= 10 mm
β1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (φ)	= 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BI-3 (40/70) As B (6-7), didapat :

Momen Nominal Kanan dan Kiri

Momen nominal kanan dan kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik 10 D25} = 4908,74 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 5 D25} = 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{4908,74 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right) \\ &= 231 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 4908,74 \times 400 \left(638 - \frac{231}{2} \right) \\ &= 1024945134 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L dari analisa SAP 2000 didapatkan :

$$\text{Gaya geser terfaktor } V_u = 363895,11 \text{ N}$$

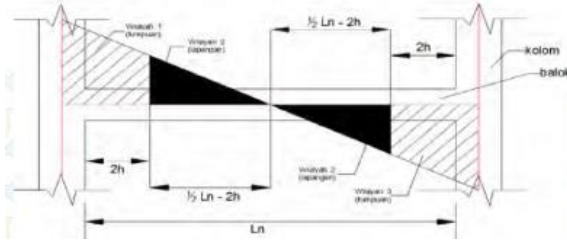
Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi menjadi 3 wilayah, yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3]

- *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.



Gambar 4. 28 Pembagian Wilayah Geser pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 2847-2013]

$$\sqrt{f'_c} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} < 8,33$$

$$5 < 8,33 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 638 \\ &= 216750 \text{ N} \end{aligned}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s,\min} &= 0,33 b d \\ &= 0,33 \times 400 \times 638 \\ &= 84150 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,\max} &= 0,33 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 638 \\ &= 420750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s,\max} &= 0,66 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 638 \\ &= 841500 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3]

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u \\ &= \frac{1024945134 + 1024945134}{(8000 - 400 - 400)} + 363895,11 \\ &= 644702 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$644702 \text{ N} > 81281,25 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$81281,25 \text{ N} < 644702 \text{ N} > 162562,50 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$162562,50 \text{ N} < 644702 \text{ N} > 225675 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

225675 N < 644702 N > 478125 N \rightarrow **Tidak Memenuhi**

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,\max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

478125 N < 644702 N < 793688 N \rightarrow **Memenuhi**

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 5**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\phi V_{s_{\text{perlu}}} = V_u + \phi V_c$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{644702 - 0,75 \times 216750}{0,75} \\ &= 642852,66 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 4 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 4 \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{314,16 \times 400 \times 638}{642852,66} \\ &= 124,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 5**

$$S_{\max} < \frac{d}{4} \quad \text{atau} \quad S_{\max} < 600$$

$$100 < \frac{638}{4} \quad \text{atau} \quad 100 < 600$$

$$100 \text{ mm} < 159,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-100mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

- $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$
 $100 \text{ mm} < \frac{638 \text{ mm}}{4}$
 $100 \text{ mm} < 159,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 8D_{\text{lentur}}$
 $100 \text{ mm} < 8(25 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 24D_{\text{sengkang}}$
 $100 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BI-3 (40/70) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang D10-100 mm dengan sengkang 4 kaki.

2. *Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)*

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ell_n - 2h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \ell_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \left(\frac{1}{2} \ell_n - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ell_n} \\ &= \frac{644702 \left(\frac{1}{2} (8000 - 400 - 400) - 2(700) \right)}{\frac{1}{2} (8000 - 400 - 400)} \\ &= 395713,64 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$322520,25 \text{ N} > 395713,64 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$81281,25 \text{ N} < 395713,64 \text{ N} > 162562,50 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$162562,50 \text{ N} < 395713,64 \text{ N} > 225675 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

225675 N < 395713,64 N < 478125 → **Memenuhi**

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,max})$ → Tulangan Geser

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\begin{aligned}\phi V_{s,perlu} &= V_u + \phi V_c \\ V_{s,perlu} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{395713,64 - 0,75 \times 216750}{0,75} \\ &= 310868,19 \text{ N}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s,perlu}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 638}{310868,19} \\ &= 128,95 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 4**

$$\begin{aligned}S_{max} &< \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{max} < 600 \\ 150 &< \frac{638}{2} \quad \text{atau} \quad 150 < 600 \\ 150 \text{ mm} &< 319 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-100mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

- $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $150 \text{ mm} < \frac{638 \text{ mm}}{4}$
 $150 \text{ mm} < 159,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 8D_{lentur}$
 $150 \text{ mm} < 8(25 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 24D_{sengkang}$
 $150 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BI-3 (40/70) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang D10-100 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.4.1.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan.

Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12*.

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*. Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. [*SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1*]

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

[*SNI 2847-2013 Tabel pada Pasal 12.2*]

Dimana :

- λd = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
- d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai
- Ψ_t = faktor lokasi penulangan
- Ψ_e = faktor pelapis
- λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \times \sqrt{25}} \right] 25 \\ &= 1764,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$
1764,71 mm > 300 mm → **Memenuhi**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

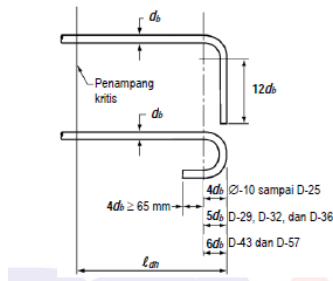
$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{pasang}}}} \lambda d \\ &= \frac{4385,37}{4908,74} \times 1764,71 \\ &= 1576,55 \text{ mm} \approx 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1600 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5*. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[*SNI 2837-2013 Pasal 12.5.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2* Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 29 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \times 25 \\ &= 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$
480 mm > 150 mm → **Memenuhi**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Spasang}}} \lambda_{\text{dh}} \\ &= \frac{4385,37}{4908,74} \times 480 \\ &= 429 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 500 mm.

Panjang kait

$$12d_b = 12(25) = 300 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3*.
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[*SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2* Panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{dc}} &= \frac{0,24f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b & \lambda_{\text{dc}} &= (0,043f_y)d_b \\ \lambda_{\text{dc}} &= \frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{25}} \times 25 & \lambda_{\text{dc}} &= (0,043 \times 400)25 \\ \lambda_{\text{dc}} &= 480 \text{ mm} & \lambda_{\text{dc}} &= 430 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, diambil 480 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

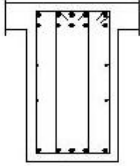
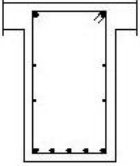
$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Spasang}}} \lambda_{\text{d}} \\ &= \frac{736,31}{981,75} \times 480 \\ &= 360 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka diambil minimum 400 mm

Panjang kait

$$4d_b + 4d_b = 4(25) + 4(25) = 200 \text{ mm}$$

Gambar Detail Penulangan

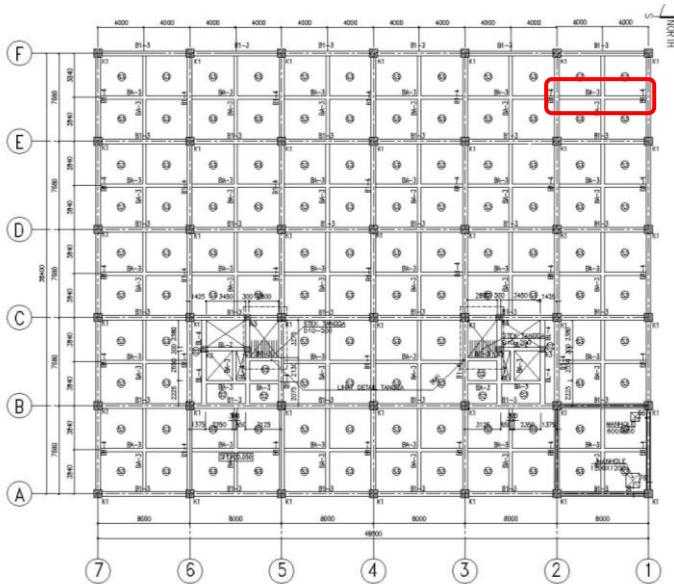
TIPE TIE BEAM	BI-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	400 x 700	400 x 700
TJULANGAN ATAS	10 D25	2 D25
TJULANGAN SAMPING	4 D16	4 D16
TJULANGAN BAWAH	5 D25	5 D25
SENGKANG	D10-100	D10-100

Gambar 4. 30 Detail Penulangan Balok BI-3

4.4.2 Perhitungan Balok Anak

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok anak : BA-2 (30/40) As E' (1-2) elevasi ± 5.20 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 31 Denah Struktur Lantai 2

- Data-data perencanaan tulangan balok :

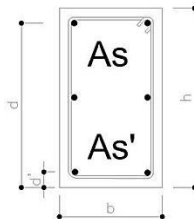
Tipe balok	: BA-2
As balok	: E' (1-2)
Bentang balok (L balok)	: 4000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{\textcircled{Ø}} \text{ sengkang} - \left(\frac{1}{2} \text{\textcircled{Ø}} \text{ tul. lentur} \right) \\ &= 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \right) \\ &= 341 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \text{\textcircled{Ø}} \text{ sengkang} + \left(\frac{1}{2} \text{\textcircled{Ø}} \text{ tul. lentur} \right) \\ &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \right) \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 32 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban vertikal dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa :

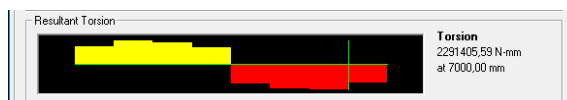
1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
4. $U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L_r \text{ atau } 0,5W)$
5. $U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
6. $U = 0,9D + 1,0W$

Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 $U = 1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$
2. $U = 0,9D + 1,0E_x + 0,3E_y$
 $U = 0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,5R$ adalah kombinasi kritis pada pemodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 33 Diagram Torsi pada Balok

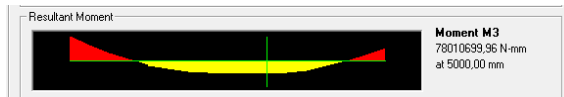
$$\frac{\text{Kombinasi } 1,2D + 0,3Ex + 1,0Ey + 1,0L}{\text{Momen torsi}} = 2291405,59 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 34 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi

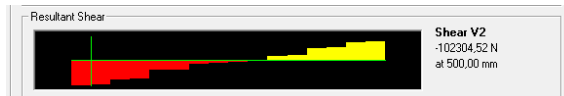
$$\frac{\text{Kombinasi } 1,2D + 1,6L + 0,5R}{\text{Momen tumpuan}} = 156476964 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 35 Diagram Momen (+) pada Lapangan Akibat Gravitasi dan Gempa

$$\frac{\text{Kombinasi } 1,2D + 1,6L + 0,5R}{\text{Momen lapangan}} = 78010699,96 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 36 Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2*, V_u diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 cm dari as kolom.

$$\text{Gaya geser terfaktor} = 102304,52 \text{ N}$$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

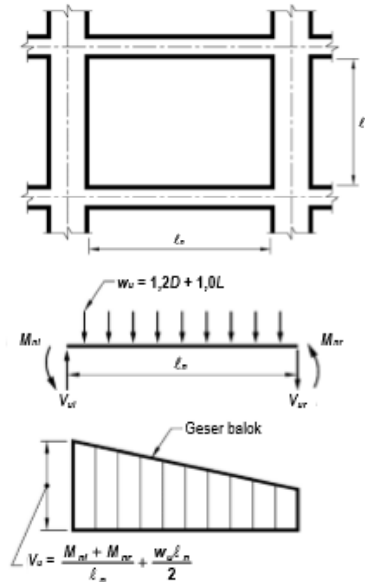
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan *SNI 2847-2013 pasal 21.3(2)*, bila

beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \times 400 \times 25}{10} = 300000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4D pada komponen struktur sebesar $105693,7 \text{ N} < 300000 \text{ N}$

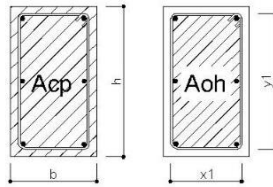
Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 37 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Geser, Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 38 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 120000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 65100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 1040 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi $1,2D + 0,3Ex + 1,0Ey + 1,0L$

$$T_u = 2291405,59 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{2291405,59}{0,75} \\ &= 3055207,45 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 102304,52 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{120000^2}{1400} \right) \\ &= 3201428,57 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{120000^2}{1400} \right) \\ &= 1272857,14 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \text{ min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$$T_{u \text{ min}} > T_u$$

$3201428,57 \text{ Nmm} > 2291405,59 \text{ Nmm} \rightarrow$ **Tidak Memerlukan Tulangan Puntir**

Jadi, penampang balok tidak memerlukan tulangan puntir.

4.4.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Daerah Tumpuan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 341 \\ &= 204,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 204,30 \\ &= 153,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 60 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{541875}{400} \\ &= 1354,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_f}{2} \right) \\
 &= 1354,69 \times 400 \times \left(341 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 161478750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 156476964 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{156476964}{0,8} \\
 &= 195596205 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 195596205 \text{ Nmm} - 161478750 \text{ Nmm} \\
 &= 34117455 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} > 0$

$M_{ns} = 34117455 \text{ Nmm} > 0 \rightarrow$ **maka perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur rangkap

➤ Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap

$$\begin{aligned}
 C_s' = T_2 &= \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')} \\
 &= \frac{34117455}{(341 - 60)} \\
 &= 121414,43 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \\
 &= \left(1 - \frac{60}{100}\right) 600 \\
 &= 243 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$f_s' \leq f_y \rightarrow \text{leleh (} f_s' = f_y \text{)}$$

$$f_s' \geq f_y \rightarrow \text{tidak leleh (} f_s' = f_s' \text{)}$$

$$243 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \rightarrow \text{tidak leleh (} f_s' = f_s' \text{)}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85f_c'} \\
 &= \frac{121414,43}{243 - 0,85 \times 25} \\
 &= 547,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ss} &= \frac{T_2}{f_y} \\
 &= \frac{121414,43}{400} \\
 &= 303,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga :

Luas Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{sc} + A_{ss} \\
 &= 1354,69 \text{ mm}^2 + 303,54 \text{ mm}^2 \\
 &= 1658,22 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\
 &= \frac{1658,22}{0,25 \pi 19^2} \\
 &= 5,85 \approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 7 D19

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 7 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1984,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1984,70 \text{ mm}^2 &> 1658,22 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

$$\text{As}' = 547,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As}' \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\ &= \frac{547,53}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 1,93 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &> \text{As}' \text{ perlu} \\ 850,59 \text{ mm}^2 &> 547,53 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned} S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (7 \times 19)}{7 - 1} \\ &= 11,20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$11,20 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\text{max}} \leq 40\text{mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1} \\ &= 41,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$41,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 71,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$71,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{2 - 1} \\ &= 71,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$71,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3}$ x M lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 7 \times 0,25 \pi 19^2 \\ &= 1984,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \pi 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (1984,70 \text{ mm}^2)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 > 661,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 7 D19} = 1984,70 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3 D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tultarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1984,70 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\ &= 124,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1984,70 \times 400 \left(341 - \frac{124,53}{2} \right) \\ &= 220885224 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$$

$$220885224\text{Nmm} > 195596205\text{Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BA-2 (30/40) E' (1-2) untuk daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 7 D19 dan tulangan tekan 3 D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis
 - Lapis 1 = 4 D19
 - Lapis 2 = 3 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
 - Lapis 1 = 3 D19

Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 341 \\ &= 204,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 204,30 \\ &= 153,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 60 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\
 &= 541875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\
 &= \frac{541875}{400} \\
 &= 1354,69 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right) \\
 &= 1354,69 \times 400 \times \left(341 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 161478750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{u_{tumpuan}} &= 78010699,96 \text{ Nmm} \\
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{78010699,96}{0,8} \\
 &= 97513374,95 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 97513374,95 \text{ Nmm} - 161478750 \text{ Nmm} \\
 &= -63965375,05 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} > 0$

$M_{ns} = -63965375,05 \text{ Nmm} < 0 \rightarrow$ **maka tidak perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0271 = 0,0203$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{78010699,96}{0,8} = 97513374,95 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{97513374,95}{300 \times 341^2} = 2,80 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 2,80}{400}} \right) \\ &= 0,0075 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0075 < 0,0203$ (OK)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0075 \times 300 \times 341 \\ &= 770,68 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{770,68}{0,25 \pi 19^2} \\
 &= 2,72 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 850,59 \text{ mm}^2 &> 770,68 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1* luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 \text{As}' &= 0,3 \text{As} \\
 &= 0,3 \times 850,59 \text{ mm}^2 \\
 &= 255,18 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As}' \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\
 &= \frac{255,18}{0,25 \pi 19^2} \\
 &= 0,90 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &> 255,18 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 71,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$71,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned} S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$162 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \pi 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (850,59 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 > 283,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 3 D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D19} = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\ &= 53,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,59 \times 400 \left(341 - \frac{53,37}{2} \right) \\ &= 106770665 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_{n \text{ pasang}} > M_{n \text{ perlu}}$$

$$106770665 \text{ Nmm} > 97513375 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BA-2 (30/40) E' (1-2) untuk daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

$$\text{Lapis 1} = 3 \text{ D19}$$

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Kontrol Lendutan

Pengecekan lendutan pada balok dilakukan berdasarkan *SNI 2847-2013 Tabel 9.5(b)*.

$$\begin{aligned} \text{Batas lendutan} &= \frac{\ell}{240} \\ &= \frac{8000}{240} \\ &= 33,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan besarnya lendutan yang terjadi :

$$\begin{aligned} d &= 341 \text{ mm} \\ d' &= 60 \text{ mm} \\ E_c &= 4700\sqrt{f_c'} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa} \\ n &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23500} = 8,51 \\ I_g &= \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 400^3 = 0,16 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \\ f_r &= 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{25} = 3,1 \text{ MPa} \\ y_t &= \frac{h}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tumpuan

$$\begin{aligned} r &= \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)850,59}{8,51 \times 1984,70} = 0,38 \\ kd &= \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \\ &= \frac{1}{300} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 341 \times 300 \left(1 + 0,38 \frac{60}{341} \right) + (1+0,38)^2} \right) - \right. \\ &\quad \left. (1+0,38) \right\} \\ &= 1,55 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I_{cr} dan M_{cr} . Nilai dari I_{cr} dan M_{cr} didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3\right) + (n \cdot A_s \cdot (d - kd)^2) + \\ &\quad ((n - 1)A_s' \cdot (kd - d')^2) \\ &= \left(\frac{1}{3} 300 \times 1,55^3\right) + (8,51 \times 1984,70) + \\ &\quad ((8,51 - 1) \times 850,59 \times (1,55 - 60)^2) \\ &= 0,20 \times 10^{10} \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{fr \cdot J_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 0,16 \times 10^{10}}{200} = 0,25 \times 10^8$$

Nilai I_{cr} yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I_g .

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{0,25 \times 10^8}{220885224} = 0,11 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Ie tumpuan

$$= \left(\frac{0,25 \times 10^8}{220885224} \right)^3 0,16 \times 10^{10} + \left\{ 1 - \left(\frac{0,25 \times 10^8}{220885224} \right)^3 \right\} 0,20 \times 10^{10}$$

$$= 0,20 \times 10^{10}$$

Lapangan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)567,06}{8,51 \times 850,59} = 0,59$$

$$kd = \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\}$$

$$= \frac{1}{300} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 341 \times 300 \left(1 + 0,59 \frac{60}{341} \right) + (1 + 0,59)^2} \right) - (1 + 0,59) \right\}$$

$$= 1,58$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari Icr dan Mcr. Nilai dari Icr dan Mcr didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$Icr = \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3 \right) + (n \cdot As \cdot (d - kd)^2) +$$

$$\left((n - 1)As' \cdot (kd - d')^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{3} 300 \times 1,58^3 \right) + (8,51 \times 850,59(341 -$$

$$1,58)^2) + ((8,51 - 1) \times 567,06 \times$$

$$(1,58 - 60)^2)$$

$$= 8,46 \times 10^8$$

$$Mcr = \frac{fr \cdot Ig}{y_t} = \frac{3,1 \times 0,16 \times 10^{10}}{200} = 0,25 \times 10^8$$

Nilai Icr yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari Ig.

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{0,25 \times 10^8}{106770665} = 0,23 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari

I_e lapangan

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{0,25 \times 10^8}{569168364}\right)^3 0,16 \times 10^{10} + \left\{1 - \left(\frac{0,25 \times 10^8}{569168364}\right)^3\right\} 8,46 \times 10^8 \\ &= 0,86 \times 10^9 \end{aligned}$$

Nilai I_e yang dipakai dalam perhitungan lendutan besarnya merupakan kombinasi dari 0,7 I_e lapangan + 0,15 I_e tumpuan kiri + 0,15 I_e tumpuan kanan. Namun karena besarnya I_e tumpuan kanan sama besarnya I_e tumpuan kiri maka diambil nilai 0,7 I_e lapangan + 0,3 I_e tumpuan.

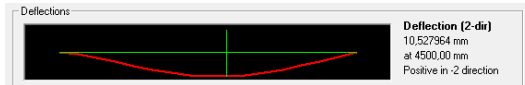
$$\begin{aligned} \text{Ie rata-rata} &= 0,7 I_e \text{ lapangan} + 0,3 I_e \text{ tumpuan} \\ &= 0,7 (0,86 \times 10^9) + 0,3 (0,20 \times 10^{10}) \\ &= 1,19 \times 10^9 \end{aligned}$$

Nilai dari lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}\Delta_i &= \frac{5}{48} k \frac{Ma \cdot L^2}{Ec \cdot I_{e_{rata-rata}}} \\ &= \frac{5}{48} \times 1 \times \frac{106770665 \times 8000^2}{23500 \times 1,19 \times 10^9} \\ &= 25,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
25,51 mm < 33,33 mm (OK)

Lendutan yang terjadi dari analisa program SAP 2000



Gambar 4. 39 Diagram Defleksi pada Balok

Lendutan terjadi = 10,53 mm

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
10,53 mm < 33,33 mm (OK)

4.4.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	= BA-2
Dimensi balok (b balok)	= 300 mm
Dimensi balok (h balok)	= 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 MPa
Diameter tulangan geser (D geser)	= 10 mm
β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BA-3 (30/40) As E' (1-2), didapat :

Momen Nominal Kanan dan Kiri

Momen nominal kanan dan kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik 7 D19} = 1984,70 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3 D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1984,70 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\ &= 124,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1984,70 \times 400 \left(341 - \frac{124,53}{2} \right) \\ &= 220885224 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R dari analisa SAP 2000 didapatkan :

$$\text{Gaya geser terfaktor } V_u = 102304,52 \text{ N}$$

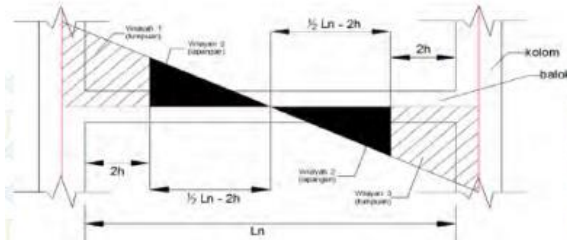
Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi menjadi 3 wilayah, yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3]

- *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.



Gambar 4. 40 Pembagian Wilayah Geser pada Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

[SNI 2847-2013]

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} < 8,33$$

$$5 < 8,33 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 341$$

$$= 86827,50 \text{ N}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s,\min} = 0,33 b d$$

$$= 0,33 \times 300 \times 341$$

$$= 33709,50 \text{ N}$$

$$V_{s,\max} = 0,33 \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{25} \times 300 \times 341$$

$$= 168547,50 \text{ N}$$

$$2V_{s,\max} = 0,66 \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 341$$

$$= 337095 \text{ N}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

(SNI 2847-2013 Pasal 21.3)

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u \\ &= \frac{220885224 + 220885224}{(8000 - 200 - 200)} + 102304,52 \\ &= 160432,21 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$160432,21 \text{ N} > 32703,75 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$32703,75 \text{ N} < 160432,21 \text{ N} > 65407,50 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$65407,50 \text{ N} < 160432,21 \text{ N} > 90801 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$90801 \text{ N} < 160432,21 \text{ N} < 192375 \text{ N} \rightarrow$ **Memenuhi**

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,\max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\phi V_{S_{\text{perlu}}} = V_u + \phi V_c$$

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{160432,21 - 0,75 \times 87210}{0,75} \\ &= 127082,11 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 341}{127082,11} \\ &= 168,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 85 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 4**

$$S_{\max} < \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{\max} < 600$$

$$85 < \frac{341}{2} \quad \text{atau} \quad 85 < 600$$

$$85 \text{ mm} < 170,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-85mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang dan
- d. 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

$$- S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$$

$$85 \text{ mm} < \frac{341 \text{ mm}}{4}$$

$$85 \text{ mm} < 85,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$- S_{\text{pakai}} < 8D_{\text{lentur}}$$

$$85 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$$

$$85 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$- S_{\text{pakai}} < 24D_{\text{sengkang}}$$

$$85 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$$

$$85 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$- S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$85 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BA-2 (30/40) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang D10-85 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ell_n - 2h} &= \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ell_n} \\ Vu2 &= \frac{Vu1(\frac{1}{2}\ell_n - 2h)}{\frac{1}{2}\ell_n} \\ &= \frac{160432,21 \left(\frac{1}{2}(8000 - 200 - 200) - 2(400) \right)}{\frac{1}{2}(8000 - 200 - 200)} \\ &= 126657,01 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5\phi Vc \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$126657,01 \text{ N} > 32703,75 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi Vc \leq Vu \leq \phi Vc \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$32703,75 \text{ N} < 126657,01 \text{ N} > 65407,50 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 3

$\phi Vc \leq Vu \leq \phi(Vc + Vs, \min) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$65407,50 \text{ N} < 126657,01 \text{ N} > 90801 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 4

$\phi(Vc + Vs, \min) \leq Vu \leq \phi(Vc + Vs, \max) \rightarrow$ Tulangan Geser

90801 N < 126657,01 N < 191531,25 N → **Memenuhi**

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,max})$ → Tulangan Geser

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\begin{aligned}\phi V_{s,perlu} &= V_u + \phi V_c \\ V_{s,perlu} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{160432,21 - 0,75 \times 87210}{0,75} \\ &= 82048,51 \text{ N}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s,perlu}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 341}{82048,51} \\ &= 261,13 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 85 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 4**

$$\begin{aligned}S_{max} &< \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{max} < 600 \\ 85 &< \frac{341}{2} \quad \text{atau} \quad 85 < 600 \\ 85 \text{ mm} &< 170,5 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-85mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang dan
- d. 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

- $S_{pakai} < \frac{d}{4}$
 $85 \text{ mm} < \frac{341 \text{ mm}}{4}$
 $85 \text{ mm} < 85,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 8D_{lentur}$
 $85 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $85 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 24D_{sengkang}$
 $85 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $85 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $85 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BA-2 (30/40) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang D10-85 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.4.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan.

Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12*.

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. [*SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1*]

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

[*SNI 2847-2013 Tabel pada Pasal 12.2*]

Dimana :

λd = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

Ψ_t = faktor lokasi penulangan

Ψ_e = faktor pelapis

λ = faktor beton agregat ringan

= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1,5}{2,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \right] 19 \\ &= 1085,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

1085,71 mm > 300 mm → **Memenuhi**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

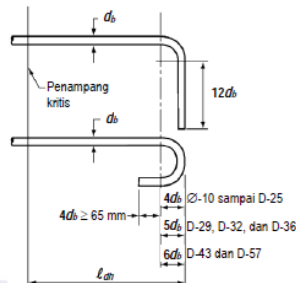
$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \lambda d \\ &= \frac{1658,22}{1984,70} \times 1085,71 \\ &= 907,11 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1000 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5*. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[*SNI 2837-2013 Pasal 12.5.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2* Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 41 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \times 19 \\ &= 365,80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$
 $365,80 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{pasang}}} \lambda_{dh} \\ &= \frac{1658,22}{1984,70} \times 365,80 \\ &= 305 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 400 mm.

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 228 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3*.
 Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[*SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2* Panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} d_b \qquad \lambda_{dc} = (0,043f_y)d_b$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{25}} \times 19 \qquad \lambda_{dc} = (0,043 \times 400)19$$

$$\lambda_{dc} = 364,80 \text{ mm} \qquad \lambda_{dc} = 326,80 \text{ mm}$$

Maka, diambil 364,80 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{pasang}}} \lambda_d$$

$$= \frac{255,18}{567,06} \times 364,80$$

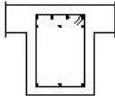
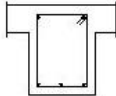
$$= 164,16 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Maka diambil minimum 200 mm

Panjang kait

$$4d_b + 4d_b = 4(19) + 4(19) = 152 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Gambar Detail Penulangan

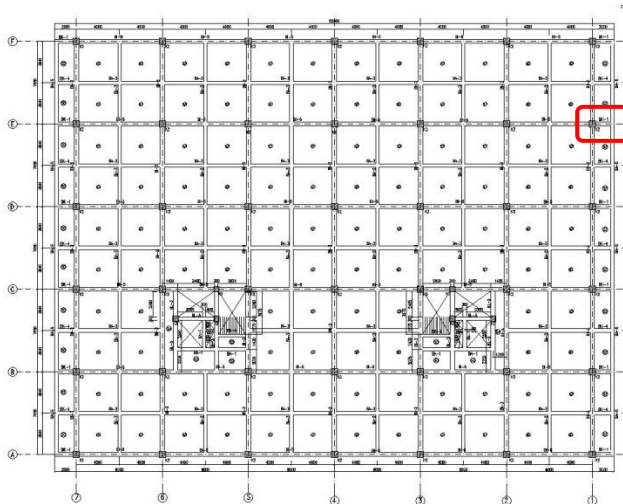
TIPE TIE BEAM	BA-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	7 D19	2 D19
TULANGAN SAMPING		
TULANGAN BAWAH	3 D19	3 D19
SENGKANG	D10-85	D10-85

Gambar 4. 42 Detail Penulangan Balok BA-2

4.4.3 Perhitungan Balok Kantilever

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok kantilever : BK-1 (40/70) As E (0-1) elevasi ± 10.20 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 43 Denah Struktur Lantai 3

- Data-data perencanaan tulangan balok :

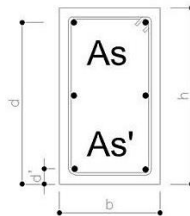
Tipe balok	: BK-1
As balok	: E (0-1)
Bentang balok (L balok)	: 2000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 400 MPa

Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{\textcircled{O}} \text{ sengkang} - \left(\frac{1}{2} \text{\textcircled{O}} \text{ tul. lentur} \right) \\ &= 700 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \cdot 22 \right) \\ &= 639 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \text{\textcircled{O}} \text{ sengkang} + \left(\frac{1}{2} \text{\textcircled{O}} \text{ tul. lentur} \right) \\ &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \cdot 22 \right) \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 44 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban vertikal dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa :

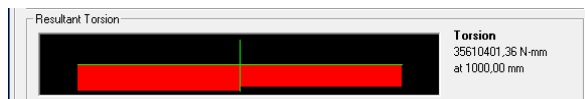
1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
4. $U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L_r \text{ atau } 0,5W)$
5. $U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
6. $U = 0,9D + 1,0W$

Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 $U = 1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$
2. $U = 0,9D + 1,0E_x + 0,3E_y$
 $U = 0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,4D adalah kombinasi kritis pada pemodelan.

Hasil Output Diagram Torsi

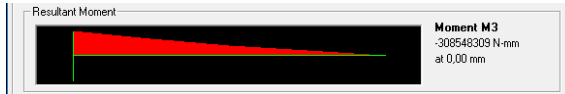


Gambar 4. 45 Diagram Torsi pada Balok

$$\text{Kombinasi } 0,9D + 0,3Ex + 1,0Ey$$

$$\text{Momen torsi} = 35610401 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 46 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi

$$\text{Kombinasi } 1,4D$$

$$\text{Momen Lentur} = 308548309 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 47 Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2*, V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom.

$$\text{Gaya geser terfaktor} = 176839,48 \text{ N}$$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

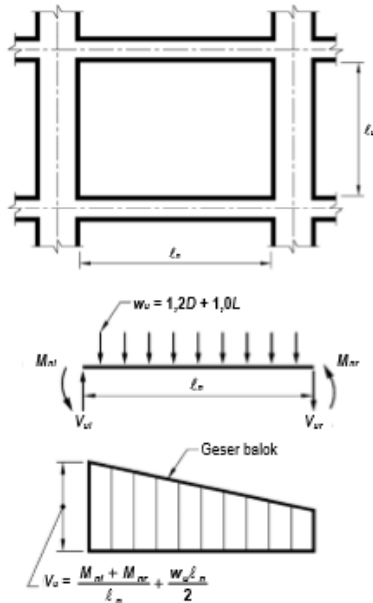
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan *SNI 2847-2013 pasal 21.3(2)*, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \times 700 \times 25}{10} = 700000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4D pada komponen struktur sebesar $188427 \text{ N} < 700000 \text{ N}$

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan

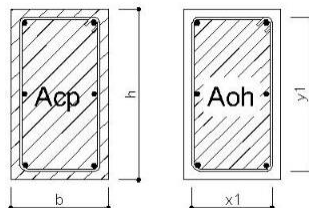
menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 48 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Geser, Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 49 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ &= 280000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (700\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\ &= 189100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= 2 \times (400\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) + (700\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\ &= 1840 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi $0,9D + 0,3Ex + 1,0Ey$

$$T_u = 35610401 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{35610401}{0,75} \\
 &= 47480534,67 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 176839,48 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\
 &= 11091818,18 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ max}} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\
 &= 4410000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \text{ min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} > T_u$

$1109101818,18 \text{ Nmm} < 35610401 \text{ Nmm} \rightarrow$ **Memerlukan Tulangan Puntir**

Jadi, penampang balok memerlukan tulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{176839,48}{400 \times 639}\right)^2 + \left(\frac{35610401 \times 1840}{1,7 \times 189100}\right)^2} <$$

$$0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 639}{400 \times 639} + 0,66 \sqrt{25}\right)$$

$$1,28 < 3,94 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 \times A_0 \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Untuk beton non prategang $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_0 &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 189100 \text{ mm}^2 \\ &= 160375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_0 \times f_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{47480534,67}{2 \times 160375 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 0,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka Tulangan Puntir untuk Lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,37 \times 1840 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 679,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3* tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 280000}{400} - 0,37 \times 1840 \times \frac{400}{400} \\ &= 790,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,18 \text{ mm}$$

$\frac{A_t}{s} > 0,18 \rightarrow$ **Memenuhi**

Maka nilai $\frac{A_t}{s} = 0,37 \text{ mm}$

Kontrol :

$A_{l \text{ perlu}} \leq A_{l \text{ min}}$ maka gunakan $A_{l \text{ min}}$

$A_{l \text{ perlu}} \geq A_{l \text{ min}}$ maka gunakan $A_{l \text{ perlu}}$

$679,41 \text{ mm}^2 < 790,59 \text{ mm}^2 \rightarrow$ **maka gunakan $A_{l \text{ min}}$**

Maka dipakai tul. puntir perlu sebesar $790,59 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{790,59}{4} = 197,65 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tul. tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tul. tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $197,65 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{790,59}{4} = 395,29 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\text{luas D puntir}} \\ &= \frac{395,29}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 1,97 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 2 D16

Luasan Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{luas D puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 395,29 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2 D16

4.4.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5R

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 639 \\ &= 383,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 383,40 \\ &= 287,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

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

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 150 \\ &= 1083750 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{1083750}{400} \\ &= 2709,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right) \\ &= 2709,38 \times 400 \times \left(639 - \frac{0,85 \times 150}{2} \right) \\ &= 623427187,50 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$\begin{aligned} \mu_{\text{tumpuan}} &= 308548309 \text{ Nmm} \\ Mn &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{308548309}{0,8} \\ &= 385685386,25 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 385685386,25 \text{ Nmm} - 623427187,50 \text{ Nmm}$$

$$= -237741801,25 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns > 0$$

$Mns = -237741801,25 \text{ Nmm} < 0 \rightarrow$ **maka tidak perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0271 = 0,0203$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{308548309}{0,8} = 385685386,25 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{385685386,25}{400 \times 639^2} = 2,36 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 2,36}{400}} \right) \\ &= 0,0063 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,0063 < 0,0203 \quad (\mathbf{OK}) \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0063 \times 400 \times 639 \\ &= 1603,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang Ditambahkan pada Tulangan Lentur Tarik, Maka Luasan Bertambah Besar

$$\text{At} = 197,65 \text{ mm}^2$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik + Luasan Tulangan Puntir

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As} + \text{At} \\ &= 1603,63 \text{ mm}^2 + 197,65 \text{ mm}^2 \\ &= 1801,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\ &= \frac{1801,28}{0,25 \pi 22^2} \\ &= 4,74 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 5 D22

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1900,66 \text{ mm}^2 &> 1801,28 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,3As \\
 &= 0,3 \times 1900,66 \text{ mm}^2 \\
 &= 570,20 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As' \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\
 &= \frac{570,20}{0,25 \pi 22^2} \\
 &= 1,50 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D22

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760,27 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &> As' \text{ perlu} \\
 760,27 \text{ mm}^2 &> 570,20 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned}
 S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1} \\
 &= 47,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \\
 47,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} \\
 &= 256 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$256 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M_{\text{lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$

(SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \pi 22^2 \\
 &= 1900,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi 22^2 \\
 &= 760,27 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (1900,66 \text{ mm}^2)$$

$$760,27 \text{ mm}^2 > 633,55 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 5 D22} = 1900,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D22} = 760,27 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1900,66 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right) \\ &= 89,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1900,66 \times 400 \left(639 - \frac{89,44}{2} \right) \\ &= 451809398 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$451809398 \text{ Nmm} > 385685386 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BK-1 (40/70) As E (0-1) untuk daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 5 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5 D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D22

Kontrol Lendutan

Pengecekan lendutan pada balok dilakukan berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(b).

$$\begin{aligned} \text{Batas lendutan} &= \frac{l}{240} \\ &= \frac{2000}{240} \\ &= 8,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan besarnya lendutan yang terjadi :

$$d = 639 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa} \\
 n &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23500} = 8,51 \\
 I_g &= \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 = 1,14 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \\
 f_r &= 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{25} = 3,1 \text{ MPa} \\
 y_t &= \frac{h}{2} = \frac{700}{2} = 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tumpuan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)760,27}{8,51 \times 1900,66} = 0,35$$

$$\begin{aligned}
 kd &= \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \\
 &= \frac{1}{400} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 639 \times 400 \left(1 + 0,35 \frac{13}{639} \right) + (1+0,35)^2} \right) - \right. \\
 &\quad \left. (1+0,35) \right\} \\
 &= 1,81
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari Icr dan Mcr. Nilai dari Icr dan Mcr didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3 \right) + (n \cdot As \cdot (d - kd)^2) + \\
 &\quad ((n-1)As' \cdot (kd - d')^2) \\
 &= \left(\frac{1}{3} 400 \times 1,81^3 \right) + (8,51 \times 1900,66(639 - \\
 &\quad 1,81)^2) + ((8,51 - 1) \times 760,27 \times \\
 &\quad (1,81 - 61)^2) \\
 &= 0,66 \times 10^{10}
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 1,14 \times 10^{10}}{350} = 1,01 \times 10^8$$

Nilai Icr yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari Ig.

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{1,01 \times 10^8}{451809398} = 0,22 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari

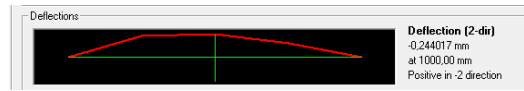
$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{1,01 \times 10^8}{451809398}\right)^3 1,14 \times 10^{10} + \left\{1 - \left(\frac{1,01 \times 10^8}{451809398}\right)^3\right\} 0,66 \times 10^{10} \\ &= 0,66 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Nilai dari lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \Delta_i &= \frac{5}{48} k \frac{M_a \cdot L^2}{E_c \cdot I_{e_{rata-rata}}} \\ &= \frac{5}{48} \times 1 \times \frac{451809398 \times 2000^2}{23500 \times 0,66 \times 10^{10}} \\ &= 1,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
1,21 mm < 8,33 mm (OK)

Lendutan yang terjadi dari analisa program SAP 2000



Gambar 4. 50 Diagram Defleksi pada Balok

Lendutan terjadi = 0,24 mm

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
0,24 mm < 8,33 mm **(OK)**

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	= BK-1
Dimensi balok (b balok)	= 400 mm
Dimensi balok (h balok)	= 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 MPa
Diameter tulangan geser (D geser)	= 10 mm
β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,4D dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 176839,48 \text{ N}$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 2847-2013]

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} < 8,33$$

$$5 < 8,33$$

→ **Memenuhi**

Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \sqrt{f'_c} b d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 639 \\
 &= 217260 \text{ N}
 \end{aligned}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_{s,\min} &= 0,33 b d \\
 &= 0,33 \times 400 \times 639 \\
 &= 84348 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s,\max} &= 0,33 \sqrt{f'_c} b d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 639 \\
 &= 421740 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_{s,\max} &= 0,66 \sqrt{f'_c} b d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 639 \\
 &= 843480 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

$$V_u = 176839,48 \text{ N}$$

Kondisi 1

$$\begin{aligned}
 V_u \leq 0,5\phi V_c &\rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser} \\
 176839,48 \text{ N} &> 81472,50 \text{ N} \rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi 2

$$\begin{aligned}
 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c &\rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum} \\
 81472,50 \text{ N} < 176839,48 \text{ N} > 162945 \text{ N} &\rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi 3

$$\begin{aligned}
 \phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\min}) &\rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum} \\
 162945 \text{ N} < 176839,48 \text{ N} < 226206 \text{ N} &\rightarrow \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi 4

$$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow \text{Tulangan Geser}$$

Kondisi 5

$$\phi(V_c + V_{s,\max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,\max}) \rightarrow \text{Tulangan Geser}$$

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$V_{S_{\text{perlu}}} = V_{S_{\min}} = 84348 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 639}{84348} \\ &= 476 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 3**

$$S_{\max} < \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{\max} < 600$$

$$150 < \frac{639}{2} \quad \text{atau} \quad 150 < 600$$

$$150 \text{ mm} < 319,5 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-150mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang dan
- 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

- $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$
 $150 \text{ mm} < \frac{639 \text{ mm}}{4}$
 $150 \text{ mm} < 159,75 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 8D_{\text{lentur}}$
 $150 \text{ mm} < 8(22 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 24D_{\text{sengkang}}$
 $150 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $150 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BK-1 (40/70) dipasang D10-150 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.4.3.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 12.

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*.
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. [*SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1*]

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

[*SNI 2847-2013 Tabel pada Pasal 12.2*]

Dimana :

- λd = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
 d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai
 Ψ_t = faktor lokasi penulangan
 Ψ_e = faktor pelapis
 λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \sqrt{25}} \right] 22 \\ &= 1552,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$

$$1552,94 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

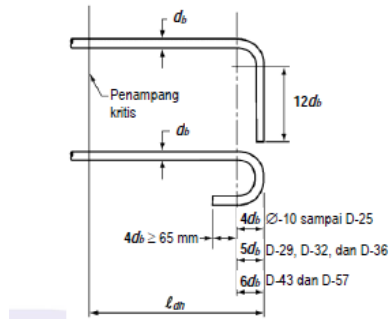
$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{pasang}}}} \lambda d \\ &= \frac{1801,28}{1900,66} \times 1552,94 \\ &= 1471,74 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1500 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5*. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[*SNI 2837-2013 Pasal 12.5.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2* Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 51 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \times 22 \\ &= 422 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$
422 mm > 150 mm → **Memenuhi**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Spasang}}} \lambda_{\text{dh}} \\ &= \frac{1801,28}{1900,66} \times 422 \\ &= 422 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 500 mm.

Panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3*.
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[*SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2* Panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{\text{dc}} = \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} d_b \qquad \lambda_{\text{dc}} = (0,043f_y)d_b$$

$$\lambda_{\text{dc}} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{25}} \times 22 \qquad \lambda_{\text{dc}} = (0,043 \times 400)22$$

$$\lambda_{\text{dc}} = 422,40 \text{ mm} \qquad \lambda_{\text{dc}} = 378,40 \text{ mm}$$

Maka, diambil 422,40 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{S'perlu}}}{A_{\text{S'pasang}}} \lambda_{\text{d}} \\ &= \frac{342,12}{760,27} \times 422,40 \\ &= 190,08 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka diambil minimum 200 mm

Panjang kait

$$4d_b + 4d_b = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Gambar Detail Penulangan

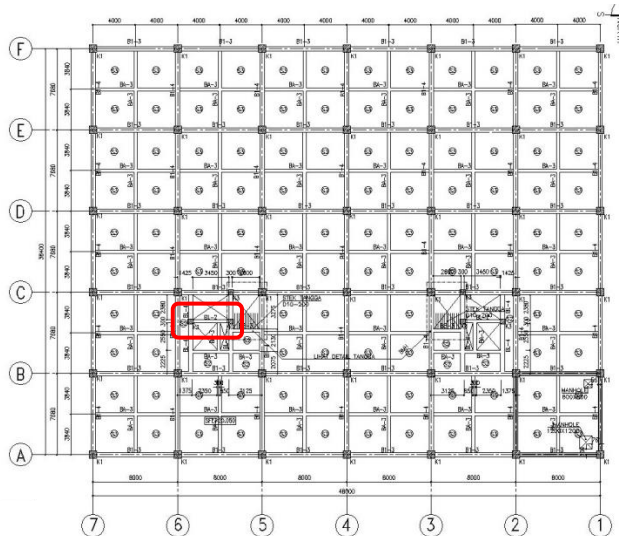
TIPE TIE BEAM	BK-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	400 x 700	400 x 700
TULANGAN ATAS	5 D22	5 D22
TULANGAN SAMPING	4 D16	4 D16
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22
SENGKANG	D10-150	D10-150

Gambar 4. 52 Detail Penulangan Balok BK-1

4.4.4 Perhitungan Balok Lift

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok lift : BL-5 (40/60) As B' (5'-6) elevasi ± 5.20 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 53 Denah Struktur Lantai 2

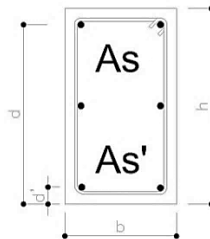
- Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	: BL-5
As balok	: B' (5'-6)
Bentang balok (L balok)	: 4000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D puntir)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	: 25 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]	
Faktor β_1	: 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]	

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \text{Ø sengkang} - \left(\frac{1}{2} \text{Ø tul. lentur} \right) \\
 &= 600 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \right) \\
 &= 541 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \text{Ø sengkang} + \left(\frac{1}{2} \text{Ø tul. lentur} \right) \\
 &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \cdot 19 \right) \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 54 Tinggi Efektif Balok

c. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban vertikal dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa :

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

Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 $U = 1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$
2. $U = 0,9D + 1,0E_x + 0,3E_y$
 $U = 0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$ adalah kombinasi kritis pada pemodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 55 Diagram Torsi pada Balok

Kombinasi $1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$

Momen torsi = 33917127 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 56 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi

Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

Momen tumpuan = 262014129 Nmm

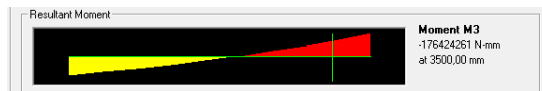


Gambar 4. 57 Diagram Momen (+) pada Lapangan Akibat Gravitasi dan Gempa

Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$

Momen lapangan = 118762256,60 Nmm

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 58 Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2*, V_u diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom.

Gaya geser terfaktor = 160025,91 N

d. Syarat Gaya Aksial pada Balok

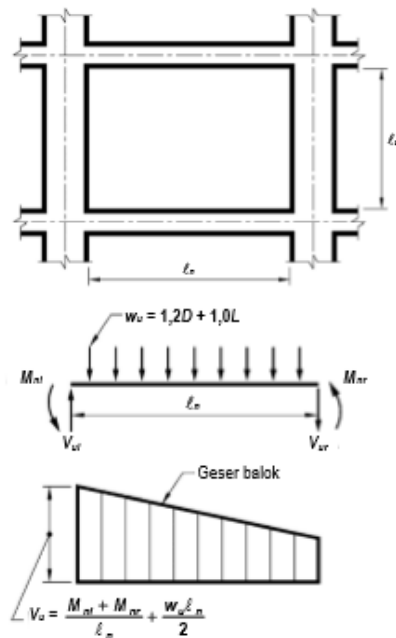
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan *SNI 2847-2013 pasal 21.3(2)*, bila

beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \times 600 \times 25}{10} = 600000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4D pada komponen struktur sebesar $170364,5 \text{ N} < 600000 \text{ N}$

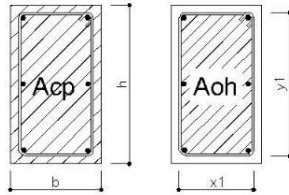
Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 59 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Geser, Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 60 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (600 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 158100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (600 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 1640 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.4.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,2D + 0,3Ex + 1,0Ey + 1,0L

$$T_u = 33917127 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{33917127}{0,75} \\ &= 45222836 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 160025,91 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\ &= 8964000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \phi 0,033 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\ &= 3564000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \text{ min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$$T_{u_{\min}} > T_u$$

8964000 Nmm < 33917127 Nmm → **Memerlukan Tulangan Puntir**

Jadi, penampang balok memerlukan tulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{160025,91}{400 \times 541}\right)^2 + \left(\frac{33917127 \times 1640}{1,7 \times 158100}\right)^2} <$$

$$0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 541}{400 \times 541} + 0,66 \sqrt{25}\right)$$

$$1,50 < 3,94 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 \times A_0 \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Untuk beton non prategang $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_0 &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 158100 \text{ mm}^2 \\ &= 134385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_0 \times f_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{45222836}{2 \times 134385 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 0,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka Tulangan Puntir untuk Lentur :

$$\begin{aligned}A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,42 \times 1640 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 689,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Sesuai dengan *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3* tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned}A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 240000}{400} - 0,42 \times 1640 \times \frac{400}{400} \\ &= 570,14 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,18 \text{ mm}$$

$$\frac{A_t}{s} > 0,18 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\text{Maka nilai } \frac{A_t}{s} = 0,42 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}} \text{ maka gunakan } A_{l\text{min}}$$

$$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}} \text{ maka gunakan } A_{l\text{perlu}}$$

$$689,86 \text{ mm}^2 > 570,14 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{maka gunakan } A_{l\text{perlu}}$$

Maka dipakai tul. puntir perlu sebesar $689,86 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{689,86}{4} = 172,46 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tul. tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tul. tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $172,46 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{689,86}{4} = 344,93 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\text{luas D puntir}} \\ &= \frac{344,93}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 1,72 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 2 D16

Luasan Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{luas D puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 344,93 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2 D16

4.4.4.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Daerah Tumpuan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 541 \\ &= 324,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 324,30 \\ &= 243,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 60 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\ &= 722500 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{722500}{400} \\ &= 1806,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right) \\
 &= 1806,25 \times 400 \times \left(541 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 359805000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$M_{u_{tumpuan}} = 262014129 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{262014129}{0,8} \\
 &= 327517661,25 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 327517661,25 \text{ Nmm} - 359805000 \text{ Nmm} \\
 &= -32287338,75 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} > 0$

$M_{ns} = -32287338,75 \text{ Nmm} < 0 \rightarrow$ **maka tidak perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0271 = 0,0203$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{262014129}{0,8} = 327517661,25 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{327517661,25}{400 \times 639^2} = 2,80 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 2,80}{400}} \right) \\ &= 0,0075 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0075 < 0,0203$ (OK)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0075 \times 400 \times 541 \\ &= 1630,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang Ditambahkan pada Tulangan Lentur Tarik, Maka Luasan Bertambah Besar

$$A_t = 172,46 \text{ mm}^2$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik + Luasan Tulangan Puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_t \\ &= 1630,63 \text{ mm}^2 + 172,46 \text{ mm}^2 \\ &= 1803,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1803,10}{0,25 \pi 19^2} \\
 &= 6,36 \approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 7 D19

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 7 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 1984,70 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 1984,70 \text{ mm}^2 &> 1803,10 \text{ mm}^2 \rightarrow \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1* luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 \text{As}' &= 0,3\text{As} \\
 &= 0,3 \times 1984,70 \text{ mm}^2 \\
 &= 595,41 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As}' \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\
 &= \frac{595,41}{0,25 \pi 19^2} \\
 &= 2,10 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 \text{As}' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As}' \text{ pasang} &> \text{As}' \text{ perlu} \\
 850,59 \text{ mm}^2 &> 595,41 \text{ mm}^2 \rightarrow \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

▪ Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (7 \times 19)}{7 - 1} \\ &= 27,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$27,83 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\text{maks}} \leq 40 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1} \\ &= 74,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$74,67 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 121,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$121,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned}
 S \text{ tekan} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\
 &= 121,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$121,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3}$ x M lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 7 \times 0,25 \pi 192^2 \\
 &= 1984,70 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (1984,70 \text{ mm}^2)$$

$$850,59 \text{ mm}^2 > 661,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 7 D19} = 1984,70 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3 D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1984,70 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right) \\ &= 93,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1984,70 \times 400 \left(541 - \frac{93,40}{2} \right) \\ &= 392019085 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_{n \text{ pasang}} > M_{n \text{ perlu}}$$

$$392019085 \text{ Nmm} > 327517661 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BL-5 (40/60) As B' (5'-6) untuk daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 7 D19 dan tulangan tekan 3 D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis
 - Lapis 1 = 4 D19
 - Lapis 2 = 3 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
 - Lapis 1 = 3 D19

Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 541 \\ &= 324,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 324,30 \\ &= 243,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 60 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 400 \times 0,85 \times 100 \\ &= 722500 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{722500}{400} \\ &= 1806,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right) \\ &= 1806,25 \times 400 \times \left(541 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 359805000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 118762256,60 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\ &= \frac{118762256,60}{0,8} \\ &= 148452820,75 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 148452820,75 \text{ Nmm} - 359805000 \text{ Nmm} \\ &= -211352179,25 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$Mns > 0$

$Mns = -211352179,25 \text{ Nmm} < 0 \rightarrow$ **maka tidak perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0271 = 0,0203$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{118762256,60}{0,8} = 148452820,75 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{148452820,75}{400 \times 541^2} = 1,27 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 1,27}{400}} \right) \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

Syarat: $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 > 0,0033 < 0,0203$ (**Tidak OK**)
 Penulangan memakai ρ perlu = 0,0035

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 400 \times 541 \\ &= 756,70 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang Ditambahkan pada Tulangan Lentur Tarik, Maka Luasan Bertambah Besar

$$A_t = 172,46 \text{ mm}^2$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik + Luasan Tulangan Puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_t \\ &= 756,70 \text{ mm}^2 + 172,46 \text{ mm}^2 \\ &= 929,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\ &= \frac{929,16}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 3,28 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 4 D19

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 1134,11 \text{ mm}^2 &> 929,16 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3As \\ &= 0,3 \times 1134,11 \text{ mm}^2 \\ &= 340,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As' \text{ perlu}}{\text{luas D lentur}} \\ &= \frac{340,23}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 1,20 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &> 340,23 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned} S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1} \\ &= 74,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \\ 74,67 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned}
 S \text{ tekan} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\
 &= 262 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$262 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3}$ x M lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 4 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 1134,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (1134,11 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 > 378,04 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 4 D19} = 1134,11 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D19} = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1134,11 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right) \\ &= 53,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1134,11 \times 400 \left(541 - \frac{53,37}{2} \right) \\ &= 233090083 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_{n \text{ pasang}} > M_{n \text{ perlu}}$$

$$233090083 \text{ Nmm} > 148452821 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BL-5 (40/60) As B' (5'-6) untuk daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

$$\text{Lapis 1} = 4 \text{ D19}$$

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

$$\text{Lapis 1} = 2 \text{ D19}$$

Kontrol Lendutan

Pengecekan lendutan pada balok dilakukan berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(b).

$$\begin{aligned} \text{Batas lendutan} &= \frac{\ell}{240} \\ &= \frac{4000}{240} \\ &= 16,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan besarnya lendutan yang terjadi :

$$d = 541 \text{ mm}$$

$$d' = 60 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa} \\
 n &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23500} = 8,51 \\
 I_g &= \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 0,72 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \\
 f_r &= 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{25} = 3,1 \text{ MPa} \\
 y_t &= \frac{h}{2} = \frac{600}{2} = 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tumpuan

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)850,59}{8,51 \times 1984,70} = 0,38 \\
 kd &= \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \\
 &= \frac{1}{400} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 541 \times 400 \left(1 + 0,38 \frac{60}{541} \right) + (1+0,38)^2} \right) - \right. \\
 &\quad \left. (1+0,38) \right\} \\
 &= 1,67
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I_{cr} dan M_{cr} . Nilai dari I_{cr} dan M_{cr} didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \left(\frac{1}{3}b \cdot kd^3 \right) + (n \cdot As \cdot (d - kd)^2) + \\
 &\quad \left((n-1)As' \cdot (kd - d')^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{3}400 \times 1,67^3 \right) + (8,51 \times 1984,70(541 - \\
 &\quad 1,67)^2) + ((8,51 - 1) \times 850,59 \times \\
 &\quad (1,67 - 60)^2) \\
 &= 0,49 \times 10^{10}
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 0,72 \times 10^{10}}{300} = 0,74 \times 10^8$$

Nilai I_{cr} yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I_g .

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{0,74 \times 10^8}{392019085} = 0,19 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari

I_e tumpuan

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{0,74 \times 10^8}{392019085}\right)^3 0,72 \times 10^{10} + \left\{1 - \left(\frac{0,74 \times 10^8}{392019085}\right)^3\right\} 0,74 \times 10^{10} \\ &= 0,49 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Lapangan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)567,06}{8,51 \times 1134,11} = 0,44$$

$$\begin{aligned} kd &= \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d}\right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \\ &= \frac{1}{400} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 541 \times 400 \left(1 + 0,44 \frac{60}{541}\right) + (1+0,44)^2} \right) - (1+0,44) \right\} \\ &= 1,68 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I_{cr} dan M_{cr} . Nilai dari I_{cr} dan M_{cr} didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3\right) + (n \cdot A_s \cdot (d - kd)^2) + \\ &\quad \left((n - 1)A_s' \cdot (kd - d')^2\right) \\ &= \left(\frac{1}{3} 400 \times 1,68^3\right) + (8,51 \times 1134,11(541 - \\ &\quad 1,68)^2) + ((8,51 - 1) \times 567,06 \times \\ &\quad (1,68 - 60)^2) \\ &= 0,28 \times 10^{10} \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{fr \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 0,72 \times 10^{10}}{300} = 0,74 \times 10^8$$

Nilai I_{cr} yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I_g .

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{0,74 \times 10^8}{233090083} = 0,32 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Ie lapangan

$$= \left(\frac{0,74 \times 10^8}{233090083} \right)^3 0,72 \times 10^{10} + \left\{ 1 - \left(\frac{0,74 \times 10^8}{233090083} \right)^3 \right\} 0,28 \times 10^{10}$$

$$= 0,30 \times 10^{10}$$

Nilai Ie yang dipakai dalam perhitungan lendutan besarnya merupakan kombinasi dari 0,7 Ie lapangan + 0,15 Ie tumpuan kiri + 0,15 Ie tumpuan kanan. Namun karena besarnya Ie tumpuan kanan sama besarnya Ie tumpuan kiri maka diambil nilai 0,7 Ie lapangan + 0,3 Ie tumpuan.

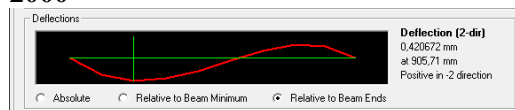
$$\begin{aligned} \text{Ie rata-rata} &= 0,7 \text{ Ie lapangan} + 0,3 \text{ Ie tumpuan} \\ &= 0,7 (0,30 \times 10^{10}) + 0,3 (0,49 \times 10^{10}) \\ &= 0,36 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Nilai dari lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \Delta_i &= \frac{5}{48} k \frac{Ma \cdot L^2}{Ec \cdot Ie_{rata-rata}} \\ &= \frac{5}{48} \times 1 \times \frac{233090083 \times 4000^2}{23500 \times 0,36 \times 10^{10}} \\ &= 4,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
4,65 mm < 16,67 mm (OK)

Lendutan yang terjadi dari analisa program SAP 2000



Gambar 4. 61 Diagram Defleksi pada Balok

Lendutan terjadi = 0,42 mm

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
0,42 mm < 16,67 mm (OK)

4.4.4.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	= BL-5
Dimensi balok (b balok)	= 400 mm
Dimensi balok (h balok)	= 600 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 MPa
Diameter tulangan geser (D geser)	= 10 mm
β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BL-5 (40/60) As B' (5'-6), didapat :

Momen Nominal Kanan dan Kiri

Momen nominal kanan dan kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 7 D19 = 1984,70 mm²

As pakai tulangan tekan 3 D19 = 850,59 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{1984,70 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} \right)$$

$$= 93,40 \text{ mm}$$

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

$$= 1984,70 \times 400 \left(541 - \frac{93,40}{2} \right)$$

$$= 392019085 \text{ Nmm}$$

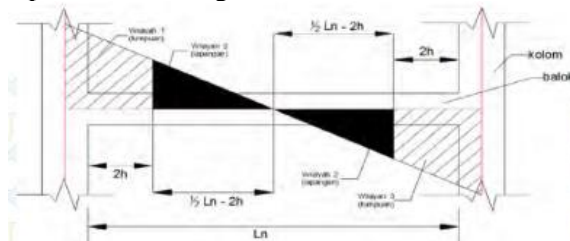
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 160025,91 \text{ N}$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi menjadi 3 wilayah, yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
(SNI 2847-2013 Pasal 21.3)
- *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 62 Pembagian wilayah Geser balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 2847-2013]

$$\sqrt{f'_c} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} < 8,33$$

$$5 < 8,33$$

→ **Memenuhi**

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} b d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 541$$

$$= 183770 \text{ N}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s,\min} &= 0,33 b d \\ &= 0,33 \times 400 \times 541 \\ &= 71346 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,\max} &= 0,33 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 541 \\ &= 356730 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s,\max} &= 0,66 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 541 \\ &= 713460 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

3. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3]

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u \\ &= \frac{392019085 + 392019085}{(4000 - 200 - 200)} + 160025,91 \\ &= 377814,29 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$377814,29 \text{ N} > 68913,75 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$68913,75 \text{ N} < 377814,29 \text{ N} > 137827,50 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$137827,50 \text{ N} < 377814,29 \text{ N} > 191337 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$191337 \text{ N} < 377814,29 \text{ N} < 405375 \text{ N} \rightarrow$ **Memenuhi**

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,\max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\phi V_{s_{\text{perlu}}} = V_u + \phi V_c$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{377814,29 - 0,75 \times 183770}{0,75} \\ &= 319982,39 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{157,08 \times 400 \times 541}{319982,39} \\
 &= 106,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 4**

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{\text{max}} < 600 \\
 100 &< \frac{541}{2} \quad \text{atau} \quad 100 < 600 \\
 100 \text{ mm} &< 270,5 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-100mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang dan
- d. 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

$$\begin{aligned}
 - S_{\text{pakai}} &< \frac{d}{4} \\
 100 \text{ mm} &< \frac{541 \text{ mm}}{4} \\
 100 \text{ mm} &< 135,25 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi} \\
 - S_{\text{pakai}} &< 8D_{\text{lentur}} \\
 100 \text{ mm} &< 8(19 \text{ mm}) \\
 100 \text{ mm} &< 152 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

- $S_{\text{pakai}} < 24D_{\text{sengkang}}$
 $100 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow$ **Memenuhi**
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow$ **Memenuhi**

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BL-5 (40/60) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang D10-100 mm dengan sengkang 2 kaki.

4. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2}\ell_n - 2h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2}\ell_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1}\left(\frac{1}{2}\ell_n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell_n} \\ &= \frac{377814,29 \left(\frac{1}{2}(4000 - 275 - 275) - 2(600) \right)}{\frac{1}{2}(4000 - 275 - 275)} \\ &= 111121,85 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$111121,85 \text{ N} > 68913,75 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$68913,75 \text{ N} < 111121,85 \text{ N} < 137827,50 \text{ N} \rightarrow$

Memenuhi

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,\max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$V_{S\text{perlu}} = V_{S\text{min}} = 71346 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s\text{perlu}}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 541}{71346} \\ &= 476,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 2**

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{\text{max}} < 600$$

$$125 < \frac{541}{2} \quad \text{atau} \quad 100 < 600$$

$$125 \text{ mm} < 170,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-100mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang dan
- 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

- $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$
 $125 \text{ mm} < \frac{541 \text{ mm}}{4}$
 $125 \text{ mm} < 135,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 8D_{\text{lentur}}$
 $125 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $125 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 24D_{\text{sengkang}}$
 $125 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $125 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $125 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BL-5 (40/60) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang D10-125 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.4.4.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12*.

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*.
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. [*SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1*]

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

[*SNI 2847-2013 Tabel pada Pasal 12.2*]

Dimana :

- λd = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
- d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai
- Ψ_t = faktor lokasi penulangan
- Ψ_e = faktor pelapis
- λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1,5}{2,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \right] 19 \\ &= 1085,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$
 $1085,71 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow$ **Memenuhi**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

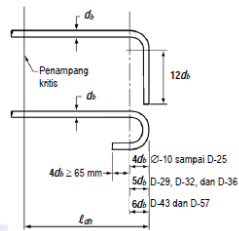
$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \lambda_d \\ &= \frac{1803,10}{1984,70} \times 1085,71 \\ &= 986,37 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1000 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5*. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[*SNI 2837-2013 Pasal 12.5.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2* Untuk batang tulangan ulir λ_d harus sebesar $(0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 63 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \times 19 = 364,80 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$
 $364,80 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Spasang}}} \lambda_{dh} \\ &= \frac{1803,10}{1984,70} \times 364,80 \\ &= 331,42 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 400 mm.

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 228 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3*.
 Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[*SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2* Panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= \frac{0,24f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b & \lambda_{dc} &= (0,043f_y)d_b \\ \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{25}} \times 19 & \lambda_{dc} &= (0,043 \times 400)19 \\ \lambda_{dc} &= 364,80 \text{ mm} & \lambda_{dc} &= 326,80 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, diambil 364,80 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{\text{S'perlu}}}{A_{\text{S'pasang}}} \lambda_d \\ &= \frac{340,23}{567,06} \times 364,80 \\ &= 218,88 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka diambil minimum 300 mm

Panjang kait

$$4d_b + 4d_b = 4(19) + 4(19) = 152 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Gambar Detail Penulangan

TIPE TIE BEAM	BL-5	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	400 x 600	400 x 600
TULANGAN ATAS	7 D19	2 D19
TULANGAN SAMPING	2 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	3 D19	4 D19
SENGKANG	D10-100	D10-125

Gambar 4. 64 Detail Penulangan Balok BL-5

4.4.5 Perhitungan Balok Bordes

Berikut akan dibahas penulangan balok bordes [BB] (30/40) elevasi \pm 6.45. Adapun data-data, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari anaisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan dari hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

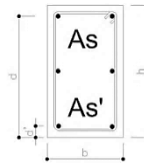
a. Data-data penulangan balok :

Tipe balok	: BB-2
Frame balok	: 1664
Bentang balok (L balok)	: 2600 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	: 25 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]</i>	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,8
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{Ø sengkang} - \left(\frac{1}{2} \text{Ø tul. lentur}\right) \\ &= 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \cdot 19\right) \\ &= 341 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \text{Ø sengkang} + \left(\frac{1}{2} \text{Ø tul. lentur}\right) \\ &= 40 + 10 + \left(\frac{1}{2} \cdot 19\right) \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 65 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban vertikal dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa :

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

Kombinasi pembebanan gempa :

1. $U = 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$
 $U = 1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$

$$2. \quad U = 0,9D + 1,0E_x + 0,3E_y$$

$$U = 0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y$$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$ adalah kombinasi kritis pada pemodelan.

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 66 Diagram Torsi pada Balok

$$\text{Kombinasi } 1,2D + 0,3E_x + 1,0E_y + 1,0L$$

$$\text{Momen torsi} = 3556140,96 \text{ Nmm}$$

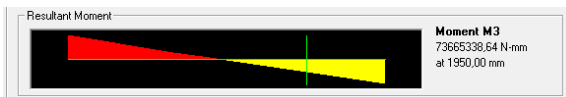
Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 67 Diagram Momen (-) pada Tumpuan Akibat Gravitasi dan Gempa

$$\text{Kombinasi } 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$$

$$\text{Momen tumpuan} = 146801628 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 68 Diagram Momen (+) pada lapangan akibat gravitasi dan gempa

$$\text{Kombinasi } 1,2D + 1,0E_x + 0,3E_y + 1,0L$$

$$\text{Momen lapangan} = 73665338,64 \text{ Nmm}$$

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 69 Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.2*, V_u diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 cm dari as kolom.

Gaya geser terfaktor = 116361,29 N

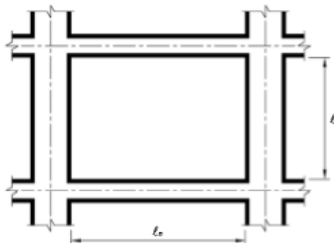
c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

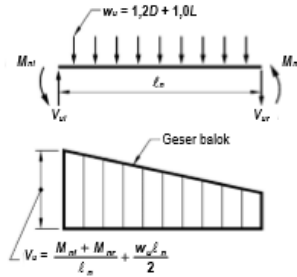
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan *SNI 2847-2013 pasal 21.3(2)*, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \times 400 \times 25}{10} = 300000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ pada komponen struktur sebesar 119750,5 N < 300000 N

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.3 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

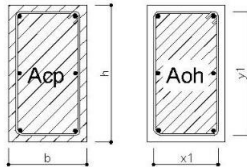




Gambar 4. 70 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Geser, Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/40



Gambar 4. 1 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 120000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \varnothing_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \varnothing_{geser})$$

$$\begin{aligned}
 &= (300\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (400\text{mm} - \\
 &\quad (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\
 &= 65100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkok

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times (b_{\text{balok}} - 2.t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2.t_{\text{decking}} \\
 &\quad - \emptyset_{\text{geser}}) \\
 &= 2 \times (300\text{mm} - (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) + (400\text{mm} - \\
 &\quad (2.40\text{mm}) - 10\text{mm}) \\
 &= 1040 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.4.5.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi $1,2D + 0,3Ex + 1,0Ey + 1,0L$

$$T_u = 3556140,96 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{3556140,96}{0,75} \\
 &= 4741521,28 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 116361,29 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \emptyset 0,083\lambda\sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{120000^2}{1400} \right) \\
 &= 3201428,57 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi 0,033\lambda\sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{120000^2}{1400} \right) \\ &= 1272857,14 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u_{\min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$

$3201428,57 \text{ Nmm} < 3556140,96 \text{ Nmm} \rightarrow$ **Memerlukan Tulangan Puntir**

Jadi, penampang balok memerlukan tulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}} \right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66\sqrt{f'_c} \right) \\ \sqrt{\left(\frac{11636,29}{300 \times 341} \right)^2 + \left(\frac{3556140,96 \times 1840}{1,7 \times 189100} \right)^2} &< \\ 0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 341}{300 \times 341} + 0,66\sqrt{25} \right) & \end{aligned}$$

1,25 < 3,94 \rightarrow **Memenuhi**

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.7* direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.6* berasal dari persamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 \times A_0 \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Untuk beton non prategang $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_0 &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 65100 \text{ mm}^2 \\ &= 55335 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_0 \times f_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{4741521,28}{2 \times 55335 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 0,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka Tulangan Puntir untuk Lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,18 \times 1040 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 136,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.5.3* tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{25} \times 120000}{400} - 0,18 \times 1040 \times \frac{400}{400} \\ &= 493,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,18 \text{ mm}$$

$$\frac{A_t}{s} < 0,18 \rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}$$

Maka nilai $\frac{A_t}{s} = 0,18 \text{ mm}$

Kontrol :

$A_{l_{perlu}} \leq A_{l_{min}}$ maka gunakan $A_{l_{min}}$

$A_{l_{perlu}} \geq A_{l_{min}}$ maka gunakan $A_{l_{perlu}}$

$$136,50 \text{ mm}^2 < 493,50 \text{ mm}^2 \rightarrow \textbf{maka gunakan } A_{l_{min}}$$

Maka dipakai tul. puntir perlu sebesar $493,50 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{493,50}{4} = 123,38 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tul. tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tul. tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $123,38 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{493,50}{4} = 246,75 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\text{luas D puntir}} \\ &= \frac{246,75}{0,25 \times \pi \times 16^2} \\ &= 1,86 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 2 D16

Luasan Tulangan Pasang Puntir Longitudinal (Sisi Tengah)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{luasan } D \text{ puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 16^2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 265,46 \text{ mm}^2 &> 246,75 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2 D16

4.4.5.2 Perhitungan Penulangan LenturDaerah Tumpuan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 341 \\ &= 204,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 204,30 \\ &= 153,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 60 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$Cc' = 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100$$

$$= 541875 \text{ N}$$

Luas Tulangan Tarik

$$A_{sc} = \frac{Ccr}{f_y}$$

$$= \frac{541875}{400}$$

$$= 1354,69 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right)$$

$$= 1354,69 \times 400 \times \left(341 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 126646347,66 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$M_{u_{tumpuan}} = 146801628 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{146801628}{0,8}$$

$$= 183502035 \text{ Nmm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 183502035 \text{ Nmm} - 126646347,66 \text{ Nmm}$$

$$= 22023285 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} > 0$

$M_{ns} = 22023285 \text{ Nmm} > 0 \rightarrow$ **maka perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur rangkap

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap**

$$\begin{aligned} C_s' = T_2 &= \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')} \\ &= \frac{22023285}{(341 - 60)} \\ &= 78374,68 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \\ &= \left(1 - \frac{60}{100}\right) 600 \\ &= 243 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Syarat :

$F_s' \leq f_y \rightarrow$ tulangan tekan leleh ($f_s' = f_y$)

$F_s' \geq f_y \rightarrow$ tulangan tekan tidak leleh ($f_s' = f_s'$)

$243 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \rightarrow$ **tulangan tekan tidak leleh**
($f_s' = f_s'$)

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85f_c'} \\ &= \frac{78374,68}{243 - 0,85 \times 25} \\ &= 353,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ss} &= \frac{T_2}{f_y} \\ &= \frac{78374,68}{400} \\ &= 195,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga :

Luas Perlu (A_s perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= A_{sc} + A_{ss} + \frac{A_l}{4} \\ &= 1354,69 \text{ mm}^2 + 195,94 \text{ mm}^2 + 123,38 \text{ mm}^2 \\ &= 1674 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}}$$

$$= \frac{1674}{0,25 \pi 19^2}$$

$$= 5,90 \approx 6 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 6 D19

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1701,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1701,17 \text{ mm}^2 &> 1674 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned} \text{As}' &= A'_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 353,44 \text{ mm}^2 + 123,38 \text{ mm}^2 \\ &= 476,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As}' \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\ &= \frac{476,81}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 1,68 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &> \text{As}' \text{ perlu} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &> 476,81 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 19)}{6-1} \\ &= 17,20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$17,20 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\text{maks}} \leq 40 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4-1} \\ &= 41,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$41,33 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$162 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \textbf{Memenuhi}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned}
 S \text{ tekan} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\
 &= 162 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$162 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada

Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3}$ x M lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 6 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 1701,17 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (1701,17 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 = 567,06 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 6 D19} = 1701,17 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D19} = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1701,06 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\ &= 106,74 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1701,17 \times 400 \left(341 - \frac{106,74}{2} \right) \\ &= 195382977 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_{n \text{ pasang}} > M_{n \text{ perlu}}$$

$$195382977 \text{ Nmm} > 183502035 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes BB-2 (30/40) untuk daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 6 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis
 - Lapis 1 = 4 D19
 - Lapis 2 = 2 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
 - Lapis 1 = 2 D19

Daerah Lapangan

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L

Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 341 \\ &= 204,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 204,30 \\ &= 153,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 60 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'_c b \beta_1 X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100 \\ &= 541875 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{f_y} \\ &= \frac{541875}{400} \\ &= 1354,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_r}{2} \right) \\ &= 1354,69 \times 400 \times \left(341 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ &= 161478750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{tumpuan}}} &= 73665338,64 \text{ Nmm} \\ Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\ &= \frac{73665338,64}{0,8} \\ &= 92081673,30 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 92081673,30 \text{ Nmm} - 161478750 \text{ Nmm}$$

$$= -69397076,70 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns > 0$$

$Mns = -69397076,70 \text{ Nmm} < 0 \rightarrow$ **maka tidak perlu tulangan lentur tekan**

Sehingga untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0271$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0271 = 0,0203$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{73665338,64}{0,8} = 92081673,30 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{92081673,30}{300 \times 341^2} = 2,65 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 2,65}{400}} \right) \\ &= 0,0071 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat: } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,0071 < 0,0203 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0071 \times 300 \times 341 \\ &= 724,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang Ditambahkan pada Tulangan Lentur Tarik, Maka Luasan Bertambah Besar

$$\text{At} = 123,38 \text{ mm}^2$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik + Luasan Tulangan Puntir

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As} + \text{At} \\ &= 724,43 \text{ mm}^2 + 123,38 \text{ mm}^2 \\ &= 847,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\ &= \frac{847,81}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 2,99 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

Luas Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 850,59 \text{ mm}^2 &> 874,81 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3A_s \\
 &= 0,3 \times 850,59 \text{ mm}^2 \\
 &= 255,18 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s' \text{ perlu}}{\text{luasan D lentur}} \\
 &= \frac{255,18}{0,25 \pi 19^2} \\
 &= 0,90 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luas Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &> 255,18 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 40 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tarik*

$$\begin{aligned}
 S \text{ tarik} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\
 &= 71,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \\
 71,5 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

▪ *Kontrol Tulangan Tekan*

$$\begin{aligned}
 S \text{ tekan} &= \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot D_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\
 &= 162 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$162 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3}$ x M lentur tumpuan (-)

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} (850,59 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 > 283,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 3 D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D9} = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tul.tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\ &= 53,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= \text{As} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,59 \times 400 \left(341 - \frac{53,37}{2} \right) \\ &= 106770665 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_{n \text{ pasang}} > M_{n \text{ perlu}}$$

$$106770665 \text{ Nmm} > 92081673 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes BB-2 (30/40) untuk daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 3 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Kontrol Lendutan

Pengecekan lendutan pada balok dilakukan berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(b).

$$\begin{aligned} \text{Batas lendutan} &= \frac{\ell}{\frac{240}{2600}} \\ &= \frac{240}{10} \\ &= 10,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan besarnya lendutan yang terjadi :

$$d = 341 \text{ mm}$$

$$d' = 60 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa} \\
 n &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23500} = 8,51 \\
 I_g &= \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 400^3 = 0,16 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \\
 f_r &= 0,62 \lambda \sqrt{f_c'} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{25} = 3,1 \text{ MPa} \\
 y_t &= \frac{h}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tumpuan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)567,06}{8,51 \times 1701,17} = 0,29$$

$$\begin{aligned}
 kd &= \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d} \right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \\
 &= \frac{1}{300} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 341 \times 300 \left(1 + 0,29 \frac{60}{341} \right) + (1+0,29)^2} \right) - \right. \\
 &\quad \left. (1+0,29) \right\} \\
 &= 1,54
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I_{cr} dan M_{cr} . Nilai dari I_{cr} dan M_{cr} didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \left(\frac{1}{3}b \cdot kd^3 \right) + (n \cdot As \cdot (d - kd)^2) + \\
 &\quad \left((n-1)As' \cdot (kd - d')^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{3}300 \times 1,54^3 \right) + (8,51 \times 1701,17(341 - \\
 &\quad 1,54)^2) + ((8,51 - 1) \times 567,06 \times \\
 &\quad (1,54 - 60)^2) \\
 &= 0,17 \times 10^{10}
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 0,16 \times 10^{10}}{200} = 0,25 \times 10^8$$

Nilai I_{cr} yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I_g .

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e , dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{0,25 \times 10^8}{195382977} = 0,13 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia I_e perlu untuk dicari

I_e tumpuan

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{0,25 \times 10^8}{195382977}\right)^3 0,16 \times 10^{10} + \left\{1 - \left(\frac{0,25 \times 10^8}{195382977}\right)^3\right\} 0,17 \times 10^{10} \\ &= 0,17 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Lapangan

$$r = \frac{(n-1)As'}{nAs} = \frac{(8,51-1)567,06}{8,51 \times 850,59} = 0,59$$

$$\begin{aligned} kd &= \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d}\right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \\ &= \frac{1}{300} \left\{ \left(\sqrt{2 \times 341 \times 300 \left(1 + 0,59 \frac{60}{341}\right) + (1+0,59)^2} \right) - (1+0,59) \right\} \\ &= 1,58 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari Icr dan Mcr. Nilai dari Icr dan Mcr didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left(\frac{1}{3} b \cdot kd^3\right) + (n \cdot A_s \cdot (d - kd)^2) + \\ &\quad \left((n - 1)A_s' \cdot (kd - d')^2\right) \\ &= \left(\frac{1}{3} 300 \times 1,58^3\right) + (8,51 \times 850,59) + \\ &\quad \left((8,51 - 1) \times 567,06 \times (1,58 - 60)^2\right) \\ &= 8,46 \times 10^8 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,1 \times 0,16 \times 10^{10}}{200} = 0,25 \times 10^8$$

Nilai Icr yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari Ig.

Menghitung Momen Inersia Efektif (Ie)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan $M_{cr} = M_u$ dan $I_e = I_g$

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia Ie perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai Ie, dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D}\right)^3\right\} I_{cr}$$

$\frac{M_{cr}}{M_D} = \frac{0,25 \times 10^8}{106770665} = 0,23 < 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia Ie perlu untuk dicari

Ie lapangan

$$= \left(\frac{0,25 \times 10^8}{106770665} \right)^3 0,16 \times 10^{10} + \left\{ 1 - \left(\frac{0,25 \times 10^8}{106770665} \right)^3 \right\} 8,46 \times 10^8$$

$$= 0,09 \times 10^{10}$$

Nilai Ie yang dipakai dalam perhitungan lendutan besarnya merupakan kombinasi dari 0,7 Ie lapangan + 0,15 Ie tumpuan kiri + 0,15 Ie tumpuan kanan. Namun karena besarnya Ie tumpuan kanan sama besarnya Ie tumpuan kiri maka diambil nilai 0,7 Ie lapangan + 0,3 Ie tumpuan.

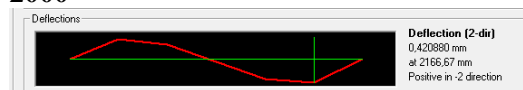
$$\begin{aligned} Ie \text{ rata-rata} &= 0,7 Ie \text{ lapangan} + 0,3 Ie \text{ tumpuan} \\ &= 0,7 (0,09 \times 10^{10}) + 0,3 (0,17 \times 10^{10}) \\ &= 0,11 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Nilai dari lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \Delta_i &= \frac{5}{48} k \frac{Ma \cdot L^2}{Ec \cdot Ie_{\text{rata-rata}}} \\ &= \frac{5}{48} \times 1 \times \frac{106770665 \times 2600^2}{23500 \times 0,11 \times 10^{10}} \\ &= 0,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
0,07 mm < 10,83 mm (OK)

Lendutan yang terjadi dari analisa program SAP 2000



Gambar 4. 71 Diagram Defleksi pada Balok

Lendutan terjadi = 0,42 mm

Cek syarat : lendutan terjadi < batas lendutan
 0,42 mm < 10,83 mm (OK)

4.4.5.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	= BB-2
Dimensi balok (b balok)	= 300 mm
Dimensi balok (h balok)	= 400 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 MPa
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BB-2 (30/40), didapat :

Momen Nominal Kanan dan Kiri

Momen nominal kanan dan kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 6 D19 = 1701,17 mm²

As pakai tulangan tekan 2 D19 = 567,06 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul. tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{1701,17 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right)$$

$$= 106,74 \text{ mm}$$

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

$$= 1701,17 \times 400 \left(341 - \frac{106,74}{2} \right)$$

$$= 195382977 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi $1,2D + 1,0Ex + 0,3Ey + 1,0L$ dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor $V_u = 116361,29 \text{ N}$

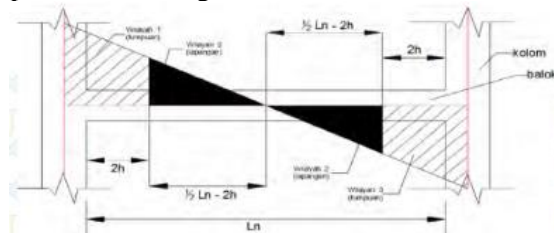
Pembebanan Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi menjadi 3 wilayah, yaitu :

- *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3]

- *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4. 72 Pembagian Wilayah Geser Balok

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 2847-2013]

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} < 8,33$$

$$5 < 8,33 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f_c'} b d \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 341 \\ &= 86827,50 \text{ N} \end{aligned}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.1]

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s,\min} &= 0,33 b d \\ &= 0,33 \times 300 \times 341 \\ &= 33709,50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,\max} &= 0,33 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 300 \times 341 \\ &= 1768547,50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s,\max} &= 0,66 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 344 \\ &= 337095 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok*1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)*

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{W_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3]

Dimana :

V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n = panjang bersih balok

Maka :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nr} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u \\ &= \frac{195382977 + 195382977}{(2600 - 400 - 275)} + 116361,29 \\ &= 311744,27 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$311744,27 \text{ N} > 32560,31 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$32560,31 \text{ N} < 311744,27 \text{ N} > 65120,63 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

$65120,63 \text{ N} < 311744,27 \text{ N} > 90402,75 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$90402,75 \text{ N} < 311744,27 \text{ N} > 191531,25 \text{ N} \rightarrow$ **Tidak Memenuhi**

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,\max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,\max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

$191531,25 \text{ N} < 311744,27 \text{ N} < 317941,88 \text{ N} \rightarrow$ **Memenuhi**

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 5**.

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\phi V_{s_{\text{perlu}}} = V_u + \phi V_c$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{311744,27 - 0,75 \times 86827,50}{0,75} \\ &= 328831,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \pi 10^2) \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \times 400 \times 341}{328831,25}$$

$$= 65,16 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 50 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 5**

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{4} \quad \text{atau} \quad S_{\text{max}} < 600$$

$$50 < \frac{341}{4} \quad \text{atau} \quad 50 < 600$$

$$50 \text{ mm} < 85,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-50mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

$$- S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$$

$$50 \text{ mm} < \frac{341 \text{ mm}}{4}$$

$$50 \text{ mm} < 85,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

- $S_{pakai} < 8D_{lentur}$
 $50 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$
 $50 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 24D_{senggang}$
 $50 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$
 $50 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BB-2 (30/40) pada Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-50 mm dengan sengkang 2 kaki.

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2}\ell_n - 2h} = \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2}\ell_n}$$

$$V_{u2} = \frac{V_{u1}\left(\frac{1}{2}\ell_n - 2h\right)}{\frac{1}{2}\ell_n}$$

$$= \frac{311744,27 \left(\frac{1}{2}(2600 - 400 - 275) - 2(400) \right)}{\frac{1}{2}(2600 - 400 - 275)}$$

$$= 52632,15 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser
 $52632,15 \text{ N} > 32560,31 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$

Kondisi 2

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum
 $32560,31 \text{ N} < 52632,15 \text{ N} < 65120,63 \rightarrow \text{Memenuhi}$

Kondisi 3

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,min}) \rightarrow$ Tulangan Geser Minimum

Kondisi 4

$\phi(V_c + V_{s,min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Kondisi 5

$\phi(V_c + V_{s,max}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s,max}) \rightarrow$ Tulangan Geser

Maka perencanaan tulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 2.**

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$V_{S_{perlu}} = V_{S_{min}} = 33709,50 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\emptyset 10$ mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \pi 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 341}{33709,50} \\ &= 635,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 85 mm antar tulangan geser

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan **Kondisi 2**

$$S_{\max} < \frac{d}{2} \quad \text{atau} \quad S_{\max} < 600$$

$$85 < \frac{341}{2} \quad \text{atau} \quad 85 < 600$$

$$85 \text{ mm} < 170,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D10-85mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a) $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

[SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4(2)]

$$- S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$$

$$85 \text{ mm} < \frac{341 \text{ mm}}{4}$$

$$85 \text{ mm} < 85,25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$- S_{\text{pakai}} < 8D_{\text{lentur}}$$

$$85 \text{ mm} < 8(19 \text{ mm})$$

$$85 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$- S_{\text{pakai}} < 24D_{\text{sengkang}}$$

$$85 \text{ mm} < 24(10 \text{ mm})$$

$$85 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$- S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$85 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BB-1 (30/40) pada Wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang D10-85 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.4.5.4 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12*.

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*.
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. [*SNI 2847-2013 Pasal 12.2.1*]

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

[*SNI 2847-2013 Tabel pada Pasal 12.2*]

Dimana :

- λd = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
- d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai
- Ψ_t = faktor lokasi penulangan
- Ψ_e = faktor pelapis
- λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} \lambda d &= \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b \\ &= \left[\frac{400 \times 1 \times 1,5}{2,1 \times 1 \sqrt{25}} \right] 19 \\ &= 1085,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\lambda d > 300 \text{ mm}$
 $1085,71 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{Memenuhi}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

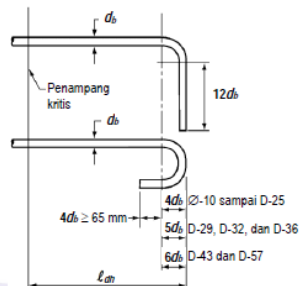
$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \lambda d \\ &= \frac{1674}{1701,17} \times 1085,71 \\ &= 1068,37 \text{ mm} \approx 1100 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1100 mm

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
 Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5*. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[*SNI 2837-2013 Pasal 12.5.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2* Untuk batang tulangan ulir λd harus sebesar $(0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 73 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standar

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24\Psi_e f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1\sqrt{25}} \times 19 \\ &= 364,80 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat : $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$
 $364,80 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \rightarrow$ **Memenuhi**

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{reduksi} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \lambda_{dh} \\ &= \frac{1674}{1701,17} \times 364,80 \\ &= 358,97 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 400 mm.

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 228 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3*.

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[*SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1*]

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2* Panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= \frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} d_b & \lambda_{dc} &= (0,043f_y)d_b \\ \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{25}} \times 19 & \lambda_{dc} &= (0,043 \times 400)19\end{aligned}$$

$$\lambda_{dc} = 364,80 \text{ mm}$$

$$\lambda_{dc} = 326,80 \text{ mm}$$

Maka, diambil 364,80 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \lambda_d \\ &= \frac{255,18}{567,06} \times 364,80 \\ &= 164,16 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka diambil minimum 200 mm

Panjang kait

$$4d_b + 4d_b = 4(19) + 4(19) = 152\text{mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Gambar Detail Penulangan

TIPE TIE BEAM	BB-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	6 D19	2 D19
TULANGAN SAMPING	2 D13	2 D13
TULANGAN BAWAH	2 D19	3 D19
SENGKANG	D10-50	D10-85

Gambar 4. 74 Detail Penulangan Balok BB-2

4.5 Perhitungan Kolom

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As E-5 pada lantai 3. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000, ketentuan perhitungan dan syarat – syarat penulangan kolom dalam metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut:

4.5.1 Perhitungan Lentur Kolom

a. Data perencanaan kolom:

Tipe Kolom	: K2
As Kolom	: E-5
Frame	: 1386
Tinggi kolom atas	: 3200 mm
Tinggi kolom bawah	: 3200 mm
Tinggi kolom pendek	: 1000 mm
b kolom	: 600 mm
h kolom	: 600 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: $4700\sqrt{f_c}$
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	: 10 mm
Tebal selimt beton (decking)	: 40 mm
<i>[SNI 2847-2013 pasal 7.7.1]</i>	
Jarak spasi tulangan sejajar (s sejajar)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3]</i>	
Faktor β_1	: 0,85
<i>[SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,65

[SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.(2)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

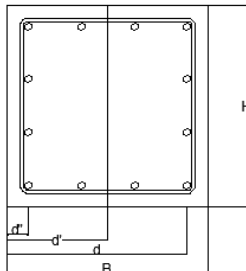
[SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Maka, tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2}\phi \text{ tul lentur} \\ &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}\right) \\ &= 587,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2}\phi \text{ tul lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}\right) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

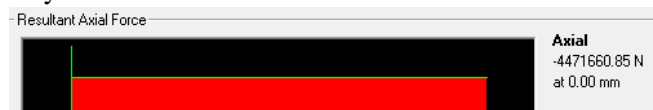
$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2}\phi \text{ tul lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 650\right) \\ &= 262,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



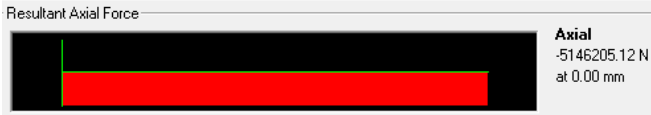
Gambar 4. 75 Tinggi Efektif

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 1386 didapatkan:

Gaya Aksial Kolom



$$P_u (1,2 \text{ DL}) = 4471660,85 \text{ N}$$



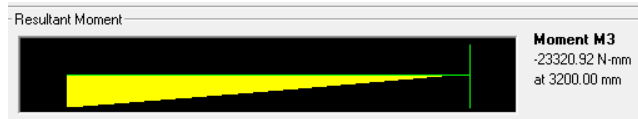
$$P_u (1,2 DL + 1,6 LL) = 5146205,12 \text{ N}$$

- Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL

Momen arah sumbu X

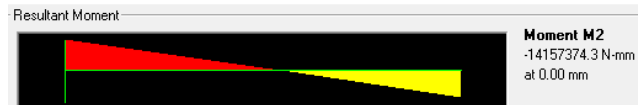


$$M_{2ns} = 637962,33 \text{ Nmm}$$

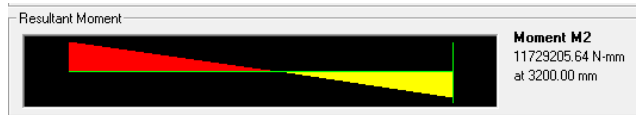


$$M_{1ns} = 23320,2 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{2ns} = 14157374,3 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 11729205,64 \text{ Nmm}$$

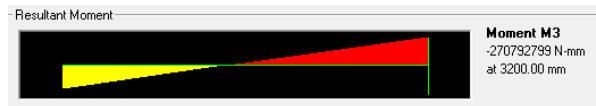
Momen Akibat Pengaruh Beban Gravitasi:

M_{1ns} = adalah nilai yang lebih kecil dari momen – momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. [SNI 2847-2013]

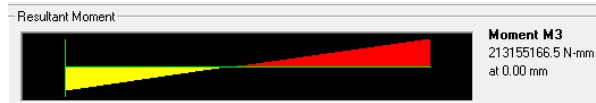
M_{2ns} = adalah nilai yang lebih besar dari momen – momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. [SNI 2847-2013]

Momen Akibat Pengaruh Gaya Gempa

Momen arah sumbu X

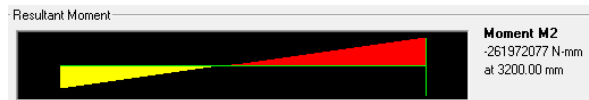


$$M_{2s} = 270792799 \text{ Nmm}$$

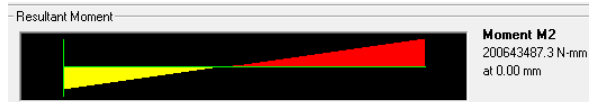


$$M_{1s} = 213155166,5 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{2s} = 261972077 \text{ Nmm}$$



$$M_{1s} = 200643487,3 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa

M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm. [SNI 2847-2013]

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm. [SNI 2847-2013]

Syarat Gaya Aksial pada Kolom

Menurut *SNI 2847-2013 ps 21.3.2* Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \cdot F_c / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (ketentuan Kolom untuk SRPMM)

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c}{10}$$

$$5146205,12 < \frac{650 \cdot 650 \cdot 25}{10}$$

$$5146205,12 \text{ N} > 1056250 \text{ N} \rightarrow \text{(Memenuhi)}$$

Maka perhitungan koLom menggunakan syarat SRPMM

Kontrol Kelangsingan Kolom

βd = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\begin{aligned} \beta d &= \frac{1,2 \times \text{PDL}}{1,2\text{DL} + 1,6\text{LL}} \\ &= \frac{4471660,85 \text{ N}}{5146205,12 \text{ N}} \\ &= 0,87 \end{aligned}$$

Panjang Tekuk Kolom

$$\Psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom}}}{\Sigma(EI/L)_{\text{balok}}}$$

[*SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7*]

Untuk kolom (65/65)

$$E_{lk} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d}$$

[*SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1*]

$$\begin{aligned} I_g &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 650 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3 \\ &= 10412864583 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700\sqrt{25} \text{ MPa} \\
 &= 23500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lk} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 23500 \times 10412864583}{1 + 0,87} \\
 &= 52342741750000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Balok Memanjang Bawah (40/70)

$$E_{lb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\
 &= 4001666667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700\sqrt{25} \text{ MPa} \\
 &= 23500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 23500 \times 4001666667}{1 + 0,87} \\
 &= 20115329770000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Balok Melintang Bawah (40/70)

$$E_{lb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\
 &= 4001666667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700\sqrt{25 \text{ MPa}} \\
 &= 23500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 23500 \times 4001666667}{1 + 0,87} \\
 &= 20115329770000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Balok Memanjang Atas (40/70)

$$E_{lb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\
 &= 4001666667 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 &= 4700\sqrt{25 \text{ MPa}} \\
 &= 23500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d} \\
 &= \frac{0,4 \times 23500 \times 4001666667}{1 + 0,87} \\
 &= 20115329770000 \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Balok Melintang Atas (40/70)

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d}$$

[SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1]

$$\begin{aligned} I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (700 \text{ mm})^3 \\ &= 4001666667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\ &= 4700\sqrt{25 \text{ MPa}} \\ &= 23500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_b &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{a + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 4001666667}{1 + 0,87} \\ &= 20115329770000 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

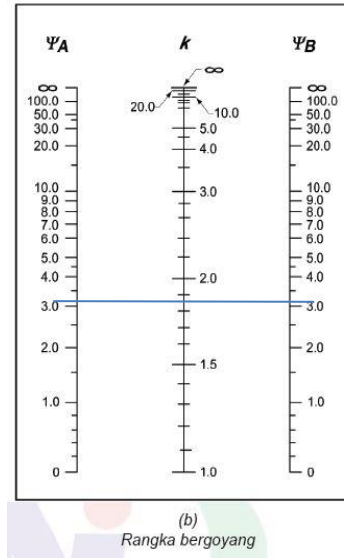
Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k).

Kekakuan Kolom Atas

$$\begin{aligned} \Psi_a &= \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1}} \\ &= 3,19 \end{aligned}$$

Kekakuan Kolom Bawah

$$\begin{aligned} \Psi_b &= \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom bawah}}}{(EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1} + (EI/L)_{S1}} \\ &= 1,00 \text{ (Karena tertumpu pada pondasi)} \end{aligned}$$



Gambar 4. 76 Grafik Aligment

Menurut *SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7*
 Dari grafik aligment didapatkan $K = 1,85$

Menghitung Radius Girasi (r)

Menurut *SNI 2847-2013 psl 10.10.1.2* radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3h$$

$$r = 0,3 \times 650 \text{ mm}$$

$$= 195 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

Nilai $\frac{k \times Lu}{r} \leq 22$; Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

Nilai $\frac{k \times Lu}{r} \geq 22$; Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom langsing)

$$\frac{1,85 \times 3200 \text{ mm}}{195 \text{ mm}} \leq 22$$

30,36 \geq maka kolom termasuk kolom langsing

[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10]

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya – gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

Akibat kombinasi gempa (1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey)

$$M_{1s} = 213155166,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 270792799 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L

$$M_{1ns} = 23320,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 637962,33 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai Pc (P kritis) pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(K \cdot Lu^2)}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 52342741750000}{(1,85 \cdot 3200^2)}$$

$$= 14734056,43 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$= 42 \times 14734056,43 \text{ N}$$

$$= 618830369,9 \text{ N}$$

$$P_u = 5146205,12 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$= 42 \times 5146205,12 \text{ N}$$

$$= 216140615 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{216140615}{0,75 \times 618830369,9}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,87 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta = 1,87$ dalam perhitungan pembesaran momen

[SNI 2847-2013 psl 10.10.7.4]

Pembesaran Momen:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 23320,2 \text{ Nmm} + 1,87 \times 213155166,5 \text{ Nmm} \\ &= 398963981,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 637962,33 \text{ Nmm} + 1,87 \times 270792799 \text{ Nmm} \\ &= 507453068,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 507453068,6 \text{ Nmm}$$

Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ perlu untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - \text{ølentur} \\ &= 650 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 25 \text{ mm} \\ &= 525 \text{ mm} \end{aligned}$$

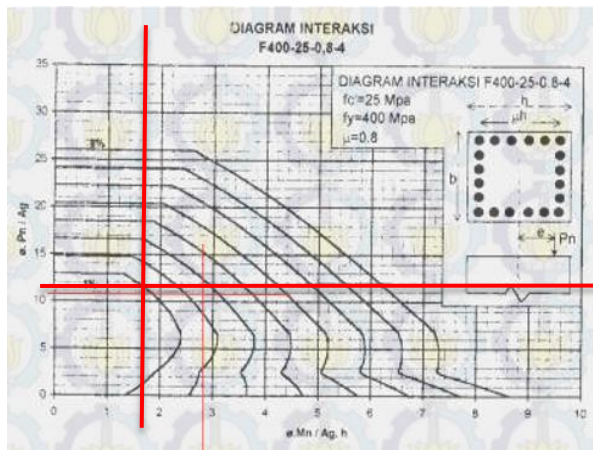
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{525}{650} = 0,807$$

Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned} \frac{\varphi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{5146205,12}{650 \times 650} = 12,18 \end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned} \frac{\varphi M_n}{A_g \cdot h} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{507453068,6}{650 \times 650^2} = 1,85 \end{aligned}$$



Gambar 4. 77 Diagram Interaksi

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2 \% = 0,02$

Menghitung Penulangan Kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,02 \times 650 \times 650 \\ &= 8450 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Lentur

Luas tulangan D25

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 490,625 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D22}} \\
 n &= \frac{8450}{490,625} \\
 &= 17,22 \approx 20 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right) \\
 &= 20 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \right) \\
 &= 9812,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan koom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar

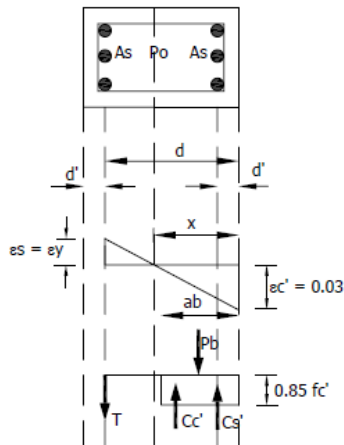
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Tulangan Terpasang} &= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h} \times 100\% \\
 &= \frac{9812,5}{650 \times 650} \times 100\% \\
 &= 2,32\% < 8\% \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{507453068,6 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 780697028,6 \text{ Nmm} \\
 P_n &= \frac{5146205,12 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 7917238,646 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e \text{ perlu} &= M_n/P_n \\
 &= 780697028,6 \text{ Nmm}/7917238,646 \text{ N} \\
 &= 98,6 \text{ mm} \\
 e \text{ min} &= (15 + 0,03h) \\
 &= (15 + 0,03 \times 650 \text{ mm}) \\
 &= 34,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi balance



$$\text{Syarat : } \varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$$

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 25) \text{ mm} \\
 &= 587,5 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm} \\
 &= 62,5 \text{ mm} \\
 d'' &= b - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b \\
 &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 650 \\
 &= 262,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_b &= \frac{600}{600+f_y} \times d \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 650 \\
 &= 352,5 \text{ mm} \\
 a_b &= 0,85 \times x_b \\
 &= 0,85 \times 352,5 \text{ mm} \\
 &= 299,625 \text{ mm} \\
 C_{s'} &= A_s (f_y - 0,85 \times f_c') \\
 &= 9812,5 \text{ mm}^2 (400 \text{ N/mm}^2 - 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2) \\
 &= 3716484,375 \text{ N} \\
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 9812,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 3925000 \text{ N} \\
 C_{c'} &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 25 \times 650 \times 352,5 \\
 &= 4138570,313 \text{ N} \\
 \Sigma V &= 0 \rightarrow P_b = C_{c'} + C_{s'} - T \\
 &= 4138570,313 + 3716484,375 - 3925000 \\
 &= 3930054,7 \text{ N} \\
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= C_{c'} \left(d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) + C_{s'} (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 4138570,313 \left(587,5 - 262,5 - \frac{299,625}{2} \right) + \\
 &\quad 3716484,375 (587,5 + 262,5 + 62,5) + 3925000 \times \\
 &\quad 262,5 \\
 &= 2730915435 \text{ N.mm} \\
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 2730915435 \text{ N.mm} / 3930054,7 \text{ N} \\
 &= 694,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$34,5 \text{ mm} < 98,6 \text{ mm} < 694,88 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol Kondisi Tekan Menentukan

Syarat :

$$e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$98,6 \text{ mm} < 694,88 \text{ mm} \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 0,54 \times 587,5 \text{ mm}$$

$$x = 373,24 \text{ mm}$$

$$a = 0,85x$$

$$= 0,85 \times 214,41 \text{ mm}$$

$$= 182,25 \text{ mm}$$

Syarat : $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= \left(\frac{587,5}{373,24} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$= \left(\frac{587,5}{373,24} - 1 \right) \times 600$$

$$= 373 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 9812,5 \text{ mm}^2 (400 \text{ N/mm}^2 - 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2)$$

$$= 3716484,4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 25 \times 650 \times 352,5 \\
 &= 4382015,63 \text{ N} \\
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 9812,5 \text{ mm}^2 \left(\frac{587,5}{373,24} - 1 \right) \times 650 \\
 &= 3661516,204 \text{ N} \\
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 4382015,63 \text{ N} + 3716484,4 \text{ N} - 3661516,204 \text{ N} \\
 &= 4436983,796 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$P > P_b$

$4436983,796 \text{ N} > 3930054,7 \text{ N} \rightarrow$ **(memenuhi)**

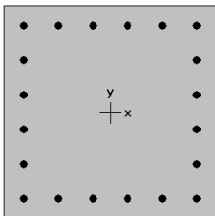
$$\begin{aligned}
 M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 4382015,63 \left(587,5 - 262,5 - \frac{299,63}{2} \right) + \\
 &\quad 3716484,4 (587,5 + 262,5 + 62,5) + 3661516,204 \times \\
 &\quad 262,5 \\
 &= 2665783002 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$M_n \text{ pasang} > M_n$

$2665783002 \text{ N.mm} > 780697028,6 \text{ N.mm} \rightarrow$ **(memenuhi)**

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 20D25 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:



Prosentase Tulangan Terpasang :

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 20 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) \\ = 9812,5 \text{ mm}^2$$

Cek persyaratan :

$$\% \text{ tulangan} = \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ = \frac{9812,5}{650 \times 650} \times 100\% \\ = 2,32\% < 8\% \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Satu Sisi :

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} < S_{\text{sejajar}} \quad \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

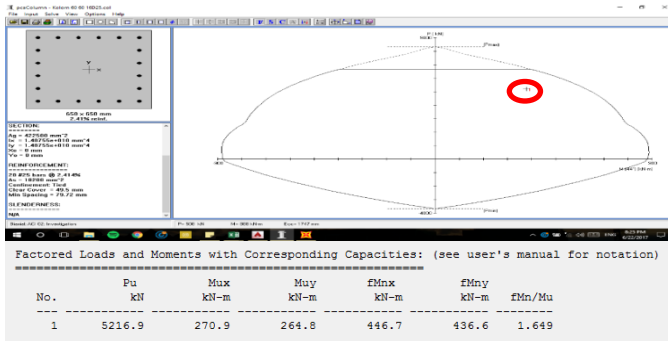
$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \emptyset \text{lentur})}{n - 1} \\ = \frac{650 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (6 \cdot 25)}{6 - 1} \\ = 90 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis.

Cek dengan Program PCAColomn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan dalam analisis PCAColomn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 MPa
Modulus elastisitas	= 23500 MPa
β_1	= 0,85
b kolom	= 650 mm
h kolom	= 650 mm
Mux (M3 terbesar dari kombinasi SAP)	= 270,88 kNm
Muy (M2 terbesar dari kombinasi SAP)	= 264,77 kNm
Pu (kombinasi ultimate)	= 5216,94 kN
Tulangan kolom pasang	= 20D25



Berdasarkan output PCAColumn

$$M_{ux} = 270,9 \text{ kNm} < M_{nx} = 446,7 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 264,8 \text{ kNm} < M_{ny} = 436,6 \text{ kNm}$$

Maka kolom dipasang tulangan 20D25

Prosentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= 20 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) \\ &= 9812,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{9812,5}{650 \times 650} \times 100\% \\ &= 2,32 \% < 8 \% \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCAColumn lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual oleh penampang kolom dan tulangannya maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

4.5.2 Perhitungan Penulangan Geser Kolom

Data Perencanaan

$$\text{Lebar Kolom } (b_{\text{kolom}}) = 650 \text{ mm}$$

Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 650 mm
Tebal Selimut Beton	= 40 mm
Tinggi Kolom	= 3200 mm
Mutu Beton (f_c')	= 25 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 400 MPa
Diameter Tulangan Lentur	= 25 mm
Diameter Tulangan Geser	= 10 mm
Faktor Reduksi	= 0,75

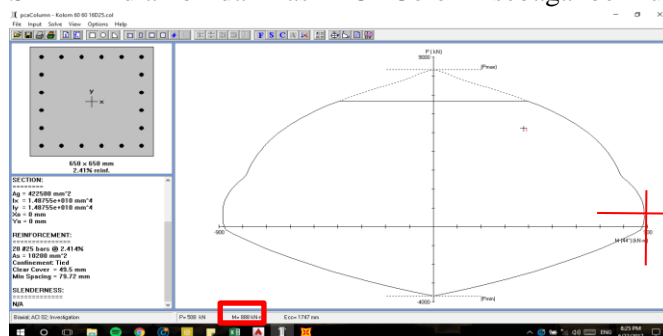
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2(3)]

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom sebagai berikut :

$$P_u = (1,2 D + 1,6 L)$$

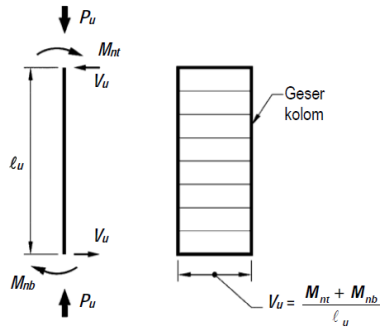
$$= 5146205,12 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCAColomn sebagai berikut



$$M_{nt} = 888000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 888000000 \text{ Nmm}$$



$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u}$$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5]

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas kolom

M_{nb} = momen nominal bawah kolom

$$\begin{aligned} M_{nt} &= \frac{M_{ut}}{\phi} \\ &= \frac{888000000}{0,75} \\ &= 1184000000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= \frac{M_{ub}}{\phi} \\ &= \frac{888000000}{0,75} \\ &= 1184000000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u} \\ &= \frac{1184000000 + 1184000000}{3200} \\ &= 740000 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 2847-2013]

$$\sqrt{f'_c} < 25/3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{25 \text{ MPa}} < 8,33 \text{ MPa}$$

$$5 \text{ MPa} < 8,33 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

Kekuatan Geser pada Beton :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left[1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \left[1 + \frac{5146205,12}{14 \times 422500} \right] \times 1 \times \sqrt{25} \times 650 \times 587,5 \\
 &= 606998,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser :

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= 0,33 \times b \times d \\
 &= 0,33 \times 650 \text{ mm} \times 587,5 \text{ mm} \\
 &= 127291,67 \text{ N} \\
 V_{s_{\max}} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 650 \text{ mm} \times 587,5 \text{ mm} \\
 &= 636458,33 \text{ N} \\
 2V_{s_{\max}} &= 2 \times V_{s_{\max}} \\
 &= 2 \times 636458,33 \text{ N} \\
 &= 1272916,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Penulangan Geser :

Kondisi 1

$$\begin{aligned}
 V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c &\rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser} \\
 740000 \text{ N} > 227624,56 \text{ N} &\rightarrow \text{(tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kondisi 2

$$\begin{aligned}
 0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c &\rightarrow \text{tulangan geser minimum} \\
 227624,56 \text{ N} < 740000 \text{ N} > 606998,82 \text{ N} &\rightarrow \text{(tidak} \\
 \text{memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kondisi 3

$$\begin{aligned}
 \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) &\rightarrow \text{tulangan geser} \\
 \text{minimum} \\
 455249,12 \text{ N} < 740000 \text{ N} > 550717,87 \text{ N} &\rightarrow \text{(tidak} \\
 \text{memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kondisi 4

$$\begin{aligned}
 \emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset \times (V_c + V_{s_{\max}}) &\rightarrow \text{tulangan} \\
 \text{geser}
 \end{aligned}$$

550717,87 N < 740000 N < 932592,87 N → **(memenuhi)**

Kondisi 5

$\emptyset \times (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset \times (V_c + 2V_{s_{\max}})$ → tulangan geser

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan kondisi 4

Beban Gaya Geser yang Harus Dipikul oleh Tulangan

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\text{perlu}}} &= V_u + \phi V_c \\ V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{740000 - 0,75 \times 606998,82}{0,75} \\ &= 379667,85 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 587,5}{379667,85} \\ &= 97,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser

$$S_{\text{pakai}} \leq d/2$$

97,23 mm < 293,75 mm → **(memenuhi)**

$$S_{\text{pakai}} \leq 600 \text{ mm}$$

97,23 mm < 600 mm → **(memenuhi)**

Maka dipasang jarak 95 mm antar tulangan geser

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 21.2.5.2*, spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_0 dari muka hubungan balok-kolom S_0 . Spasi S_0 tersebut tidak boleh melebihi :
 - a. Delapan kali tulangan longitudinal terkecil,

$$S_0 \leq 8 \times \phi_{\text{lentur}}$$

$$95 < 200 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$
 - b. 24 kali diameter sengkang ikat

$$S_0 \leq 24 \times \phi_{\text{sengkang}}$$

$$95 < 240 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$
 - c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur

$$S_0 \leq \frac{1}{2} bw$$

$$95 \leq 325 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$
 - d. $S_0 \leq 300 \text{ mm}$

$$95 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

Maka digunakan D10-95 mm

Panjang L_0 tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- a. Seperenam tinggi bersih kolom

$$L_0 = 1/6 \times (3200 \text{ mm} - 700 \text{ mm})$$

$$L_0 = 416,67 \text{ mm}$$
- b. Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_0 = 650 \text{ mm}$$
- c. $L_0 > 450 \text{ mm}$

Maka dipakai L_0 sebesar 700 mm

Sehingga dipasang tulangan sengkang D10-95 mm sejarak 700 mm dari muka hubungan balok-kolom.
2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari $0,5 \times S_0 = 0,5 \times 95 \text{ mm} = 47,5 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.
3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_0 = 2 \times 95 \text{ mm} = 190 \text{ mm}$.

Maka pada daerah setelah sejarak $L_0 = 600$ mm dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar D10-95.

4.5.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.16*, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 420$ MPa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \times 25 \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{(memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 710 mm

4.5.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2* panjang penyaluran diambil terbesar dari :


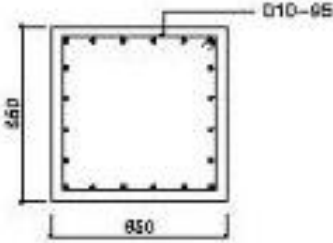
$$L_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_o}{1,7\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$L_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{25}} \right) 25$$

$$L_d = 1176,5 \text{ mm}$$

Diambil 1176,5 mm \approx 1200 mm

Gambar Detail Penulangan Kolom

KOLDM LEVEL	K2
<p>LANTAI ATAP</p>  <p>LANTAI 3</p>	
DIMENSI	650 x 650
TULANGAN UTAMA	20 D25
SENGKANG	D10-95
MUTU BETON	f _c ' 25 MPa

Gambar 4. 78 Detail Penulangan Kolom K2

4.6 Perhitungan Volume Tulangan

Perhitungan volume tulangan dilakukan pada satu portal memanjang dan satu portal melintang, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui volume tulangan per m³ beton.

4.6.1 Volume Tulangan Memanjang

Volume tulangan yang dihitung pada elemen balok dan kolom berupa tulangan utama, tulangan torsi dan tulangan geser. Dengan hasil yang diharapkan adalah tulangan per satuan meter, lonjor dan berat.

Contoh perhitungan :

1) Balok Induk

Perhitungan volume pembesian balok induk memanjang 40/70 dengan bentang 8 m.

Data balok:

Tipe	Dimensi (m)		L	Jumlah Balok
	b	h	(m)	
BI-1	0,40	0,70	8	6

Panjang wilayah :

$$\begin{aligned} \text{Panjang tumpuan} &= \frac{1}{2} b_{\text{kolom}} + 2.h \\ &= \frac{1}{2} (0,8 \text{ m}) + 2 (0,7 \text{ m}) \\ &= 1,80 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang lapangan} &= L - 2 (\text{panjang tumpuan}) \\ &= 8 \text{ m} - 2 (1,80 \text{ m}) \\ &= 4,40 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah dan panjang tulangan geser yang digunakan disetiap wilayah adalah:

Tumpuan (D10-150 mm)

$$\begin{aligned} \text{Banyak tulangan} &= 2.h/s \\ &= (2(0,70 \text{ m}))/0,15 \text{ m} \\ &= 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Lapangan (D10-150 mm)
 Banyak tulangan = L_{LAP}/s
 = $4,40 \text{ m}/0,15 \text{ m}$
 = 29 buah

Panjang 1 tulangan :
 = $2((b-2t_{\text{decking}})+(h-2t_{\text{decking}})) + 2(6d_b)$
 = $2((0,40\text{m}-(2.0,04\text{m}))+(0,7\text{m}-(2.0,04\text{m})))+(2.6.0,010\text{m})$
 = 2,20 m

Tulangan yang digunakan:

KET	D	Jumlah		
		Tump	Lap	Tump
Tul atas	22	6	2	6
Tul bawah	22	2	3	2
Tul samping	16	2	2	2
Sengkang	10	9	29	9

Menghitung panjang tulangan yang digunakan dengan cara:

- Tul lentur & puntir = Jumlah tulangan x panjang wilayah
- Tul sengkang = Jumlah tulangan x panjang 1 tul.

Maka didapatkan:

KET	D	Panjang tulangan (m)		
		Tump	Lap	Tump
Tul atas	22	10,80	8,80	10,80
Tul bawah	22	3,60	13,20	3,60
Tul samping	16	7,20	17,60	7,20
Sengkang	10	20,53	64,53	20,53

Menghitung panjang overstek tulangan:
 = $12d_b$ x jumlah tul tak menerus

KET	D	Panjang overstek tulangan (m)			
		Tump	Lap	Tump	Over
Tul. atas	22	1,58	1,06	1,58	1,98
Tul bawah	22	0,53	1,58	0,53	0,66
Tul samping	16				0,96
Senggang	10				

Total panjang tulangan dan berat tulangan 6 kali balok BI-1 :

KET	Total Panjang (m)		
	D22	D16	D10
Tul. atas	219,6		
Tul bawah	142,2		
Tul samping		197,8	
Senggang			633,6

KET	Total berat (kg)		
	D22	D16	D10
Tul. atas	730,5		
Tul bawah	473,0		
Tul samping		347,9	
Senggang			435,4

Rasio volume tulangan per m³ beton

Total berat tulangan balok BI-1 = 1986,83 kg

Volume beton BI-1 = 6 x (0,40m . 0,70m . 8 m)
= 13,44 m³

Rasio = $\frac{\text{Berat tulangan}}{\text{Volume beton}} = \frac{1986,83 \text{ kg}}{13,44 \text{ m}^3} = 147,83 \text{ kg/m}^3$

Dengan perhitungan yang sama digunakan untuk menghitung volume kebutuhan tulangan elemen balok lain, sehingga didapatkan total keseluruhan rasio volume tulangan per m³ beton pada elemen balok lantai 1-atap:

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Rasio Pembesian Balok Portal Memanjang

Tipe	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
BI-1	0,4	0,7	8	13,44	1987	147,8
BI-3	0,4	0,7	8	13,44	3926	292,1
BI-5	0,4	0,7	8	13,44	3915	291,3
BI-4	0,4	0,7	8	13,44	3543	263,6
BI-6	0,4	0,7	8	13,44	3553	264,4
BI-7	0,4	0,7	8	13,44	2907	216,3
BI-8	0,4	0,7	8	17,92	2523	140,8
BK-1	0,4	0,7	2	4,48	794	177,1
BK-2	0,4	0,7	2	1,12	111	98,9

- Kebutuhan tulangan per satuan panjang
 - D25 = 2872,20 m
 - D22 = 1067,34 m
 - D16 = 1060,48 m
 - D10 = 8009,67 m
- Kebutuhan tulangan per satuan lonjor
 - D25 = 240 lonjor
 - D22 = 89 lonjor
 - D16 = 89 lonjor
 - D10 = 668 lonjor
- Kebutuhan tulangan per satuan berat
 - D25 = 12336,52 kg
 - D22 = 3550,14 kg
 - D16 = 1865,69 kg
 - D10 = 5504,43 kg

2) Kolom

Perhitungan volume pembesian kolom dihitung berdasarkan tinggi tiap kolom ditambah panjang sambungan ke sambungan antar tulangan.

Lantai	Tinggi (m)	Jumlah kolom	Tulangan utama		Panjang tul. (m)
			D	Jml	
1	3,2	7	25	28	823
2	5,0	7	25	28	1176
3	3,2	7	25	20	588
4	3,2	7	25	20	588
5	3,2	7	25	20	588
6	3,2	7	25	20	588
Lift	3,2	4	25	20	336

Untuk menghitung jumlah dan panjang tulangan geser yang digunakan adalah:

Tumpuan (D10-150 mm)

Banyak tulangan = L/s

$$= 3,2 \text{ m} / 0,15 \text{ m} = 22 \text{ buah}$$

Panjang 1 tulangan :

$$= 4((b-2t_{\text{decking}})) + 2(6d_b)$$

$$= 4((0,80 \text{ m} - (2 \cdot 0,04 \text{ m})) + (2 \cdot 0,010 \text{ m}))$$

$$= 3,20 \text{ m}$$

Lantai	Tinggi (m)	Jml Kolom	Tulangan Sengkang			Total Panjang
			D	Jml	Pjg	
1	3,2	7	10	22	3,2	500,27
2	5,0	7	10	34	3,2	769,07
3	3,2	7	10	22	2,6	406,47
4	3,2	7	10	22	2,6	406,47
5	3,2	7	10	22	2,6	406,47
6	3,2	7	10	22	2,6	406,47
Lift	3,2	4	10	22	2,6	232,27

$$\begin{aligned}
 &\text{Rasio volume tulangan per m}^3 \text{ beton} \\
 &\text{Total berat tulangan kolom lt. 1} = 3879,56 \text{ kg} \\
 &\text{Volume beton kolom lt. 1} = 7 \times (0,80\text{m} \cdot 0,80\text{m} \cdot \\
 &3,2 \text{ m}) \\
 &= 14,34 \text{ m}^3 \\
 &\text{Rasio} = \frac{\text{Berat tulangan}}{\text{Volume beton}} = \frac{3879,56 \text{ kg}}{14,34 \text{ m}^3} = 270,62 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama digunakan untuk menghitung volume kebutuhan tulangan elemen kolom lain, sehingga didapatkan total keseluruhan rasio volume tulangan per m³ beton pada elemen kolom lantai 1-atap:

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Rasio Pembesian Kolom Portal Memanjang

Type	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
K1 LT1	0,80	0,80	3,2	14,34	3879,56	270,62
K1 LT2	0,80	0,80	5,0	22,40	5579,61	249,09
K2 LT3	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT4	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT5	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT6	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT LIFT	0,65	0,65	3,2	5,41	1602,79	296,37

- Kebutuhan tulangan per satuan panjang
 - D25 = 4687,20 m
 - D10 = 3127,47 m
- Kebutuhan tulangan per satuan lonjor
 - D25 = 391 lonjor
 - D10 = 261 lonjor

- Kebutuhan tulangan per satuan berat

D25	= 20132,21 kg
D10	= 2149,27 kg

4.6.2 Volume Tulangan Melintang

Volume tulangan yang dihitung pada elemen balok dan kolom berupa tulangan utama, tulangan torsi dan tulangan geser. Dengan hasil yang diharapkan adalah tulangan per satuan meter, lonjor dan berat.

Contoh perhitungan :

1) Balok Induk

Perhitungan volume pembesian balok induk memanjang 40/70 dengan bentang 7,68 m.

Data balok:

Tipe	Dimensi (m)		L (m)	Jumlah Balok
	b	h		
BI-2	0,40	0,70	7,68	5

Panjang wilayah :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang tumpuan} &= \frac{1}{2} b_{\text{kolom}} + 2.h \\
 &= \frac{1}{2} (0,8 \text{ m}) + 2 (0,7 \text{ m}) \\
 &= 1,80 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang lapangan} &= L - 2 (\text{panjang tumpuan}) \\
 &= 7,68 \text{ m} - 2 (1,80 \text{ m}) \\
 &= 4,08 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah dan panjang tulangan geser yang digunakan disetiap wilayah adalah:

Tumpuan (D10-150 mm)

$$\begin{aligned}
 \text{Banyak tulangan} &= 2.h/s \\
 &= (2(0,70 \text{ m}))/0,15 \text{ m} \\
 &= 9 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Lapangan (D10-150 mm)
 Banyak tulangan = L_{LAP}/s
 = $4,08 \text{ m}/0,15 \text{ m}$
 = 27 buah

Panjang 1 tulangan :
 = $2((b-2t_{\text{decking}})+(h-2t_{\text{decking}})) + 2(6d_b)$
 = $2((0,40\text{m}-(2.0,04\text{m}))+(0,7\text{m}-(2.0,04\text{m})))+(2.6.0,010\text{m})$
 = 2,20 m

Tulangan yang digunakan:

KET	D	Jumlah		
		Tump	Lap	Tump
Tul atas	22	6	2	6
Tul bawah	22	2	3	2
Tul samping	16	4	4	4
Sengkang	10	9	29	9

Menghitung panjang tulangan yang digunakan dengan cara:

- Tul lentur & puntir = Jumlah tulangan x panjang wilayah
- Tul sengkang = Jumlah tulangan x panjang 1 tul.

Maka didapatkan:

KET	D	Panjang tulangan (m)		
		Tump	Lap	Tump
Tul atas	22	10,80	8,16	10,80
Tul bawah	22	3,60	12,24	3,60
Tul samping	16	7,20	16,32	7,20
Sengkang	10	20,53	59,84	20,53

Menghitung panjang overstek tulangan:
 = $12d_b$ x jumlah tul tak menerus

KET	D	Panjang overstek tulangan (m)			
		Tump	Lap	Tump	Over
Tul. atas	22	1,58	1,06	1,58	1,98
Tul bawah	22	0,53	1,58	0,53	0,66
Tul samping	16				0,96
Senggang	10				

Total panjang tulangan dan berat tulangan 5 kali balok BI-2 :

KET	Total Panjang (m)		
	D22	D16	D10
Tul. atas	179,82		
Tul bawah	113,70		
Tul samping		158,40	
Senggang			504,53

KET	Total berat/m (kg)		
	D22	D16	D10
Tul. atas	598,11		
Tul bawah	378,18		
Tul samping		278,67	
Senggang			346,73

Rasio volume tulangan per m³ beton

Total berat tulangan balok BI-2 = 1601,69 kg

Volume beton BI-2 = 5 x (0,40m . 0,70m . 7,68 m)
= 10,75 m³

Rasio = $\frac{\text{Berat tulangan}}{\text{Volume beton}} = \frac{1601,69 \text{ kg}}{10,75 \text{ m}^3} = 148,97 \text{ kg/m}^3$

Dengan perhitungan yang sama digunakan untuk menghitung volume kebutuhan tulangan elemen balok lain, sehingga didapatkan total keseluruhan rasio volume tulangan per m³ beton pada elemen balok lantai 1-atap:

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Rasio Pembesian Balok Portal Melintang

Tipe	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
BI-2	0,4	0,7	7,68	10,75	1602	149,0
BI-3	0,4	0,7	7,68	10,75	3173	295,1
BI-4	0,4	0,7	7,68	21,50	5765	268,1
BI-6	0,4	0,7	7,68	10,75	2877	267,6
BI-7	0,4	0,7	7,68	10,75	2356	219,1
BI-8	0,4	0,7	7,68	12,90	1832	142,0

- Kebutuhan tulangan per satuan panjang

D25 = 2287,88 m

D22 = 671,59 m

D16 = 792,00 m

D10 = 6040,83 m

- Kebutuhan tulangan per satuan lonjor

D25 = 191 lonjor

D22 = 56 lonjor

D16 = 66 lonjor

D10 = 504 lonjor

- Kebutuhan tulangan per satuan berat

D25 = 9826,76 kg

D22 = 2233,82 kg

D16 = 1393,36 kg

D10 = 4151,40 kg

2) Kolom

Perhitungan volume pembesian kolom dihitung berdasarkan tinggi tiap kolom ditambah panjang sambungan ke sambungan antar tulangan.

Lantai	Tinggi (m)	Jumlah kolom	Tulangan utama		Panjang tul. (m)
			D	Jml	
1	3,2	6	25	28	706
2	5,0	6	25	28	988
3	3,2	6	25	20	504
4	3,2	6	25	20	504
5	3,2	6	25	20	504
6	3,2	6	25	20	504
Lift	3,2	2	25	20	168

Untuk menghitung jumlah dan panjang tulangan geser yang digunakan adalah:

Tumpuan (D10-150 mm)

Banyak tulangan = L/s

$$= 3,2 \text{ m} / 0,15 \text{ m} = 22 \text{ buah}$$

Panjang 1 tulangan :

$$= 4((b - 2t_{\text{decking}})) + 2(6d_b)$$

$$= 4((0,80 \text{ m} - (2 \cdot 0,04 \text{ m})) + (2 \cdot 0,010 \text{ m}))$$

$$= 3,20 \text{ m}$$

Lantai	Tinggi (m)	Jml Kolom	Tulangan Sengkang			Total Panjang (m)
			D	Jml	Pjg	
1	3,2	6	10	22	3,2	428,80
2	5,0	6	10	34	3,2	659,20
3	3,2	6	10	22	2,6	348,40
4	3,2	6	10	22	2,6	348,40
5	3,2	6	10	22	2,6	348,40
6	3,2	6	10	22	2,6	348,40
Lift	3,2	2	10	22	2,6	116,13

Rasio volume tulangan per m^3 beton

$$\text{Total berat tulangan kolom lt. 1} = 3325,34 \text{ kg}$$

$$\text{Volume beton kolom lt. 1} = 6 \times (0,80\text{m} \cdot 0,80\text{m} \cdot 3,2\text{ m}) \\ = 12,29 \text{ m}^3$$

$$\text{Rasio} = \frac{\text{Berat tulangan}}{\text{Volume beton}} = \frac{3325,34 \text{ kg}}{12,29 \text{ m}^3} = 270,62 \text{ kg/m}^3$$

Dengan perhitungan yang sama digunakan untuk menghitung volume kebutuhan tulangan elemen kolom lain, sehingga didapatkan total keseluruhan rasio volume tulangan per m³ beton pada elemen kolom lantai 1-atap:

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Rasio Pembesian Kolom Portal Melintang

Tipe	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
K1 LT1	0,8	0,8	5,1	19,58	5421	276,8
K1 LT2	0,8	0,8	5,0	19,20	4696	244,6
K2 LT3	0,8	0,8	3,2	12,29	3325	270,6
K2 LT4	0,65	0,65	3,2	8,11	2404	296,4
K2 LT5	0,65	0,65	3,2	8,11	2404	296,4
K2 LT6	0,65	0,65	3,2	8,11	2404	296,4
K2 LT LIFT	0,65	0,65	3,2	2,70	801	296,4


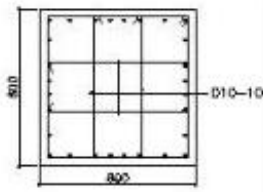
- Kebutuhan tulangan per satuan panjang
D25 = 4549,44 m
D10 = 2786,93 m
- Kebutuhan tulangan per satuan lonjor
D25 = 378 lonjor
D10 = 233 lonjor
- Kebutuhan tulangan per satuan berat
D25 = 19540,51 kg
D10 = 1915,25 kg

4.7 Tahapan Pelaksanaan Kolom

4.7.1 Pembesian Kolom

b. Detail Tulangan Kolom

Sebagai contoh ditinjau kolom tipe K1 As E-5 lantai 1, detail penulangan terdapat pada gambar *Denah Lantai 1-2 Tipikal*. Di bawah ini adalah detail tulangan kolom K1 yang ditinjau.

KOLOM	
LEVEL	K1
LANTAI 3  LANTAI DASAR	
DIMENSI	800 x 800
TULANGAN UTAMA	28 D25
SENGKANG	D10-100
MUTU BETON	fc' 25 MPa

Gambar 4. 79 Detail Tulangan Kolom K1

- Dimensi kolom : 800 mm x 800 mm
 Tulangan utama : 28 D25 (28 besi ulir berdiameter 25mm)
 Sengkang : D10-100 (besi ulir berdiameter 10 mm dan jarak antar sengkang adalah 100 mm)
 Mutu Beton (f_c') : 25 MPa
 Letak : lantai 1 sampai dengan lantai 2.

c. Alat yang Digunakan

- *Bar Cutter*



Gambar 4. 80 *Bar Cutter*

Untuk mendapatkan baja tulangan dengan ukuran yang sesuai dengan gambar, maka baja tulangan yang tersedia perlu dipotong dengan alat *Bar Cutter*. Cara kerja *Bar Cutter* yaitu baja yang akan dipotong dimasukkan ke dalam gigi *bar cutter*, kemudian pedal pengendali dipijak, dan dalam hitungan detik baja tulangan akan terpotong. Potongan untuk baja tulangan yang mempunyai diameter besar dilakukan satu persatu. Sedangkan untuk baja yang diameternya lebih kecil, pemotongan dapat dilakukan beberapa buah sekaligus sesuai dengan kapasitas alat.

- *Bar Bender*

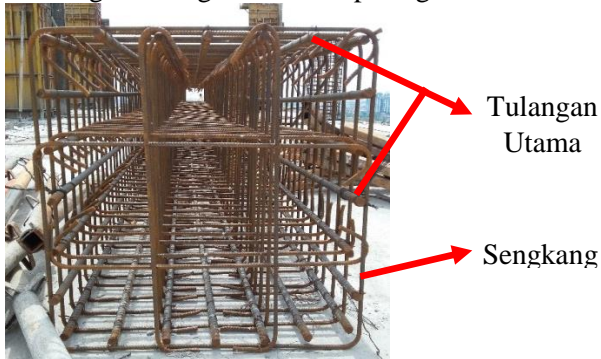


Gambar 4. 81 *Bar Bender*

Bar Bender adalah alat yang digunakan untuk membengkokkan tulangan dalam berbagai macam sudut sesuai dengan perencanaan. Cara kerja *Bar Bender* adalah baja yang akan dibengkokkan dimasukkan di antara poros tekan dan poros pembengkok kemudian diatur sudut sesuai dengan sudut bengkok yang diinginkan dan panjang pembengkokannya. Ujung tulangan pada poros pembengkok dipegang dengan kunci pembengkok. Kemudian pedal ditekan sehingga roda pembengkok akan berputar sesuai dengan sudut dan pembengkokkan yang direncanakan. *Bar Bender* dapat mengatur sudut pembengkokan tulangan dengan mudah dan rapi.

d. Pemasangan Tulangan Kolom

Pemasangan tulangan kolom dikerjakan pada *workshop* pemesian. Pemasangan tulangan kolom dimulai dengan memasang tulangan utama. Sebelum pemasangan sengkang, terlebih dahulu dibuat tanda pada tulangan utama dengan kapur. Selanjutnya adalah pemasangan sengkang yang telah dibuat bentuknya sesuai gambar *shop drawing*, setiap pertemuan antara tulangan utama dan sengkang diikat oleh kawat dengan sistem silang. Kemudian dipasang tulangan pengegang. Dan hasil pemasangan tulangan kolom seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. 82 Hasil Pemasangan Tulangan Kolom

4.6.2 Pengangkatan Tulangan Kolom dengan *Tower Crane*

Tulangan yang telah selesai dipasang kemudian diangkat dengan menggunakan bantuan alat *tower crane* untuk kemudian ditempatkan pada posisi penyambungan. Pengangkatan tulangan kolom dilakukan dengan menyelipkan tulangan diantara sengkang kemudian seling *tower crane* diikatkan pada tulangan tersebut.



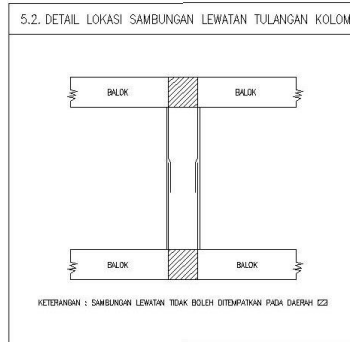
Gambar 4. 83 Pengangkatan Tulangan Kolom dengan *Tower Crane*

4.6.3 Penyambungan Tulangan Kolom

a. Detail Sambungan Lewatan Tulangan Kolom

- Lokasi Sambungan Lewatan Tulangan Kolom

Lokasi sambungan lewatan tulangan kolom tidak boleh berada pada daerah tulangan balok dan lantai, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 84 Detail Lokasi Sambungan Lewatan Tulangan Kolom

- Panjang Penyaluran Tulangan Kolom pada RKS (Rencana Kerja dan Syarat)

Ketentuan mengenai panjang penyaluran tulangan kolom ada pada RKS (Rencana Kerja dan Syarat) Bab Persyaratan Umum untuk Pekerjaan Beton halaman SB 17 pasal 23 ayat 232, yang berbunyi :

“Panjang stek minimum $40 \times$ penampang baja tulangan utama untuk panjang penerusan”
 “Perletakan baja stek harus dijaga agar tetap lurus dan tidak dapat digerak-gerakkan agar tidak merusak struktur”

Kolom K1 menggunakan tulangan utama berdiameter 25 mm, maka menurut RKS panjang penyaluran tulangan kolom K3 adalah 1000 mm.

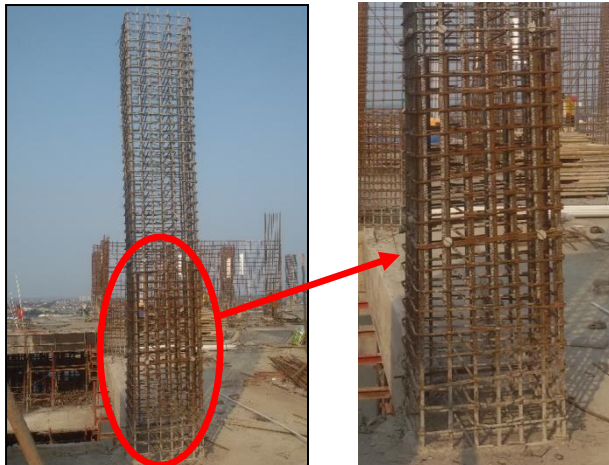
b. Penyambungan Tulangan Kolom di Lapangan

Penyambungan dilakukan oleh 3 orang tukang yang berdiri di 3 sisi kolom untuk memasukkan tulangan atas ke bagian dalam tulangan bawah dengan panjang sesuai perencanaan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 85 Penyambungan Tulangan Kolom

Setelah proses penyambungan tulangan kolom selesai, diperoleh hasil tulangan kolom seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 86 Hasil Penyambungan Tulangan Kolom

Kolom tipe K1 dengan panjang penyaluran menurut RKS adalah 1000 mm dan sambungan lewatan tidak berada pada daerah tulangan balok dan lantai.

c. Jarak Senggang Kolom yang terpasang di Lapangan



Gambar 4. 87 Jarak Senggang Kolom

Setelah penyambungan tulangan kolom selesai, dilakukan pengukuran jarak senggang dan pengegang, pada kolom tipe K1 disebutkan bahwa jarak senggang adalah 150 mm (15 cm).

4.6.4 Pemasangan Beton *Decking* pada Kolom

Setelah tulangan terpasang dan cukup kaku, lalu dipasang beton *decking* sesuai ketentuan. Beton *decking* ini berfungsi untuk menjaga tulangan agar sesuai dengan posisi yang diinginkan, atau bisa dibilang sebagai selimut beton.

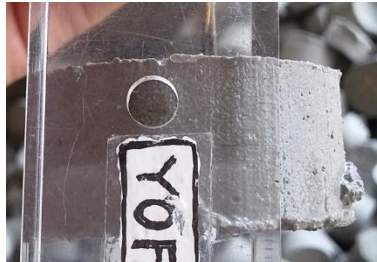
a. Tebal Beton *Decking* menurut RKS (Rencana Kerja dan Syarat)

Ketentuan tebal beton *decking* terdapat pada RKS (Rencana Kerja dan Syarat) Bab Persyaratan Khusus untuk Pekerjaan Beton halaman KBT 2 pasal 04, yang berbunyi :

04 Tebal Penutup Beton

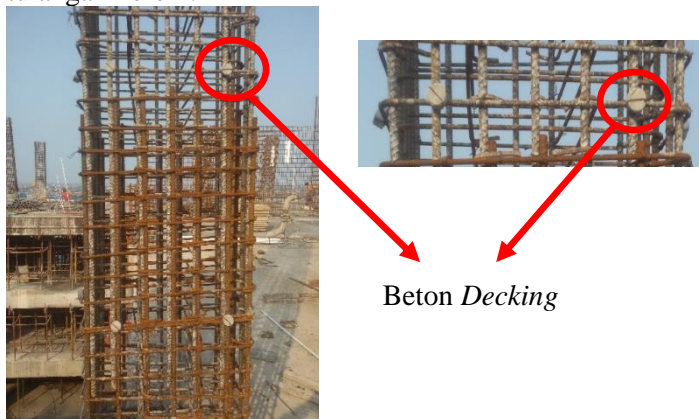
Untuk poer	: 5 cm (khusus bagian bawah : 7 cm)
Untuk sloof	: 4 cm
Untuk plat dan dinding	: 2 cm
Untuk balok dan kolom	: 4 cm

b. Tebal Beton *Decking* di Lapangan



Gambar 4. 88 Beton Decking Kolom

Beton *decking* yang dipasang dilapang mempunyai ketebalan 2 cm dan diberikan tali di atasnya untuk mempermudah pemasangan dengan mengikatkan tali pada tulangan kolom.



Gambar 4. 89 Hasil Pemasangan Beton Decking pada Kolom

Pemasangan beton *decking* kolom dilapangan memiliki ketebalan 2 cm, berbeda dengan yang telah disyaratkan pada RKS yaitu 4 cm. Memiliki perbedaan yang begitu jauh yaitu selisih ketebalan sebesar 2 cm atau setengah dari persyaratan. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan kondisi yang ada di lapangan. Beton *decking* dipasang 2 cm untuk memudahkan dalam pemasangan *bekisting* pada kolom tersebut, agar beton *decking* tidak bersentuhan langsung

dengan papan *bekisting* sehingga beton *decking* akan bergeser atau bahkan hancur. Hal ini juga digunakan untuk penanda kurang atau tidaknya tebal selimut beton kolom tersebut, apabila saat pembongkaran *bekisting* terdapat permukaan yang nampak kering seperti beton *decking* maka selimut beton kurang dari 4 cm, dan apabila saat pembongkaran *bekisting* beton deking tidak nampak di permukaan maka dapat disimpulkan selimut beton kolom tersebut ± 4 cm (mendekati). Saat akhir pemasangan *bekisting* pada kolom, sisi paling atas terlebih dahulu dilakukan pengaturan antara jarak *bekisting* dengan tulangan untuk mendapatkan ketebalan selimut beton sesuai dengan yang disyaratkan yaitu 4 cm.

4.6.5 Pemasangan *Bekisting* Kolom

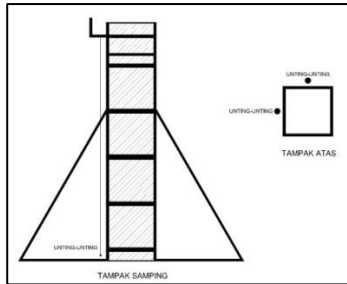
Setelah pemasangan tulangan kolom dan beton *decking* selesai dikerjakan, maka langkah selanjutnya yaitu pemasangan *bekisting*. Sebelum dipasang, terlebih dahulu *bekisting* dibersihkan dan diolesi dengan minyak. Kemudian memindahkan *bekisting* ke lokasi kolom dengan *tower crane*, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 90 Pemasangan *Bekisting* Kolom

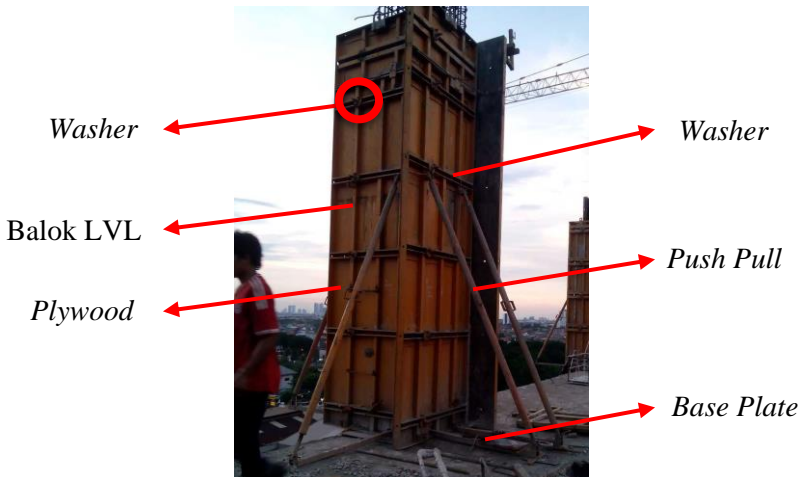
a. Cek Posisi Vertikal *Bekisting*

Setelah *bekisting* kolom berada pada posisi yang benar, cek posisi vertikal *bekisting* terhadap as kolom sehingga tidak terjadi kemiringan *bekisting* kolom, dengan memasang unting-unting pada kedua sisi *bekisting* yang berfungsi sebagai pengecek posisi vertikal *bekisting*. Posisi unting-unting untuk pengecekan posisi vertikal *bekisting* seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 91 Posisi Unting-unting untuk Pengecekan Posisi Vertikal *Bekisting* Kolom

b. Bagian-bagian *bekisting* kolom



Gambar 4. 92 Bagian-bagian *Bekisting* Kolom

Fungsi bagian-bagian *bekisting* kolom yang telah ditunjukkan pada gambar di atas adalah sebagai berikut.

1. *Steel Waller* berfungsi untuk menerima beban dari balok LVL, *steel waller* akan menyatukan panel-panel *bekisting* kolom dan juga sebagai penahan gaya horizontal yang timbul akibat tekanan beton yang masih basah.
2. *Push Pull* adalah pipa penyangga *bekisting* yang berfungsi untuk mempertahankan posisi *bekisting* kolom sehingga tidak dapat bergerak karena sesuatu hal yang tidak diinginkan.
3. *Base Plate* digunakan sebagai kaki *push pull*.
4. Balok LVL (*Laminated Veneered Lumber*) merupakan balok yang posisinya tepat di belakang *plywood* berfungsi menerima beban akibat pengecoran dari *plywood*.
5. *Washer* merupakan baut yang berfungsi untuk mengikat/menempelkan balok LVL dengan *waller beam*.
6. *Plywood* merupakan lapis permukaan dalam *bekisting* yang langsung bersentuhan dengan beton.

4.6.6 Pengecoran Kolom

Pengecoran kolom dilakukan apabila pekerjaan tulangan dan *bekisting* kolom telah selesai dikerjakan dan telah mendapat persetujuan melalui surat izin pengecoran dari MK.

a. *Slump Test*

Sebelum pengecoran dimulai, beton harus di *slump test* terlebih dahulu. Persyaratan mengenai batas nilai *slump test* terdapat pada RKS dan form pengantar beton *ready mix*.

- Batas Nilai *Slump Test* pada RKS (Rencana Kerja dan Syarat)

Persyaratan batas nilai *slump test* terdapat pada RKS (Rencana Kerja dan Syarat) Bab Persyaratan Umum

Untuk Pekerjaan Beton halaman SB 10 pasal 08 ayat 084 yang berbunyi :

“Selama pelaksanaan harus ada pengujian slump, persyaratan nilai minimum adalah 10 cm dan maksimum adalah 20 cm”
 “Slump lebih besar dari 20 cm dapat diterima bila diberikan persetujuan tertulis dari MK”

- Batas Nilai *Slump Test* pada Form Pengantar Beton *Ready Mix*

Persyaratan batas nilai *slump test* pada form pengantar beton ready mix adalah 12 ± 2 cm.

- Nilai *Slump Test* di Lapangan

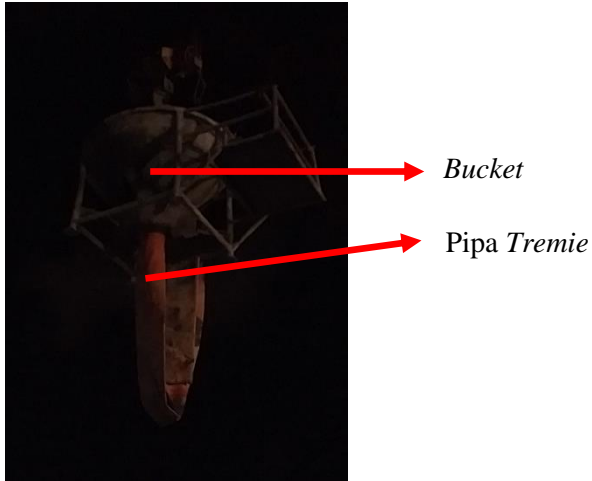


Gambar 4. 93 *Slump Test* di Lapangan

Dari *slump test* yang dilakukan diperoleh nilai *slump* sebesar 12 cm seperti gambar di atas. Dapat disimpulkan bahwa nilai *slump test* yg diperoleh telah memenuhi persyaratan dari RKS dan Form Pengantar Beton *Ready Mix*.

b. Pengangkutan Beton

Pengecoran dilakukan dengan *bucket* dan pipa *tremie* yang diangkat oleh *crane*, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 94 Pengangkutan Beton Menggunakan *Bucket*

Bucket merupakan tempat pengangkutan beton dari *truck mixer* sampai ke tempat pengecoran. *Bucket* yang digunakan biasanya mempunyai kapasitas $0,8 \text{ m}^3$.

Pipa *tremie* adalah pipa yang digunakan untuk mengatur tinggi jatuh beton pada saat pengecoran. Pipa *tremie* yang digunakan biasanya mempunyai panjang 3 meter.

c. Penuangan dan Pemasakan Beton

Dalam penuangan beton ke dalam *bekisting* kolom dibutuhkan satu orang sebagai operator *bucket* yang bertugas untuk membuka atau mengunci agar beton tidak tumpah pada saat dibawa ke area pengecoran dengan *tower crane*. Penuangan beton dilakukan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 95 Penuangan Beton pada *Bekisting* Kolom

Setelah beton selesai dituangkan, kemudian dilakukan pepadatan dengan menggunakan *vibrator*, seperti gambar di bawah ini.



Vibrator

Gambar 4. 96 Pepadatan Beton Kolom dengan *Vibrator*

Vibrator adalah alat yang berfungsi untuk menggetarkan beton pada saat pengecoran agar beton dapat mengisi seluruh ruangan dan tidak terdapat rongga-rongga udara di antara beton yang dapat membuat beton keropos.

Penuangan beton harus dilakukan dengan ketentuan berikut ini:

1. Beton harus dituang sedekat-dekatnya dengan tujuan akhir untuk mencegah terjadinya pemisahan material akibat penuangan beton di dalam cetakan. Tinggi jatuh beton maksimum adalah 1,5 m (menurut pedoman pengerjaan beton CUR 2). Penuangan beton dengan tinggi jatuh beton melebihi 1,5 m akan menyebabkan material yang lebih berat akan jatuh terlebih dahulu sehingga terjadi pemisahan agregat pada beton dan akan sangat mempengaruhi kualitas beton.
2. Pemadatan tiap layer dengan menggunakan *concrete vibrator* (jarum penggetar). Pemadatan dilakukan untuk mengeluarkan gelembung-gelembung udara yang terjebak didalam adukan semen yang timbul pada saat penuangan beton. Penggetaran beton harus dilakukan dengan baik agar menghasilkan mutu beton yang sesuai dengan yang diinginkan. Kesalahan dalam penggetaran beton akan mengakibatkan penurunan mutu beton.
3. Alat penggetar sedapat mungkin dimasukkan ke dalam adukan beton dengan posisi vertikal, tetapi dalam keadaan khusus boleh miring sampai dengan 45° . Penggetaran dengan sudut yang lebih besar akan menyebabkan pemisahan agregat.
4. Harus dijaga agar alat penggetar tidak mengenai *bekisting* atau bagian beton yang mulai mengeras, untuk menghindari hal ini posisi *vibrator* dibatasi maksimum 5 cm dari *bekisting*.
5. Sedapat mungkin *vibrator* tidak mengenai tulangan kolom.

4.6.7 Pembongkaran Bekisting Kolom

Pembongkaran bekisting kolom dilakukan sehari setelah pengecoran. Kondisi paling ekstrim adalah 6 jam setelah pengecoran. Diasumsikan bahwa beton telah mengeras dan

semen telah mencapai waktu ikat awal. Pada saat proses pelepasan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kolom dari kerusakan. Bekisting yang telah dilepas tersebut diangkat dengan bantuan *tower crane* dan dibersihkan bagian permukaan dalamnya serta diolesi pelumas untuk kemudian dipasang pada kolom berikutnya.



Gambar 4. 97 Pembongkaran *Bekisting* Kolom

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan stuktur gedung beton bertulang dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan perhitungan gempa statik ekuivalen yang periode ulangnya 10% dalam 50 tahun dimana bangunan gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II yang nilai $I = 1$ dan $R = 5$.
2. Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan struktur Gedung Apartemen “X” Surabaya dengan menggunakan metode SRPMM. Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :

Komponen Plat Lantai

No.	Tipe plat	Dimensi (m)			Tulangan				
		Lx	Ly	h	Tumpuan		Lapangan		Susut
					Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1.	S1	3,84	4,00	0,15	D13-100	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200
2.	S2	1,37	7,68	0,15	D10-200		D10-200		Ø8-200
3.	S3	3,84	4,00	0,12	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200	Ø8-200
4.	S4	1,37	7,68	0,12	D10-200		D10-200		Ø8-200

a. Komponen Plat Tangga

No.	Tipe		Dimensi (m)			Tulangan	
			Lx	Ly	h	Arah X	Arah Y
1.	Tipe 1 (Lantai 1 ke 2)	Tangga	1,25	2,88	0,22	D10-150	D13-200
		Bordes	1,15	2,60	0,15	D13-200	D10-200
2.	Tipe 1 (Lantai 2 ke 3)	Tangga	1,25	2,44	0,22	D10-150	D13-200
		Bordes 1	1,15	2,60	0,15	D13-250	D10-250
		Bordes 2	2,13	2,60	0,15	D13-250	D13-100

b. Komponen Balok

➤ Balok Induk

No.	Tipe Balok	Dimensi		Tulangan Torsi	Tulangan Lentur		Tulangan Geser	
		b (mm)	h (mm)		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1.	BI-1	400	700	4 D16	6 D22	2 D22	D10-150 (2 kaki)	D10-150 (2 kaki)
					2 D22	3 D22		
2.	BI-2	400	700	2 D16	7 D22	2 D22	D10-100 (3 kaki)	D10-150 (2 kaki)
					3 D22	3 D22		
3.	BI-3	400	700	4 D16	10 D25	2 D25	D10-100 (4 kaki)	D10-100 (2 kaki)
					5 D25	5 D25		
4.	BI-4	400	700	4 D16	9 D25	2 D25	D10-100 (4 kaki)	D10-100 (2 kaki)
					4 D25	5 D25		
5.	BI-5	400	700	4 D16	11 D25	2 D25	D10-100 (4 kaki)	D10-100 (2 kaki)
					5 D25	5 D25		
6.	BI-6	400	700	4 D16	9 D25	2 D25	D10-100 (3 kaki)	D10-100 (2 kaki)
					4 D25	5 D25		
7.	BI-7	400	700	2 D10	8 D25	2 D25	D10-100 (3 kaki)	D10-150 (2 kaki)
					3 D25	5 D25		
8.	BI-8	400	700	2 D10	6 D22	2 D22	D10-100 (2 kaki)	D10-150 (2 kaki)
					2 D22	4 D22		

➤ Balok Anak

No.	Tipe Balok	Dimensi		Tulangan Torsi	Tulangan Lentur		Tulangan Geser	
		b (mm)	h (mm)		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1.	BA-1	300	400	-	4 D13	2 D13	D10-85	D10-85
					2 D13	3 D13		
2.	BA-2	300	400	-	7 D19	2 D19	D10-85	D10-85
					3 D19	3 D19		
3.	BA-3	300	400	-	6 D19	2 D19	D10-85	D10-85
					2 D19	3 D19		
4.	BA-4	300	400	-	6 D16	2 D16	D10-85	D10-85
					2 D16	3 D16		
5.	BA-5	300	400	2 D13	7 D13	2 D13	D10-85	D10-85
					3 D13	4 D13		
6.	BA-6	300	400	-	6 D13	2 D13	D10-85	D10-85
					2 D13	3 D13		
7.	BA-7	300	400	-	5 D13	2 D13	D10-85	D10-85
					2 D13	3 D13		

➤ Balok Kantilever

No.	Tipe Balok	Dimensi		Tulangan Torsi	Tulangan Lentur	Tulangan Geser
		b (mm)	h (mm)			
1.	BK-1	400	700	2 D16	5 D22	D10-150
					2 D22	
2.	BK-2	400	700	4 D16	5 D22	D10-150
					2 D22	
3.	BK-3	400	700	2 D10	4 D22	D10-150
					2 D22	
4.	BK-4	300	400	-	5 D16	D10-85
					2 D16	
5.	BK-5	300	400	-	4 D16	D10-85
					2 D16	

➤ Balok Lift

No.	Tipe Balok	Dimensi		Tulangan Torsi	Tulangan Lentur		Tulangan Geser	
		b (mm)	h (mm)		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1.	BL-1	400	700	4 D16	4 D19	2 D19	D10-150	D10-150
					2 D19	5 D19		
2.	BL-2	400	700	4 D16	6 D22	3 D22	D10-100 (3 kaki)	D-150
					2 D22	7 D22		
3.	BL-3	400	700	2 D16	4 D22	3 D22	D10-150	D10-150
					2 D22	7 D22		
4.	BL-4	400	600	4 D16	4 D19	2 D19	D10-100	D10-125
					2 D19	4 D19		
5.	BL-5	400	600	2 D16	7 D19	2 D19	D10-100	D10-125
					3 D19	4 D19		
6.	BL-6	400	600	2 D16	5 D19	2 D19	D10-100	D10-125
					2 D19	4 D19		
7.	BL-7	400	600	4 D16	5 D19	2 D19	D10-100	D10-125
					2 D19	5 D19		

➤ Balok Bordes

No.	Tipe Balok	Dimensi		Tulangan Torsi	Tulangan Lentur		Tulangan Geser	
		b (mm)	h (mm)		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1.	BB-1	300	400	-	6 D16	2 D16	D10-85	D10-85
					2 D16	3 D16		
2.	BB-2	300	400	2 D13	6 D19	2 D19	D10-50	D10-85
					2 D19	3 D19		
3.	BB-3	300	400	2 D13	4 D13	2 D13	D10-85	D10-85
					2 D13	4 D13		
4.	BB-4	300	400	-	7 D16	2 D16	D10-50	D10-85
					3 D16	4 D16		
5.	BB-5	300	400	-	6 D13	2 D13	D10-85	D10-85
					2 D13	3 D13		

c. Komponen Kolom

No	Type Kolom	Dimensi (mm)		Tulangan Aksial Lentur	Tulangan Geser
		b	h		
1	K1	800	800	28 D25	Ø 10 – 150
2	K2	650	650	20 D25	Ø 10 – 150
3	K3	550	550	8 D25	Ø 10 – 150

3. Dari perhitungan volume tulangan yang dilakukan pada satu portal memanjang dan satu portal melintang Gedung Apartemen “X” Surabaya, diperoleh rasio berat tulangan terhadap volume beton sebagai berikut :

a. Portal Memanjang

- Balok

Type	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
BI-1	0,4	0,7	8	13,44	1987	147,8
BI-3	0,4	0,7	8	13,44	3926	292,1
BI-5	0,4	0,7	8	13,44	3915	291,3
BI-4	0,4	0,7	8	13,44	3543	263,6
BI-6	0,4	0,7	8	13,44	3553	264,4
BI-7	0,4	0,7	8	13,44	2907	216,3
BI-8	0,4	0,7	8	17,92	2523	140,8
BK-1	0,4	0,7	2	4,48	794	177,1
BK-2	0,4	0,7	2	1,12	111	98,9

- Kolom

Tipe	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
K1 LT1	0,80	0,80	3,2	14,34	3879,56	270,62
K1 LT2	0,80	0,80	5,0	22,40	5579,61	249,09
K2 LT3	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT4	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT5	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT6	0,65	0,65	3,2	9,46	2804,88	296,37
K2 LT LIFT	0,65	0,65	3,2	5,41	1602,79	296,37

b. Portal melintang

- Balok

Tipe	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulanga (kg)	Rasio (kg/m ³)
BI-2	0,4	0,7	7,68	10,75	1602	149,0
BI-3	0,4	0,7	7,68	10,75	3173	295,1
BI-4	0,4	0,7	7,68	21,50	5765	268,1
BI-6	0,4	0,7	7,68	10,75	2877	267,6
BI-7	0,4	0,7	7,68	10,75	2356	219,1
BI-8	0,4	0,7	7,68	12,90	1832	142,0

- Kolom

Tipe	Dimensi (m)		Ln (m)	Volume cor (m ³)	Berat tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
K1 LT1	0,8	0,8	5,1	19,58	5421	276,8
K1 LT2	0,8	0,8	5,0	19,20	4696	244,6
K2 LT3	0,8	0,8	3,2	12,29	3325	270,6
K2 LT4	0,65	0,65	3,2	8,11	2404	296,4
K2 LT5	0,65	0,65	3,2	8,11	2404	296,4
K2 LT6	0,65	0,65	3,2	8,11	2404	296,4
K2 LT LIFT	0,65	0,65	3,2	2,70	801	296,4

4. Tahapan pelaksanaan hanya meninjau salah satu elemen struktur yaitu kolom, dimulai dengan pembesian kolom, pemasangan bekisting, pengecoran, pembongkaran bekisting.
5. Hasil analisa program SAP 2000 untuk perhitungan pondasi dengan kombinasi pembebanan 1,2D + 1,6L dan 1,0D + 1,0L :

	1,2D + 1,6L	1,0D + 1,0L
F3 (kg)	864170,26	690300,86
M1 (kgm)	6598,48	4757,16
M2 (kgm)	5815,17	4094,06

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

- 1 Dalam pengumpulan data perencanaan perlu didapatkan dengan lengkap mulai gambar arsitek dan stuktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.
- 2 Untuk proses perhitungan perencanaan menggunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang dipelajari dari semester 1 sampai 6.
- 3 Penentuan preliminary desain stuktur primer harus mempertimbangan efesiensi dari ukuran yang digunakan seperti mempertimbangan kemudahan dalam pelaksanaan dan kemampuan penampang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI)*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Wang, Chu-Kia, C. Salmon. *Disain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta : Erlangga

BIODATA PENULIS 1



Penulis lahir pada tanggal 04 Agustus 1995 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Widyantoro Wicaksono merupakan lulusan dari SDN Ngronggo 2 Kediri dan melanjutkan jenjang pendidikannya di SMP Negeri 3 Kediri dan setelah itu melanjutkan di SMA Negeri 8 Kediri. Penulis lulus dari SMA pada tahun 2014. Penulis melanjutkan jenjang pendidikan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan berada di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi-ITS. Saat berada di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil penulis mengambil bidang konsentrasi Bangunan Gedung. Penulis juga mengikuti beberapa pelatihan, salah satunya adalah LKMM Pra-TD. Dalam mengerjakan Tugas Akhir, penulis mengisi waktu luangnya dengan menonton beberapa TV-Series.

BIODATA PENULIS 2



Penulis lahir pada tanggal 05 bulan Februari tahun 1995 dan merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis bernama lengkap Nuryani Handayani ini merupakan lulusan dari SDN Pajeng 2, juga pernah bersekolah di SMP PGRI Pajeng dan SMAN 1 Gondang, Bojonegoro. Setelah lulus SMAN 1 Gondang pada tahun 2013, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS. Selain itu, penulis juga pernah aktif dikegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun. Bahkan sempat menduduki posisi atau jabatan sebagai Staff Social Responsibility Department HMDS FTSP ITS 2015-2016.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan baik dan lancar. Tak lupa pula Nabi besar Muhammad SAW junjungan kita, semoga kita mendapatkan syafaatnya kelak diakhirat nanti. Tugas akhir terapan ini tidak bisa selesai dengan baik tanpa dukungan dari orang-orang yang turut serta membantu, baik berupa bimbingan, dorongan maupun berupa doa. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih ini kepada :

1. Oran tua yang selalu mensupport kami mulai dari do'a yang tiada henti-hentinya.
2. Bapak Raden Buyung Anugraha Affandhie, ST., MT. selaku dosen pembimbing, yang selalu membimbing kami dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini.
3. Ibu Palupi, Ibu Sulfi, Mbak Oki yang telah membantu dalam proses adminstrasi dan memberikan kemudahan dalam mengurus dan menyelesaikan segala sesuatu yang terkait tugas akhir terapan ini.
4. Senior-senior kami yang keren-keren yang sangar-sangar, khususnya mas hisyam, mas tian, mas indor yang telah memberikan pencerahan yang luar biasa dan secercik ilmunya yang diberikan kepada kami.
5. Teman-teman bangunan gedung 2014 (anak struktur), yang selalu menyemangati dan menanyakan kabar revisi setiap hari. Semoga kita selalu kompak dan dilancarkan dalam semua urusan kita menuju keberhasilan. Aamiin.
6. Teman-teman angkatan 2014, DS35 atas dukungan serta do'anya.

LAMPIRAN

BORING LOG

Proyek	APARTMENT MY TOWER	Titik Bor	= B2	Master Bor	SUMARDI	Catatan UD - Unlata b Sample Halaman ke 1
Lokasi	JLN. RAYA RUNGKUT	Kedalaman	= 40 m			
	INDUSTRI NO. 04, SBY.	Evelasi	= ± 0.00 M UKA TANAH			
Pemberi Order	PT. GALAXI WAHYU	Muka Air Tanah	= 110 cm			
	KENCANA	Tanggal	= 3-Apr-14			

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	UD	SPT TEST	Standard Penetration Test		
			Kedalaman (m)	Kedalaman (m)	N-SPT	Grafik N	
0.00							
1.00							
2.00							
3.00		LEMPUNG LUNAK ABU-ABU		-2.00	☐ SPT 01	1	
4.00				-2.45			
5.00		PASIR DAN KULIT KERANG ABU-ABU		-4.00	☐ SPT 02	2	
6.00				-4.45			
7.00				-6.00	☐ SPT 03	1	
8.00		LEMPUNG LUNAK KELANAUAN ABU - ABU GELAP	7	-6.45			
9.00				-8.00	☐ SPT 04	1	
10.00				-8.45			
11.00				-10.00	☐ SPT 05	3	
12.00		LEMPUNG KELANAUAN ABU - ABU		-10.45			
13.00				-12.00	☐ SPT 06	6	
14.00				-12.45			
15.00		LEMPUNG KUNING KEABU - ABUAN	14	-14.00	☐ SPT 07	10	
16.00				-14.45			
17.00		LEMPUNG ABU - ABU KECOKLATAN		-16.00	☐ SPT 08	17	
18.00				-16.45			
19.00		LANAU KEPASIRAN COKLAT KEABU - ABUAN		-18.00	☐ SPT 09	27	
20.00				-18.45			
				-20.00	☐ SPT 10	23	
				-20.45			



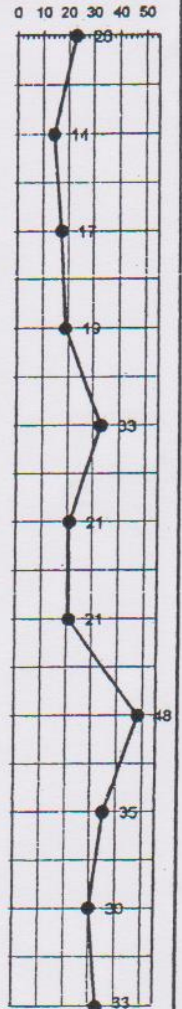
LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH

UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

BORING LOG

Proyek	- APARTMENT MY TOWER	Titik Bor	- B2	Master Bor	SUMARDI	Catatan
Lokasi	- JLN. RAYA RUNGKUT	Kedalaman	= 40 m			UD = Undisturb Sample
	INDUSTRI NO. 04, SBY.	Evelesi	= ± 0.00 M UKA TANAH			
Pembuat Order	- PT. GALAXI WAHYU	Muka Air Tanah	= 110 cm			Melaman ke
	KENCANA	Tanggal	= 3-Apr-14			2

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	UD	SPT TEST	Standard Penetration Test	
			Kedalaman (m)	Kedalaman (m)	N-SPT	Grafik N
20.00						
21.00		LANAU ABU - ABU KEKUNINGAN	-20.00	☐ SPT 10		23
22.00			-20.45			
23.00			-22.00	☐ SPT 11		14
24.00		LANAU KELEMPUNGAN ABU - ABU KEKUNINGAN	-22.45			
25.00			-24.00	☐ SPT 12		17
26.00			-24.95			
27.00		LEMPUNG KELANAUAN ABU - ABU KECOKLATAN	-26.00	☐ SPT 13		19
28.00			-26.45			
29.00		LANAU KELEMPUNGAN COKLAT KEABU - ABUAN	-28.00	☐ SPT 14		33
30.00			-28.45			
31.00		LEMPUNG ABU - ABU KECOKLATAN	-30.00	☐ SPT 15		21
32.00			-30.45			
33.00		LEMPUNG KELANAUAN ABU - ABU KECOKLATAN	-32.00	☐ SPT 16		21
34.00			-32.45			
35.00			-34.00	☐ SPT 17		48
36.00		PASIR HALUS ABU - ABU	-34.45			
37.00			-36.00	☐ SPT 18		35
38.00			-36.45			
39.00		LANAU KELEMPUNGAN ABU - ABU	-38.00	☐ SPT 19		30
40.00			-38.45			
41.00		LEMPUNG KELANAUAN ABU - ABU	-40.00	☐ SPT 20		33
		END BORING	-40.45			



LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
 UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

TABLE C3-1
MINIMUM DESIGN DEAD LOADS*

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

(continued)

TABLE C3-1 -- continued
MINIMUM DESIGN DEAD LOADS*

Component	Load (kN/m ²)	Component	Load (kN/m ²)
FLOORS AND FLOOR FINISHES			
Asphalt block (51 mm), 13 mm mortar	1.44	Clay brick wythes:	
Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill	1.53	102 mm	1.87
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13 mm mortar bed	0.77	203 mm	3.78
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25 mm mortar bed	1.10	305 mm	5.51
Concrete fill finish (per mm thickness)	0.023	406 mm	7.42
Hardwood flooring, 22 mm	0.19		
Linoleum or asphalt tile, 6 mm	0.05	Hollow concrete masonry unit wythes:	
Marble and mortar on stone-concrete fill	1.58	Wythe thickness (in mm)	
Slate (per mm thickness)	0.028	Density of unit (16.49 kN/m ³)	
Solid flat tile on 25 mm mortar base	1.10	No grout	102 1.29 1.68 2.01 2.35
Subflooring, 19 mm	0.14	1219 mm	1.48 1.92 2.35 2.78
Terrazzo (38 mm) directly on slab	0.91	813 mm	2.06 2.54 3.02
Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill	1.53	610 mm	2.15 2.68 3.16
Terrazzo (25 mm), 51 mm stone concrete	1.53	406 mm	2.92 3.45
Wood block (76 mm) on mastic, no fill	0.48	Full grout	2.01 2.68 3.35 4.02
Wood block (76 mm) on 13 mm mortar base	0.77		2.73 3.69 4.69 5.70
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)			
DOUBLE WOOD FLOOR			
Joist sizes (mm):		Density of unit (125 pcf):	
51 × 152	0.29	No grout	1.25 1.34 1.72 2.11 2.39
51 × 203	0.29	1219 mm	1.58 2.11 2.59 2.97
51 × 254	0.29	1016 mm	1.63 2.15 2.68 3.11
51 × 305	0.34	813 mm	1.72 2.25 2.78 3.26
	0.29	610 mm	1.87 2.44 3.02 3.59
	0.29	406 mm	2.11 2.78 3.50 4.17
	0.34	Full grout	2.82 3.88 4.88 5.89
FRAME PARTITIONS			
Movable steel partitions	0.19	Density of unit (21.21 kN/m ³)	
Wood or steel studs, 13 mm gypsum board each side	0.38	No grout	1.39 1.68 2.15 2.59 3.02
Wood studs, 51 × 102, unplastered	0.19	1219 mm	1.58 2.39 2.92 3.45
Wood studs, 51 × 102, plastered one side	0.57	1016 mm	1.72 2.54 3.11 3.69
Wood studs, 51 × 102, plastered two sides	0.96	813 mm	1.82 2.63 3.26 3.83
FRAME WALLS			
Exterior stud walls:		610 mm	1.96 2.82 3.50 4.12
51 mm × 102 mm @ 406 mm, 16 mm gypsum, insulated, 10 mm siding	0.53	406 mm	2.25 3.16 3.93 4.69
51 mm × 152 mm @ 406 mm, 16 mm gypsum, insulated, 10 mm siding	0.57	Full grout	3.06 4.17 5.27 6.37
Exterior stud walls with brick veneer	2.30	Solid concrete masonry unit wythes (incl. concrete brick):	
Windows, glass, frame and sash	0.38	Wythe thickness (in mm)	
		Density of unit (16.49 kN/m ³):	102 1.52 2.03 2.54 3.05
		Density of unit (19.64 kN/m ³):	1.53 2.35 3.21 4.02 4.88
		Density of unit (21.21 kN/m ³):	1.82 2.82 3.78 4.79 5.79
			1.96 3.02 4.12 5.17 6.27

* Weights of masonry include mortar but not plaster. For plaster and 0.24 kN/m² for each face plastered. Values given represent averages. In some cases, there is a considerable range of weight for the same construction.

100% BEBAS ASBES
CHRYSLER, CHRYSLEROLITE
DAN FIBER ASBES LAINNYA

Harga sudah termasuk PPN 10%
Harga bisa berubah sewaktu-waktu
tanpa pemberitahuan sebelumnya
ditinjau harga sebelumnya



PT POLA ARTISTIKA PERKASA

KalsiRata 3

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
3.0	1000	1000	4.3	15,700
*	3.0	500	1000	8000
3.0	1000	2000	8.6	34,550
3.0	500	2000	4.3	15,850

KalsiBoard Ling 3.5

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
3.5	1200	2440	14.4	62,800
3.5	1200	2400	13.9	60,400

KalsiBoard Ling 4.5

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
4.5	1200	2440	19.0	86,550
4.5	1200	2400	18.4	83,350

KalsiBoard Ling 6

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
6.0	1200	2440	25.4	122,350
6.0	1200	2400	24.5	117,750
*	6.0	1200	2700	132,450
6.0	1200	3000	30.7	148,600

KalsiBoard Ling 6-R2

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
6.0	1200	2440	25.4	125,550
6.0	1200	2400	24.5	120,800
*	6.0	1200	2700	135,900
*	6.0	1200	3000	149,650

KalsiBoard Ling 6-R4

Plafon

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
6.0	1200	2440	25.4	126,800
6.0	1200	2400	24.5	122,050

*ukuran yang diproduksi berdasarkan pesanan

6.0	1200	2700	27.6	137,200
6.0	1200	3000	30.7	152,500

KalsiPart 8

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
8.0	1220	2440	34.8	164,850
8.0	1200	2400	33.6	158,600
*	8.0	1200	2700	178,400
*	8.0	1200	3000	198,150

KalsiPart 8-R2

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
8.0	1220	2440	34.8	169,000
8.0	1200	2400	33.6	162,650
8.0	1200	2700	37.8	183,000
*	8.0	1200	3000	202,100

KalsiPart 8-R4

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
8.0	1200	2440	34.8	170,650
8.0	1200	2400	33.6	164,200
8.0	1200	2700	37.8	184,700
8.0	1200	3000	42.1	204,100

KalsiClad 10

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
10	1220	2440	43.5	208,000
10	1200	2400	42.1	200,100
*	10	1200	2700	225,100
*	10	1200	3000	250,100

KalsiClad 12

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
12	1220	2440	52.2	251,850
12	1200	2400	50.5	242,450
*	12	1200	2700	272,650
*	12	1200	3000	303,150

KalsiQua 8

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
8.0	1200	2400	33.6	209,400

KalsiFloor 20

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
20	1200	2400	84.11	553,000

*ukuran yang diproduksi berdasarkan pesanan

KalsiPlank 8

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
* 8.0	200	2400	5.6	31,500
8.0	200	3000	7.0	39,350
8.0	300	2400	8.4	47,150
8.0	300	3000	10.5	58,950

KalsiPlank 8-Jati

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
8.0	200	2400	5.6	33,000
8.0	200	3000	7.0	41,350
8.0	300	3000	10.5	62,000

KalsiPlank 12

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Harga (Rupiah)
* 12	200	2400	8.4	46,450
* 12	200	3000	10.5	57,900
* 12	300	2400	12.6	69,350
* 12	300	3000	15.8	86,700

Produk pelengkap untuk pengikatan & penyelesaian akhir papan Kalsi

AKSESORIS BARU	Ukuran standar	Unit	Harga (Rupiah)
KalsiFuring MCR Profil universal untuk main runner sekaligus cross runner	0,4x45x19x4000 milimeter (mm)	batang	27,650
KalsiFuring MJC Joint clip untuk main runner & cross runner	50x35x15 milimeter (mm)	buah	2,200
KalsiFuring AMP Metal angle untuk hanging	0,55x20x20x4000 milimeter (mm)	batang	14,850
KalsiFuring LB L-Bracket untuk pengantungan	40x30x20 milimeter (mm)	buah	1,850
KalsiFrame MT-51 Metal track lebar 51 mm	0,45x51x25x3000 milimeter (mm)	batang	26,750
KalsiFrame MS-51 Metal Stud lebar 51 mm	0,45x51x35x3000 milimeter (mm)	batang	35,000
KalsiNail 3-4.5 Paku spesial untuk papan ketebalan 3-4.5 mm	#5 x 1 inch	3000 buah/dos**	82,500
KalsiScrew CE Sekrup dengan panjang 25 mm untuk papan ketebalan 6 mm	#6 x 1 inch	1800 buah/dos**	118,800
KalsiScrew PC Sekrup dengan panjang 37 mm untuk papan ketebalan 8-12mm	#6 x 1 inch	1800 buah/dos**	336,600
KalsiScrew FL Sekrup dengan panjang 37 mm untuk papan ketebalan 20 mm	#8 x 1 1/4 inch	1000 buah/dos**	286,000
Kalsi Tape FG-50 Isolasi penguat sambungan aplikasi plafon & partisi	50mmx50m	Roll	28,750
KalsiKompon IN-F Kompon penutup sambungan untuk aplikasi dalam ruangan	20 Kilogram (Kg)	Zak	75,800

*ukuran yang diproduksi berdasarkan pesanan **pembelian aksesoris NAIL & SCREW per kelepitan 10 dos



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm) : 600
 Tinggi, H (mm) : 200 ; 400
 Tebal, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, (ρ) : 530 kg/m³
 Berat jenis normal, (ρ) : 600 kg/m³
 Kuat tekan, (σ) : $\geq 4,0$ N/m²
 Konduktifitas termis, (λ) : 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ³	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

Citicon Light Concrete Technical Specifications

Length, L (mm) : 600
 Height, H (mm) : 200 ; 400
 Thick, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Dry Density, (ρ) : 530 kg/m³
 Field Density, (ρ) : 600 kg/m³
 Compressive Strength, (σ) : ≥ 4.0 N/m²
 Thermal Conductivity, (λ) : 0.14 w/mk

Thick	mm	75	100	125	150	175	200
Wall Area / m ³	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Contents / m ³	Block	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

◆ Plester D200

- Dipergunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata, ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebar/zak $\pm 2-2,5 \text{ m}^2/10\text{mm}$



40kg



Acian dinding dan plester

◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk expose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak $\pm 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$



30kg



◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak $\pm 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$
- 5-7 hari bisa langsung di cat



30kg



Acian dinding plester dan beton

◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/zak $9-12 \text{ m}^2/30 \text{ kg}$



30kg



◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekspos dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa plamir dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/zak $9-11 \text{ m}^2/20 \text{ kg}$



20kg

◆ Thinbed 101 TB101

- Perekat bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar/zak $\pm 10-11 \text{ m}^2/3\text{mm}$ (40 kg) (ukuran blok $20 \times 60 \times 10 \text{ cm}$)
- Cepat dalam pengerjaannya



40kg



Khusus Bata Ringan

◆ Plester Ringan 1.6 S150

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebar/zak $\pm 4,5-6,5 \text{ m}^2/5-8\text{mm}$ (50 kg) (ukuran blok $20 \times 60 \times 10 \text{ cm}$)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



50kg

Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perekat/bonding dinding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm

25kg
40kg



◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

◆ Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar



1L

Tile Adhesive

1. Mencegah Keramik terangkat (Flexible)
2. Praktis dan Mudah dlm Aplikasi (cukup dicampur air)
3. Tipis - mengurangi beban bangunan (ketebalan : 3-5 mm)
4. Tanpa Pembongkaran Keramik Lama (tile on tile)
5. Kuat menahan beban tekan pada permukaan keramik
6. Aplikasi dapat langsung pada Beton (High Adhesive)

FS NAT

- Pengisi Rongga NAT :
 - Keramik - Granit
 - Marmer - Batu Alam
- Bersifat WATERPROOF, cocok untuk :
 - Kolam Renang
 - Kamar Mandi
- Bersifat FLEXIBLE & Anti UV (sbg ruang gerak keramik) cocok untuk lantai dan Dinding



Daya Sebar : 6-8 m²/kg
Adukan = 1 kg : 400 cc air

Kemasan : Kantong 1kg

FK 101

- Pemasangan Keramik, Granit dan Marmer pada :
 - Lantai Keramik (Tile on Tile)
 - Lantai Beton/ Plesteran
- Pemasangan Glass Block
- Pembuatan ALUR MINIMALIS dgn SEROK GIGI

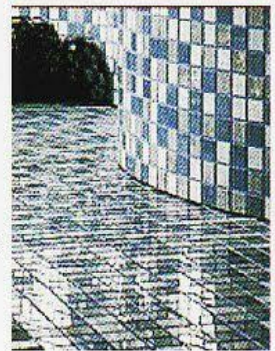


Daya Sebar : 4-6 kg/m²
Adukan = 1 kg : 250 cc air

Kemasan :
Kantong 5kg ; Zak 30kg

FK 111

- Pemasangan Keramik Granit dan Marmer pada :
 - Dinding (Anti Melorot)
 - Langit-langit
 - Balok Beton
- Pemasangan Profil GYPSUM
- Pembuatan ALUR MINIMALIS
- Pemasangan BATU ALAM



Daya Sebar : 4-6 kg/m²
Adukan = 1 kg : 250 cc air

Kemasan :
Kantong 5kg ; Zak 30kg

Perekat Keramik Lantai

Perekat Keramik Dinding

LEMKRA®

E-mail : Lemkra@gmail.com

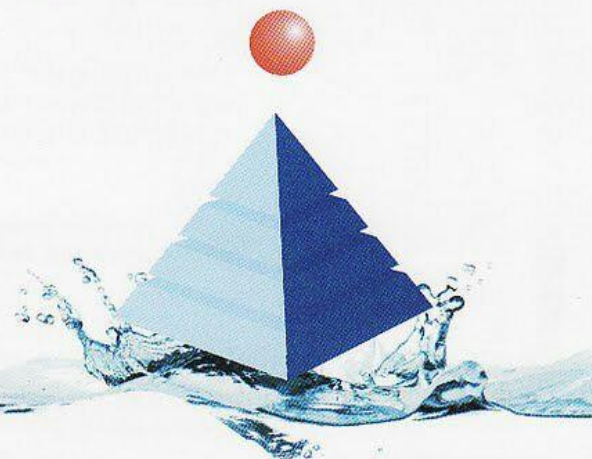
GERMANY
T.E.C.H.N.O.L.O.G.Y

SPECIALIST

WATER PROOFING

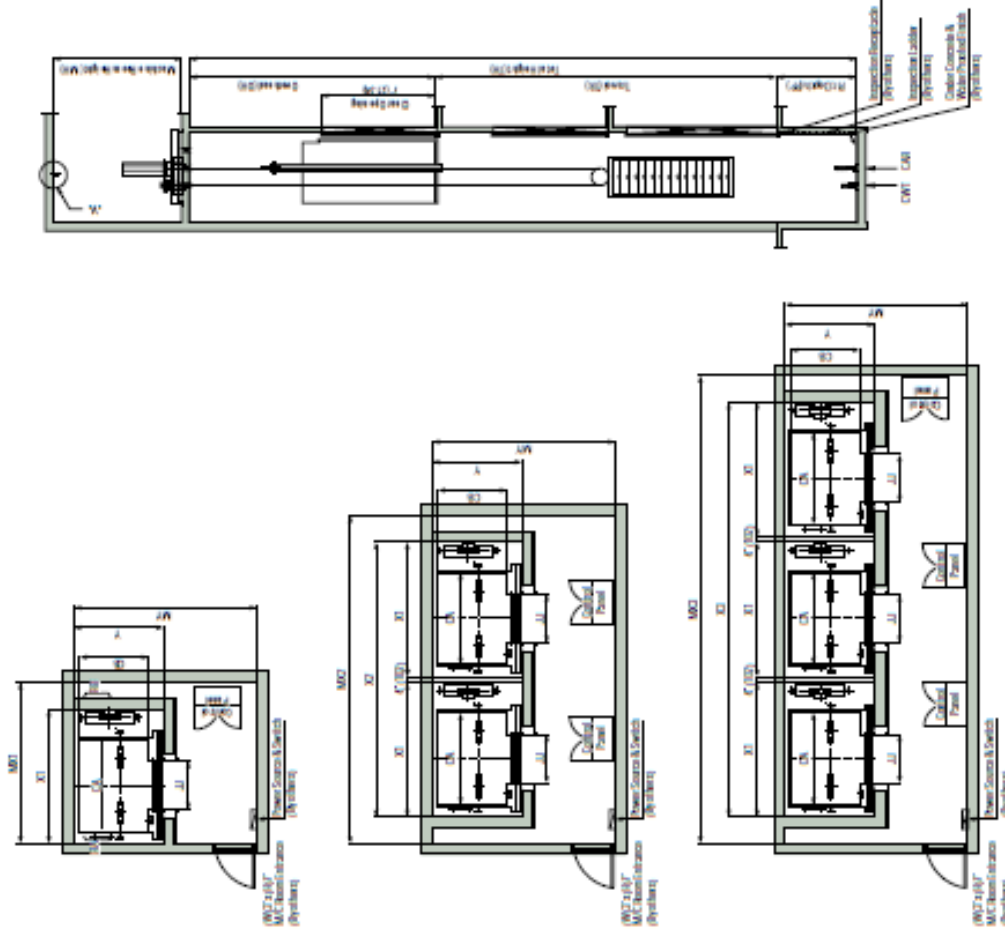


TILE ADHESIVE



Layout Plan - LUXEN(Gearless Elevators) 150~350fpm [45~105m/min]

Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway

Unit: Inch (left side)

Rated Speed fpm (mpm)	Capacity		Door Type	Clear Opening		Car Inside Clear Dimension		Minimum Hoistway Dimension						Minimum Machine Room Dimension		
	Lbs (kg)	CC (ft ³)		OP (mm)	CA (mm)	CB (mm)	1 Car X1 (mm)	2 Cars X2 (mm)	3 Cars X3 (mm)	Depth Y(SO) (mm)	Y(CO) (mm)	Y (mm)	1 Car MX1 (mm)	2 Cars MX2 (mm)	3 Cars MX3 (mm)	Depth Y (mm)
150/200 (45/60)	2100 (952)	CC (ft ³)	2'-2" (610)	5'-4" (1627)	6'-2" (1878)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	25'-2 1/2" (7680)	5'-4" (1627)	5'-7 1/2" (1753)	10'-4" (3153)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	27'-2 1/2" (8298)	10'-4" (3153)	
350/1025	2500 (1134)	CC (ft ³)	2'-4" (610)	5'-4" (1627)	6'-4" (1940)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	25'-2 1/2" (7680)	5'-4" (1627)	5'-7 1/2" (1753)	10'-4" (3153)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	27'-2 1/2" (8298)	10'-4" (3153)	
150/200 (45/60)	2100 (952)	CC (ft ³)	2'-2" (610)	5'-4" (1627)	6'-2" (1878)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	25'-2 1/2" (7680)	5'-4" (1627)	5'-7 1/2" (1753)	10'-4" (3153)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	27'-2 1/2" (8298)	10'-4" (3153)	
350/1025	2500 (1134)	CC (ft ³)	2'-4" (610)	5'-4" (1627)	6'-4" (1940)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	25'-2 1/2" (7680)	5'-4" (1627)	5'-7 1/2" (1753)	10'-4" (3153)	9'-2 1/2" (2832)	18'-11" (5768)	27'-2 1/2" (8298)	10'-4" (3153)	

- 1. Speed: 150/200 (45/60) fpm (15/20) mpm
- 2. Max. number of cars: 3 (max. 3 cars in 1 car)
- 3. Max. number of cars: 2 (max. 2 cars in 1 car)
- 4. Car height: 6'0" (1829mm) Standard, 6'0" (1829mm) Optional
- 5. Car width: 3'0" (914mm) Standard
- 6. Front and back clearances (CWT at side) configuration only

Unit: Inch (left side)

Rated speed fpm (mpm)	Capacity Lbs (kg)	Overhead OH (mm)	Pit PF (mm)	Pit Reaction		M/C Room Reaction	
				CAS (kN)	CWT (kN)	RA (kN)	RB (kN)
150/200 (45/60)	2100 (952)	14'-1" (4293)	5'-2" (1601)	70	56	88	105
350/1025	2500 (1134)	14'-7" (4445)	5'-2" (1601)	90	72	90	113
150/200 (45/60)	2100 (952)	14'-1" (4293)	5'-2" (1601)	82	68	88	102
350/1025	2500 (1134)	14'-7" (4445)	5'-2" (1601)	104	83	90	113
150/200 (45/60)	2100 (952)	14'-1" (4293)	5'-2" (1601)	91	70	88	102
350/1025	2500 (1134)	14'-7" (4445)	5'-2" (1601)	116	90	90	113
150/200 (45/60)	2100 (952)	14'-1" (4293)	5'-2" (1601)	86	68	70	88
350/1025	2500 (1134)	14'-7" (4445)	5'-2" (1601)	107	87	70	88
150/200 (45/60)	2100 (952)	14'-1" (4293)	5'-2" (1601)	95	72	73	88
350/1025	2500 (1134)	14'-7" (4445)	5'-2" (1601)	121	103	73	88

- 1. Max. travel is 75m.
- 2. All dimensions are based on 10' (3048mm) car width.
- 3. High-capacity hoistway, other than standard dimensions.
- 4. For more details, refer to the technical manual.
- 5. Max. load is 75m.

PERHITUNGAN BERAT STRUKTUR

Tangga I tinggi 1.6 m											
			BJ	BERAT		DIMENSI		JARAK	Tinggi	Jml	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²		m	m		
Balok Bordes	30/40	=	2400			0,3	0,4	2,6			748,80
Plat Bordes		=	2400			2,6	0,97	0,15			903,90
Plat Tangga		=	2400			2,25	1,3	0,15			1053,94
Berat Anak Tangga		=	2400			1,3	0,3	0,176		9	741,31
Keramik + spesi	27 kg/m ²	=		27		1,3	0,3				150,37
Railing	30 kg/m ²	=		30		1,3	0,3				18,53
BERAT TOTAL TANGGA											3616,84

Tangga II tinggi 1.6+2.5 m											
			BJ	BERAT		DIMENSI		JARAK	Tinggi	Jml	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²		m	m		
Balok bordes	30/40	=	2400			0,3	0,4	2,6		3	2246,40
Plat Bordes1		=	2400			2,6	0,97	0,15			906,89
Plat Bordes2		=	2400			2,6	1,83	0,15			1712,88
Plat Tangga		=	2400			10,94	1,3	0,15			5121,79
Berat anak tangga		=	2400			1,3	0,3	0,176		9	741,31
Berat anak tangga		=	2400			1,3	0,3	0,167		15	1172,34
Keramik + spesi	27 kg/m ²	=		27		1,3	0,3				396,24
Railing	30 kg/m ²	=		30		1,3	0,3				47,84
BERAT TOTAL TANGGA											12345,70

Tangga III tinggi 1.6+1.6 m											
			BJ	BERAT		DIMENSI		JARAK	Tinggi	Jml	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²		m	m		
Balok bordes	30/40	=	2400			0,3	0,4	2,6			748,80
Plat Bordes		=	2400			2,6	0,97	0,15			903,90
Plat Tangga		=	2400			4,50	1,3	0,15			2107,87
Berat anak tangga		=	2400			1,3	0,3	0,176		18	1482,62
Keramik + spesi	27 kg/m ²	=		27		1,3	0,3				300,74
Railing	30 kg/m ²	=		30		1,3	0,3				37,07
BERAT TOTAL TANGGA											5580,99

Kolom Pendek										
			BJ	BERAT		DIMENSI	JARAK	Tinggi	TOTAL	
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²	m	m		Jml
Kolom Pendek	80/80	=	2400			0,8 0,8		0,5	42	32256
Kolom Pendek Lift	55/55	=	2400			0,55 0,55		0,5	6	2178
BERAT TOTAL KOLOM PENDEK										
									34434	

Beban Mati = 34434 kg

TOTAL BEBAN LANTAI 0 (W0) = 34434 kg

Lantai 1										
			BJ	BERAT		DIMENSI	JARAK	Tinggi	TOTAL	
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²	m	m		Jml
Kolom	80/80	=	2400			0,8 0,8		1,6	42	103219
Kolom Lift	55/55	=	2400			0,5 0,5		1,6	6	5760
Kolom Pendek	80/80	=	2400			0,8 0,8		0,5	42	32256
Kolom Pendek Lift	55/55	=	2400			0,5 0,5		0,5	6	1800
Sloof Memanjang	40/70	=	2400			0,4 0,7	288			193536
Sloof Melintang	40/70	=	2400			0,4 0,7	276,48			185795
Sloof Memanjang Lift	30/40	=	2400			0,3 0,4	18,46			5316
Sloof Melintang Lift	30/40	=	2400			0,3 0,4	5,4			1555
	40/70	=	2400			0,4 0,7	30,72			20644
	40/60	=	2400			0,4 0,6	8,06			4643
Balok Anak Memanjang	30/40	=	2400			0,3 0,4	224			64512
Balok Anak Melintang	30/40	=	2400			0,3 0,4	215,04			61932
Plat Lantai 1	12	=	2400			4 3,84	0,15		112	619315
		=	2400			7,68 1,375	0,15		2	7603
		=	2400			3,5 2,075	0,15		2	5229
		=	2400			2,6 2,08	0,15		2	3884
		=	2400			2,6 2,13	0,15		2	3987
Dinding	107.5 kg/m ²	=		107,5			146,08	1,6		25126
BERAT TOTAL LANTAI 1									1346112	

Berat Struktur = 557971,78 kg

Beban Mati = 1349729,12 kg

Beban Hidup Lantai (Parkiran) = 0,7 x 2000 x 1777,83 = 2488963,40 kg

Beban Hidup Lt.1 (Tangga) = 0,7 x 479 x 5,44 = 1823,50 kg

TOTAL BEBAN LANTAI 1 (W1) = 3840516,03 kg

Lantai 2									
		=	BJ	BERAT		DIMENSI	JARAK	Tinggi	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²	m	m	
Balok Induk Memanjang	40/70	=	2400			0,4 0,7	288		193536,00
Balok Induk Melintang	40/70	=	2400			0,4 0,7	268,8		180633,60
Balok Anak Memanjang	30/40	=	2400			0,3 0,4	224		64512,00
Balok Anak Melintang	30/40	=	2400			0,3 0,4	215,04		61931,52
Balok Lift	30/40	=	2400			0,3 0,4	23,86		6871,68
	40/70	=	2400			0,4 0,7	30,72		20643,84
	40/60	=	2400			0,4 0,6	8,06		4642,56
Kolom	80/80	=	2400			0,8 0,8		4,1 42	264499,20
Kolom Lift	55/55	=	2400			0,55 0,55		4,1 6	17859,60
Plat Lantai 2	12	=	2400			4 3,84	0,12		495452,16
		=	2400			7,68 1,38	0,12		6082,56
		=	2400			3,5 2,08	0,12		4183,20
		=	2400			2,6 2,08	0,12		3107,52
		=	2400			2,6 2,13	0,12		3189,89
Keramik + spesi	27 kg/m ²	=		27		1777,8			48001,44
Plafond + penggantung	16.4 kg/m ²	=		16,4		1777,8			29156,43
Mekanikal Elektrikal	19 kg/m ²	=		19		1777,8			33778,79
Dinding lt.1	107.5 kg/m ²	=		107,5			146,08	1,6	25125,76
Dinding lt.2	107.5 kg/m ²	=		107,5			254,32	2,5	68348,50
BERAT TOTAL LANTAI 2									1531556,24

Berat Struktur = 1339046,94 kg
 Beban Mati = 1543901,94 kg
 Beban Hidup Lt.2 = 0,7 x 479 x 1777,83 = 596106,73 kg
 Beban Hidup Tangga = 0,7 x 479 x 21,50 = 7210,41 kg
TOTAL BEBAN LANTAI 2 (W2) = 2147219,08 kg

Lantai 3											
			BJ	BERAT		DIMENSI		JARAK	Tinggi	Jml	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²		m	m		kg
Balok Induk Melintang	40/70	=	2400			0,4	0,7	268,8			180633,60
Balok Anak Memanjang	30/40	=	2400			0,3	0,4	224			64512,00
Balok Anak Melintang	30/40	=	2400			0,3	0,4	215,04			61931,52
Balok Induk Kantilever	40/70	=	2400			0,4	0,7	24			16128,00
Balok Anak Kantilever	30/40	=	2400			0,3	0,4	20			5760,00
Balok Lift	30/40	=	2400			0,3	0,4	23,86			6871,68
	40/70	=	2400			0,4	0,7	30,72			20643,84
	40/60	=	2400			0,4	0,6	8,06			4642,56
Kolom	65/65	=	2400			0,65	0,65		1,6	42	68140,80
Kolom Lift	55/55	=	2400			0,55	0,55		1,6	6	6969,60
Plat Lantai 3	12	=	2400			4	3,84	0,12		112	495452,16
		=	2400			7,68	1,38	0,12		2	6082,56
		=	2400			3,5	2,075	0,12		2	4183,20
		=	2400			2,6	2,08	0,12		2	3107,52
		=	2400			2,6	2,13	0,12		2	3189,89
Plat Kantilever		=	2400			3,84	2	0,12		20	44236,80
Keramik + spesi	27 kg/m ²	=		27							52148,64
Plafond + penggantung	16.4 kg/m ²	=		16,4							31675,47
Mekanikal Elektrikal	19 kg/m ²	=		19							36697,19
Dinding Lt.2	107.5 kg/m ²	=		107,5				254,32	2,5		68348,50
Dinding Lt.3	107.5 kg/m ²	=		107,5				329,6	1,6		56691,20
		=		107,5				133,12	1,6		22896,64
		=		107,5				177,52	1,6		30533,44
		=		107,5				199,94	1,6		34389,68
Dinding Lift	107.5 kg/m ²	=		107,5				47,92	1,6		8242,24
		=		107,5				40	1,6		6880,00
BERAT TOTAL LANTAI 3											1340988,72

Berat Struktur = 1004387,34 kg
 Beban Mati = 1353334,42 kg
 Beban Hidup Lt. 3 = 0,7 x 192 x 1931,43 = 2890,18 kg
 Beban Hidup Tangga = 0,7 x 479 x 21,50 = 7210,41 kg
TOTAL BEBAN LANTAI 3 (W3) = 1363435,01 kg

Lantai 4/5/6										
			BJ	BERAT		DIMENSI	JARAK	Tinggi	Jml	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²	m	m		kg
Balok Induk Memanjang	40/70	=	2400			0,4 0,7	288			193536,00
Balok Induk Melintang	40/70	=	2400			0,4 0,7	268,8			180633,60
Balok Anak Memanjang	30/40	=	2400			0,3 0,4	224			64512,00
Balok Anak Melintang	30/40	=	2400			0,3 0,4	215,04			61931,52
Balok Induk Kantilever	40/70	=	2400			0,4 0,7	24			16128,00
Balok Anak Kantilever	30/40	=	2400			0,3 0,4	20			5760,00
Balok Lift	30/40	=	2400			0,3 0,4	23,86			6871,68
	40/70	=	2400			0,4 0,7	30,72			20643,84
	40/60	=	2400			0,4 0,6	8,06			4642,56
Kolom	65/65	=	2400			0,65 0,65		1,6	42	68140,80
Kolom Lift	55/55	=	2400			0,55 0,55		1,6	6	6969,60
Plat Lantai	12	=	2400			4 3,84	0,12		112	495452,16
	12	=	2400			7,68 1,38	0,12		2	6082,56
	12	=	2400			3,5 2,08	0,12		2	4183,20
	12	=	2400			2,6 2,08	0,12		2	3107,52
	12	=	2400			2,6 2,13	0,12		2	3189,89
Plat Kantilever	12	=	2400			3,84 2	0,12		20	44236,80
Keramik + spesi	27 kg/m ²	=		27		1931,43				52148,64
Plafond + penggantung	16.4 kg/m ²	=		16,4		1931,43				31675,47
Mekanikal Elektrikal	19 kg/m ²	=		19		1931,43				36697,19
Dinding	107.5 kg/m ²	=		107,5			329,6	3,2		113382,40
		=					133,12	3,2		45793,28
		=					177,52	3,2		61066,88
		=					199,94	3,2		68779,36
Dinding Lift	107.5 kg/m ²	=		107,5			47,92	3,2		16484,48
		=					40	3,2		13760,00
BERAT TOTAL LANTAI 4/5/6										1625809,42

Berat Struktur = 1191264,92 kg
 Beban Mati = 1631390,42 kg
 Beban Hidup Lt. 4/5/6 = 0,7 x 192 x 1931,43 = 259584,33 kg
 Beban Hidup Tangga = 0,7 x 479 x 8,37 = 2805,13 kg
TOTAL BEBAN LANTAI 4/5/6 (W4,W5,W6) = 1893779,87 kg

Lantai Atap											
			BJ	BERAT		DIMENSI		JARAK	Tinggi	Jml	TOTAL
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²		m	m		kg
Balok Induk Memanjang	40/70	=	2400			0,4	0,7	288			193536,00
Balok Induk Melintang	40/70	=	2400			0,4	0,7	268,8			180633,60
Balok Anak Memanjang	30/40	=	2400			0,3	0,4	224			64512,00
Balok Anak Melintang	30/40	=	2400			0,3	0,4	215,04			61931,52
Balok Induk Kantilever	40/70	=	2400			0,4	0,7	24			16128,00
Balok Anak Kantilever	30/40	=	2400			0,3	0,4	20			5760,00
Balok Lift	30/40	=	2400			0,3	0,4	23,86			6871,68
	40/70	=	2400			0,4	0,7	30,72			20643,84
	40/60	=	2400			0,4	0,6	19,38			11162,88
Kolom	65/65	=	2400			0,65	0,65		1,6	42	68140,80
Kolom Lift	55/55	=	2400			0,55	0,55		1,6	6	6969,60
Kolom Roof Top	65/65	=	2400			0,65	0,65		1,6	8	12979,20
Plat Lantai Tipe 1	12	=	2400			4	3,84	0,12		112	495452,16
	12	=	2400			7,68	1,375	0,12		2	6082,56
	12	=	2400			3,5	2,075	0,12		2	4183,20
	12	=	2400			2,6	2,08	0,12		2	3107,52
	12	=	2400			2,6	2,13	0,12		2	3189,89
Plat Kantilever	12	=	2400			3,84	2	0,12		20	44236,80
Plafond + penggantung	16.4 kg/m2	=		27				1931,43			52148,64
Mekanikal Elektrikal	19 kg/m2	=		19				1931,43			36697,19
Waterproofing	7 kg/m2	=		7				1931,43			13520,02
Dinding	107.5 kg/m2	=		107,5					329,6	1,6	56691,20
		=							133,12	1,6	22896,64
		=							177,52	1,6	30533,44
		=							199,94	1,6	34389,68
Dinding Lift	107.5 kg/m2	=							47,92	1,6	8242,24
		=							40	1,6	6880,00
		=							62,72	1,6	10787,84
		=							180,8	1,2	23323,20
Dinding Over	107.5 kg/m2	=							62,72	1,6	10787,84
BERAT TOTAL LANTAI ATAP											1635299,17

Berat Struktur	=	1208969,19	kg							
Beban Mati	=	1638916,02	kg							
Beban Hidup Lt Atap	=	0,7	x	96	x	1931,43	=	365,46	kg	
Beban Hidup Tangga	=	0,7	x	479	x	5,44	=	1823,50	kg	
TOTAL BEBAN ATAP (W7)	=	1641104,98	kg							

Lantai Ruang Lift										
		=	BJ	BERAT		DIMENSI	JARAK	Tinggi	TOTAL	
			kg/m ³	kg/m ²	kg/m	m ²	m	m		Jml
Kolom Roof Top	65/65	=	2400			0,65 0,65		1,6	8	12979,20
Balok Induk Roof Top	40/70	=	2400			0,4 0,7	31,36			21073,92
Balok Anak Roof Top	30/40	=	2400			0,3 0,4	15,68			4515,84
Plat Lantai Tipe 1	12	=	2400			4 3,84	0,12		8	35389,44
Dinding Over	107.5 kg/m ²	=					62,72	1,6		10787,84
BERAT TOTAL LANTAI ATAP										73958,40

Berat Struktur = 73958,40 kg

Beban Mati = 73958,40 kg

Beban Hidup Lt = 0,7 x 96 x 122,88 = 8257,54 kg

TOTAL BEBAN RUANG LIFT (W8) = 82215,94 kg

Rekap Berat Struktur

Lantai	Beban (kg)
W0	34434,00
W1	3840516,03
W2	2147219,08
W3	1363435,01
W4	1893779,87
W5	1893779,87
W6	1893779,87
W7	1638916,02
W8	82215,94
W Total	14788075,68

PERHITUNGAN TITIK BERAT BANGUNAN

1. LANTAI 0

Kolom											
No	Type	Dimensi Kolom			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		As	b	h			(W)	(X)	(Y)		
			(m)	(m)	(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	K1 80/80	A	0,8	0,8	1	2400	1536	0	0	0	0
2			0,8	0,8	1	2400	1536	8	0	12288	0
3			0,8	0,8	1	2400	1536	16	0	24576	0
4			0,8	0,8	1	2400	1536	24	0	36864	0
5			0,8	0,8	1	2400	1536	32	0	49152	0
6			0,8	0,8	1	2400	1536	40	0	61440	0
7			0,8	0,8	1	2400	1536	48	0	73728	0
8		B	0,8	0,8	1	2400	1536	0	8	0	11796
9			0,8	0,8	1	2400	1536	8	8	12288	11796
10			0,8	0,8	1	2400	1536	16	8	24576	11796
11			0,8	0,8	1	2400	1536	24	8	36864	11796
12			0,8	0,8	1	2400	1536	32	8	49152	11796
13			0,8	0,8	1	2400	1536	40	8	61440	11796
14			0,8	0,8	1	2400	1536	48	8	73728	11796
15		C	0,8	0,8	1	2400	1536	0	15	0	23593
16			0,8	0,8	1	2400	1536	8	15	12288	23593
17	K3 55/55	0,55	0,55	1	2400	726	13	15	9264	11151	
18	K1 80/80	0,8	0,8	1	2400	1536	16	15	24576	23593	
19		0,8	0,8	1	2400	1536	24	15	36864	23593	
20		0,8	0,8	1	2400	1536	32	15	49152	23593	
21	K3 55/55	0,55	0,55	1	2400	726	35	15	25120	11151	
22	K1 80/80	0,8	0,8	1	2400	1536	40	15	61440	23593	
23		0,8	0,8	1	2400	1536	48	15	73728	23593	
24		D	0,8	0,8	1	2400	1536	0	23	0	35389
25			0,8	0,8	1	2400	1536	8	23	12288	35389
26			0,8	0,8	1	2400	1536	16	23	24576	35389
27			0,8	0,8	1	2400	1536	24	23	36864	35389
28			0,8	0,8	1	2400	1536	32	23	49152	35389
29			0,8	0,8	1	2400	1536	40	23	61440	35389
30		0,8	0,8	1	2400	1536	48	23	73728	35389	
31		E	0,8	0,8	1	2400	1536	0	31	0	47186
32	0,8		0,8	1	2400	1536	8	31	12288	47186	
33	0,8		0,8	1	2400	1536	16	31	24576	47186	
34	0,8		0,8	1	2400	1536	24	31	36864	47186	
35	0,8		0,8	1	2400	1536	32	31	49152	47186	
36	0,8		0,8	1	2400	1536	40	31	61440	47186	

37	F	0,8	0,8	1	2400	1536	48	31	73728	47186	
38		0,8	0,8	1	2400	1536	0	38	0	58982	
39		0,8	0,8	1	2400	1536	8	38	12288	58982	
40		0,8	0,8	1	2400	1536	16	38	24576	58982	
41		0,8	0,8	1	2400	1536	24	38	36864	58982	
42		0,8	0,8	1	2400	1536	32	38	49152	58982	
43		0,8	0,8	1	2400	1536	40	38	61440	58982	
44		0,8	0,8	1	2400	1536	48	38	73728	58982	
45	K3 55/55	B-C	0,55	0,55	1	2400	726	9	13	6752	9097
46			0,55	0,55	1	2400	726	13	13	9264	9097
47			0,55	0,55	1	2400	726	35	13	25120	9097
48			0,55	0,55	1	2400	726	39	13	28096	9097
Total						68868			1651903	1297320	

Lantai 1	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Kolom Pendek	68868	1651902,72	1297320,24

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
23,99	18,84

2. LANTAI 1

Plat Lantai										
No	Arah	Dimensi Plat		Tebal Plat	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		Pjg	Lebar							
		(m)	(m)			(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)
1	A-B Bawah	4	3,84	0,15	2400	36864	2	2	73728	70779
2		4	3,84	0,15	2400	36864	6	2	221184	70779
3		4	3,84	0,15	2400	36864	10	2	368640	70779
4		4	3,84	0,15	2400	36864	14	2	516096	70779
5		4	3,84	0,15	2400	36864	18	2	663552	70779
6		4	3,84	0,15	2400	36864	22	2	811008	70779
7		4	3,84	0,15	2400	36864	26	2	958464	70779
8		4	3,84	0,15	2400	36864	30	2	1105920	70779
9		4	3,84	0,15	2400	36864	34	2	1253376	70779
10		4	3,84	0,15	2400	36864	38	2	1400832	70779
11		4	3,84	0,15	2400	36864	42	2	1548288	70779
12		4	3,84	0,15	2400	36864	46	2	1695744	70779
13	A-B Atas	4	3,84	0,15	2400	36864	2	6	73728	212337
14		4	3,84	0,15	2400	36864	6	6	221184	212337

15		4	3,84	0,15	2400	36864	10	6	368640	212337
16		4	3,84	0,15	2400	36864	14	6	516096	212337
17		4	3,84	0,15	2400	36864	18	6	663552	212337
18		4	3,84	0,15	2400	36864	22	6	811008	212337
19		4	3,84	0,15	2400	36864	26	6	958464	212337
20		4	3,84	0,15	2400	36864	30	6	1105920	212337
21		4	3,84	0,15	2400	36864	34	6	1253376	212337
22		4	3,84	0,15	2400	36864	38	6	1400832	212337
23		4	3,84	0,15	2400	36864	42	6	1548288	212337
24		4	3,84	0,15	2400	36864	46	6	1695744	212337
25	B-C Bawah	4	3,84	0,15	2400	36864	2	10	73728	353894
26		4	3,84	0,15	2400	36864	6	10	221184	353894
27		4	3,84	0,15	2400	36864	18	10	663552	353894
28		4	3,84	0,15	2400	36864	22	10	811008	353894
29		4	3,84	0,15	2400	36864	26	10	958464	353894
30		4	3,84	0,15	2400	36864	30	10	1105920	353894
31		4	3,84	0,15	2400	36864	42	10	1548288	353894
32		4	3,84	0,15	2400	36864	46	10	1695744	353894
33	B-C Atas	4	3,84	0,15	2400	36864	2	13	73728	495452
34		4	3,84	0,15	2400	36864	6	13	221184	495452
35		4	3,84	0,15	2400	36864	18	13	663552	495452
36		4	3,84	0,15	2400	36864	22	13	811008	495452
37		4	3,84	0,15	2400	36864	26	13	958464	495452
38		4	3,84	0,15	2400	36864	30	13	1105920	495452
39		4	3,84	0,15	2400	36864	42	13	1548288	495452
40		4	3,84	0,15	2400	36864	46	13	1695744	495452
41	C-D Bawah	4	3,84	0,15	2400	36864	2	17	73728	637010
42		4	3,84	0,15	2400	36864	6	17	221184	637010
43		4	3,84	0,15	2400	36864	10	17	368640	637010
44		4	3,84	0,15	2400	36864	14	17	516096	637010
45		4	3,84	0,15	2400	36864	18	17	663552	637010
46		4	3,84	0,15	2400	36864	22	17	811008	637010
47		4	3,84	0,15	2400	36864	26	17	958464	637010
48		4	3,84	0,15	2400	36864	30	17	1105920	637010
49		4	3,84	0,15	2400	36864	34	17	1253376	637010
50		4	3,84	0,15	2400	36864	38	17	1400832	637010
51		4	3,84	0,15	2400	36864	42	17	1548288	637010
52		4	3,84	0,15	2400	36864	46	17	1695744	637010
53	C-D Atas	4	3,84	0,15	2400	36864	2	21	73728	778568
54		4	3,84	0,15	2400	36864	6	21	221184	778568
55		4	3,84	0,15	2400	36864	10	21	368640	778568
56		4	3,84	0,15	2400	36864	14	21	516096	778568
57		4	3,84	0,15	2400	36864	18	21	663552	778568
58		4	3,84	0,15	2400	36864	22	21	811008	778568
59		4	3,84	0,15	2400	36864	26	21	958464	778568

60		4	3,84	0,15	2400	36864	30	21	1105920	778568	
61		4	3,84	0,15	2400	36864	34	21	1253376	778568	
62		4	3,84	0,15	2400	36864	38	21	1400832	778568	
63		4	3,84	0,15	2400	36864	42	21	1548288	778568	
64		4	3,84	0,15	2400	36864	46	21	1695744	778568	
65	D-E Bawah	4	3,84	0,15	2400	36864	2	25	73728	920125	
66		4	3,84	0,15	2400	36864	6	25	221184	920125	
67		4	3,84	0,15	2400	36864	10	25	368640	920125	
68		4	3,84	0,15	2400	36864	14	25	516096	920125	
69		4	3,84	0,15	2400	36864	18	25	663552	920125	
70		4	3,84	0,15	2400	36864	22	25	811008	920125	
71		4	3,84	0,15	2400	36864	26	25	958464	920125	
72		4	3,84	0,15	2400	36864	30	25	1105920	920125	
73		4	3,84	0,15	2400	36864	34	25	1253376	920125	
74		4	3,84	0,15	2400	36864	38	25	1400832	920125	
75		4	3,84	0,15	2400	36864	42	25	1548288	920125	
76		4	3,84	0,15	2400	36864	46	25	1695744	920125	
77		D-E Atas	4	3,84	0,15	2400	36864	2	29	73728	1061683
78			4	3,84	0,15	2400	36864	6	29	221184	1061683
79	4		3,84	0,15	2400	36864	10	29	368640	1061683	
80	4		3,84	0,15	2400	36864	14	29	516096	1061683	
81	4		3,84	0,15	2400	36864	18	29	663552	1061683	
82	4		3,84	0,15	2400	36864	22	29	811008	1061683	
83	4		3,84	0,15	2400	36864	26	29	958464	1061683	
84	4		3,84	0,15	2400	36864	30	29	1105920	1061683	
85	4		3,84	0,15	2400	36864	34	29	1253376	1061683	
86	4		3,84	0,15	2400	36864	38	29	1400832	1061683	
87	4		3,84	0,15	2400	36864	42	29	1548288	1061683	
88	4		3,84	0,15	2400	36864	46	29	1695744	1061683	
89	E-F Bawah	4	3,84	0,15	2400	36864	2	33	73728	1203241	
90		4	3,84	0,15	2400	36864	6	33	221184	1203241	
91		4	3,84	0,15	2400	36864	10	33	368640	1203241	
92		4	3,84	0,15	2400	36864	14	33	516096	1203241	
93		4	3,84	0,15	2400	36864	18	33	663552	1203241	
94		4	3,84	0,15	2400	36864	22	33	811008	1203241	
95		4	3,84	0,15	2400	36864	26	33	958464	1203241	
96		4	3,84	0,15	2400	36864	30	33	1105920	1203241	
97		4	3,84	0,15	2400	36864	34	33	1253376	1203241	
98		4	3,84	0,15	2400	36864	38	33	1400832	1203241	
99		4	3,84	0,15	2400	36864	42	33	1548288	1203241	
100		4	3,84	0,15	2400	36864	46	33	1695744	1203241	
101	E-F Atas	4	3,84	0,15	2400	36864	2	36	73728	1344799	
102		4	3,84	0,15	2400	36864	6	36	221184	1344799	
103		4	3,84	0,15	2400	36864	10	36	368640	1344799	
104		4	3,84	0,15	2400	36864	14	36	516096	1344799	

105		4	3,84	0,15	2400	36864	18	36	663552	1344799
106		4	3,84	0,15	2400	36864	22	36	811008	1344799
107		4	3,84	0,15	2400	36864	26	36	958464	1344799
108		4	3,84	0,15	2400	36864	30	36	1105920	1344799
109		4	3,84	0,15	2400	36864	34	36	1253376	1344799
110		4	3,84	0,15	2400	36864	38	36	1400832	1344799
111		4	3,84	0,15	2400	36864	42	36	1548288	1344799
112		4	3,84	0,15	2400	36864	46	36	1695744	1344799
113	Lift Kiri	1,37	7,68	0,15	2400	25252	9	12	219312	290901
114		4,03	2,23	0,15	2400	21569	11	9	245558	189695
115		2,6	2,23	0,15	2400	13915	15	9	204553	122384
116		2,6	2,21	0,15	2400	13790	15	11	202719	151901
113	Lift Kanan	1,37	7,68	0,15	2400	25252	39	12	992776	290901
114		4,03	2,23	0,15	2400	21569	37	9	789733	189695
115		2,6	2,23	0,15	2400	13915	33	9	463376	122384
116		2,6	2,21	0,15	2400	13790	33	11	459220	151901
Total						4277820			102667680	83047034

Dinding									
No	Dimensi Dinding			Berat Dinding (Kg/m ²)	Berat (W) (Kg)	Jarak ke X _o (X) (m)	Jarak ke Y _o (Y) (m)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
	Arah	Pjg	Tinggi						
		(m)	(m)						
1	X	8	3,2	107,5	2752	4	8	11008	21135
2		8	3,2	107,5	2752	12	8	33024	21135
3		8	3,2	107,5	2752	20	8	55040	21135
4		8	3,2	107,5	2752	28	8	77056	21135
5		8	3,2	107,5	2752	36	8	99072	21135
6		2,5	3,2	107,5	860	41	8	35475	6605
7		8	3,2	107,5	2752	4	15	11008	42271
8		5,1	3,2	107,5	1754	11	15	18509	26948
9		2,9	3,2	107,5	998	15	15	14515	15323
10		8	3,2	107,5	2752	20	15	55040	42271
11		8	3,2	107,5	2752	28	15	77056	42271
12		2,9	3,2	107,5	998	33	15	33370	15323
13		5,1	3,2	107,5	1754	37	15	65702	26948
14		2,5	3,2	107,5	860	41	15	35475	13210
15		6,7	3,2	107,5	2305	13	10	29156	22656
16		1,3	3,2	107,5	447	12	11	5568	4933
17		3,8	3,2	107,5	1307	11	13	14641	16379
18		6,7	3,2	107,5	2305	35	10	81475	22656
19		1,3	3,2	107,5	447	36	11	15898	4933
20		3,8	3,2	107,5	1307	37	13	48105	16379
21	Y	7,68	3,2	107,5	2642	0	12	0	30435

22		2,83	3,2	107,5	974	13	14	12753	13576
23		2,7	3,2	107,5	929	13	11	12167	10384
24		5,53	3,2	107,5	1902	16	13	30437	23960
25		7,68	3,2	107,5	2642	43	12	112282	30435
26		2,83	3,2	107,5	974	35	14	33976	13576
27		2,7	3,2	107,5	929	35	11	32415	10384
28		5,53	3,2	107,5	1902	32	13	60874	23960
Total					50252			1111096	581490

Sloof										
No	Dimensi Sloof			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
	As	b	h							
		(m)	(m)			(m)	(Kg/m2)	(Kg)	(X)	(Y)
1	A	0,4	0,7	8	2400	5376	4	0	21504	0
2		0,4	0,7	8	2400	5376	12	0	64512	0
3		0,4	0,7	8	2400	5376	20	0	107520	0
4		0,4	0,7	8	2400	5376	28	0	150528	0
5		0,4	0,7	8	2400	5376	36	0	193536	0
6		0,4	0,7	8	2400	5376	44	0	236544	0
7	B	0,4	0,7	8	2400	5376	4	8	21504	41288
8		0,4	0,7	8	2400	5376	12	8	64512	41288
9		0,4	0,7	8	2400	5376	20	8	107520	41288
10		0,4	0,7	8	2400	5376	28	8	150528	41288
11		0,4	0,7	8	2400	5376	36	8	193536	41288
12		0,4	0,7	8	2400	5376	44	8	236544	41288
13	C	0,4	0,7	8	2400	5376	4	15	21504	82575
14		0,4	0,7	8	2400	5376	12	15	64512	82575
15		0,4	0,7	8	2400	5376	20	15	107520	82575
16		0,4	0,7	8	2400	5376	28	15	150528	82575
17		0,4	0,7	8	2400	5376	36	15	193536	82575
18		0,4	0,7	8	2400	5376	44	15	236544	82575
19	D	0,4	0,7	8	2400	5376	4	23	21504	123863
20		0,4	0,7	8	2400	5376	12	23	64512	123863
21		0,4	0,7	8	2400	5376	20	23	107520	123863
22		0,4	0,7	8	2400	5376	28	23	150528	123863
23		0,4	0,7	8	2400	5376	36	23	193536	123863
24		0,4	0,7	8	2400	5376	44	23	236544	123863
25	E	0,4	0,7	8	2400	5376	4	31	21504	165151
26		0,4	0,7	8	2400	5376	12	31	64512	165151
27		0,4	0,7	8	2400	5376	20	31	107520	165151
28		0,4	0,7	8	2400	5376	28	31	150528	165151
29		0,4	0,7	8	2400	5376	36	31	193536	165151
30		0,4	0,7	8	2400	5376	44	31	236544	165151
31	F	0,4	0,7	8	2400	5376	4	38	21504	206438

32		0,4	0,7	8	2400	5376	12	38	64512	206438
33		0,4	0,7	8	2400	5376	20	38	107520	206438
34		0,4	0,7	8	2400	5376	28	38	150528	206438
35		0,4	0,7	8	2400	5376	36	38	193536	206438
36		0,4	0,7	8	2400	5376	44	38	236544	206438
37	LIFT KIRI	0,3	0,4	4,03	2400	1160,64	11,385	9	13214	10208
38		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	9	11007	6586
39		0,4	0,6	4,03	2400	2321,28	11,39	11	26428	26579
40		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	11	11007	8248
41	LIFT KANAN	0,3	0,4	4,03	2400	1160,64	36,62	9	42497	10208
42		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	9	24935	6586
43		0,4	0,6	4,03	2400	2321,28	36,62	11	84994	26579
44		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	11	24935	8248
45	A-B	0,3	0,4	8	2400	2304	4	4	9216	8847
46		0,3	0,4	8	2400	2304	12	4	27648	8847
47		0,3	0,4	8	2400	2304	20	4	46080	8847
48		0,3	0,4	8	2400	2304	28	4	64512	8847
49		0,3	0,4	8	2400	2304	36	4	82944	8847
50		0,3	0,4	8	2400	2304	44	4	101376	8847
51	B-C	0,3	0,4	8	2400	2304	4	12	9216	26542
52		0,3	0,4	8	2400	2304	20	12	46080	26542
53		0,3	0,4	8	2400	2304	28	12	64512	26542
54		0,3	0,4	8	2400	2304	44	12	101376	26542
55	C-D	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19	9216	44237
56		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19	27648	44237
57		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19	46080	44237
58		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19	64512	44237
59		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19	82944	44237
60		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19	101376	44237
61	D-E	0,3	0,4	8	2400	2304	4	27	9216	61932
62		0,3	0,4	8	2400	2304	12	27	27648	61932
63		0,3	0,4	8	2400	2304	20	27	46080	61932
64		0,3	0,4	8	2400	2304	28	27	64512	61932
65		0,3	0,4	8	2400	2304	36	27	82944	61932
66		0,3	0,4	8	2400	2304	44	27	101376	61932
67	E-F	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19	9216	44237
68		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19	27648	44237
69		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19	46080	44237
70		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19	64512	44237
71		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19	82944	44237
72		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19	101376	44237
45	1	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	4	247726	19818
46		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	12	247726	59454

47		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	19	247726	99090
48		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	27	247726	138727
49		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	35	247726	178363
50	2	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	4	206438	19818
51		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	12	206438	59454
52		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	19	206438	99090
53		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	27	206438	138727
54		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	35	206438	178363
55		3	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	4	165151
56	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	12	165151	59454
57	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	19	165151	99090
58	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	27	165151	138727
59	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	35	165151	178363
60	4	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	4	123863	19818
61		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	12	123863	59454
62		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	19	123863	99090
63		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	27	123863	138727
64		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	35	123863	178363
65	5	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	4	82575	19818
66		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	12	82575	59454
67		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	19	82575	99090
68		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	27	82575	138727
69		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	35	82575	178363
70	6	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	4	41288	19818
71		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	12	41288	59454
72		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	19	41288	99090
73		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	27	41288	138727
74		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	35	41288	178363
75	7	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	4	0	19818
76		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	12	0	59454
77		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	19	0	99090
78		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	27	0	138727
79		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	35	0	178363
80	LIFT KIRI	0,4	0,7	2,83	2400	1901,76	9,37	14	17819	27395
81		0,4	0,7	4,85	2400	3259,2	9,37	10	30539	33684
82		0,3	0,4	2,7	2400	777,6	11,87	11	9230	8904
83		0,4	0,7	2,83	2400	1901,76	13,4	14	25484	27395
84		0,4	0,7	4,85	2400	3259,2	13,4	10	43673	33684
85	LIFT KANAN	0,4	0,7	2,83	2400	1901,76	34,6	14	65801	27395
86		0,4	0,7	4,85	2400	3259,2	34,6	10	112768	33684
87		0,3	0,4	2,7	2400	777,6	36,13	11	28095	8904
88		0,4	0,7	2,83	2400	1901,76	38,63	14	73465	27395
89		0,4	0,7	4,85	2400	3259,2	38,63	10	125903	33684
119	1-2	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	4	97321	8493
120		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	12	97321	25480

121		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	19	97321	42467
122		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	27	97321	59454
123		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	35	97321	76441
124	2-3	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	4	79626	8493
125		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	19	79626	42467
126		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	27	79626	59454
127		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	35	79626	76441
128		3-4	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	4	61932
129	0,3		0,4	7,68	2400	2211,84	28	12	61932	25480
130	0,3		0,4	7,68	2400	2211,84	28	19	61932	42467
131	0,3		0,4	7,68	2400	2211,84	28	27	61932	59454
132	0,3		0,4	7,68	2400	2211,84	28	35	61932	76441
133	4-5	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	4	44237	8493
134		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	12	44237	25480
135		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	19	44237	42467
136		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	27	44237	59454
137		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	35	44237	76441
138	5-6	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	4	26542	8493
139		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	19	26542	42467
140		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	27	26542	59454
141		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	35	26542	76441
142	6-7	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	4	8847	8493
143		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	12	8847	25480
144		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	19	8847	42467
145		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	27	8847	59454
146		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	35	8847	76441
Total						532771			12786509	9834161

Kolom											
No	Type	Dimensi Kolom			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		As	b	h							
			(m)	(m)			(m)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)
1	K1 80/80	A	0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	0	0	0	0
2			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	8	0	39322	0
3			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	16	0	78643	0
4			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	24	0	117965	0
5			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	32	0	157286	0
6			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	40	0	196608	0
7			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	48	0	235930	0
8		B	0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	0	7,68	0	37749
9			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	8	7,68	39322	37749
10			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	16	7,68	78643	37749
11			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	24	7,68	117965	37749
12			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	32	7,68	157286	37749

13			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	40	7,68	196608	37749	
14			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	48	7,68	235930	37749	
15			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	0	15,36	0	75497	
16			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	8	15,36	39322	75497	
17	K3 55/55	C	0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	12,76	15,36	29644	35684	
18	K1 80/80		0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	16	15,36	78643	75497	
19			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	24	15,36	117965	75497	
20			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	32	15,36	157286	75497	
21	K3 55/55		0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	34,6	15,36	80383	35684	
22	K1 80/80		D	0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	40	15,36	196608	75497
23				0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	48	15,36	235930	75497
24				0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	0	23,04	0	113246
25				0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	8	23,04	39322	113246
26				0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	16	23,04	78643	113246
27				0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	24	23,04	117965	113246
28				0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	32	23,04	157286	113246
29		0,8		0,8	3,2	2400	4915,2	40	23,04	196608	113246	
30		0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	48	23,04	235930	113246		
31		E	0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	0	30,72	0	150995	
32			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	8	30,72	39322	150995	
33			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	16	30,72	78643	150995	
34			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	24	30,72	117965	150995	
35			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	32	30,72	157286	150995	
36			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	40	30,72	196608	150995	
37			0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	48	30,72	235930	150995	
38			F	0,8	0,8	3,2	2400	4915,2	0	38,4	0	188744
39		0,8		0,8	3,2	2400	4915,2	8	38,4	39322	188744	
40		0,8		0,8	3,2	2400	4915,2	16	38,4	78643	188744	
41		0,8		0,8	3,2	2400	4915,2	24	38,4	117965	188744	
42	0,8	0,8		3,2	2400	4915,2	32	38,4	157286	188744		
43	0,8	0,8		3,2	2400	4915,2	40	38,4	196608	188744		
44	0,8	0,8		3,2	2400	4915,2	48	38,4	235930	188744		
45	K3 55/55	B-C		0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	9,3	12,53	21606	29110
46			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	12,76	12,53	29644	29110	
47			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	34,6	12,53	80383	29110	
48			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	38,7	12,53	89908	29110	
Total							220378			5286089	4151425	

Lantai 1	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Lantai 1	5081220	121851373	97614109,09

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
23,99	19,21

3. LANTAI 2

Plat Lantai										
No	As	Dimensi Plat		Tebal Plat (m)	BJ (Kg/m ²)	Berat (Kg)	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
		Pjg	Lebar				(X)	(Y)		
		(m)	(m)				(m)	(m)		
1	A-B Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	1,92	73728	70779
2		4	3,84	0,12	2400	36864	6	1,92	221184	70779
3		4	3,84	0,12	2400	36864	10	1,92	368640	70779
4		4	3,84	0,12	2400	36864	14	1,92	516096	70779
5		4	3,84	0,12	2400	36864	18	1,92	663552	70779
6		4	3,84	0,12	2400	36864	22	1,92	811008	70779
7		4	3,84	0,12	2400	36864	26	1,92	958464	70779
8		4	3,84	0,12	2400	36864	30	1,92	1105920	70779
9		4	3,84	0,12	2400	36864	34	1,92	1253376	70779
10		4	3,84	0,12	2400	36864	38	1,92	1400832	70779
11		4	3,84	0,12	2400	36864	42	1,92	1548288	70779
12		4	3,84	0,12	2400	36864	46	1,92	1695744	70779
13	A-B Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	5,76	73728	212337
14		4	3,84	0,12	2400	36864	6	5,76	221184	212337
15		4	3,84	0,12	2400	36864	10	5,76	368640	212337
16		4	3,84	0,12	2400	36864	14	5,76	516096	212337
17		4	3,84	0,12	2400	36864	18	5,76	663552	212337
18		4	3,84	0,12	2400	36864	22	5,76	811008	212337
19		4	3,84	0,12	2400	36864	26	5,76	958464	212337
20		4	3,84	0,12	2400	36864	30	5,76	1105920	212337
21		4	3,84	0,12	2400	36864	34	5,76	1253376	212337
22		4	3,84	0,12	2400	36864	38	5,76	1400832	212337
23		4	3,84	0,12	2400	36864	42	5,76	1548288	212337
24		4	3,84	0,12	2400	36864	46	5,76	1695744	212337
25	B-C Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	9,6	73728	353894
26		4	3,84	0,12	2400	36864	6	9,6	221184	353894
27		4	3,84	0,12	2400	36864	18	9,6	663552	353894
28		4	3,84	0,12	2400	36864	22	9,6	811008	353894
29		4	3,84	0,12	2400	36864	26	9,6	958464	353894
30		4	3,84	0,12	2400	36864	30	9,6	1105920	353894
31		4	3,84	0,12	2400	36864	42	9,6	1548288	353894
32		4	3,84	0,12	2400	36864	46	9,6	1695744	353894
33	B-C	4	3,84	0,12	2400	36864	2	13,44	73728	495452

34	Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	6	13,44	221184	495452
35		4	3,84	0,12	2400	36864	18	13,44	663552	495452
36		4	3,84	0,12	2400	36864	22	13,44	811008	495452
37		4	3,84	0,12	2400	36864	26	13,44	958464	495452
38		4	3,84	0,12	2400	36864	30	13,44	1105920	495452
39		4	3,84	0,12	2400	36864	42	13,44	1548288	495452
40		4	3,84	0,12	2400	36864	46	13,44	1695744	495452
41	C-D Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	17,28	73728	637010
42		4	3,84	0,12	2400	36864	6	17,28	221184	637010
43		4	3,84	0,12	2400	36864	10	17,28	368640	637010
44		4	3,84	0,12	2400	36864	14	17,28	516096	637010
45		4	3,84	0,12	2400	36864	18	17,28	663552	637010
46		4	3,84	0,12	2400	36864	22	17,28	811008	637010
47		4	3,84	0,12	2400	36864	26	17,28	958464	637010
48		4	3,84	0,12	2400	36864	30	17,28	1105920	637010
49		4	3,84	0,12	2400	36864	34	17,28	1253376	637010
50		4	3,84	0,12	2400	36864	38	17,28	1400832	637010
51		4	3,84	0,12	2400	36864	42	17,28	1548288	637010
52		4	3,84	0,12	2400	36864	46	17,28	1695744	637010
53	C-D Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	21,12	73728	778568
54		4	3,84	0,12	2400	36864	6	21,12	221184	778568
55		4	3,84	0,12	2400	36864	10	21,12	368640	778568
56		4	3,84	0,12	2400	36864	14	21,12	516096	778568
57		4	3,84	0,12	2400	36864	18	21,12	663552	778568
58		4	3,84	0,12	2400	36864	22	21,12	811008	778568
59		4	3,84	0,12	2400	36864	26	21,12	958464	778568
60		4	3,84	0,12	2400	36864	30	21,12	1105920	778568
61		4	3,84	0,12	2400	36864	34	21,12	1253376	778568
62		4	3,84	0,12	2400	36864	38	21,12	1400832	778568
63		4	3,84	0,12	2400	36864	42	21,12	1548288	778568
64		4	3,84	0,12	2400	36864	46	21,12	1695744	778568
65	D-E Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	24,96	73728	920125
66		4	3,84	0,12	2400	36864	6	24,96	221184	920125
67		4	3,84	0,12	2400	36864	10	24,96	368640	920125
68		4	3,84	0,12	2400	36864	14	24,96	516096	920125
69		4	3,84	0,12	2400	36864	18	24,96	663552	920125
70		4	3,84	0,12	2400	36864	22	24,96	811008	920125
71		4	3,84	0,12	2400	36864	26	24,96	958464	920125
72		4	3,84	0,12	2400	36864	30	24,96	1105920	920125
73		4	3,84	0,12	2400	36864	34	24,96	1253376	920125
74		4	3,84	0,12	2400	36864	38	24,96	1400832	920125
75		4	3,84	0,12	2400	36864	42	24,96	1548288	920125
76		4	3,84	0,12	2400	36864	46	24,96	1695744	920125
77	D-E Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	28,8	73728	1061683
78		4	3,84	0,12	2400	36864	6	28,8	221184	1061683

79		4	3,84	0,12	2400	36864	10	28,8	368640	1061683
80		4	3,84	0,12	2400	36864	14	28,8	516096	1061683
81		4	3,84	0,12	2400	36864	18	28,8	663552	1061683
82		4	3,84	0,12	2400	36864	22	28,8	811008	1061683
83		4	3,84	0,12	2400	36864	26	28,8	958464	1061683
84		4	3,84	0,12	2400	36864	30	28,8	1105920	1061683
85		4	3,84	0,12	2400	36864	34	28,8	1253376	1061683
86		4	3,84	0,12	2400	36864	38	28,8	1400832	1061683
87		4	3,84	0,12	2400	36864	42	28,8	1548288	1061683
88		4	3,84	0,12	2400	36864	46	28,8	1695744	1061683
89	E-F Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	32,64	73728	1203241
90		4	3,84	0,12	2400	36864	6	32,64	221184	1203241
91		4	3,84	0,12	2400	36864	10	32,64	368640	1203241
92		4	3,84	0,12	2400	36864	14	32,64	516096	1203241
93		4	3,84	0,12	2400	36864	18	32,64	663552	1203241
94		4	3,84	0,12	2400	36864	22	32,64	811008	1203241
95		4	3,84	0,12	2400	36864	26	32,64	958464	1203241
96		4	3,84	0,12	2400	36864	30	32,64	1105920	1203241
97		4	3,84	0,12	2400	36864	34	32,64	1253376	1203241
98		4	3,84	0,12	2400	36864	38	32,64	1400832	1203241
99	4	3,84	0,12	2400	36864	42	32,64	1548288	1203241	
100	4	3,84	0,12	2400	36864	46	32,64	1695744	1203241	
101	E-F Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	36,48	73728	1344799
102		4	3,84	0,12	2400	36864	6	36,48	221184	1344799
103		4	3,84	0,12	2400	36864	10	36,48	368640	1344799
104		4	3,84	0,12	2400	36864	14	36,48	516096	1344799
105		4	3,84	0,12	2400	36864	18	36,48	663552	1344799
106		4	3,84	0,12	2400	36864	22	36,48	811008	1344799
107		4	3,84	0,12	2400	36864	26	36,48	958464	1344799
108		4	3,84	0,12	2400	36864	30	36,48	1105920	1344799
109		4	3,84	0,12	2400	36864	34	36,48	1253376	1344799
110		4	3,84	0,12	2400	36864	38	36,48	1400832	1344799
111	4	3,84	0,12	2400	36864	42	36,48	1548288	1344799	
112	4	3,84	0,12	2400	36864	46	36,48	1695744	1344799	
113	Lift Kiri	1,37	7,68	0,12	2400	25252	8,69	11,52	219312	290901
114		4,03	2,23	0,12	2400	21569	11,39	8,80	245558	189695
115		2,6	2,23	0,12	2400	13915	14,7	8,80	204553	122384
116		2,6	2,21	0,12	2400	13790	14,7	11,02	202719	151901
113	Lift Kanan	1,37	7,68	0,12	2400	25252	39,32	11,52	992776	290901
114		4,03	2,23	0,12	2400	21569	36,62	8,80	789733	189695
115		2,6	2,23	0,12	2400	13915	33,3	8,80	463376	122384
116		2,6	2,21	0,12	2400	13790	33,3	11,015	459220	151901
Total						4277820			102667680	83047034

Dinding										
No	Dimensi Dinding			Tebal Plat	Berat Dinding (Kg/m ²)	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
	Arah	Panjang	Tinggi			(W)	(X)	(Y)		
		(m)	(m)			(m)	(Kg)	(m)		
1	X	8	5		107,5	4300	4	0	17200	0
2		8	5		107,5	4300	12	0	51600	0
3		8	5		107,5	4300	20	0	86000	0
4		8	5		107,5	4300	28	0	120400	0
5		8	5		107,5	4300	36	0	154800	0
6		8	5		107,5	4300	44	0	189200	0
7		8	5		107,5	4300	4	38,4	17200	165120
8		8	5		107,5	4300	12	38,4	51600	165120
9		8	5		107,5	4300	20	38,4	86000	165120
10		8	5		107,5	4300	28	38,4	120400	165120
11		8	5		107,5	4300	36	38,4	154800	165120
12		8	5		107,5	4300	44	38,4	189200	165120
13		6,7	5		107,5	3601	12,65	9,83	45556	35400
14		1,3	5		107,5	699	12,45	11,03	8699	7707
15		3,8	5		107,5	2043	11,20	12,53	22876	25593
16		6,7	5		107,5	3601	35,35	9,83	127304	35400
17		1,3	5		107,5	699	35,55	11,03	24841	7707
18		3,8	5		107,5	2043	36,80	12,53	75164	25593
19		8	5		107,5	4300	12	5,18	51600	22274
20		1,9	5		107,5	1021,25	9,95	1,25	10161	1277
21		1,9	5		107,5	1021,25	14,05	1,25	14349	1277
22		8	5		107,5	4300	12	8	51600	34400
23		8	5		107,5	4300	44	5,18	189200	22274
24		8	5		107,5	4300	44	8	189200	34400
16	Y	7,68	5		107,5	4128	0	3,84	0	15852
17		7,68	5		107,5	4128	0	11,52	0	47555
18		7,68	5		107,5	4128	0	19,2	0	79258
19		7,68	5		107,5	4128	0	26,88	0	110961
20		7,68	5		107,5	4128	0	34,56	0	142664
21		7,68	5		107,5	4128	48	3,84	198144	15852
22		7,68	5		107,5	4128	48	11,52	198144	47555
23		7,68	5		107,5	4128	48	19,2	198144	79258
24		7,68	5		107,5	4128	48	26,88	198144	110961
25		7,68	5		107,5	4128	48	34,56	198144	142664
26		2,83	5		107,5	1521	13,1	13,95	19927	21212
27		2,7	5		107,5	1451	13,1	11,18	19011	16225
28	5,53	5		107,5	2972	16	12,60	47558	37437	

29		2,83	5		107,5	1521	34,9	13,95	53087	21212
30		2,7	5		107,5	1451	34,9	11,18	50649	16225
31		5,53	5		107,5	2972	32	12,60	95116	37437
Total						136697			3325018	2186345

Dinding									
No	Dimensi Dinding			Berat Dinding	Berat (W)	Jarak ke Xo (X)	Jarak ke Yo (Y)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
	Arah	Pjg (m)	Tinggi (m)						
			(m)	(m)	(Kg/m2)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)
1	X	8	5	107,5	4300	4	0	17200	0
2		8	5	107,5	4300	12	0	51600	0
3		8	5	107,5	4300	20	0	86000	0
4		8	5	107,5	4300	28	0	120400	0
5		8	5	107,5	4300	36	0	154800	0
6		8	5	107,5	4300	44	0	189200	0
7		8	5	107,5	4300	4	38,4	17200	165120
8		8	5	107,5	4300	12	38,4	51600	165120
9		8	5	107,5	4300	20	38,4	86000	165120
10		8	5	107,5	4300	28	38,4	120400	165120
11		8	5	107,5	4300	36	38,4	154800	165120
12		8	5	107,5	4300	44	38,4	189200	165120
13		6,7	5	107,5	3601	12,65	9,83	45556	35400
14		1,3	5	107,5	699	12,45	11,03	8699	7707
15		3,8	5	107,5	2043	11,20	12,53	22876	25593
16		6,7	5	107,5	3601	35,35	9,83	127304	35400
17		1,3	5	107,5	699	35,55	11,03	24841	7707
18		3,8	5	107,5	2043	36,80	12,53	75164	25593
19		8	5	107,5	4300	12	5,18	51600	22274
20		1,9	5	107,5	1021,25	9,95	1,25	10161	1277
21		1,9	5	107,5	1021,25	14,05	1,25	14349	1277
22		8	5	107,5	4300	12	8	51600	34400
23		8	5	107,5	4300	44	5,18	189200	22274
24		8	5	107,5	4300	44	8	189200	34400
16	Y	7,68	5	107,5	4128	0	3,84	0	15852
17		7,68	5	107,5	4128	0	11,52	0	47555
18		7,68	5	107,5	4128	0	19,2	0	79258
19		7,68	5	107,5	4128	0	26,88	0	110961
20		7,68	5	107,5	4128	0	34,56	0	142664
21		7,68	5	107,5	4128	48	3,84	198144	15852
22		7,68	5	107,5	4128	48	11,52	198144	47555
23		7,68	5	107,5	4128	48	19,2	198144	79258
24		7,68	5	107,5	4128	48	26,88	198144	110961

25		7,68	5	107,5	4128	48	34,56	198144	142664
26		2,83	5	107,5	1521	13,1	13,95	19927	21212
27		2,7	5	107,5	1451	13,1	11,18	19011	16225
28		5,53	5	107,5	2972	16	12,60	47558	37437
29		2,83	5	107,5	1521	34,9	13,95	53087	21212
30		2,7	5	107,5	1451	34,9	11,18	50649	16225
31		5,53	5	107,5	2972	32	12,60	95116	37437
Total					136697			3325018	2186345

Balok										
No	Dimensi Balok			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
	As	b	h			(W)	(X)	(Y)		
		(m)	(m)	(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	A	0,4	0,7	8	2400	5376	4	0	21504	0
2		0,4	0,7	8	2400	5376	12	0	64512	0
3		0,4	0,7	8	2400	5376	20	0	107520	0
4		0,4	0,7	8	2400	5376	28	0	150528	0
5		0,4	0,7	8	2400	5376	36	0	193536	0
6		0,4	0,7	8	2400	5376	44	0	236544	0
7	B	0,4	0,7	8	2400	5376	4	7,68	21504	41288
8		0,4	0,7	8	2400	5376	12	7,68	64512	41288
9		0,4	0,7	8	2400	5376	20	7,68	107520	41288
10		0,4	0,7	8	2400	5376	28	7,68	150528	41288
11		0,4	0,7	8	2400	5376	36	7,68	193536	41288
12		0,4	0,7	8	2400	5376	44	7,68	236544	41288
13	C	0,4	0,7	8	2400	5376	4	15,36	21504	82575
14		0,4	0,7	8	2400	5376	12	15,36	64512	82575
15		0,4	0,7	8	2400	5376	20	15,36	107520	82575
16		0,4	0,7	8	2400	5376	28	15,36	150528	82575
17		0,4	0,7	8	2400	5376	36	15,36	193536	82575
18		0,4	0,7	8	2400	5376	44	15,36	236544	82575
19	D	0,4	0,7	8	2400	5376	4	23,04	21504	123863
20		0,4	0,7	8	2400	5376	12	23,04	64512	123863
21		0,4	0,7	8	2400	5376	20	23,04	107520	123863
22		0,4	0,7	8	2400	5376	28	23,04	150528	123863
23		0,4	0,7	8	2400	5376	36	23,04	193536	123863
24		0,4	0,7	8	2400	5376	44	23,04	236544	123863
25	E	0,4	0,7	8	2400	5376	4	30,72	21504	165151
26		0,4	0,7	8	2400	5376	12	30,72	64512	165151
27		0,4	0,7	8	2400	5376	20	30,72	107520	165151
28		0,4	0,7	8	2400	5376	28	30,72	150528	165151
29		0,4	0,7	8	2400	5376	36	30,72	193536	165151
30		0,4	0,7	8	2400	5376	44	30,72	236544	165151
31	F	0,4	0,7	8	2400	5376	4	38,4	21504	206438

32		0,4	0,7	8	2400	5376	12	38,4	64512	206438
33		0,4	0,7	8	2400	5376	20	38,4	107520	206438
34		0,4	0,7	8	2400	5376	28	38,4	150528	206438
35		0,4	0,7	8	2400	5376	36	38,4	193536	206438
36		0,4	0,7	8	2400	5376	44	38,4	236544	206438
37	LIFT KIRI	0,3	0,4	3,5	2400	1008	11,39	8,80	11476	8865
38		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	8,80	11007	6586
39		0,4	0,6	3,5	2400	2016	11,39	11,45	22952	23083
40		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	11,02	11007	8248
41	LIFT KANAN	0,3	0,4	3,5	2400	1008	36,62	8,80	36908	8865
42		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	8,80	24935	6586
43		0,4	0,6	3,5	2400	2016	36,62	11,45	73816	23083
44		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	11,02	24935	8248
45	A-B	0,3	0,4	8	2400	2304	4	3,84	9216	8847
46		0,3	0,4	8	2400	2304	12	3,84	27648	8847
47		0,3	0,4	8	2400	2304	20	3,84	46080	8847
48		0,3	0,4	8	2400	2304	28	3,84	64512	8847
49		0,3	0,4	8	2400	2304	36	3,84	82944	8847
50		0,3	0,4	8	2400	2304	44	3,84	101376	8847
51	B-C	0,3	0,4	8	2400	2304	4	11,52	9216	26542
52		0,3	0,4	8	2400	2304	20	11,52	46080	26542
53		0,3	0,4	8	2400	2304	28	11,52	64512	26542
54		0,3	0,4	8	2400	2304	44	11,52	101376	26542
55	C-D	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
56		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
57		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
58		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
59		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
60		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
61	D-E	0,3	0,4	8	2400	2304	4	26,88	9216	61932
62		0,3	0,4	8	2400	2304	12	26,88	27648	61932
63		0,3	0,4	8	2400	2304	20	26,88	46080	61932
64		0,3	0,4	8	2400	2304	28	26,88	64512	61932
65		0,3	0,4	8	2400	2304	36	26,88	82944	61932
66		0,3	0,4	8	2400	2304	44	26,88	101376	61932
67	E-F	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
68		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
69		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
70		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
71		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
72		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
73	1	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	3,84	247726	19818
74		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	11,52	247726	59454

75		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	19,2	247726	99090
76		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	26,88	247726	138727
77		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	34,56	247726	178363
78	2	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	3,84	206438	19818
79		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	11,52	206438	59454
80		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	19,2	206438	99090
81		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	26,88	206438	138727
82		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	34,56	206438	178363
83		3	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	3,84	165151
84	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	11,52	165151	59454
85	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	19,2	165151	99090
86	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	26,88	165151	138727
87	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	34,56	165151	178363
88	4	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	3,84	123863	19818
89		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	11,52	123863	59454
90		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	19,2	123863	99090
91		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	26,88	123863	138727
92		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	34,56	123863	178363
93	5	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	3,84	82575	19818
94		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	11,52	82575	59454
95		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	19,2	82575	99090
96		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	26,88	82575	138727
97		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	34,56	82575	178363
98	6	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	3,84	41288	19818
99		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	11,52	41288	59454
100		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	19,2	41288	99090
101		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	26,88	41288	138727
102		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	34,56	41288	178363
103	7	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	3,84	0	19818
104		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	11,52	0	59454
105		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	19,2	0	99090
106		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	26,88	0	138727
107		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	34,56	0	178363
108	LIFT KIRI	0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	9,37	14,405	14986	23039
109		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	9,37	10,335	33372	36809
110		0,3	0,4	2,55	2400	734,4	11,87	11,45	8717	8409
111		0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	13,4	14,405	21431	23039
112		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	13,4	10,335	47725	36809
113	LIFT KANAN	0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	34,6	14,405	55338	23039
114		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	34,6	10,335	123231	36809
115		0,3	0,4	2,55	2400	734,4	36,13	11,45	26534	8409
116		0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	38,63	14,405	61783	23039
117		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	38,63	10,335	137585	36809
118	1-2	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	3,84	97321	8493
119		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	11,52	97321	25480

120		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	19,2	97321	42467
121		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	26,88	97321	59454
122		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	34,56	97321	76441
123	2-3	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	3,84	79626	8493
124		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	19,2	79626	42467
125		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	26,88	79626	59454
126		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	34,56	79626	76441
127		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	3,84	61932	8493
128	3-4	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	11,52	61932	25480
129		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	19,2	61932	42467
130		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	26,88	61932	59454
131		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	34,56	61932	76441
132		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	3,84	44237	8493
133	4-5	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	11,52	44237	25480
134		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	19,2	44237	42467
135		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	26,88	44237	59454
136		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	34,56	44237	76441
137		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	3,84	26542	8493
138	5-6	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	19,2	26542	42467
139		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	26,88	26542	59454
140		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	34,56	26542	76441
141		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	3,84	8847	8493
142	6-7	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	11,52	8847	25480
143		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	19,2	8847	42467
144		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	26,88	8847	59454
145		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	34,56	8847	76441
Total						531769			12762455	9818573

Kolom											
No	Type	Dimensi Kolom			Pjg	BJ	Berat (W)	Jarak ke Xo (X)	Jarak ke Yo (Y)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
		As	b	h							
			(m)	(m)	(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	K1 80/80	A	0,8	0,8	5	2400	7680	0	0	0	0
2			0,8	0,8	5	2400	7680	8	0	61440	0
3			0,8	0,8	5	2400	7680	16	0	122880	0
4			0,8	0,8	5	2400	7680	24	0	184320	0
5			0,8	0,8	5	2400	7680	32	0	245760	0
6			0,8	0,8	5	2400	7680	40	0	307200	0
7			0,8	0,8	5	2400	7680	48	0	368640	0
8		B	0,8	0,8	5	2400	7680	0	7,68	0	58982
9			0,8	0,8	5	2400	7680	8	7,68	61440	58982
10			0,8	0,8	5	2400	7680	16	7,68	122880	58982
11			0,8	0,8	5	2400	7680	24	7,68	184320	58982

12			0,8	0,8	5	2400	7680	32	7,68	245760	58982
13			0,8	0,8	5	2400	7680	40	7,68	307200	58982
14			0,8	0,8	5	2400	7680	48	7,68	368640	58982
15			0,8	0,8	5	2400	7680	0	15,36	0	117965
16			0,8	0,8	5	2400	7680	8	15,36	61440	117965
17	K3 55/55	C	0,55	0,55	5	2400	3630	12,76	15,36	46318,8	55757
18	K1 80/80		0,8	0,8	5	2400	7680	16	15,36	122880	117965
19			0,8	0,8	5	2400	7680	24	15,36	184320	117965
20			0,8	0,8	5	2400	7680	32	15,36	245760	117965
21	K3 55/55		0,55	0,55	5	2400	3630	34,6	15,36	125598	55757
22	K1 80/80	D	0,8	0,8	5	2400	7680	40	15,36	307200	117965
23			0,8	0,8	5	2400	7680	48	15,36	368640	117965
24			0,8	0,8	5	2400	7680	0	23,04	0	176947
25			0,8	0,8	5	2400	7680	8	23,04	61440	176947
26			0,8	0,8	5	2400	7680	16	23,04	122880	176947
27		0,8	0,8	5	2400	7680	24	23,04	184320	176947	
28		0,8	0,8	5	2400	7680	32	23,04	245760	176947	
29		0,8	0,8	5	2400	7680	40	23,04	307200	176947	
30		0,8	0,8	5	2400	7680	48	23,04	368640	176947	
31		E	0,8	0,8	5	2400	7680	0	30,72	0	235930
32	0,8		0,8	5	2400	7680	8	30,72	61440	235930	
33	0,8		0,8	5	2400	7680	16	30,72	122880	235930	
34	0,8		0,8	5	2400	7680	24	30,72	184320	235930	
35	0,8		0,8	5	2400	7680	32	30,72	245760	235930	
36	0,8		0,8	5	2400	7680	40	30,72	307200	235930	
37	0,8		0,8	5	2400	7680	48	30,72	368640	235930	
38	F	0,8	0,8	5	2400	7680	0	38,4	0	294912	
39		0,8	0,8	5	2400	7680	8	38,4	61440	294912	
40		0,8	0,8	5	2400	7680	16	38,4	122880	294912	
41		0,8	0,8	5	2400	7680	24	38,4	184320	294912	
42		0,8	0,8	5	2400	7680	32	38,4	245760	294912	
43		0,8	0,8	5	2400	7680	40	38,4	307200	294912	
44		0,8	0,8	5	2400	7680	48	38,4	368640	294912	
45	K3 55/55	B-C	0,55	0,55	5	2400	3630	9,3	12,53	33759	45484
46			0,55	0,55	5	2400	3630	12,76	12,53	46318,8	45484
47			0,55	0,55	5	2400	3630	34,6	12,53	125598	45484
48			0,55	0,55	5	2400	3630	38,7	12,53	140481	45484
Total							344340			8259514	6486601

Lantai 2	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Lantai 2	5290625,96	127014666,64	101538553,2

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
24,007	19,192

4. LANTAI 3

Dinding									
No	Dimensi Dinding			Berat Dinding	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
	Arah	Pjg	Tinggi		(W)	(X)	(Y)		
		(m)	(m)	(Kg/m2)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	X	2	3,2	107,5	688	-1	0	-688	0
2		8	3,2	107,5	2752	4	0	11008	0
3		8	3,2	107,5	2752	12	0	33024	0
4		8	3,2	107,5	2752	20	0	55040	0
5		8	3,2	107,5	2752	28	0	77056	0
6		8	3,2	107,5	2752	36	0	99072	0
7		8	3,2	107,5	2752	44	0	121088	0
8		2	3,2	107,5	688	49	0	33712	0
9		8	3,2	107,5	2752	2	3,765	5504	10361
10		8	3,2	107,5	2752	46	3,765	126592	10361
11		2	3,2	107,5	688	-1	7,68	-688	5284
12		6	3,2	107,5	2064	3	7,68	6192	15852
13		8	3,2	107,5	2752	12	7,68	33024	21135
14		8	3,2	107,5	2752	20	7,68	55040	21135
15		8	3,2	107,5	2752	28	7,68	77056	21135
16		8	3,2	107,5	2752	36	7,68	99072	21135
17		6	3,2	107,5	2064	45	7,68	92880	15852
18		2	3,2	107,5	688	49	7,68	33712	5284
19		8	3,2	107,5	2752	20	9,68	55040	26639
20		8	3,2	107,5	2752	36	9,68	99072	26639
21		8	3,2	107,5	2752	2	11,52	5504	31703
22		8	3,2	107,5	2752	46	11,52	126592	31703
23		2	3,2	107,5	688	-1	15,36	-688	10568
24		6	3,2	107,5	2064	3	15,36	6192	31703
25		5,1	3,2	107,5	1754,4	10,55	15,36	18508,92	26948
26		2,9	3,2	107,5	997,6	14,55	15,36	14515,08	15323
27		8	3,2	107,5	2752	20	15,36	55040	42271
28		8	3,2	107,5	2752	28	15,36	77056	42271
29		2,9	3,2	107,5	997,6	33,45	15,36	33369,72	15323
30		5,1	3,2	107,5	1754,4	37,45	15,36	65702,28	26948
31		6	3,2	107,5	2064	45	15,36	92880	31703
32		2	3,2	107,5	688	49	15,36	33712	10568
33		8	3,2	107,5	2752	2	19,2	5504	52838
34		8	3,2	107,5	2752	46	19,2	126592	52838

35	Y	2	3,2	107,5	688	-1	23,04	-688	15852
36		6	3,2	107,5	2064	3	23,04	6192	47555
37		8	3,2	107,5	2752	12	23,04	33024	63406
38		8	3,2	107,5	2752	20	23,04	55040	63406
39		8	3,2	107,5	2752	28	23,04	77056	63406
40		8	3,2	107,5	2752	36	23,04	99072	63406
41		6	3,2	107,5	2064	45	23,04	92880	47555
42		2	3,2	107,5	688	49	23,04	33712	15852
43		8	3,2	107,5	2752	12	25,04	33024	68910
44		8	3,2	107,5	2752	20	25,04	55040	68910
45		8	3,2	107,5	2752	28	25,04	77056	68910
46		8	3,2	107,5	2752	36	25,04	99072	68910
47		8	3,2	107,5	2752	2	26,88	5504	73974
48		8	3,2	107,5	2752	46	26,88	126592	73974
49		2	3,2	107,5	688	-1	30,72	-688	21135
50		6	3,2	107,5	2064	3	30,72	6192	63406
51		8	3,2	107,5	2752	12	30,72	33024	84541
52		8	3,2	107,5	2752	20	30,72	55040	84541
53		8	3,2	107,5	2752	28	30,72	77056	84541
54		8	3,2	107,5	2752	36	30,72	99072	84541
55		6	3,2	107,5	2064	45	30,72	92880	63406
56		2	3,2	107,5	688	49	30,72	33712	21135
57		2,7	3,2	107,5	928,8	14,65	32,42	13606,92	30112
58		2,7	3,2	107,5	928,8	33,35	32,42	30975,48	30112
59		8	3,2	107,5	2752	12	36,4	33024	100173
60		8	3,2	107,5	2752	20	36,4	55040	100173
61		8	3,2	107,5	2752	28	36,4	77056	100173
62		8	3,2	107,5	2752	36	36,4	99072	100173
63		2	3,2	107,5	688	-1	38,4	-688	26419
64		8	3,2	107,5	2752	4	38,4	11008	105677
65		8	3,2	107,5	2752	12	38,4	33024	105677
66		8	3,2	107,5	2752	20	38,4	55040	105677
67		8	3,2	107,5	2752	28	38,4	77056	105677
68		8	3,2	107,5	2752	36	38,4	99072	105677
69		8	3,2	107,5	2752	44	38,4	121088	105677
70		2	3,2	107,5	688	49	38,4	33712	26419
71		6,7	3,2	107,5	2305	12,65	9,83	29156	22656
72		1,3	3,2	107,5	447	12,45	11,03	5568	4933
73		3,8	3,2	107,5	1307	11,20	12,53	14641	16379
74		6,7	3,2	107,5	2305	35,35	9,83	81475	22656
75		1,3	3,2	107,5	447	35,55	11,03	15898	4933
76		3,8	3,2	107,5	1307	36,80	12,53	48105	16379
77		7,68	3,2	107,5	2642	-2	3,84	-5284	10145
78		7,68	3,2	107,5	2642	-2	11,52	-5284	30435

79		7,68	3,2	107,5	2642	-2	19,2	-5284	50725
80		7,68	3,2	107,5	2642	-2	26,88	-5284	71015
81		7,68	3,2	107,5	2642	-2	34,56	-5284	91305
82		7,68	3,2	107,5	2642	6	3,84	15852	10145
83		7,68	3,2	107,5	2642	6	11,52	15852	30435
84		7,68	3,2	107,5	2642	6	19,2	15852	50725
85		7,68	3,2	107,5	2642	6	26,88	15852	71015
86		7,68	3,2	107,5	2642	6	34,56	15852	91305
87		7,68	3,2	107,5	2642	8	3,84	21135	10145
88		7,68	3,2	107,5	2642	8	19,2	21135	50725
89		5,68	3,2	107,5	1954	8	27,88	15631	54475
90		5,68	3,2	107,5	1954	8	35,56	15631	69481
91		7,68	3,2	107,5	2642	12	3,84	31703	10145
92		7,68	3,2	107,5	2642	12	14,2	31703	37515
93		5,68	3,2	107,5	1954	12	27,88	23447	54475
94		3,98	3,2	107,5	1369	13,3	34,41	18209	47111
95		7,68	3,2	107,5	2642	16	3,84	42271	10145
96		5,68	3,2	107,5	1954	16	12,52	31263	24463
97		7,68	3,2	107,5	2642	16	19,2	42271	50725
98		5,68	3,2	107,5	1954	16	27,88	31263	54475
99		5,68	3,2	107,5	1954	16	35,56	31263	69481
100		7,68	3,2	107,5	2642	20	3,84	52838	10145
101		5,68	3,2	107,5	1954	20	12,52	39078	24463
102		7,68	3,2	107,5	2642	20	14,2	52838	37515
103		5,68	3,2	107,5	1954	20	27,88	39078	54475
104		5,68	3,2	107,5	1954	20	35,56	39078	69481
105		7,68	3,2	107,5	2642	24	3,84	63406	10145
106		5,68	3,2	107,5	1954	24	12,52	46894	24463
107		7,68	3,2	107,5	2642	24	19,2	63406	50725
108		5,68	3,2	107,5	1954	24	27,88	46894	54475
109		5,68	3,2	107,5	1954	24	35,56	46894	69481
110		7,68	3,2	107,5	2642	28	3,84	73974	10145
111		5,68	3,2	107,5	1954	28	12,52	54710	24463
112		7,68	3,2	107,5	2642	28	14,2	73974	37515
113		5,68	3,2	107,5	1954	28	27,88	54710	54475
114		5,68	3,2	107,5	1954	28	35,56	54710	69481
115		7,68	3,2	107,5	2642	32	3,84	84541	10145
116		5,68	3,2	107,5	1954	32	12,52	62525	24463
117		7,68	3,2	107,5	2642	32	19,2	84541	50725
118		5,68	3,2	107,5	1954	32	27,88	62525	54475
119		5,68	3,2	107,5	1954	32	35,56	62525	69481
120		3,98	3,2	107,5	1369	33,35	34,41	45660	47111
121		7,68	3,2	107,5	2642	36	3,84	95109	10145

122		7,68	3,2	107,5	2642	36	14,2	95109	37515
123		5,68	3,2	107,5	1954	36	27,88	70341	54475
124		7,68	3,2	107,5	2642	40	3,84	105677	10145
125		7,68	3,2	107,5	2642	40	19,2	105677	50725
126		5,68	3,2	107,5	1954	40	27,88	78157	54475
127		5,68	3,2	107,5	1954	40	35,56	78157	69481
128		7,68	3,2	107,5	2642	42	3,84	110961	10145
129		7,68	3,2	107,5	2642	42	11,52	110961	30435
130		7,68	3,2	107,5	2642	42	19,2	110961	50725
131		7,68	3,2	107,5	2642	42	26,88	110961	71015
132		7,68	3,2	107,5	2642	42	34,56	110961	91305
133		7,68	3,2	107,5	2642	50	3,84	132096	10145
134		7,68	3,2	107,5	2642	50	11,52	132096	30435
135		7,68	3,2	107,5	2642	50	19,2	132096	50725
136		7,68	3,2	107,5	2642	50	26,88	132096	71015
137		7,68	3,2	107,5	2642	50	34,56	132096	91305
138		2,83	3,2	107,5	974	13,1	13,945	12753	13576
139		2,7	3,2	107,5	929	13,1	11,18	12167	10384
140		5,53	3,2	107,5	1902	16	12,595	30437	23960
141		2,83	3,2	107,5	974	34,9	13,945	33976	13576
142		2,7	3,2	107,5	929	34,9	11,18	32415	10384
143		5,53	3,2	107,5	1902	32	12,595	60874	23960
Total					313108,8			7534779	5969055

Balok										
No	Dimensi Balok			Pjg	BJ	Berat (W)	Jarak ke Xo (X)	Jarak ke Yo (Y)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
	As	b	h							
		(m)	(m)							
1	A	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	0	-1344	0
2		0,4	0,7	8	2400	5376	4	0	21504	0
3		0,4	0,7	8	2400	5376	12	0	64512	0
4		0,4	0,7	8	2400	5376	20	0	107520	0
5		0,4	0,7	8	2400	5376	28	0	150528	0
6		0,4	0,7	8	2400	5376	36	0	193536	0
7		0,4	0,7	8	2400	5376	44	0	236544	0
8		0,4	0,7	2	2400	1344	49	0	65856	0
9	B	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	7,68	-1344	10322
10		0,4	0,7	8	2400	5376	4	7,68	21504	41288
11		0,4	0,7	8	2400	5376	12	7,68	64512	41288
12		0,4	0,7	8	2400	5376	20	7,68	107520	41288
13		0,4	0,7	8	2400	5376	28	7,68	150528	41288
14		0,4	0,7	8	2400	5376	36	7,68	193536	41288

15		0,4	0,7	8	2400	5376	44	7,68	236544	41288	
16		0,4	0,7	2	2400	1344	49	7,68	65856	10322	
17	C	0,5	0,7	2	2400	1680	-1	15,36	-1680	25805	
18		0,4	0,7	8	2400	5376	4	15,36	21504	82575	
19		0,4	0,7	8	2400	5376	12	15,36	64512	82575	
20		0,4	0,7	8	2400	5376	20	15,36	107520	82575	
21		0,4	0,7	8	2400	5376	28	15,36	150528	82575	
22		0,4	0,7	8	2400	5376	36	15,36	193536	82575	
23		0,4	0,7	8	2400	5376	44	15,36	236544	82575	
24		0,4	0,7	2	2400	1344	49	15,36	65856	20644	
25		D	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	23,04	-1344	30966
26			0,4	0,7	8	2400	5376	4	23,04	21504	123863
27	0,4		0,7	8	2400	5376	12	23,04	64512	123863	
28	0,4		0,7	8	2400	5376	20	23,04	107520	123863	
29	0,4		0,7	8	2400	5376	28	23,04	150528	123863	
30	0,4		0,7	8	2400	5376	36	23,04	193536	123863	
31	0,4		0,7	8	2400	5376	44	23,04	236544	123863	
32	0,4		0,7	2	2400	1344	49	23,04	65856	30966	
33	E	0,5	0,7	2	2400	1680	-1	30,72	-1680	51609,6	
34		0,4	0,7	8	2400	5376	4	30,72	21504	165151	
35		0,4	0,7	8	2400	5376	12	30,72	64512	165151	
36		0,4	0,7	8	2400	5376	20	30,72	107520	165151	
37		0,4	0,7	8	2400	5376	28	30,72	150528	165151	
38		0,4	0,7	8	2400	5376	36	30,72	193536	165151	
39		0,4	0,7	8	2400	5376	44	30,72	236544	165151	
40		0,4	0,7	2	2400	1344	49	30,72	65856	41288	
41	F	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	23,04	-1344	30966	
42		0,4	0,7	8	2400	5376	4	38,4	21504	206438	
43		0,4	0,7	8	2400	5376	12	38,4	64512	206438	
44		0,4	0,7	8	2400	5376	20	38,4	107520	206438	
45		0,4	0,7	8	2400	5376	28	38,4	150528	206438	
46		0,4	0,7	8	2400	5376	36	38,4	193536	206438	
47		0,4	0,7	8	2400	5376	44	38,4	236544	206438	
48		0,4	0,7	2	2400	1344	49	38,4	65856	51610	
49	LIFT KIRI	0,3	0,4	3,5	2400	1008	11,39	8,80	11476	8865	
50		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	8,80	11007	6586	
51		0,4	0,6	3,5	2400	2016	11,39	11,45	22952	23083	
52		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	11,02	11007	8248	
53	LIFT KANAN	0,3	0,4	3,5	2400	1008	36,62	8,80	36908	8865	
54		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	8,80	24935	6586	
55		0,4	0,6	3,5	2400	2016	36,62	11,45	73816	23083	
56		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	11,02	24935	8248	
57		0,4	0,6	2	2400	1152	-1	3,84	-1152	4424	
58	A-B	0,3	0,4	8	2400	2304	4	3,84	9216	8847	

59		0,3	0,4	8	2400	2304	12	3,84	27648	8847
60		0,3	0,4	8	2400	2304	20	3,84	46080	8847
61		0,3	0,4	8	2400	2304	28	3,84	64512	8847
62		0,3	0,4	8	2400	2304	36	3,84	82944	8847
63		0,3	0,4	8	2400	2304	44	3,84	101376	8847
64		0,3	0,4	2	2400	576	49	3,84	28224	2212
65		0,3	0,4	2	2400	576	-1	11,52	-576	6636
66	B-C	0,3	0,4	8	2400	2304	4	11,52	9216	26542
67		0,3	0,4	8	2400	2304	24	11,52	55296	26542
68		0,3	0,4	8	2400	2304	32	11,52	73728	26542
69		0,3	0,4	8	2400	2304	48	11,52	110592	26542
70		0,3	0,4	2	2400	576	49	11,52	28224	6636
71		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
72	C-D	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
73		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
74		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
75		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
76		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
77		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
78		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
79		0,3	0,4	2	2400	576	-1	26,88	-576	15483
80	D-E	0,3	0,4	8	2400	2304	4	26,88	9216	61932
81		0,3	0,4	8	2400	2304	12	26,88	27648	61932
82		0,3	0,4	8	2400	2304	20	26,88	46080	61932
83		0,3	0,4	8	2400	2304	28	26,88	64512	61932
84		0,3	0,4	8	2400	2304	36	26,88	82944	61932
85		0,3	0,4	8	2400	2304	44	26,88	101376	61932
86		0,3	0,4	2	2400	576	49	26,88	28224	15483
87		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
88	E-F	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
89		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
90		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
91		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
92		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
93		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
94		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
95										
96	7-KIRI	0,3	0,4	2	2400	576	-1	3,84	-576	2212
97		0,3	0,4	2	2400	576	-1	11,52	-576	6636
98		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
99		0,3	0,4	2	2400	576	-1	26,88	-576	15483
100		0,3	0,4	2	2400	576	-1	34,56	-576	19907
101	1	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	3,84	247726	19818

102		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	11,52	247726	59454
103		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	19,2	247726	99090
104		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	26,88	247726	138727
105		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	34,56	247726	178363
106	2	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	3,84	206438	19818
107		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	11,52	206438	59454
108		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	19,2	206438	99090
109		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	26,88	206438	138727
110		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	34,56	206438	178363
111	3	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	3,84	165151	19818
112		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	11,52	165151	59454
113		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	19,2	165151	99090
114		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	26,88	165151	138727
115		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	34,56	165151	178363
116	4	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	3,84	123863	19818
117		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	11,52	123863	59454
118		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	19,2	123863	99090
119		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	26,88	123863	138727
120		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	34,56	123863	178363
121	5	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	3,84	82575	19818
122		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	11,52	82575	59454
123		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	19,2	82575	99090
124		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	26,88	82575	138727
125		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	34,56	82575	178363
126	6	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	3,84	41288	19818
127		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	11,52	41288	59454
128		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	19,2	41288	99090
129		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	26,88	41288	138727
130		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	34,56	41288	178363
131	7	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	3,84	0	19818
132		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	11,52	0	59454
133		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	19,2	0	99090
134		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	26,88	0	138727
135		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	34,56	0	178363
136	1-KANAN	0,3	0,4	2	2400	576	49	3,84	28224	2212
137		0,3	0,4	2	2400	576	49	11,52	28224	6636
138		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
139		0,3	0,4	2	2400	576	49	26,88	28224	15483
140		0,3	0,4	2	2400	576	49	34,56	28224	19907
141	LIFT KIRI	0,4	0,7	2,38	2400	9,37	14,41	13,95	135	131
142		0,4	0,7	5,3	2400	9,37	10,34	10,11	97	95
143		0,3	0,4	2,55	2400	11,87	11,45	11,18	136	133
144		0,4	0,7	2,38	2400	13,4	14,41	13,95	193	187
145		0,4	0,7	5,3	2400	13,4	10,34	10,11	138	135

146	LIFT KANAN	0,4	0,7	2,38	2400	34,6	14,41	13,95	498	482
147		0,4	0,7	5,3	2400	34,6	10,34	10,11	358	350
148		0,3	0,4	2,55	2400	36,13	11,45	11,18	414	404
149		0,4	0,7	2,38	2400	38,63	14,41	13,95	556	539
150		0,4	0,7	5,3	2400	38,63	10,34	10,11	399	390
151	1-2	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	3,84	97321	8493
152		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	11,52	97321	25480
153		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	19,2	97321	42467
154		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	26,88	97321	59454
155		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	34,56	97321	76441
156	2-3	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	3,84	79626	8493
157		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	19,2	79626	42467
158		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	26,88	79626	59454
159		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	34,56	79626	76441
160	3-4	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	3,84	61932	8493
161		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	11,52	61932	25480
162		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	19,2	61932	42467
163		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	26,88	61932	59454
164		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	34,56	61932	76441
165	4-5	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	3,84	44237	8493
166		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	11,52	44237	25480
167		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	19,2	44237	42467
168		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	26,88	44237	59454
169		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	34,56	44237	76441
170	5-6	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	3,84	26542	8493
171		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	19,2	26542	42467
172		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	26,88	26542	59454
173		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	34,56	26542	76441
174	6-7	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	3,84	8847	8493
175		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	11,52	8847	25480
176		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	19,2	8847	42467
177		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	26,88	8847	59454
178		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	34,56	8847	76441
Total						538792			12924628	10075406

Kolom											
No	Type	Dimensi Kolom			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		As	b	h							
			(m)	(m)			(m)	(Kg/m2)	(Kg)	(m)	(m)
1	K2 65/65	A	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	0	0	0
2			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	0	25958	0
3			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	0	51917	0
4			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	0	77875	0
5			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	0	103834	0

6			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	0	129792	0	
7			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	0	155750	0	
8		B	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	7,68	0	24920	
9			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	7,68	25958	24920	
10			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	7,68	51917	24920	
11			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	7,68	77875	24920	
12			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	7,68	103834	24920	
13			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	7,68	129792	24920	
14			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	7,68	155750	24920	
15				0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	15,36	0	49840
16				0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	15,36	25958	49840
17	K3 55/55	C	0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	12,76	15,36	29644	35684	
18	K2 65/65		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	15,36	51917	49840	
19			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	15,36	77875	49840	
20			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	15,36	103834	49840	
21	K3 55/55		0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	34,6	15,36	80383	35684	
22	K2 65/65		D	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	15,36	129792	49840
23				0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	15,36	155750	49840
24				0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	23,04	0	74760
25				0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	23,04	25958	74760
26		0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	16	23,04	51917	74760	
27		0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	24	23,04	77875	74760	
28		0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	32	23,04	103834	74760	
29		0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	40	23,04	129792	74760	
30		0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	48	23,04	155750	74760	
31		E	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	30,72	0	99680	
32			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	30,72	25958	99680	
33	0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	16	30,72	51917	99680		
34	0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	24	30,72	77875	99680		
35	0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	32	30,72	103834	99680		
36	0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	40	30,72	129792	99680		
37	0,65		0,65	3,2	2400	3244,8	48	30,72	155750	99680		
38	F	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	38,4	0	124600		
39		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	38,4	25958	124600		
40		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	38,4	51917	124600		
41		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	38,4	77875	124600		
42		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	38,4	103834	124600		
43		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	38,4	129792	124600		
44		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	38,4	155750	124600		
45	K3 55/55	B-C	0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	9,3	12,53	21606	29110	
46			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	12,76	12,53	29644	29110	
47			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	34,6	12,53	80383	29110	
48			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	38,7	12,53	89908	29110	
Total							150221			3602326	2804414	

Lantai 3	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Lantai 3	5648581,92	136461508,71	108973797,87

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
24,159	19,292

5. LANTAI 4-6

Plat Lantai										
No	As	Dimensi Plat		Tebal Plat (m)	BJ (Kg/m ²)	Berat (W) (Kg)	Jarak ke Xo (X) (m)	Jarak ke Yo (Y) (m)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
		Pjg (m)	Lebar (m)							
		1	A-B Bawah			2	3,84	0,12	2400	18432
2	4	3,84		0,12	2400	36864	2	1,92	73728	70779
3	4	3,84		0,12	2400	36864	6	1,92	221184	70779
4	4	3,84		0,12	2400	36864	10	1,92	368640	70779
5	4	3,84		0,12	2400	36864	14	1,92	516096	70779
6	4	3,84		0,12	2400	36864	18	1,92	663552	70779
7	4	3,84		0,12	2400	36864	22	1,92	811008	70779
8	4	3,84		0,12	2400	36864	26	1,92	958464	70779
9	4	3,84		0,12	2400	36864	30	1,92	1105920	70779
10	4	3,84		0,12	2400	36864	34	1,92	1253376	70779
11	4	3,84		0,12	2400	36864	38	1,92	1400832	70779
12	4	3,84		0,12	2400	36864	42	1,92	1548288	70779
13	4	3,84		0,12	2400	36864	46	1,92	1695744	70779
14	2	3,84		0,12	2400	18432	49	1,92	903168	35389
15		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	5,76	-18432	106168
16	A-B Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	5,76	73728	212337
17		4	3,84	0,12	2400	36864	6	5,76	221184	212337
18		4	3,84	0,12	2400	36864	10	5,76	368640	212337
19		4	3,84	0,12	2400	36864	14	5,76	516096	212337
20		4	3,84	0,12	2400	36864	18	5,76	663552	212337
21		4	3,84	0,12	2400	36864	22	5,76	811008	212337
22		4	3,84	0,12	2400	36864	26	5,76	958464	212337
23		4	3,84	0,12	2400	36864	30	5,76	1105920	212337
24		4	3,84	0,12	2400	36864	34	5,76	1253376	212337
25		4	3,84	0,12	2400	36864	38	5,76	1400832	212337
26		4	3,84	0,12	2400	36864	42	5,76	1548288	212337
27		4	3,84	0,12	2400	36864	46	5,76	1695744	212337

28		2	3,84	0,12	2400	18432	49	5,76	903168	106168
29		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	9,6	-18432	176947
30	B-C Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	9,6	73728	353894
31		4	3,84	0,12	2400	36864	6	9,6	221184	353894
32		4	3,84	0,12	2400	36864	18	9,6	663552	353894
33		4	3,84	0,12	2400	36864	22	9,6	811008	353894
34		4	3,84	0,12	2400	36864	26	9,6	958464	353894
35		4	3,84	0,12	2400	36864	30	9,6	1105920	353894
36		4	3,84	0,12	2400	36864	42	9,6	1548288	353894
37		4	3,84	0,12	2400	36864	46	9,6	1695744	353894
38		2	3,84	0,12	2400	18432	49	9,6	903168	176947
39		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	13,44	-18432	247726
40	B-C Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	13,44	73728	495452
41		4	3,84	0,12	2400	36864	6	13,44	221184	495452
42		4	3,84	0,12	2400	36864	22	13,44	811008	495452
43		4	3,84	0,12	2400	36864	26	13,44	958464	495452
44		4	3,84	0,12	2400	36864	30	13,44	1105920	495452
45		4	3,84	0,12	2400	36864	34	13,44	1253376	495452
46		4	3,84	0,12	2400	36864	46	13,44	1695744	495452
47		4	3,84	0,12	2400	36864	50	13,44	1843200	495452
48		2	3,84	0,12	2400	18432	49	13,44	903168	247726
49		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	17,28	-18432	318505
50	C-D Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	17,28	73728	637010
51		4	3,84	0,12	2400	36864	6	17,28	221184	637010
52		4	3,84	0,12	2400	36864	10	17,28	368640	637010
53		4	3,84	0,12	2400	36864	14	17,28	516096	637010
54		4	3,84	0,12	2400	36864	18	17,28	663552	637010
55		4	3,84	0,12	2400	36864	22	17,28	811008	637010
56		4	3,84	0,12	2400	36864	26	17,28	958464	637010
57		4	3,84	0,12	2400	36864	30	17,28	1105920	637010
58		4	3,84	0,12	2400	36864	34	17,28	1253376	637010
59		4	3,84	0,12	2400	36864	38	17,28	1400832	637010
60		4	3,84	0,12	2400	36864	42	17,28	1548288	637010
61		4	3,84	0,12	2400	36864	46	17,28	1695744	637010
62		2	3,84	0,12	2400	18432	49	17,28	903168	318505
63		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	21,12	-18432	389284
64	C-D Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	21,12	73728	778568
65		4	3,84	0,12	2400	36864	6	21,12	221184	778568
66		4	3,84	0,12	2400	36864	10	21,12	368640	778568
67		4	3,84	0,12	2400	36864	14	21,12	516096	778568
68		4	3,84	0,12	2400	36864	18	21,12	663552	778568
69		4	3,84	0,12	2400	36864	22	21,12	811008	778568
70		4	3,84	0,12	2400	36864	26	21,12	958464	778568
71		4	3,84	0,12	2400	36864	30	21,12	1105920	778568
72		4	3,84	0,12	2400	36864	34	21,12	1253376	778568

73		4	3,84	0,12	2400	36864	38	21,12	1400832	778568
74		4	3,84	0,12	2400	36864	42	21,12	1548288	778568
75		4	3,84	0,12	2400	36864	46	21,12	1695744	778568
76		2	3,84	0,12	2400	18432	49	21,12	903168	389284
77		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	24,96	-18432	460063
78	D-E Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	24,96	73728	920125
79		4	3,84	0,12	2400	36864	6	24,96	221184	920125
80		4	3,84	0,12	2400	36864	10	24,96	368640	920125
81		4	3,84	0,12	2400	36864	14	24,96	516096	920125
82		4	3,84	0,12	2400	36864	18	24,96	663552	920125
83		4	3,84	0,12	2400	36864	22	24,96	811008	920125
84		4	3,84	0,12	2400	36864	26	24,96	958464	920125
85		4	3,84	0,12	2400	36864	30	24,96	1105920	920125
86		4	3,84	0,12	2400	36864	34	24,96	1253376	920125
87		4	3,84	0,12	2400	36864	38	24,96	1400832	920125
88		4	3,84	0,12	2400	36864	42	24,96	1548288	920125
89		4	3,84	0,12	2400	36864	46	24,96	1695744	920125
90		2	3,84	0,12	2400	18432	49	24,96	903168	460063
91		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	28,8	-18432	530842
92	D-E Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	28,8	73728	1061683
93		4	3,84	0,12	2400	36864	6	28,8	221184	1061683
94		4	3,84	0,12	2400	36864	10	28,8	368640	1061683
95		4	3,84	0,12	2400	36864	14	28,8	516096	1061683
96		4	3,84	0,12	2400	36864	18	28,8	663552	1061683
97		4	3,84	0,12	2400	36864	22	28,8	811008	1061683
98		4	3,84	0,12	2400	36864	26	28,8	958464	1061683
99		4	3,84	0,12	2400	36864	30	28,8	1105920	1061683
100		4	3,84	0,12	2400	36864	34	28,8	1253376	1061683
101		4	3,84	0,12	2400	36864	38	28,8	1400832	1061683
102		4	3,84	0,12	2400	36864	42	28,8	1548288	1061683
103		4	3,84	0,12	2400	36864	46	28,8	1695744	1061683
104		2	3,84	0,12	2400	18432	49	28,8	903168	530842
105		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	32,64	-18432	601620
106	E-F Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	32,64	73728	1203241
107		4	3,84	0,12	2400	36864	6	32,64	221184	1203241
108		4	3,84	0,12	2400	36864	10	32,64	368640	1203241
109		4	3,84	0,12	2400	36864	14	32,64	516096	1203241
110		4	3,84	0,12	2400	36864	18	32,64	663552	1203241
111		4	3,84	0,12	2400	36864	22	32,64	811008	1203241
112		4	3,84	0,12	2400	36864	26	32,64	958464	1203241
113		4	3,84	0,12	2400	36864	30	32,64	1105920	1203241
114		4	3,84	0,12	2400	36864	34	32,64	1253376	1203241
115		4	3,84	0,12	2400	36864	38	32,64	1400832	1203241
116		4	3,84	0,12	2400	36864	42	32,64	1548288	1203241
117		4	3,84	0,12	2400	36864	46	32,64	1695744	1203241

118		2	3,84	0,12	2400	18432	49	32,64	903168	601620
119	E-F Atas	2	3,84	0,12	2400	18432	-1	36,48	-18432	672399
120		4	3,84	0,12	2400	36864	2	36,48	73728	1344799
121		4	3,84	0,12	2400	36864	6	36,48	221184	1344799
122		4	3,84	0,12	2400	36864	10	36,48	368640	1344799
123		4	3,84	0,12	2400	36864	14	36,48	516096	1344799
124		4	3,84	0,12	2400	36864	18	36,48	663552	1344799
125		4	3,84	0,12	2400	36864	22	36,48	811008	1344799
126		4	3,84	0,12	2400	36864	26	36,48	958464	1344799
127		4	3,84	0,12	2400	36864	30	36,48	1105920	1344799
128		4	3,84	0,12	2400	36864	34	36,48	1253376	1344799
129		4	3,84	0,12	2400	36864	38	36,48	1400832	1344799
130		4	3,84	0,12	2400	36864	42	36,48	1548288	1344799
131		4	3,84	0,12	2400	36864	46	36,48	1695744	1344799
132		2	3,84	0,12	2400	18432	49	36,48	903168	672399
133		Lift Kiri	1,37	7,68	0,12	2400	25251,84	8,69	11,52	219312
134	4,03		2,23	0,12	2400	21568,56	11,39	8,80	245558	189695
135	2,6		2,23	0,12	2400	13915,2	14,70	8,80	204553	122384
136	2,6		2,21	0,12	2400	13790,4	14,70	11,02	202719	151901
137	Lift Kanan	1,37	7,68	0,12	2400	25251,84	39,32	11,52	992776	290901
138		4,03	2,23	0,12	2400	21568,56	36,62	8,80	789733	189695
139		2,6	2,23	0,12	2400	13915,2	33,30	8,80	463376	122384
140		2,6	2,21	0,12	2400	13790,4	33,30	11,02	459220	151901
Total						4646460			112399776	90124922

Balok										
No	Dimensi Balok		Pjg	BJ	Berat (W)	Jarak ke Xo (X)	Jarak ke Yo (Y)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)	
	As	b								h
		(m)								(m)
1	A	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	0	-1344	0
1		0,4	0,7	8	2400	5376	4	0	21504	0
2		0,4	0,7	8	2400	5376	12	0	64512	0
3		0,4	0,7	8	2400	5376	20	0	107520	0
4		0,4	0,7	8	2400	5376	28	0	150528	0
5		0,4	0,7	8	2400	5376	36	0	193536	0
6		0,4	0,7	8	2400	5376	44	0	236544	0
7		0,4	0,7	2	2400	1344	49	0	65856	0
8	B	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	7,68	-1344	10322
9		0,4	0,7	8	2400	5376	4	7,68	21504	41288
10		0,4	0,7	8	2400	5376	12	7,68	64512	41288
11		0,4	0,7	8	2400	5376	20	7,68	107520	41288
12		0,4	0,7	8	2400	5376	28	7,68	150528	41288
13		0,4	0,7	8	2400	5376	36	7,68	193536	41288
14		0,4	0,7	8	2400	5376	44	7,68	236544	41288

15		0,4	0,7	2	2400	1344	49	7,68	65856	10322
16	C	0,5	0,7	2	2400	1680	-1	15,36	-1680	25805
17		0,4	0,7	8	2400	5376	4	15,36	21504	82575
18		0,4	0,7	8	2400	5376	12	15,36	64512	82575
19		0,4	0,7	8	2400	5376	20	15,36	107520	82575
20		0,4	0,7	8	2400	5376	28	15,36	150528	82575
21		0,4	0,7	8	2400	5376	36	15,36	193536	82575
22		0,4	0,7	8	2400	5376	44	15,36	236544	82575
23		0,4	0,7	2	2400	1344	49	15,36	65856	20644
24		D	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	23,04	-1344
25	0,4		0,7	8	2400	5376	4	23,04	21504	123863
26	0,4		0,7	8	2400	5376	12	23,04	64512	123863
27	0,4		0,7	8	2400	5376	20	23,04	107520	123863
28	0,4		0,7	8	2400	5376	28	23,04	150528	123863
29	0,4		0,7	8	2400	5376	36	23,04	193536	123863
30	0,4		0,7	8	2400	5376	44	23,04	236544	123863
31	0,4		0,7	2	2400	1344	49	23,04	65856	30966
32	E	0,5	0,7	2	2400	1680	-1	30,72	-1680	51610
33		0,4	0,7	8	2400	5376	4	30,72	21504	165151
34		0,4	0,7	8	2400	5376	12	30,72	64512	165151
35		0,4	0,7	8	2400	5376	20	30,72	107520	165151
36		0,4	0,7	8	2400	5376	28	30,72	150528	165151
37		0,4	0,7	8	2400	5376	36	30,72	193536	165151
38		0,4	0,7	8	2400	5376	44	30,72	236544	165151
39		0,4	0,7	2	2400	1344	49	30,72	65856	41288
40	F	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	23,04	-1344	30966
41		0,4	0,7	8	2400	5376	4	38,4	21504	206438
42		0,4	0,7	8	2400	5376	12	38,4	64512	206438
43		0,4	0,7	8	2400	5376	20	38,4	107520	206438
44		0,4	0,7	8	2400	5376	28	38,4	150528	206438
45		0,4	0,7	8	2400	5376	36	38,4	193536	206438
46		0,4	0,7	8	2400	5376	44	38,4	236544	206438
47		0,4	0,7	2	2400	1344	49	38,4	65856	51610
48	LIFT KIRI	0,3	0,4	3,5	2400	1008	11,385	8,795	11476,08	8865
49		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	8,795	11007,36	6586
50		0,4	0,6	3,5	2400	2016	11,385	11,45	22952,16	23083
51		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	11,015	11007,36	8248
52	LIFT KANAN	0,3	0,4	3,5	2400	1008	36,615	8,795	36907,92	8865
53		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	8,795	24935,04	6586
54		0,4	0,6	3,5	2400	2016	36,615	11,45	73815,84	23083
55		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	11,015	24935,04	8248
56		0,4	0,6	2	2400	1152	-1	3,84	-1152	4424
57	A-B	0,3	0,4	8	2400	2304	4	3,84	9216	8847
58		0,3	0,4	8	2400	2304	12	3,84	27648	8847

59		0,3	0,4	8	2400	2304	20	3,84	46080	8847
60		0,3	0,4	8	2400	2304	28	3,84	64512	8847
61		0,3	0,4	8	2400	2304	36	3,84	82944	8847
62		0,3	0,4	8	2400	2304	44	3,84	101376	8847
63		0,3	0,4	2	2400	576	49	3,84	28224	2212
64		0,3	0,4	2	2400	576	-1	11,52	-576	6636
65	B-C	0,3	0,4	8	2400	2304	4	11,52	9216	26542
66		0,3	0,4	8	2400	2304	24	11,52	55296	26542
67		0,3	0,4	8	2400	2304	32	11,52	73728	26542
68		0,3	0,4	8	2400	2304	48	11,52	110592	26542
69		0,3	0,4	2	2400	576	49	11,52	28224	6636
70		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
71	C-D	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
72		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
73		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
74		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
75		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
76		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
77		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
78		0,3	0,4	2	2400	576	-1	26,88	-576	15483
79	D-E	0,3	0,4	8	2400	2304	4	26,88	9216	61932
80		0,3	0,4	8	2400	2304	12	26,88	27648	61932
81		0,3	0,4	8	2400	2304	20	26,88	46080	61932
82		0,3	0,4	8	2400	2304	28	26,88	64512	61932
83		0,3	0,4	8	2400	2304	36	26,88	82944	61932
84		0,3	0,4	8	2400	2304	44	26,88	101376	61932
85		0,3	0,4	2	2400	576	49	26,88	28224	15483
86		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
87	E-F	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
88		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
89		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
90		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
91		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
92		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
93		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
94	7-KIRI	0,3	0,4	2	2400	576	-1	3,84	-576	2212
95		0,3	0,4	2	2400	576	-1	11,52	-576	6636
96		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
97		0,3	0,4	2	2400	576	-1	26,88	-576	15483
98		0,3	0,4	2	2400	576	-1	34,56	-576	19907
99	1	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	3,84	247726	19818
100		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	11,52	247726	59454
101		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	19,2	247726	99090

102		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	26,88	247726	138727
103		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	34,56	247726	178363
104	2	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	3,84	206438	19818
105		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	11,52	206438	59454
106		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	19,2	206438	99090
107		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	26,88	206438	138727
108		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	34,56	206438	178363
109		3	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	3,84	165151
110	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	11,52	165151	59454
111	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	19,2	165151	99090
112	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	26,88	165151	138727
113	0,4		0,7	7,68	2400	5160,96	32	34,56	165151	178363
114	4	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	3,84	123863	19818
115		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	11,52	123863	59454
116		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	19,2	123863	99090
117		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	26,88	123863	138727
118		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	34,56	123863	178363
119	5	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	3,84	82575	19818
120		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	11,52	82575	59454
121		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	19,2	82575	99090
122		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	26,88	82575	138727
123		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	34,56	82575	178363
124	6	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	3,84	41288	19818
125		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	11,52	41288	59454
126		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	19,2	41288	99090
127		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	26,88	41288	138727
128		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	34,56	41288	178363
129	7	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	3,84	0	19818
130		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	11,52	0	59454
131		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	19,2	0	99090
132		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	26,88	0	138727
133		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	34,56	0	178363
134	1-KANAN	0,3	0,4	2	2400	576	49	3,84	28224	2212
135		0,3	0,4	2	2400	576	49	11,52	28224	6636
136		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
137		0,3	0,4	2	2400	576	49	26,88	28224	15483
138		0,3	0,4	2	2400	576	49	34,56	28224	19907
139	LIFT KIRI	0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	9,37	14,405	14986	23039
140		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	9,37	10,335	33372	36809
141		0,3	0,4	2,55	2400	734,4	11,87	11,45	8717	8409
142		0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	13,4	14,405	21431	23039
143		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	13,4	10,335	47725	36809
144	LIFT KANAN	0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	34,6	14,405	55338	23039
145		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	34,6	10,335	123231	36809

146		0,3	0,4	2,55	2400	734,4	36,13	11,45	26534	8409
147		0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	38,63	14,405	61783	23039
148		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	38,63	10,335	137585	36809
149	1-2	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	3,84	97321	8493
150		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	11,52	97321	25480
151		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	19,2	97321	42467
152		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	26,88	97321	59454
153		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	34,56	97321	76441
154	2-3	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	3,84	79626	8493
155		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	19,2	79626	42467
156		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	26,88	79626	59454
157		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	34,56	79626	76441
158	3-4	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	3,84	61932	8493
159		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	11,52	61932	25480
160		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	19,2	61932	42467
161		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	26,88	61932	59454
162		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	34,56	61932	76441
163	4-5	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	3,84	44237	8493
164		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	11,52	44237	25480
165		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	19,2	44237	42467
166		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	26,88	44237	59454
167		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	34,56	44237	76441
168	5-6	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	3,84	26542	8493
169		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	19,2	26542	42467
170		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	26,88	26542	59454
171		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	34,56	26542	76441
172	6-7	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	3,84	8847	8493
173		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	11,52	8847	25480
174		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	19,2	8847	42467
175		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	26,88	8847	59454
176		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	34,56	8847	76441
Total						560665			13452407	10328770

Kolom											
No	Type	Dimensi Kolom			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		As	b	h							
			(m)	(m)	(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	K2 65/65	A	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	0	0	0
2			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	0	25958	0
3			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	0	51917	0
4			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	0	77875	0
5			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	0	103834	0
6			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	0	129792	0

7			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	0	155750	0
8			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	7,68	0	24920
9			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	7,68	25958	24920
10			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	7,68	51917	24920
11		B	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	7,68	77875	24920
12			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	7,68	103834	24920
13			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	7,68	129792	24920
14			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	7,68	155750	24920
15			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	15,36	0	49840
16			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	15,36	25958	49840
17	K3 55/55		0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	12,76	15,36	29644	35684
18			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	15,36	51917	49840
19	K2 65/65	C	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	15,36	77875	49840
20			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	15,36	103834	49840
21	K3 55/55		0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	34,6	15,36	80383	35684
22			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	15,36	129792	49840
23			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	15,36	155750	49840
24			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	23,04	0	74760
25			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	23,04	25958	74760
26			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	23,04	51917	74760
27		D	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	23,04	77875	74760
28			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	23,04	103834	74760
29			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	23,04	129792	74760
30			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	23,04	155750	74760
31			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	30,72	0	99680
32			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	30,72	25958	99680
33	K2 65/65	E	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	30,72	51917	99680
34			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	30,72	77875	99680
35			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	30,72	103834	99680
36			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	30,72	129792	99680
37			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	30,72	155750	99680
38			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	0	38,4	0	124600
39			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	38,4	25958	124600
40			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	38,4	51917	124600
41		F	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	24	38,4	77875	124600
42			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	38,4	103834	124600
43			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	38,4	129792	124600
44			0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	48	38,4	155750	124600
45			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	9,3	12,53	21606	29110
46	K3 55/55	B-C	0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	12,76	12,53	29644	29110
47			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	34,6	12,53	80383	29110
48			0,55	0,55	3,2	2400	2323,2	38,7	12,53	89908	29110
Total							150221			3602326	2804414

Lantai 4-6	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Lantai 4-6	12347681,76	297672827,90	236520736,94

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
24,108	19,155

6. ATAP

Plat Atap										
No	Arah	Dimensi Plat		Tebal Plat (m)	BJ (Kg/m ²)	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)
		Pjg	Lebar			(W)	(X)	(Y)		
		(m)	(m)			(Kg)	(m)	(m)		
1	A-B Bawah	2	3,84	0,12	2400	18432	-1	1,92	-18432	35389
2		4	3,84	0,12	2400	36864	2	1,92	73728	70779
3		4	3,84	0,12	2400	36864	6	1,92	221184	70779
4		4	3,84	0,12	2400	36864	10	1,92	368640	70779
5		4	3,84	0,12	2400	36864	14	1,92	516096	70779
6		4	3,84	0,12	2400	36864	18	1,92	663552	70779
7		4	3,84	0,12	2400	36864	22	1,92	811008	70779
8		4	3,84	0,12	2400	36864	26	1,92	958464	70779
9		4	3,84	0,12	2400	36864	30	1,92	1105920	70779
10		4	3,84	0,12	2400	36864	34	1,92	1253376	70779
11		4	3,84	0,12	2400	36864	38	1,92	1400832	70779
12		4	3,84	0,12	2400	36864	42	1,92	1548288	70779
13		4	3,84	0,12	2400	36864	46	1,92	1695744	70779
14		2	3,84	0,12	2400	18432	49	1,92	903168	35389
15		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	5,76	-18432	106168
16	A-B Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	5,76	73728	212337
17		4	3,84	0,12	2400	36864	6	5,76	221184	212337
18		4	3,84	0,12	2400	36864	10	5,76	368640	212337
19		4	3,84	0,12	2400	36864	14	5,76	516096	212337
20		4	3,84	0,12	2400	36864	18	5,76	663552	212337
21		4	3,84	0,12	2400	36864	22	5,76	811008	212337
22		4	3,84	0,12	2400	36864	26	5,76	958464	212337
23		4	3,84	0,12	2400	36864	30	5,76	1105920	212337
24		4	3,84	0,12	2400	36864	34	5,76	1253376	212337
25		4	3,84	0,12	2400	36864	38	5,76	1400832	212337
26		4	3,84	0,12	2400	36864	42	5,76	1548288	212337
27		4	3,84	0,12	2400	36864	46	5,76	1695744	212337
28			2	3,84	0,12	2400	18432	49	5,76	903168

29		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	9,6	-18432	176947
30	B-C Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	9,6	73728	353894
31		4	3,84	0,12	2400	36864	6	9,6	221184	353894
32		4	3,84	0,12	2400	36864	18	9,6	663552	353894
33		4	3,84	0,12	2400	36864	22	9,6	811008	353894
34		4	3,84	0,12	2400	36864	26	9,6	958464	353894
35		4	3,84	0,12	2400	36864	30	9,6	1105920	353894
36		4	3,84	0,12	2400	36864	42	9,6	1548288	353894
37		4	3,84	0,12	2400	36864	46	9,6	1695744	353894
38		2	3,84	0,12	2400	18432	49	9,6	903168	176947
39		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	13,44	-18432	247726
40	B-C Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	13,44	73728	495452
41		4	3,84	0,12	2400	36864	6	13,44	221184	495452
42		4	3,84	0,12	2400	36864	22	13,44	811008	495452
43		4	3,84	0,12	2400	36864	26	13,44	958464	495452
44		4	3,84	0,12	2400	36864	30	13,44	1105920	495452
45		4	3,84	0,12	2400	36864	34	13,44	1253376	495452
46		4	3,84	0,12	2400	36864	46	13,44	1695744	495452
47		4	3,84	0,12	2400	36864	50	13,44	1843200	495452
48		2	3,84	0,12	2400	18432	49	13,44	903168	247726
49		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	17,28	-18432	318505
50	C-D Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	17,28	73728	637010
51		4	3,84	0,12	2400	36864	6	17,28	221184	637010
52		4	3,84	0,12	2400	36864	10	17,28	368640	637010
53		4	3,84	0,12	2400	36864	14	17,28	516096	637010
54		4	3,84	0,12	2400	36864	18	17,28	663552	637010
55		4	3,84	0,12	2400	36864	22	17,28	811008	637010
56		4	3,84	0,12	2400	36864	26	17,28	958464	637010
57		4	3,84	0,12	2400	36864	30	17,28	1105920	637010
58		4	3,84	0,12	2400	36864	34	17,28	1253376	637010
59		4	3,84	0,12	2400	36864	38	17,28	1400832	637010
60		4	3,84	0,12	2400	36864	42	17,28	1548288	637010
61		4	3,84	0,12	2400	36864	46	17,28	1695744	637010
62		2	3,84	0,12	2400	18432	49	17,28	903168	318505
63		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	21,12	-18432	389284
64	C-D Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	21,12	73728	778568
65		4	3,84	0,12	2400	36864	6	21,12	221184	778568
66		4	3,84	0,12	2400	36864	10	21,12	368640	778568
67		4	3,84	0,12	2400	36864	14	21,12	516096	778568
68		4	3,84	0,12	2400	36864	18	21,12	663552	778568
69		4	3,84	0,12	2400	36864	22	21,12	811008	778568
70		4	3,84	0,12	2400	36864	26	21,12	958464	778568
71		4	3,84	0,12	2400	36864	30	21,12	1105920	778568
72		4	3,84	0,12	2400	36864	34	21,12	1253376	778568
73		4	3,84	0,12	2400	36864	38	21,12	1400832	778568

74		4	3,84	0,12	2400	36864	42	21,12	1548288	778568
75		4	3,84	0,12	2400	36864	46	21,12	1695744	778568
76		2	3,84	0,12	2400	18432	49	21,12	903168	389284
77		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	24,96	-18432	460063
78	D-E Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	24,96	73728	920125
79		4	3,84	0,12	2400	36864	6	24,96	221184	920125
80		4	3,84	0,12	2400	36864	10	24,96	368640	920125
81		4	3,84	0,12	2400	36864	14	24,96	516096	920125
82		4	3,84	0,12	2400	36864	18	24,96	663552	920125
83		4	3,84	0,12	2400	36864	22	24,96	811008	920125
84		4	3,84	0,12	2400	36864	26	24,96	958464	920125
85		4	3,84	0,12	2400	36864	30	24,96	1105920	920125
86		4	3,84	0,12	2400	36864	34	24,96	1253376	920125
87		4	3,84	0,12	2400	36864	38	24,96	1400832	920125
88		4	3,84	0,12	2400	36864	42	24,96	1548288	920125
89		4	3,84	0,12	2400	36864	46	24,96	1695744	920125
90		2	3,84	0,12	2400	18432	49	24,96	903168	460063
91		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	28,8	-18432	530842
92	D-E Atas	4	3,84	0,12	2400	36864	2	28,8	73728	1061683
93		4	3,84	0,12	2400	36864	6	28,8	221184	1061683
94		4	3,84	0,12	2400	36864	10	28,8	368640	1061683
95		4	3,84	0,12	2400	36864	14	28,8	516096	1061683
96		4	3,84	0,12	2400	36864	18	28,8	663552	1061683
97		4	3,84	0,12	2400	36864	22	28,8	811008	1061683
98		4	3,84	0,12	2400	36864	26	28,8	958464	1061683
99		4	3,84	0,12	2400	36864	30	28,8	1105920	1061683
100		4	3,84	0,12	2400	36864	34	28,8	1253376	1061683
101		4	3,84	0,12	2400	36864	38	28,8	1400832	1061683
102		4	3,84	0,12	2400	36864	42	28,8	1548288	1061683
103		4	3,84	0,12	2400	36864	46	28,8	1695744	1061683
104		2	3,84	0,12	2400	18432	49	28,8	903168	530842
105		2	3,84	0,12	2400	18432	-1	32,64	-18432	601620
106	E-F Bawah	4	3,84	0,12	2400	36864	2	32,64	73728	1203241
107		4	3,84	0,12	2400	36864	6	32,64	221184	1203241
108		4	3,84	0,12	2400	36864	10	32,64	368640	1203241
109		4	3,84	0,12	2400	36864	14	32,64	516096	1203241
110		4	3,84	0,12	2400	36864	18	32,64	663552	1203241
111		4	3,84	0,12	2400	36864	22	32,64	811008	1203241
112		4	3,84	0,12	2400	36864	26	32,64	958464	1203241
113		4	3,84	0,12	2400	36864	30	32,64	1105920	1203241
114		4	3,84	0,12	2400	36864	34	32,64	1253376	1203241
115		4	3,84	0,12	2400	36864	38	32,64	1400832	1203241
116		4	3,84	0,12	2400	36864	42	32,64	1548288	1203241
117		4	3,84	0,12	2400	36864	46	32,64	1695744	1203241
118		2	3,84	0,12	2400	18432	49	32,64	903168	601620

119	E-F Atas	2	3,84	0,12	2400	18432	-1	36,48	-18432	672399
120		4	3,84	0,12	2400	36864	2	36,48	73728	1344799
121		4	3,84	0,12	2400	36864	6	36,48	221184	1344799
122		4	3,84	0,12	2400	36864	10	36,48	368640	1344799
123		4	3,84	0,12	2400	36864	14	36,48	516096	1344799
124		4	3,84	0,12	2400	36864	18	36,48	663552	1344799
125		4	3,84	0,12	2400	36864	22	36,48	811008	1344799
126		4	3,84	0,12	2400	36864	26	36,48	958464	1344799
127		4	3,84	0,12	2400	36864	30	36,48	1105920	1344799
128		4	3,84	0,12	2400	36864	34	36,48	1253376	1344799
129		4	3,84	0,12	2400	36864	38	36,48	1400832	1344799
130		4	3,84	0,12	2400	36864	42	36,48	1548288	1344799
131		4	3,84	0,12	2400	36864	46	36,48	1695744	1344799
132		2	3,84	0,12	2400	18432	49	36,48	903168	672399
133	Lift Kiri	1,37	7,68	0,12	2400	25251,84	8,685	11,52	219312	290901
134		4,03	2,23	0,12	2400	21568,56	11,385	8,80	245558	189695
135		2,6	2,23	0,12	2400	13915,2	14,7	8,80	204553	122384
136		2,6	2,21	0,12	2400	13790,4	14,7	11,02	202719	151901
137	Lift Kanan	1,37	7,68	0,12	2400	25251,84	39,315	11,52	992776	290901
138		4,03	2,23	0,12	2400	21568,56	36,615	8,80	789733	189695
139		2,6	2,23	0,12	2400	13915,2	33,3	8,80	463376	122384
140		2,6	2,21	0,12	2400	13790,4	33,3	11,02	459220	151901
Total						4646460			112399776	9012492 2

Dinding									
No	Dimensi Dinding		Berat Dinding	Berat (W)	Jarak ke Xo (X)	Jarak ke Yo (Y)	W.x (Kg.m)	W.y (Kg.m)	
	Arah	Pjg							Tinggi
		(m)	(m)	(Kg/m2)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	X	2	1,2	107,5	258	-1	0	-258	0
2		8	1,2	107,5	1032	4	0	4128	0
3		8	1,2	107,5	1032	12	0	12384	0
4		8	1,2	107,5	1032	20	0	20640	0
5		8	1,2	107,5	1032	28	0	28896	0
6		8	1,2	107,5	1032	36	0	37152	0
7		8	1,2	107,5	1032	44	0	45408	0
8		2	1,2	107,5	258	49	0	12642	0
9		2	1,2	107,5	258	-1	38,4	-258	9907,2
10		8	1,2	107,5	1032	4	38,4	4128	39628,8
11		8	1,2	107,5	1032	12	38,4	12384	39628,8
12		8	1,2	107,5	1032	20	38,4	20640	39628,8
13		8	1,2	107,5	1032	28	38,4	28896	39628,8
14		8	1,2	107,5	1032	36	38,4	37152	39628,8
15		8	1,2	107,5	1032	44	38,4	45408	39628,8

16		2	1,2	107,5	258	49	38,4	12642	9907,2
17		8	3,2	107,5	2752	12	7,68	33024	21135,36
18		8	3,2	107,5	2752	12	15,36	33024	42270,72
19		8	3,2	107,5	2752	36	7,68	99072	21135,36
20		8	3,2	107,5	2752	36	15,36	99072	42270,72
21	Y	7,68	1,2	107,5	991	-2	3,84	-1981	3804,36
22		7,68	1,2	107,5	991	-2	11,52	-1981	11413,09
23		7,68	1,2	107,5	991	-2	19,2	-1981	19021,82
24		7,68	1,2	107,5	991	-2	26,88	-1981	26630,55
25		7,68	1,2	107,5	991	-2	34,56	-1981	34239,28
26		7,68	1,2	107,5	991	50	3,84	49536	3804,36
27		7,68	1,2	107,5	991	50	11,52	49536	11413,09
28		7,68	1,2	107,5	991	50	19,2	49536	19021,82
29		7,68	1,2	107,5	991	50	26,88	49536	26630,55
30		7,68	1,2	107,5	991	50	34,56	49536	34239,28
31		7,68	3,2	107,5	2642	8	11,52	21135	30434,92
32		7,68	3,2	107,5	2642	16	11,52	42271	30434,92
33		7,68	1,2	107,5	991	32	11,52	31703	11413,09
34		7,68	1,2	107,5	991	40	11,52	39629	11413,09
Total					39615,04			958686,72	574617,6

Balok										
No	Dimensi Balok			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
	As	b	h			(W)	(X)	(Y)		
		(m)	(m)			(m)	(Kg)	(m)		
1	A	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	0	-1344	0
2		0,4	0,7	8	2400	5376	4	0	21504	0
3		0,4	0,7	8	2400	5376	12	0	64512	0
4		0,4	0,7	8	2400	5376	20	0	107520	0
5		0,4	0,7	8	2400	5376	28	0	150528	0
6		0,4	0,7	8	2400	5376	36	0	193536	0
7		0,4	0,7	8	2400	5376	44	0	236544	0
8		0,4	0,7	2	2400	1344	49	0	65856	0
9	B	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	7,68	-1344	10322
10		0,4	0,7	8	2400	5376	4	7,68	21504	41288
11		0,4	0,7	8	2400	5376	12	7,68	64512	41288
12		0,4	0,7	8	2400	5376	20	7,68	107520	41288
13		0,4	0,7	8	2400	5376	28	7,68	150528	41288
14		0,4	0,7	8	2400	5376	36	7,68	193536	41288
15		0,4	0,7	8	2400	5376	44	7,68	236544	41288
16		0,4	0,7	2	2400	1344	49	7,68	65856	10322
17	C	0,5	0,7	2	2400	1680	-1	15,36	-1680	25805
18		0,4	0,7	8	2400	5376	4	15,36	21504	82575

19		0,4	0,7	8	2400	5376	12	15,36	64512	82575
20		0,4	0,7	8	2400	5376	20	15,36	107520	82575
21		0,4	0,7	8	2400	5376	28	15,36	150528	82575
22		0,4	0,7	8	2400	5376	36	15,36	193536	82575
23		0,4	0,7	8	2400	5376	44	15,36	236544	82575
24		0,4	0,7	2	2400	1344	49	15,36	65856	20644
25	D	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	23,04	-1344	30966
26		0,4	0,7	8	2400	5376	4	23,04	21504	123863
27		0,4	0,7	8	2400	5376	12	23,04	64512	123863
28		0,4	0,7	8	2400	5376	20	23,04	107520	123863
29		0,4	0,7	8	2400	5376	28	23,04	150528	123863
30		0,4	0,7	8	2400	5376	36	23,04	193536	123863
31		0,4	0,7	8	2400	5376	44	23,04	236544	123863
32		0,4	0,7	2	2400	1344	49	23,04	65856	30966
33	E	0,5	0,7	2	2400	1680	-1	30,72	-1680	51610
34		0,4	0,7	8	2400	5376	4	30,72	21504	165151
35		0,4	0,7	8	2400	5376	12	30,72	64512	165151
36		0,4	0,7	8	2400	5376	20	30,72	107520	165151
37		0,4	0,7	8	2400	5376	28	30,72	150528	165151
38		0,4	0,7	8	2400	5376	36	30,72	193536	165151
39		0,4	0,7	8	2400	5376	44	30,72	236544	165151
40		0,4	0,7	2	2400	1344	49	30,72	65856	41288
41	F	0,4	0,7	2	2400	1344	-1	23,04	-1344	30966
42		0,4	0,7	8	2400	5376	4	38,4	21504	206438
43		0,4	0,7	8	2400	5376	12	38,4	64512	206438
44		0,4	0,7	8	2400	5376	20	38,4	107520	206438
45		0,4	0,7	8	2400	5376	28	38,4	150528	206438
46		0,4	0,7	8	2400	5376	36	38,4	193536	206438
47		0,4	0,7	8	2400	5376	44	38,4	236544	206438
48		0,4	0,7	2	2400	1344	49	38,4	65856	51610
49	LIFT KIRI	0,3	0,4	3,5	2400	1008	11,385	8,795	11476	8865
50		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	8,795	11007	6586
51		0,4	0,6	3,5	2400	2016	11,385	11,45	22952	23083
52		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	14,7	11,015	11007	8248
53	LIFT KANAN	0,3	0,4	3,5	2400	1008	36,615	8,795	36908	8865
54		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	8,795	24935	6586
55		0,4	0,6	3,5	2400	2016	36,615	11,45	73816	23083
56		0,3	0,4	2,6	2400	748,8	33,3	11,015	24935	8248
57		0,4	0,6	2	2400	1152	-1	3,84	-1152	4424
58	A-B	0,3	0,4	8	2400	2304	4	3,84	9216	8847
59		0,3	0,4	8	2400	2304	12	3,84	27648	8847
60		0,3	0,4	8	2400	2304	20	3,84	46080	8847
61		0,3	0,4	8	2400	2304	28	3,84	64512	8847
62		0,3	0,4	8	2400	2304	36	3,84	82944	8847

63		0,3	0,4	8	2400	2304	44	3,84	101376	8847
64		0,3	0,4	2	2400	576	49	3,84	28224	2212
65		0,3	0,4	2	2400	576	-1	11,52	-576	6636
66	B-C	0,3	0,4	8	2400	2304	4	11,52	9216	26542
67		0,3	0,4	8	2400	2304	24	11,52	55296	26542
68		0,3	0,4	8	2400	2304	32	11,52	73728	26542
69		0,3	0,4	8	2400	2304	48	11,52	110592	26542
70		0,3	0,4	2	2400	576	49	11,52	28224	6636
71		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
72	C-D	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
73		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
74		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
75		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
76		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
77		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
78		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
79		0,3	0,4	2	2400	576	-1	26,88	-576	15483
80	D-E	0,3	0,4	8	2400	2304	4	26,88	9216	61932
81		0,3	0,4	8	2400	2304	12	26,88	27648	61932
82		0,3	0,4	8	2400	2304	20	26,88	46080	61932
83		0,3	0,4	8	2400	2304	28	26,88	64512	61932
84		0,3	0,4	8	2400	2304	36	26,88	82944	61932
85		0,3	0,4	8	2400	2304	44	26,88	101376	61932
86		0,3	0,4	2	2400	576	49	26,88	28224	15483
87		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
88	E-F	0,3	0,4	8	2400	2304	4	19,2	9216	44237
89		0,3	0,4	8	2400	2304	12	19,2	27648	44237
90		0,3	0,4	8	2400	2304	20	19,2	46080	44237
91		0,3	0,4	8	2400	2304	28	19,2	64512	44237
92		0,3	0,4	8	2400	2304	36	19,2	82944	44237
93		0,3	0,4	8	2400	2304	44	19,2	101376	44237
94		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
95	7-KIRI	0,3	0,4	2	2400	576	-1	3,84	-576	2212
96		0,3	0,4	2	2400	576	-1	11,52	-576	6636
97		0,3	0,4	2	2400	576	-1	19,2	-576	11059
98		0,3	0,4	2	2400	576	-1	26,88	-576	15483
99		0,3	0,4	2	2400	576	-1	34,56	-576	19907
100	1	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	3,84	247726	19818
101		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	11,52	247726	59454
102		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	19,2	247726	99090
103		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	26,88	247726	138727
104		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	48	34,56	247726	178363
105	2	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	3,84	206438	19818

106		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	11,52	206438	59454
107		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	19,2	206438	99090
108		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	26,88	206438	138727
109		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	34,56	206438	178363
110	3	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	3,84	165151	19818
111		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	11,52	165151	59454
112		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	19,2	165151	99090
113		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	26,88	165151	138727
114		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	34,56	165151	178363
115	4	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	3,84	123863	19818
116		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	11,52	123863	59454
117		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	19,2	123863	99090
118		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	26,88	123863	138727
119		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	24	34,56	123863	178363
120	5	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	3,84	82575	19818
121		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	11,52	82575	59454
122		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	19,2	82575	99090
123		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	26,88	82575	138727
124		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	34,56	82575	178363
125	6	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	3,84	41288	19818
126		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	11,52	41288	59454
127		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	19,2	41288	99090
128		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	26,88	41288	138727
129		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	34,56	41288	178363
130	7	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	3,84	0	19818
131		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	11,52	0	59454
132		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	19,2	0	99090
133		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	26,88	0	138727
134		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	0	34,56	0	178363
135	1-KANAN	0,3	0,4	2	2400	576	49	3,84	28224	2212
136		0,3	0,4	2	2400	576	49	11,52	28224	6636
137		0,3	0,4	2	2400	576	49	19,2	28224	11059
138		0,3	0,4	2	2400	576	49	26,88	28224	15483
139		0,3	0,4	2	2400	576	49	34,56	28224	19907
140	LIFT KIRI	0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	9,37	14,405	14986	23039
141		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	9,37	10,34	33372	36809
142		0,3	0,4	2,55	2400	734,4	11,87	11,45	8717	8409
143		0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	13,4	14,41	21431	23039
144		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	13,4	10,34	47725	36809
145	LIFT KANAN	0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	34,6	14,41	55338	23039
146		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	34,6	10,34	123231	36809
147		0,3	0,4	2,55	2400	734,4	36,13	11,45	26534	8409
148		0,4	0,7	2,38	2400	1599,36	38,63	14,41	61783	23039
149		0,4	0,7	5,3	2400	3561,6	38,63	10,34	137585	36809

150	1-2	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	3,84	97321	8493
151		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	11,52	97321	25480
152		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	19,2	97321	42467
153		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	26,88	97321	59454
154		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	44	34,56	97321	76441
155	2-3	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	3,84	79626	8493
156		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	19,2	79626	42467
157		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	26,88	79626	59454
158		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	36	34,56	79626	76441
159	3-4	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	3,84	61932	8493
160		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	11,52	61932	25480
161		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	19,2	61932	42467
162		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	26,88	61932	59454
163		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	28	34,56	61932	76441
164	4-5	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	3,84	44237	8493
165		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	11,52	44237	25480
166		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	19,2	44237	42467
167		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	26,88	44237	59454
168		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	20	34,56	44237	76441
169	5-6	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	3,84	26542	8493
170		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	19,2	26542	42467
171		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	26,88	26542	59454
172		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	12	34,56	26542	76441
173	6-7	0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	3,84	8847	8493
174		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	11,52	8847	25480
175		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	19,2	8847	42467
176		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	26,88	8847	59454
177		0,3	0,4	7,68	2400	2211,84	4	34,56	8847	76441
178	LIFT	0,4	0,6	2,38	2400	1370,88	10,58	12,95	14497	17746
179		0,4	0,6	2,38	2400	1370,88	11,68	12,95	16005	17746
180		0,4	0,6	2,38	2400	1370,88	35,80	12,95	49078	17746
181		0,4	0,6	2,38	2400	1370,88	36,90	12,95	50585	17746
Total						566148			13582572	10399754

Kolom										
No	Type	Dimensi Kolom		Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		b	h			(W)	(X)	(Y)		
		(m)	(m)	(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)	(Kg.m)	(Kg.m)
1	K2 65/65	0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	7,68	129792	24920,06
2		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	7,68	103833,6	24920,06
3		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	7,68	51916,8	24920,06
4		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	7,68	25958,4	24920,06

5		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	40	15,36	129792	49840,13
6		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	32	15,36	103833,6	49840,13
7		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	16	15,36	51916,8	49840,13
8		0,65	0,65	3,2	2400	3244,8	8	15,36	25958,4	49840,13
Total						25958,4			623001,6	299041

Lantai Atap	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Lantai Atap	5339621,92	128792836,42	102106123,67

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
24,12	19,12

7. RUANG LIFT

Plat Lantai										
No	Daerah	Dimensi Plat		Tebal Plat	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
		Pjg	Lebar							
		(m)	(m)			(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)
1	KIRI	4	3,84	0,12	2400	36864	10	9,6	368640	353894
2		4	3,84	0,12	2400	36864	14	9,6	516096	353894
3		4	3,84	0,12	2400	36864	10	13,44	368640	495452
4		4	3,84	0,12	2400	36864	14	13,44	516096	495452
5	KANAN	4	3,84	0,12	2400	36864	34	9,6	1253376	353894
6		4	3,84	0,12	2400	36864	38	9,6	1400832	353894
7		4	3,84	0,12	2400	36864	34	13,44	1253376	495452
8		4	3,84	0,12	2400	36864	38	13,44	1400832	495452
Total						294912			7077888	3397386

Balok										
No	Dimensi Balok			Pjg	BJ	Berat	Jarak ke Xo	Jarak ke Yo	W.x	W.y
	Daerah	b	h							
		(m)	(m)			(m)	(Kg/m ²)	(Kg)	(m)	(m)
1	KIRI	0,4	0,7	8	2400	5376	12	7,68	64512	41288
2		0,4	0,7	8	2400	5376	12	15,36	64512	82575
3		0,4	0,7	8	2400	5376	36	7,68	193536	41288
4		0,4	0,7	8	2400	5376	36	15,36	193536	82575
5		0,3	0,4	4	2400	1152	10	11,52	11520	13271
6		0,3	0,4	4	2400	1152	14	11,52	16128	13271

7		0,3	0,4	4	2400	1152	34	11,52	39168	13271	
8		0,3	0,4	4	2400	1152	38	11,52	43776	13271	
9	KANAN	0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	8	11,52	41288	59454	
10		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	16	11,52	82575	59454	
11		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	32	11,52	165151	59454	
12		0,4	0,7	7,68	2400	5160,96	40	11,52	206438	59454	
13		0,3	0,4	3,84	2400	1105,92	12	9,6	13271	10617	
14		0,3	0,4	3,84	2400	1105,92	12	13,44	13271	14864	
15		0,3	0,4	3,84	2400	1105,92	36	9,6	39813	10617	
16		0,3	0,4	3,84	2400	1105,92	36	13,44	39813	14864	
Total							51180			1228308	589588

Ruang Lift	Berat (W)	W.x	W.y
	(Kg)	(Kg.m)	(Kg.m)
Total Ruang Lift	346091,52	8306196,48	3986974,31

Letak titik berat

Xa (m)	Ya (m)
24,00	11,52

PERHITUNGAN PUSAT KEKAKUAN BANGUNAN

1. PUSAT KEKAKUAN LANTAI DENGAN KOLOM 80/80

No	Type	As	Dimensi Pelat		Jarak		(Lx).X	(Ly).Y
			Ly	Lx	(X)	(Y)	(Kg.m)	(Kg.m)
			(m)	(m)	(m)	(m)		
1	K1 80/80	A1	0,80	0,80	48	0	38,40	0,00
2		A2	0,80	0,80	40	0	32,00	0,00
3		A3	0,80	0,80	32	0	25,60	0,00
4		A4	0,80	0,80	24	0	19,20	0,00
5		A5	0,80	0,80	16	0	12,80	0,00
6		A6	0,80	0,80	8	0	6,40	0,00
7		A7	0,80	0,80	0	0	0,00	0,00
8		B1	0,80	0,80	48	7,68	38,40	6,14
9		B2	0,80	0,80	40	7,68	32,00	6,14
10		B3	0,80	0,80	32	7,68	25,60	6,14
11		B4	0,80	0,80	24	7,68	19,20	6,14
12		B5	0,80	0,80	16	7,68	12,80	6,14
13		B6	0,80	0,80	8	7,68	6,40	6,14
14		B7	0,80	0,80	0	7,68	0,00	6,14
15		C1	0,80	0,80	48	15,36	38,40	12,29
16		C2	0,80	0,80	40	15,36	32,00	12,29
17	K3 55/55	C2-3	0,55	0,55	34,6	15,36	19,03	8,45
18	K1 80/80	C3	0,80	0,80	32	15,36	25,60	12,29
19		C4	0,80	0,80	24	15,36	19,20	12,29
20		C5	0,80	0,80	16	15,36	12,80	12,29
21	K3 55/55	C5-6	0,55	0,55	12,8	15,36	7,02	8,45
22	K1 80/80	C6	0,80	0,80	8	15,36	6,40	12,29
23		C7	0,80	0,80	0	15,36	0,00	12,29
24		D1	0,80	0,80	48	23,04	38,40	18,43
25		D2	0,80	0,80	40	23,04	32,00	18,43
26		D3	0,80	0,80	32	23,04	25,60	18,43
27		D4	0,80	0,80	24	23,04	19,20	18,43
28		D5	0,80	0,80	16	23,04	12,80	18,43
29		D6	0,80	0,80	8	23,04	6,40	18,43
30		D7	0,80	0,80	0	23,04	0,00	18,43
31		E1	0,80	0,80	48	30,72	38,40	24,58
32		E2	0,80	0,80	40	30,72	32,00	24,58
33		E3	0,80	0,80	32	30,72	25,60	24,58
34		E4	0,80	0,80	24	30,72	19,20	24,58
35		E5	0,80	0,80	16	30,72	12,80	24,58
36		E6	0,80	0,80	8	30,72	6,40	24,58
37		E7	0,80	0,80	0	30,72	0,00	24,58
38	F1	0,80	0,80	48	38,40	38,40	30,72	

39		F2	0,80	0,80	40	38,40	32,00	30,72
40		F3	0,80	0,80	32	38,40	25,60	30,72
41		F4	0,80	0,80	24	38,40	19,20	30,72
42		F5	0,80	0,80	16	38,40	12,80	30,72
43		F6	0,80	0,80	8	38,40	6,40	30,72
44		F7	0,80	0,80	0	38,40	0,00	30,72
45	K3 55/55	B-C 2-3	0,55	0,55	38,7	12,53	21,29	6,89
46		B-C 2-3	0,55	0,55	34,6	12,53	19,03	6,89
47		B-C 5-6	0,55	0,55	12,8	12,53	7,02	6,89
48		B-C 5-6	0,55	0,55	9,3	12,53	5,12	6,89
			36,90	36,90			884,90	689,58
Pusat Kekakuan							Xa	Ya
							(m)	(m)
							23,98	18,69

2. PUSAT KEKAKUAN LANTAI DENGAN KOLOM 65/65

No	Type	As	Dimensi Pelat		Jarak		(Lx).X	(Ly).Y	
			Ly	Lx	(X)	(Y)	(Kg.m)	(Kg.m)	
			(m)	(m)	(m)	(m)			
1	K2 65/65	A1	0,65	0,65	48	0	31,20	0,00	
2		A2	0,65	0,65	40	0	26,00	0,00	
3		A3	0,65	0,65	32	0	20,80	0,00	
4		A4	0,65	0,65	24	0	15,60	0,00	
5		A5	0,65	0,65	16	0	10,40	0,00	
6		A6	0,65	0,65	8	0	5,20	0,00	
7		A7	0,65	0,65	0	0	0,00	0,00	
8		B1	0,65	0,65	48	7,68	31,20	4,99	
9		B2	0,65	0,65	40	7,68	26,00	4,99	
10		B3	0,65	0,65	32	7,68	20,80	4,99	
11		B4	0,65	0,65	24	7,68	15,60	4,99	
12		B5	0,65	0,65	16	7,68	10,40	4,99	
13		B6	0,65	0,65	8	7,68	5,20	4,99	
14		B7	0,65	0,65	0	7,68	0,00	4,99	
15		C1	0,65	0,65	48	15,36	31,20	9,98	
16		C2	0,65	0,65	40	15,36	26,00	9,98	
17		K3 55/55	C2-3	0,55	0,55	34,6	15,36	19,03	8,45
18		K2 65/65	C3	0,65	0,65	32	15,36	20,80	9,98
19			C4	0,65	0,65	24	15,36	15,60	9,98
20			C5	0,65	0,65	16	15,36	10,40	9,98
21		K3 55/55	C5-6	0,55	0,55	12,8	15,36	7,02	8,45
22	K2 65/65	C6	0,65	0,65	8	15,36	5,20	9,98	
23		C7	0,65	0,65	0	15,36	0,00	9,98	
24		D1	0,65	0,65	48	23,04	31,20	14,98	
25		D2	0,65	0,65	40	23,04	26,00	14,98	

26		D3	0,65	0,65	32	23,04	20,80	14,98
27		D4	0,65	0,65	24	23,04	15,60	14,98
28		D5	0,65	0,65	16	23,04	10,40	14,98
29		D6	0,65	0,65	8	23,04	5,20	14,98
30		D7	0,65	0,65	0	23,04	0,00	14,98
31		E1	0,65	0,65	48	30,72	31,20	19,97
32		E2	0,65	0,65	40	30,72	26,00	19,97
33		E3	0,65	0,65	32	30,72	20,80	19,97
34		E4	0,65	0,65	24	30,72	15,60	19,97
35		E5	0,65	0,65	16	30,72	10,40	19,97
36		E6	0,65	0,65	8	30,72	5,20	19,97
37		E7	0,65	0,65	0	30,72	0,00	19,97
38		F1	0,65	0,65	48	38,40	31,20	24,96
39		F2	0,65	0,65	40	38,40	26,00	24,96
40		F3	0,65	0,65	32	38,40	20,80	24,96
41		F4	0,65	0,65	24	38,40	15,60	24,96
42		F5	0,65	0,65	16	38,40	10,40	24,96
43		F6	0,65	0,65	8	38,40	5,20	24,96
44		F7	0,65	0,65	0	38,40	0,00	24,96
45	K3 55/55	B-C 2-3	0,55	0,55	38,7	12,53	21,29	6,89
46		B-C 2-3	0,55	0,55	34,6	12,53	19,03	6,89
47		B-C 5-6	0,55	0,55	12,8	12,53	7,02	6,89
48		B-C 5-6	0,55	0,55	9,3	12,53	5,12	6,89
			30,60	30,60			733,70	568,62
Pusat Kekakuan							Xa	Ya
							(m)	(m)
							23,98	18,58

3. PUSAT KEKAKUAN LANTAI DENGAN KOLOM 65/65 (RUANG LIFT)

No	Type	As	Dimensi Pelat		Jarak		(Lx).X	(Ly).Y
			Ly	Lx	(X)	(Y)	(Kg.m)	(Kg.m)
			(m)	(m)	(m)	(m)		
1	K2 65/65	B2	0,65	0,65	40	7,68	26,00	4,99
2		B3	0,65	0,65	32	7,68	20,80	4,99
3		B5	0,65	0,65	16	7,68	10,40	4,99
4		B6	0,65	0,65	8	7,68	5,20	4,99
5		C2	0,65	0,65	40	15,36	26,00	9,98
6		C3	0,65	0,65	32	15,36	20,80	9,98
7		C5	0,65	0,65	16	15,36	10,40	9,98
8		C6	0,65	0,65	8	15,36	5,20	9,98
			5,20	5,20			124,80	59,90
Pusat Kekakuan							Xa	Ya
							(m)	(m)
							24,00	11,52