



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG  
SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN *BASE  
ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING  
(HDRB)* DAN PETA GEMPA TAHUN 2017**

DIANANDA ESKA PRATIWI  
NRP. 0311154000007

Dosen Pembimbing  
Harun Al Rasyid, ST., MT., PhD  
Data Iranata, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019





TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG  
SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN *BASE  
ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING  
(HDRB)* DAN PETA GEMPA TAHUN 2017**

DIANANDA ESKA PRATIWI  
NRP. 0311154000007

Dosen Pembimbing  
Harun Al Rasyid, ST., MT., PhD  
Data Iranata, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019





FINAL PROJECT (RC18-4803)

**DESIGN MODIFICATION OF SKYSUITES SOHO  
SURABAYA USING *BASE ISOLATOR* : *HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)* AND  
SEISMIC HAZARD MAP OF 2017**

DIANANDA ESKA PRATIWI  
NRP. 03111540000007

Academic Supervisor  
Harun Al Rasyid, ST., MT., PhD  
Data Iranata, ST., MT., PhD

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2019



## LEMBAR PENGESAHAN

### MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN *BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)* DAN PETA GEMPA TAHUN 2017

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIANANDA ESKA PRATIWI  
NRP. 0311154000007

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Harun Al Rasyid, ST., MT., Ph.D. 
2. Data Iranata, ST., MT., Ph.D. 



SURABAYA, JULI 2019





**MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG  
SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE  
ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
DAN PETA GEMPA TAHUN 2017**

**Nama Mahasiswa : Diananda Eska Prtiwi**  
**NRP : 0311154000007**  
**Departemen : Teknik Sipil FTSLK-ITS**  
**Dosen Konsultasi : 1. Harun Al Rasyid, ST., MT., PhD**  
**2. Data Iranata, ST., MT., Ph.D**

**Abstrak**

*Berdasarkan Peta Sumber Bahaya dan Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017, Kota Surabaya dilintasi oleh dua sesar (patahan) aktif yang berpotensi menyebabkan gempa bumi hingga 6,5 SR (Widodo,2017). Hal tersebut perlu dijadikan pertimbangan dalam merencanakan infrastruktur di Kota Surabaya sebagai tindakan mitigasi bencana. Salah satu perkembangan teknologi dalam perlindungan struktur terhadap gempa bumi adalah dengan menggunakan sistem isolasi dasar (base isolator). Base isolator merupakan sebuah sistem yang diletakkan di atas pondasi untuk memisahkan pondasi dengan struktur di atasnya sehingga ketika terjadi gempa getaran akan diterima pondasi dan diredam oleh base isolator terlebih dahulu sebelum diterima struktur utama. Sistem ini dapat diterapkan pada struktur baru maupun sebagai tambahan struktur yang sudah ada.*

*Gedung Skysuites Soho Surabaya merupakan objek perancangan yang berfungsi sebagai apartemen dengan 21 lantai akan dirancang ulang dengan menggunakan base isolator tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) dan Peta Gempa Tahun 2017. Perencanaan yang dilakukan meliputi perencanaan struktur sekunder, struktur primer, base isolator, dan pondasi.*

*Dari hasil perhitungan dan analisis, diperoleh dimensi tebal pelat sebesar 12cm, dimensi balok anak terbesar 30x40cm,*

*dimensi balok induk terbesar 40x60cm, dimensi kolom terbesar 90x90cm, base isolator HDRB dengan tipe produk HH060X6R yang memiliki diameter rubber 600mm, pondasi direncanakan dengan bored pile berdiameter 80cm dengan kedalaman 36m.*

***Kata kunci : gempa bumi, base isolator, isolasi seismik, elastomeric rubber bearing, high damping rubber bearing***

**DESIGN MODIFICATION OF SKYSUITES SOHO  
SURABAYA USING BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING  
RUBBER BEARING (HDRB) AND PETA GEMPA TAHUN  
2017**

**Student Name** : Diananda Eska Prtiwi  
**NRP** : 0311154000007  
**Major Departement** : Teknik Sipil FTSLK-ITS  
**Academic Supervisor** : 1. Harun Al Rasyid, ST., MT., PhD  
2. Data Iranata, ST., MT., Ph.D

**Abstract**

*Based on the Peta Sumber Bahaya dan Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017, Surabaya is crossed by two active faults which potentially causing earthquakes up to 6.5 SR (Widodo, 2017). This should be taken as consideration in planning infrastructure in Surabaya as a disaster mitigation action. One of the technological developments in protecting structures against earthquakes is to use a base isolator system. Base isolator is a system that is placed on a foundation to separate the foundation with the structure above it so that when an earthquake occurs, the vibration will be received by foundation and muted by the base isolator before received by the main structure. This system can be applied to new structures or in addition to existing structures.*

*Skysuites Soho Surabaya building is a design object as 21-storey apartment that will be redesigned using the High Damping Rubber Bearing (HDRB) type and Peta Gempa Tahun 2017. The design includes secondary structure, primary structure, base isolator, and foundation.*

*From the results of calculations and analysis, the dimensions of the plate are 12cm thick, the largest dimensions of the secondary beam is 30x40cm, the largest dimension of the main beam is 40x60cm, the largest dimension of column is 90x90cm, base HDRB isolators are HH060X6R which have 600mm rubber*

*diameter, bored pile foundation 80cm in diameter with 36 m depth.*

***Keywords : earthquake, base isolator, seismic isolation, elastomeric rubber bearing, high damping rubber bearing.***

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, serta hidayah yang telah dilimpahkan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Modifikasi Perancangan Gedung Skysuites Soho Surabaya dengan *Base Isolator : High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dan Peta Gempa Tahun 2017” ini dengan baik.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan maupun bantuan selama proses pengerjaan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Orang tua dan kakak saya yang telah memberikan dukungan serta doa selama masa perkuliahan ini,
2. Alm. Ibu Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen mata kuliah Teknik Penulisan Ilmiah yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan proposal tugas akhir,
3. Bapak Harun Al Rasyid, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing serta membagikan ilmunya dalam proses penyelesaian tugas akhir ini,
4. Bapak Data Iranata, ST., MT., Ph.D selaku dosen konsultasi yang telah membimbing serta membagikan ilmunya dalam proses penyelesaian tugas akhir ini,
5. Mega, Dinok, Ira, Rosa, Ayu, Zizah, Etak, dan Rima, yang telah menemani dan membantu disaat-saat genting, memberi tumpangan kos-kosan, serta menjadi teman makan dan jalan-jalan,
6. Wildan yang sering saya reportkan dan mintai bantuan sepanjang perkuliahan ini,
7. Teman-teman Teknik Sipil ITS S58 yang telah memberikan dukungan dan semangatnya.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis membutuhkan adanya saran maupun kritik yang

membangun terhadap tugas akhir ini sehingga dapat dilakukan perbaikan kedepannya.

Surabaya, 25 Juli 2019

(Penulis)

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Umum.....	7
2.1 Sistem Isolasi Seismik.....	7
2.1.1 Prinsip Isolasi Seismik .....	7
2.1.2 Jenis-Jenis Isolasi Seismik.....	8
2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).....	13
2.3 Struktur dengan Isolasi Seismik .....	14
2.3.1 Persyaratan Perencanaan Umum .....	14
2.3.2 Sistem Isolasi.....	15
2.3.3 Sistem Struktural .....	16
2.4 Sambungan Elastomeric Rubber Bearing.....	18

2.4.1 Perencanaan Sambungan .....	20
BAB III METODOLOGI.....	25
3.1 Diagram Alir Perencanaan.....	25
3.2 Data Perencanaan.....	27
3.3 Studi Literatur.....	28
3.4 Penentuan Kriteria Desain .....	28
3.5 Preliminary Design .....	32
3.5.1 Perencanaan Dimensi Kolom.....	32
3.5.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk.....	33
3.5.3 Perencanaan Dimensi Pelat.....	34
3.6 Perencanaan Struktur Sekunder .....	35
3.6.1 Perencanaan Dimensi Balok Anak.....	35
3.6.2 Perencanaan Dimensi Tangga.....	35
3.6.3 Perencanaan Dimensi Balok Lift .....	36
3.7 Pembebanan.....	36
3.7.1 Beban Mati.....	36
3.7.2 Beban Hidup .....	37
3.7.3 Beban Angin .....	37
3.7.4 Beban Gempa.....	38
3.7.5 Kombinasi Pembebanan .....	40
3.8 Perencanaan Base Isolator .....	41
3.9 Pemodelan Struktur dan Kontrol Desain .....	43
3.9.1 Kontrol Perioda Fundamental Struktur.....	43
3.9.2 Kontrol Simpangan Antarlantai .....	44
3.9.3 Batas Gaya Geser Struktur di Atas Sistem Isolasi, $V_s$ .....	45



3.9.4	Partisipasi Massa .....	45
3.10	Perencanaan Struktur Utama.....	45
3.10.1	Perencanaan Tulangan Kolom.....	45
3.10.2	Perencanaan Tulangan Lentur Balok.....	46
3.10.3	Perencanaan Tulangan Geser Balok .....	47
3.11	Perencanaan Pondasi.....	48
3.12	Penggambaran Hasil Perencanaan .....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		51
4.1	<i>Preliminary Design</i> .....	51
4.1.1	Data Perencanaan .....	51
4.1.2	Perencanaan Dimensi Balok.....	51
4.1.3	Perencanaan Dimensi Pelat .....	56
4.1.4	Perencanaan Dimensi Kolom .....	67
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder.....	78
4.2.1	Perencanaan Pelat Lantai dan Pelat Atap .....	78
4.2.2	Perencanaan Tangga.....	94
4.2.3	Perencanaan Balok Lift .....	101
4.2.4	Perencanaan Balok Anak.....	113
4.3	Pemodelan dan Analisis Struktur <i>Fixed Base</i> .....	142
4.3.1	Pemodelan Struktur <i>Fixed Base</i> .....	142
4.3.2	Pembebanan Struktur.....	143
4.3.3	Berat Struktur .....	151
4.3.4	Analisis Struktur <i>Fixed Base</i> .....	158
4.4	Pemodelan dan Analisis Struktur dengan <i>Base Isolator</i> : <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> .....	169

4.4.1 Preliminary Design High Damping Rubber Bearing (HDRB).....	170
4.4.2 Pembebanan Gempa .....	176
4.4.3 Pemodelan Struktur dengan <i>Base Isolator</i> .....	178
4.4.4 Analisis Struktur dengan <i>Base Isolator</i> .....	180
4.5 Perencanaan Struktur Utama .....	188
4.5.1 Perencanaan Balok Induk .....	188
4.5.2 Perencanaan Kolom.....	203
4.6 Perencanaan Pondasi .....	210
4.6.1 Perencanaan Pondasi Dalam.....	210
4.6.2 Penulangan Bored Pile.....	224
4.6.3 Perencanaan <i>Pilecap</i> .....	228
4.6.4 Perencanaan Balok <i>Sloof</i> .....	235
BAB V 241 KESIMPULAN DAN SARAN.....	241
5.1 Kesimpulan .....	241
5.2 Saran .....	247
DAFTAR PUSTAKA.....	249

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Perilaku Struktur dengan <i>Fixed Base</i> dan <i>Base Isolator</i> .....	8
Gambar 2.2 <i>Sliding System</i> .....	9
Gambar 2.3 <i>High Damping Rubber Bearing</i> .....	11
Gambar 2.4 <i>Lead Rubber Bearing</i> .....	11
Gambar 2.5 <i>Springs Isolation</i> .....	12
Gambar 2.6 <i>Rollers and Ball Bearing</i> .....	12
Gambar 2.7 <i>Rocking Isolation System</i> .....	13
Gambar 2.8 Pemasangan <i>Elastomeric Rubber Bearing</i> .....	19
Gambar 2.9 Sambungan <i>Base Isolator</i> pada Konstruksi Baru ....	19
Gambar 2.10 Sambungan <i>Base Isolator</i> pada Bangunan Eksisting .....	20
Gambar 2.11 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Bantalan dalam Kondisi Berdeformasi.....	21
Gambar 2.12 Gaya Kolom Ekuivalen .....	21
Gambar 2.13 Asumsi Distribusi Gaya Baut .....	22
Gambar 2.14 <i>Load Plate</i> Gambar 2.15 <i>Load Plate</i> Segi	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan.....	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Perencanaan (Lanjutan).....	26
Gambar 3.3 Lokasi Gedung Skysuites Soho .....	27
Gambar 3.4 Beban Pelat pada Balok Anak .....	35
Gambar 4.1 Denah Pembalokan .....	53
Gambar 4.2 Denah Tipe Pelat .....	58
Gambar 4.3 Pelat Tipe A.....	58

Gambar 4.4 Bagian pelat yang disertakan dengan balok.....	59
Gambar 4.5 Penampang BI 1 Tengah.....	60
Gambar 4.6 Pelat Tipe B .....	62
Gambar 4.7 Penampang BI 3 Tepi .....	63
Gambar 4.8 Pelat Tipe C .....	65
Gambar 4.9 Penampang BI 3 Tengah.....	66
Gambar 4.10 Kolom yang Ditinjau .....	68
Gambar 4. 11 Denah Pelat.....	79
Gambar 4. 12 Pelat Tipe B .....	80
Gambar 4. 13 Pelat Terjepit Penuh.....	81
Gambar 4. 14 Pelat Tipe C .....	88
Gambar 4. 15 Pelat Terjepit Penuh.....	89
Gambar 4. 16 Detail Tebal Pelat .....	95
Gambar 4.17 Denah Tangga.....	96
Gambar 4.18 Potongan A-A Tangga .....	96
Gambar 4.19 Pemodelan Tangga.....	98
Gambar 4.20 <i>Layout</i> Lift .....	102
Gambar 4.21 Potongan Lift .....	103
Gambar 4.22 Denah Lift.....	104
Gambar 4.23 Pembebanan pada Balok Lift.....	105
Gambar 4.24 Luas Tributari yang Diterima Balok Anak .....	114
Gambar 4.25 Luas Tributari BA 1 dan BA 2 .....	114
Gambar 4. 26 Luas Tributari BA 3.....	121
Gambar 4. 27 Luas Tributari BA 4.....	128

Gambar 4.28 Luas Tributari BA 5.....	135
Gambar 4. 29 Peta Percepatan Spektrum Respons $S_s$ .....	147
Gambar 4. 30 Peta Percepatan Spektrum Respons $S_1$ .....	148
Gambar 4.31 Grafik Respons Spektrum Surabaya.....	150
Gambar 4.32 Grafik Hubungan antara Ketinggian Tingkat dan Simpangan.....	166
Gambar 4. 33 Grafik Hubungan antara Ketinggian Tingkat dan Simpangan antar Lantai.....	166
Gambar 4. 34 Denah Pemasangan HDRB.....	170
Gambar 4. 35 Penampang HDRB Tipe HH060X6R.....	173
Gambar 4. 36 Respons Spektrum Struktur dengan <i>Base Isolator</i> .....	177
Gambar 4.37 Pemodelan Struktur dengan <i>Base Isolator</i> .....	178
Gambar 4.38 <i>Input Link/Support Property Data</i> .....	179
Gambar 4.39 <i>Input Link/Support Directional Properties</i> U1....	179
Gambar 4. 40 <i>Input Link/Support Directional Properties</i> U2 dan U3 .....	180
Gambar 4. 41 Perpindahan akibat Gempa Arah x.....	185
Gambar 4. 42 Perpindahan akibat Gempa Arah y.....	186
Gambar 4. 43 Simpangan Antarlantai akibat Gempa Arah x ....	187
Gambar 4. 44 Simpangan Antarlantai akibat Gempa Arah y ....	188
Gambar 4. 45 Diagram Interaksi Aksial dan Momen.....	206
Gambar 4. 46 Geser Desain Kolom untuk SRPMB .....	208
Gambar 4. 47 Denah Pondasi .....	211
Gambar 4. 48 Tipe 1.....	212

Gambar 4. 49 Tipe 2 .....	212
Gambar 4. 50 Tipe 3 .....	213
Gambar 4. 51 Hubungan Antara Kedalaman Dengan Daya Dukung Bored Pile Tunggal untuk Diameter 800mm .....	216
Gambar 4. 52 Hubungan antara $Q_u$ dengan Koefisien $f$ .....	222
Gambar 4. 53 Grafik Faktor Defleksi .....	223
Gambar 4. 54 Grafik Faktor Momen .....	224
Gambar 4. 55 Grafik Interaksi Aksial dan Momen pada pile ....	226
Gambar 4. 56 Bidang Kritis Geser Pons.....	229
Gambar 4. 57 Pembebanan <i>Pilecap</i> Arah x.....	231
Gambar 4. 58 Pembebanan <i>Pilecap</i> Arah y.....	233
Gambar 4. 59 Hasil SPCOLUM untuk <i>Sloof</i> .....	238

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Klasifikasi Situs.....	30
Tabel 3.2 Koefisien situs, $F_a$ .....	31
Tabel 3.3 Koefisien situs, $F_v$ .....	31
Tabel 3.4. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.....	32
Tabel 3.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik .....	32
Tabel 3.6. Beban Mati pada Struktur.....	37
Tabel 3.7. Beban Hidup pada Struktur .....	37
Tabel 3.8 Koefisien Redaman, $B_D$ atau $B_M$ .....	42
Tabel 3.9 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung .....	44
Tabel 3.10 Nilai parameter perioda pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	44
Tabel 4.1 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Balok Induk .....	54
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	56
Tabel 4.3 Dimensi serta Lebar Efektif Balok.....	59
Tabel 4. 4 Momen Inersia Balok .....	61
Tabel 4.5 Dimensi serta Lebar Efektif Balok.....	62
Tabel 4. 6 Momen Inersia Balok .....	63
Tabel 4.7 Dimensi serta Lebar Efektif Balok.....	65
Tabel 4. 8 Momen Inersia Balok .....	66
Tabel 4.9 Beban pada Kolom Lantai Atap – Lantai 18.....	71
Tabel 4.10 Beban pada Kolom Lantai 17 – Lantai 14.....	72
Tabel 4.11 Beban pada Kolom Lantai 13 – Lantai 10.....	74

Tabel 4.12 Beban pada Kolom Lantai 9 – Lantai 6.....	75
Tabel 4.13 Beban pada Lantai 5 – Lantai 1 .....	77
Tabel 4.14 Rekapitulasi Dimensi Kolom .....	78
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai dan Pelat Atap .....	94
Tabel 4. 16 Pembebanan Tangga.....	97
Tabel 4. 17 Pembebanan Bordes .....	97
Tabel 4.18 Pembebanan Balok Lift .....	105
Tabel 4. 19 Pembebanan Balok Penumpu .....	111
Tabel 4.20 Dimensi Balok Anak .....	113
Tabel 4. 21 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak .....	142
Tabel 4.22 Beban Mati .....	143
Tabel 4. 23 Beban Mati Tambahan .....	145
Tabel 4.24 Data NSPT.....	146
Tabel 4.25 Nilai T dan $S_a$ .....	149
Tabel 4. 26 Berat Lantai Atap .....	152
Tabel 4. 27 Berat Lantai 21-Lantai 18.....	153
Tabel 4. 28 Berat Lantai 17-Lantai 14.....	154
Tabel 4. 29 Berat Lantai 13-Lantai 10.....	155
Tabel 4. 30 Berat Lantai 9-Lantai 6.....	156
Tabel 4. 31 Berat Lantai 5-Lantai 2.....	157
Tabel 4. 32 Berat Lantai 1 (Ruang Pemeliharaan) .....	158
Tabel 4.33 Partisipasi Massa .....	160
Tabel 4.34 <i>Output Base Reaction</i> .....	162



Tabel 4. 35 Kontrol Simpangan Antar Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah x .....	164
Tabel 4.36 Kontrol Simpangan Antar Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah y .....	165
Tabel 4. 37 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Arah x .....	168
Tabel 4. 38 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Arah y .....	169
Tabel 4.39 Spesifikasi Produk HDRB Tipe HH060X6R .....	173
Tabel 4. 40 Faktor $B_D$ dan $B_M$ .....	174
Tabel 4. 41 Partisipasi Massa .....	181
Tabel 4. 42 <i>Output Base Reaction</i> .....	181
Tabel 4. 43 Perpindahan dan Simpangan antarlantai akibat Gempa Arah x .....	182
Tabel 4. 44 Perpindahan dan Simpangan antarlantai akibat Gempa Arah y .....	183
Tabel 4. 45 Perbandingan Gaya Geser Dasar .....	184
Tabel 4. 46 Perbandingan Perpindahan akibat Beban Gempa... ..	185
Tabel 4. 47 Perbandingan Simpangan Antarlantai .....	187
Tabel 4. 48 Gaya Dalam Balok Induk BI 1 .....	189
Tabel 4. 49 Tulangan Longitudinal Terpasang.....	201
Tabel 4. 50 Penulangan Balok Induk .....	202
Tabel 4. 51 Dimensi Kolom .....	203
Tabel 4. 52 Gaya Dalam Kolom K1 .....	205
Tabel 4. 53 Rekapitulasi Tulangan Kolom.....	210
Tabel 4. 54 Hasil Pembebanan Pondasi Tipe 1 .....	218
Tabel 4. 55 Rekapitulasi Kontrol Beban Maksimum .....	220

Tabel 4. 56 Beban yang Terjadi.....	228
Tabel 4. 57 Tipe 1.....	235
Tabel 4. 58 Tipe 2.....	235
Tabel 4. 59 Tipe 3.....	235

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Secara geografis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Kondisi ini menyebabkan aktivitas tektonik di kawasan Indonesia cukup tinggi karena zona atau wilayah yang berada diantara pertemuan lempeng umumnya banyak terdapat patahan aktif dan sering terjadi gempa bumi. Di Kota Surabaya khususnya, berdasarkan Peta Sumber Bahaya dan Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017 yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang merupakan pembaruan dari peta gempa tahun 2010, secara geografis Kota Surabaya dilintasi oleh dua sesar (patahan) aktif. Sesar pertama yaitu sesar Surabaya yang patahannya mulai dari kawasan Keputih hingga Cerme, sesar kedua disebut sesar Waru yang patahannya mulai dari Rungkut hingga Jombang yang mana ketika terjadi gempa, skalanya bisa mencapai 6,5 skala richter (Widodo, 2017).

Adanya patahan aktif yang berpotensi menimbulkan gempa ini perlu dijadikan sebagai pertimbangan dalam perancangan infrastruktur di wilayah Kota Surabaya, karena gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihindari serta diprediksi kapan waktu terjadinya, serta dapat menimbulkan kerugian material maupun korban jiwa. Banyaknya manusia yang menjadi korban jiwa akibat bencana gempa bumi bukan disebabkan karena adanya gempa bumi tersebut, namun karena banyaknya struktur yang runtuh karena tidak mampu menahan gaya gempa yang terjadi yang akhirnya menimpa manusia yang berada di dalam maupun di sekitar struktur tersebut. Menurut Teruna (2005), kegagalan struktur akibat gempa bumi dapat dicegah dengan cara memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Namun, kerusakan elemen baik struktural maupun

nonstruktural tetap terjadi akibat adanya *interstory drift* (perbedaan simpangan antartingkat). Sedangkan memperkecil *interstory drift* dengan cara memperkaku bangunan dalam arah lateral akan memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Cara yang lebih baik adalah dengan meredam energi gempa sampai pada tingkat yang tidak membahayakan bangunan (Teruna, 2005).

Saat ini ada banyak metode-metode yang diterapkan dalam perencanaan struktur tahan gempa salah satunya adalah dengan menggunakan isolasi seismik pada bangunan (*seismic isolation base for buildings*). Isolasi seismik adalah suatu desain struktur bangunan yang dilakukan dengan memasang jenis isolator tertentu pada dasar bangunan (*base isolator*) dengan tujuan meredam atau mereduksi gaya lateral yang diterima oleh struktur bangunan tersebut saat terjadi gempa, sehingga hanya sebagian kecil gaya gempa yang akan dipikul oleh komponen struktur bangunan tersebut. Jika struktur dengan *base isolator* dibandingkan dengan struktur tanpa *base isolator*, maka struktur dengan *base isolator* akan memiliki periode struktur yang lebih besar dan gaya geser yang lebih kecil, yang artinya kerusakan pada bangunan dapat dikurangi (Siagian dkk, 2017). Ada berbagai jenis *base isolator* yang dapat diterapkan pada suatu struktur, antara lain *springs*, *sliding systems*, *rollers and ball bearing*, dan *elastomeric rubber bearings*. *Elastomeric rubber bearings* merupakan *base isolator* berbahan karet yang dibagi lagi menjadi 2 tipe, yaitu *Lead Rubber Bearing* (LRB) dan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Diantara jenis-jenis *base isolator* yang ada, *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) merupakan metode isolasi seismik yang paling sederhana, paling efektif biayanya, dan relatif mudah untuk diproduksi dibandingkan dengan *Lead Rubber Bearing* (LRB) (Malek dan Basir, 2001). Keunggulan lainnya dari *seismic isolation* tipe HDRB adalah transisi kekakuan dari linear ke nonlinear lebih halus jika dibandingkan dengan tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB). Hal

ini penting karena penurunan kekakuan secara tajam dapat menyebabkan efek vibrasi yang lebih besar dan merusak peralatan yang sensitif terhadap vibrasi. *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) terbuat dari bantalan karet alam dengan laminasi pelat baja, karet berfungsi untuk mengurangi getaran gempa dan memberikan fleksibilitas ke arah horizontal sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak secara lateral pada saat keadaan gempa, sedangkan lempengan baja yang terdapat pada lapisan berfungsi untuk menambah kekakuan vertikal bantalan karet sehingga defleksi dan deformasi bangunan saat bertumpu diatas bantalan karet tidak besar (Andrian, 2017).

Objek perancangan dari tugas akhir ini adalah gedung Skysuites Soho yang berlokasi di Jalan Kedung Baruk No.26, Surabaya. Gedung tersebut merupakan bangunan 21 lantai yang difungsikan sebagai apartemen. Modifikasi yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah merancang ulang gedung tersebut dengan menggunakan *base isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dan berdasarkan peta gempa tahun 2017.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan utama pada penulisan Tugas Akhir ini adalah bagaimana merencanakan struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing*. Berikut adalah rincian dari permasalahan tersebut :

1. Bagaimana merencanakan *preliminary design*, struktur primer, dan struktur sekunder pada gedung tersebut?
2. Bagaimana perhitungan pembebanan gravitasi dan gempa berdasarkan peta gempa tahun 2017 pada perencanaan gedung tersebut?
3. Bagaimana merencanakan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) ?
4. Bagaimana merencanakan pondasi sesuai dengan pembebanan struktur?

5. Bagaimana menjelaskan hasil akhir perencanaan dalam gambar teknik?

### 1.3 Tujuan

Tujuan secara umum dari penulisan Tugas Akhir ini adalah dapat merencanakan struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing*. Tujuan secara rinci dari perencanaan struktur gedung ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat merencanakan *preliminary design*, struktur primer, dan struktur sekunder.
2. Dapat menghitung pembebanan gravitasi dan gempa berdasarkan peta gempa tahun 2017.
3. Dapat merencanakan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*.
4. Dapat merencanakan pondasi sesuai dengan pembebanan struktur.
5. Dapat menjelaskan hasil akhir perencanaan dalam gambar teknik.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, permasalahan akan dibatasi dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. *Base Isolator* yang digunakan adalah tipe *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*.
2. Perencanaan tidak meliputi instalasi *mechanical electrical* dan *plumbing*.
3. Perencanaan tidak meliputi perhitungan rencana anggaran biaya.
4. Tidak merencanakan metode pelaksanaan di lapangan.
5. Tidak merencanakan *basement*.

### 1.5 Manfaat

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pertimbangan perencanaan bangunan tahan gempa dengan menggunakan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* oleh instansi terkait.
2. Menambah ilmu dan wawasan bagi penulis mengenai perencanaan bangunan dengan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Salah satu upaya dalam perlindungan struktur di wilayah-wilayah dengan risiko gempa tinggi adalah dengan menerapkan sistem isolasi seismik atau isolasi dasar (*base isolator*). Isolasi seismik merupakan sebuah sistem yang diletakkan di atas pondasi untuk memisahkan pondasi dengan struktur di atasnya sehingga ketika terjadi gempa getaran akan diterima oleh pondasi dan *base isolator* terlebih dahulu sebelum diterima struktur utama. Berbagai macam isolasi seismik yang ada saat ini merupakan hasil pengembangan dari *elastomeric bearings* yang sebelumnya telah banyak digunakan pada konstruksi jembatan.

Adanya *base isolator* akan mengurangi pengaruh getaran gempa yang diterima oleh struktur dengan cara mereduksi percepatan seismik pada setiap lantai dan simpangan antarlantai (Farissi, 2013). Sistem ini dapat diterapkan pada struktur baru maupun sebagai tambahan struktur yang sudah ada.

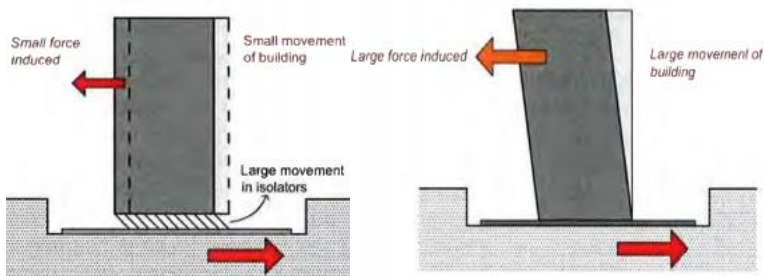
#### **2.1 Sistem Isolasi Seismik**

##### **2.1.1 Prinsip Isolasi Seismik**

Saat ini *base isolator* menjadi salah satu teknologi antigempa yang banyak diterapkan di berbagai negara rawan gempa untuk melindungi bangunan-bangunan penting, maupun mengurangi kerusakan struktur dan nonstruktural pasca gempa. Penjelasan konsep *base isolation system* menurut Kelly (2001) adalah struktur akan diisolasi atau dipisahkan dari pergerakan horizontal tanah saat gempa berlangsung menggunakan suatu bahan isolator yang berada diantara struktur atas dan pondasi dengan kekakuan dalam arah horizontal relatif kecil antara struktur atas dan pondasinya. Bangunan dengan sistem ini mempunyai frekuensi yang jauh lebih kecil dari bangunan konvensional dan frekuensi dominan dari gerakan tanah. Akibatnya percepatan gempa yang bekerja pada bangunan

menjadi lebih kecil. Ragam getar pertama bangunan hanya menimbulkan deformasi lateral pada sistem isolator, sedangkan bagian atas akan berperilaku sebagai *rigid body motion*. Ragam-ragam getar yang lebih tinggi yang menimbulkan deformasi pada struktur adalah orthogonal terhadap ragam pertama dan gerakan tanah sehingga ragam-ragam getar ini tidak ikut berpartisipasi didalam respons struktur, atau dengan kata lain energi gempa tidak disalurkan ke struktur bangunan.

Dengan digunakannya *base isolator* juga akan memberikan fleksibilitas lateral yang membantu mengurangi gaya gempa dengan mengubah perioda alami struktur untuk menghindari resonansi dengan frekuensi utama yang terkandung pada gempa yang terjadi. Selain itu, sistem isolasi dasar juga memberikan tambahan redaman pada struktur yang akan mengabsorbsi energi gempa pada saat terjadinya pergerakan pada sistem isolasi (Budiono dan Setiawan, 2014). Gambar 2.1 menunjukkan perbandingan perilaku struktur dengan pondasi *fixed base* dan *base isolator* pada saat terjadi gempa.



Gambar 2.1 Perbandingan Perilaku Struktur dengan *Fixed Base* dan *Base Isolator*

Sumber : (Buchanan dkk, 2011)

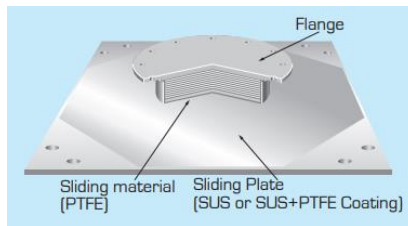
### 2.1.2 Jenis-Jenis Isolasi Seismik

Banyak jenis isolasi seismik yang telah diusulkan dan dikembangkan, menurut Kelly (2001), dalam buku *Base Isolation*

of Structures : Design Guidelines, terdapat enam jenis *base isolator*, yaitu :

### 2.1.2.1 Sliding System

*Sliding system* (Gambar 2.2) terbuat dari lapisan baja dengan koefisien gesek yang telah ditentukan untuk membatasi percepatan seismik sehingga gaya gempa yang diteruskan akan dibatasi. *Sliding system* yang murni akan memiliki perpindahan tak terbatas, dengan batas atas sama dengan perpindahan maksimum tanah untuk koefisien gesek mendekati nol. Sistem ini tidak menyediakan gaya *restoring* dan memungkinkan struktur yang terisolasi tidak berakhir di posisi semula setelah gempa bumi dan dapat terus berpindah apabila terjadi gempa susulan. Kurangnya gaya *restoring* dapat diatasi dengan menggabungkan *sliding system* dengan isolator tipe lain yang memiliki gaya *restoring*.



Gambar 2.2 *Sliding System*

Sumber : Bridgestone Seismic Isolation Product

### 2.1.2.2 Elastomeric Rubber Bearings

*Elastomeric rubber bearings* (Gambar 2.3) terbuat dari lapisan-lapisan tipis karet yang merekat antara pelat baja sebagai satu kesatuan dengan cara vulkanisir. Pelat baja mencegah lapisan-lapisan karet menggelembung, dengan demikian *elastomeric bearings* tersebut mampu menahan beban vertikal yang besar dengan hanya mengalami deformasi yang kecil. Karet yang digunakan untuk *elastomeric bearing* ini dapat berupa karet alam atau pun karet sintetis (neoprene).

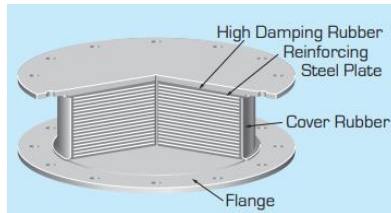
*Elastomeric rubber bearing* menghasilkan kekakuan ke arah vertikal dan fleksibilitas ke arah horizontal. Kekakuan vertikal dari *base isolator* akan menahan beban vertikal dari struktur atas, sedangkan fleksibilitas dalam arah horizontal akan mengurangi energi dari getaran gempa yang terjadi sehingga deformasi pada struktur atas menjadi kecil.

Macam-macam *base isolator* dengan bantalan karet yang banyak digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* dan *Laminated Rubber Lead Containing Bearing* seperti yang dijelaskan sebagai berikut ini :

### **2.1.2.3 High Damping Rubber Bearing (HDRB)**

HDRB (Gambar 2.3) adalah bahan antiseismik yang dikembangkan dari karet alam yang mempunyai kekakuan horizontal yang relatif kecil dan dicampur dengan *extrafine carbon black, oil* atau resin, serta bahan isian lain sehingga meningkatkan damping antara 10% sampai 20% pada *shear strain* 100% (Teruna, 2005). Jenis isolasi seismik ini umumnya tidak membutuhkan *damping device* tambahan.

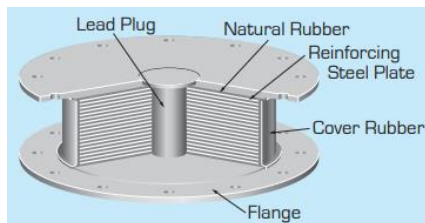
*High damping rubber bearing* memiliki nilai kekakuan awal yang tinggi sehingga mampu mengakomodasi gaya angin dan gempa ringan tanpa berdeformasi secara signifikan. Dengan meningkatnya eksitasi gempa maka deformasi lateral akan meningkat dan modulus geser dari *rubber* akan menurun dan menghasilkan sistem isolasi dasar yang efektif (cukup fleksibel untuk memperpanjang periode struktur). Pada nilai regangan geser 250% hingga 300%, kekakuan horizontal akan meningkat kembali akibat pengaruh *hardening effects*. Pengaruh ini berfungsi sebagai “sekring” untuk membatasi deformasi yang melebihi batas gempa maksimum yang direncanakan (Budiono dan Setiawan, 2014).



Gambar 2.3 *High Damping Rubber Bearing*  
 Sumber : *Bridgestone Seismic Isolation Product*

#### 2.1.2.4 Lead Rubber Bearing (LRB)

Pada *base isolator* jenis ini terdapat timah hitam (lead) yang dipasang pada sumbu bantalan karet. Dibagian atas dan bawah diberi lempengan plat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa. Contoh LRB dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Lead Rubber Bearing*  
 Sumber : *Bridgestone Seismic Isolation Product*

#### 2.1.2.5 Springs

*Springs* (pegas) tidak banyak digunakan untuk isolasi bangunan, *spring* lebih banyak diterapkan pada isolasi mesin. *Springs* memiliki kelemahan karena bersifat fleksibel pada kedua arah (vertikal dan horizontal). Adanya fleksibilitas dalam arah vertikal akan memungkinkan terjadinya *pitching*. *Springs* sendiri memiliki redaman yang kecil dan akan bergerak terlalu sering saat menerima beban layan. Contoh *springs* dapat dilihat pada Gambar 2.5.

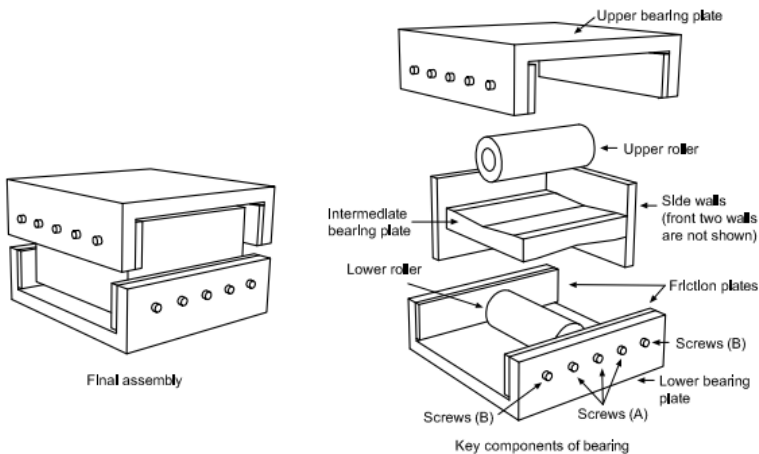


Gambar 2.5 *Springs Isolation*

Sumber : EATON Seismic Engineering Services and Products

### 2.1.2.6 Rollers and Ball Bearing

*Rollers and ball bearing* (Gambar 2.5) terdiri dari rol silindris dan bantalan. Seperti *springs*, *rollers and ball bearing* sebagian besar diterapkan untuk mesin. Ketahanan terhadap pergerakan gempa saat menerima beban kerja dan kemampuan dalam menghasilkan redaman tergantung pada bahan dari rol atau bantalan bola.

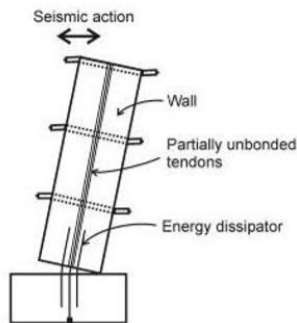


Gambar 2.6 *Rollers and Ball Bearing*

Sumber : (Lee dkk, 2010)

### 2.1.2.7 Rocking Isolation System

Sistem *rocking isolation* adalah sebuah kasus yang khusus dari disipasi energi, yaitu dengan mengizinkan translasi arah lateral. Sistem ini diterapkan pada struktur langsing dengan prinsip dasarnya adalah dengan adanya ayunan struktur, periode dari respon struktur akan meningkat dengan meningkatkan amplitudo ayunan. Hal ini menyebabkan *period shift effect*. Kemampuan memikul beban layan disediakan oleh berat dari struktur. Baut maupun kantilever baja dapat ditambahkan untuk menghasilkan redaman.



Gambar 2.7 *Rocking Isolation System*

Sumber : (Buchanan dkk, 2011)

## 2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3 berdasarkan nilai koefisien modifikasi responsnya ( $R$ ), antara lain SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Pada struktur yang

menerapkan isolasi seismik dirancang menggunakan SRPMB. Karena menurut Budiono dan Setiawan (2014), kekangan khusus dan menengah tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons dan kerusakan struktur yang sudah dilengkapi dengan sistem isolasi dasar yang cenderung memiliki perilaku struktur atas yang mendekati elastik. Berdasarkan pertimbangan ini maka detailing elemen untuk struktur yang berada di atas sistem isolasi dasar dapat dikurangi. Sistem rangka pemikul momen biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan *strong column weak beam* yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi.

### **2.3 Struktur dengan Isolasi Seismik**

Perencanaan struktur gedung dengan isolasi Seismik harus dirancang sesuai dengan persyaratan dan ketentuan yang ada dalam SNI 1726:2012 Pasal 12 tentang Struktur dengan Isolasi Dasar.

#### **2.3.1 Persyaratan Perencanaan Umum**

##### **2.3.1.1 Faktor Keutamaan Gempa**

Faktor keutamaan gempa suatu struktur harus dirancang dengan kategori risiko sesuai Tabel 2 SNI 1726:2012 berdasarkan fungsi dari struktur tersebut. Untuk struktur yang menggunakan *base isolator*, nilai faktor keutamaan gempa ( $I_c$ ) diambil sebesar 1,0 tanpa membedakan kategori risiko yang diterapkan.

##### **2.3.1.2 Parameter percepatan respons spektral $MCE_R$ , $S_{MS}$ , dan $S_{MI}$**

Parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$ ,  $S_{MS}$ , dan  $S_{MI}$  ditentukan berdasarkan SI 1726:2012 Pasal 6.2. Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada



getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan pada getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ) yang terdapat pada Tabel 4 dan Tabel 5 SNI 1726:2012. Kemudian parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) harus ditentukan dengan perumusan (5) dan perumusan (6) SNI 1726:2012.

## **2.3.2 Sistem Isolasi**

### **2.3.2.1 Batasan Simpangan Antar Lantai**

Batasan simpangan antar lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi ditentukan dalam SNI 1726:2012 pasal 12.5.6 untuk tidak boleh melebihi  $0,015h_{sx}$ . Simpangan antarlantai harus dihitung berdasarkan persamaan 34 (SNI 1726:2012) dengan faktor  $C_d$  dari sistem isolasi sama dengan faktor  $R_1$  yang ditentukan pasal 12.5.4.2 SNI 1726:2012.

### **2.3.2.2 Kondisi Lingkungan dan Ketahanan Kebakaran**

Dalam pasal 12.2.4.1 dan 12.2.4.3 SNI 1726:2012 struktur dengan isolasi dasar harus memperhitungkan kondisi lingkungan seperti pengaruh usia, rangkai, *fatigue*, suhu operasional, pengaruh dari kelembaban atau bahan-bahan lain yang merusak, serta ketahanan sistem isolasi terhadap kebakaran yang harus sesuai dengan syarat untuk kolom-kolom, dinding-dinding, dan elemen-elemen penahan beban gravitasi lainnya di daerah yang sama pada struktur.

### **2.3.2.3 Pengekangan Perpindahan**

Persyaratan mengenai pengekangan perpindahan pada sistem isolasi terdapat pada pasal 12.2.4.5 SNI 1726:2012 bahwa sistem isolasi tidak boleh dikonfigurasi untuk mencakup suatu pengekangan perpindahan yang membatasi perpindahan lateral akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan yang lebih kecil daripada perpindahan maksimum total, kecuali jika struktur dengan isolasi seismik direncanakan sesuai dengan kriteria berikut ini, yang lebih ketat daripada persyaratan di pasal 12.2 SNI 1726:2012 :

1. Respons gempa maksimum yang dipertimbangkan dihitung menurut persyaratan analisis dinamik dalam pasal 12.6 SNI 1726:2012, secara khusus mempertimbangkan karakteristik-karakteristik nonlinier dari sistem isolasi dan struktur di atas sistem isolasi;
2. Kapasitas ultimit sistem isolasi dan elemen-elemen struktural yang berada di bawah sistem isolasi harus melampaui kebutuhan kekuatan dan perpindahan dari gempa maksimum yang dipertimbangkan;
3. Struktur di atas sistem isolasi ditinjau stabilitas dan kebutuhan daktilitas dari gempa maksimum yang dipertimbangkan;
4. Pengekangan perpindahan menjadi tidak efektif pada suatu perpindahan yang lebih kecil dari 0,75 kali perpindahan rencana total, kecuali jika dapat dibuktikan dengan analisis bahwa pemasangan sebelumnya menghasilkan kinerja yang memuaskan.

#### **2.3.2.4 Stabilitas Beban Vertikal**

Setiap elemen sistem isolasi harus direncanakan agar stabil akibat beban vertikal rencana yang mengalami suatu perpindahan horisontal sama dengan perpindahan maksimum total sesuai dengan pasal 12.2.4.6 SNI 1726:2012. Beban vertikal rencana harus dihitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan 5 dari pasal 4.2.2 SNI 1726:2012 untuk beban vertikal maksimum dan kombinasi pembebanan 7 dari pasal 7.4.2.3 SNI 1726:2012 untuk beban vertikal minimum, di mana  $S_{DS}$  dalam persamaan ini diganti dengan  $S_{MS}$ . Beban vertikal yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horisontal ( $Q_E$ ), harus didasarkan pada respons puncak akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan.

#### **2.3.3 Sistem Struktural**

##### **2.3.3.1 Distribusi Gaya Horisontal**

Suatu diafragma horisontal atau elemen-elemen struktural lainnya harus memberikan kontinuitas di atas pemisahan isolasi dan harus mempunyai kekuatan dan daktilitas yang cukup untuk

meneruskan gaya-gaya (akibat gerak tanah yang tidak seragam) dari satu bagian struktur ke bagian lainnya (Pasal 12.2.5.1 SNI 1726:2012).

### **2.3.3.2 Pemisahan Bangunan**

Jarak pemisahan minimum antara struktur dengan isolasi seismik dengan dinding penahan di sekeliling bangunan atau penghalang tetap lainnya tidak boleh kurang dari perpindahan maksimum total (Pasal 12.2.5.1 SNI 1726:2012).

### **2.3.3.3 Elemen-Elemen Struktural dan Nonstruktural**

Bagian-bagian dari suatu struktur dengan isolasi, komponen-komponen nonstruktural yang permanen dan bagian yang tersambung dengannya, dan penyambung peralatan permanen yang ditumpu oleh suatu struktur, harus direncanakan untuk menahan gaya-gaya dan perpindahan-perpindahan seismik seperti yang ditentukan dalam bagian ini dan persyaratan-persyaratan yang ada dalam pasal 9 SNI 1726:2012.

### **2.3.3.4 Komponen-Komponen di Batas atau di Atas Pemisah Isolasi**

Berdasarkan pasal 12.2.6.1 SNI 1726:2012 elemen-elemen suatu struktur yang menggunakan sistem isolasi dan komponen nonstruktural, atau bagiannya yang berada di batas atau di atas pemisah isolasi harus direncanakan untuk menahan gaya lateral seismik total setara dengan respons dinamik maksimum dari elemen atau komponen yang ditinjau. Dengan pengecualian : elemen-elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang direncanakan untuk menahan gaya dan perpindahan seperti disyaratkan di pasal 7 atau pasal 9 SNI 1726:2012.

### **2.3.3.5 Komponen-komponen yang melintasi batas pemisah isolasi**

Elemen-elemen stuktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang melintasi batas pemisah isolasi harus direncanakan untuk dapat

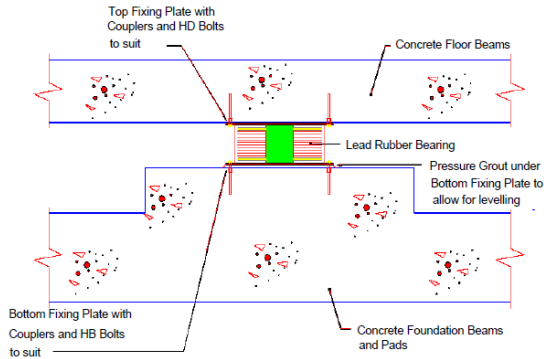
menahan perpindahan maksimum total (pasal 12.2.6.2 SNI 1726:2012).

#### **2.3.3.6 Komponen-komponen di bawah pemisah isolasi**

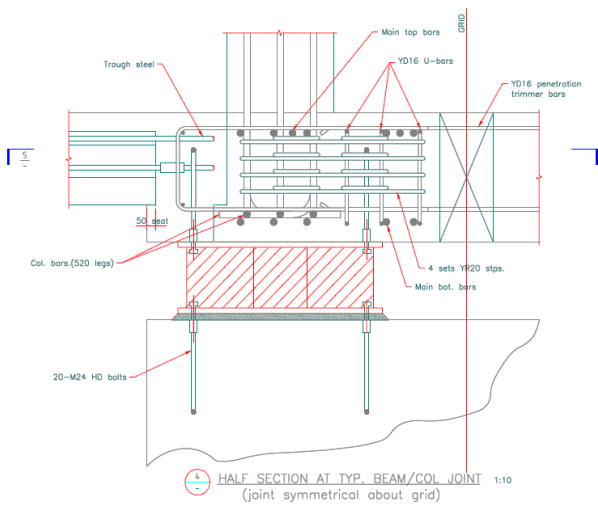
Elemen-elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang terletak di bawah pemisah isolasi harus direncanakan dan dibangun menurut persyaratan-persyaratan pasal 7.1 dan pasal 9 (pasal 12.2.6.3 SNI 1726:2012).

#### **2.4 Sambungan Elastomeric Rubber Bearing**

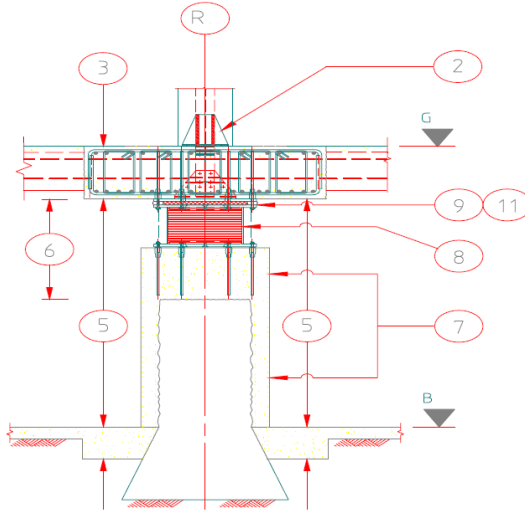
Sebelum meningkatnya teknologi industri, dalam menghubungkan antara *elastomeric rubber bearing* dengan pondasi dan struktur atas digunakan pelat beban (*load plate*) yang dibautkan pada pelat baja yang melekat pada bantalan. Untuk saat ini sudah banyak diproduksi *elastomeric rubber bearing* dengan *flange plates* atau *load plates* yang terikat dibagian atas dan bawah bantalan. Pelat tersebut memiliki ukuran yang lebih besar daripada penampang bantalan serta dapat berbentuk segi empat maupun lingkaran sesuai dengan perencanaan. Posisi baut harus diletakkan jauh dari bantalan agar tidak merusak lapisan karet saat terjadi simpangan maksimum akibat gempa. Gambar pemasangan isolator diantara pondasi dan struktur dapat dilihat pada Gambar 2.8. Contoh pemasangan *base isolator* pada konstruksi bangunan baru dan kolom pada bangunan eksisting ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.



Gambar 2.8 Pemasangan *Elastomeric Rubber Bearing*  
 Sumber : (Kelly, 2001)



Gambar 2.9 Sambungan *Base Isolator* pada Konstruksi Baru  
 Sumber : (Kelly, 2001)



Gambar 2.10 Sambungan *Base Isolator* pada Bangunan Eksisting  
Sumber : (Kelly, 2001)

### 2.4.1 Perencanaan Sambungan

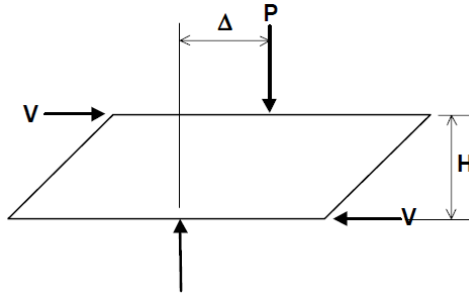
Dasar perencanaan sambungan menurut Kelly (2001) adalah sambungan dari isolasi seismik pada suatu struktur harus mampu mentransfer gaya geser, beban vertikal, dan momen lentur. Momen lentur terdiri dari momen primer (VH) dan momen sekunder akibat efek P-delta. Bantalan tersebut dibuat pada struktur atas dan bawah yang berfungsi sebagai ujung kolom yang menerima momen rencana.

Sambungan dirancang untuk dua kondisi, pertama saat kondisi beban lateral maksimum dan kedua, saat kondisi beban lateral minimum, keduanya searah dengan simpangan akibat gempa maksimum dan gaya geser. Gambar 2.9 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada bantalan. Gambar 2.10 menunjukkan bagaimana aksi-aksi itu bisa dihitung sebagai satu kolom ekuivalen pada sumbu pusat bantalan.

Total momen akibat gaya geser yang bekerja, VH, ditambah eksentrisitas,  $P\Delta$ , ditahan oleh momen yang sama pada

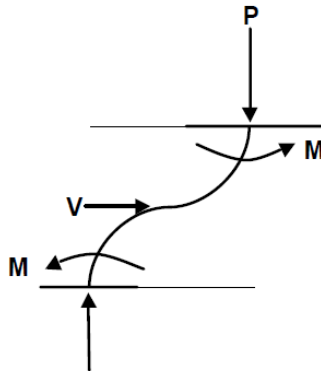
bagian atas dan bawah dari isolator. Momen rencana dapat dihitung dengan persamaan :

$$M = \frac{1}{2} (VH + P\Delta) \quad (2-1)$$



Gambar 2.11 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Bantalan dalam Kondisi Berdeformasi

Sumber : (Kelly, 2001)



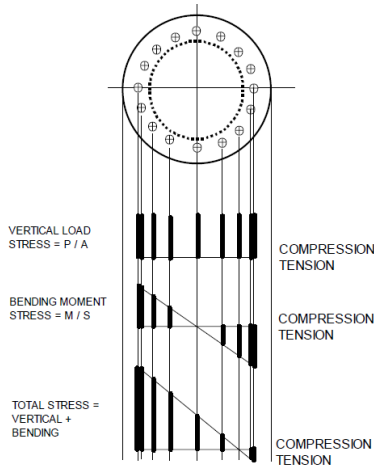
Gambar 2.12 Gaya Kolom Ekuivalen

Sumber : (Kelly, 2001)

#### 2.4.1.1 Desain Baut

Prosedur pemasangan pelat penghubung baut menurut Kelly (2001) didasarkan pada kondisi yang disederhanakan seperti ditunjukkan Gambar 2.11, di mana beban aksial dan momen di tahan oleh kelompok baut. Pada Gambar 2.11, luasan

yang digunakan untuk menghitung  $P/A$  adalah luas total seluruh baut dan *section modulus* yang digunakan untuk menghitung  $M/S$  adalah *section modulus* dari semua baut. Gambar 2.11 Merupakan *load plate* lingkaran, pendekatan yang serupa dapat digunakan untuk mendesain bentuk-bentuk yang lain.



Gambar 2.13 Asumsi Distribusi Gaya Baut

Sumber : Kelly, 2001

Prosedur untuk desain baut (Kelly, 2001) adalah sebagai berikut :

1. Hitung gaya geser tiap baut ( $V/n$ ), di mana  $n$  adalah jumlah baut.
2. Hitung beban aksial tiap baut ( $P/A$ ).
3. Hitung tegangan tarik tiap baut akibat momen ( $M/S$ ), dimana  $S$  adalah *section modulus* kelompok baut.
4. Hitung tegangan tarik netto per baut ( $P/A - M/S$ )
5. Periksa baut untuk kombinasi tegangan geser ditambah tegangan tarik.

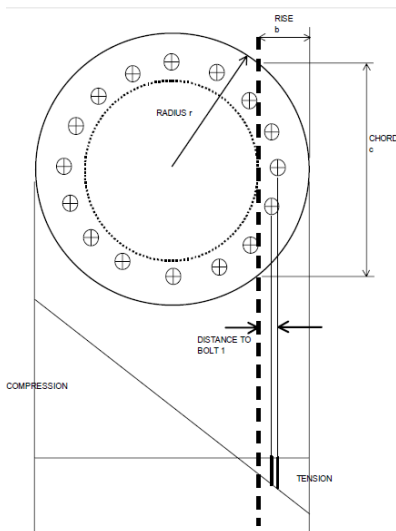
Prosedur ini digunakan untuk beban lateral maksimum dan minimum.



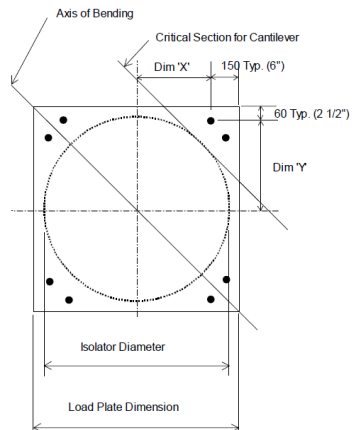
### 2.5.1.2 Desain Load Plate

Menurut Kelly (2001), untuk *load plate* berbentuk lingkaran, asumsi distribusi gaya pada perencanaan pelat segi empat dapat digunakan sebagai dasar perhitungan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Lenturan diasumsikan kritis pada sekeliling segmen di bagian sisi tarik bantalan.

Secara sederhana, dianggap bahwa semua baut (tiga di dalam contoh ini) mempunyai tegangan tarik maksimum, dan juga ketiga baut tersebut mempunyai lengan dari baut yang paling jauh. Prosedur desain diadopsi untuk *load plate* lingkaran didasarkan pada kondisi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.12. Pembebanan untuk *load plate* jenis ini diasumsikan sepanjang arah diagonal karena ini adalah bagian yang paling kritis untuk tata letak baut.



Gambar 2.14 *Load Plate*  
Lingkaran  
Sumber : (Kelly, 2001)



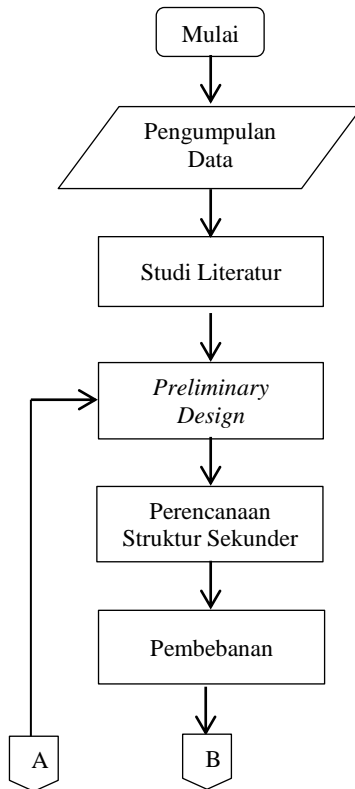
Gambar 2.15 *Load Plate* Segi  
Empat  
Sumber : (Kelly, 2001)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

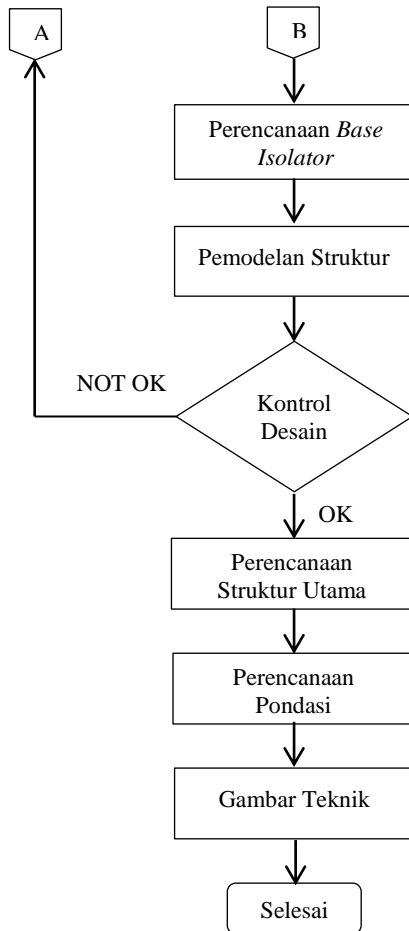
## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Perencanaan

Langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada diagram alir berikut (Gambar 3.1 dan Gambar 3.2):



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan

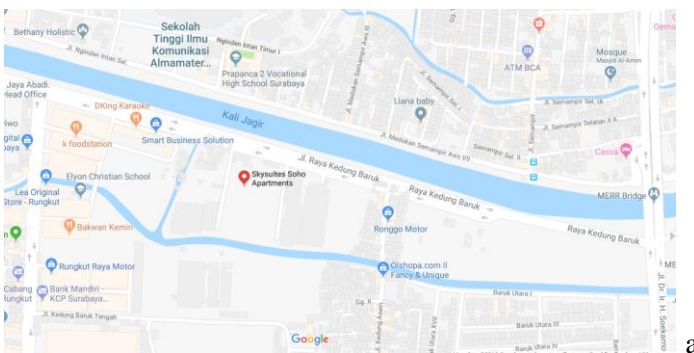


Gambar 3. 2 Diagram Alir Perencanaan (Lanjutan)

### 3.2 Data Perencanaan

Data perencanaan meliputi data umum bangunan, data material, dan data tanah dari struktur yang akan dimodifikasi. Berikut adalah data eksisting dari gedung yang akan dimodifikasi:

- a. Data Umum Bangunan
  - Nama gedung : Skysuites Soho
  - Lokasi : Jl. Kedung Baruk No.26, Surabaya (Gambar 3.3)
  - Fungsi bangunan : Apartemen
  - Jumlah lantai : 21 lantai
  - Struktur bangunan : Beton bertulang
- b. Data Material
  - Mutu beton : K500 (dari pondasi sampai lantai 5)  
: K350 (dari lantai 5 sampai lantai atap)
  - Mutu baja : BJTP 24 (untuk diameter < 10mm)  
: BJTD 40 (untuk diameter  $\geq$  10mm)
- c. Data Tanah : -



Gambar 3.3 Lokasi Gedung Skysuites Soho

Gedung Skysuites Soho akan dirancang ulang dengan menggunakan *base isolator* tipe HDRB dengan data modifikasi sebagai berikut :

- a. Data Umum Bangunan
  - Nama gedung : Skysuites Soho

- Lokasi : Jl.Kedung Baruk No.26, Surabaya  
 Fungsi bangunan : Apartement  
 Jumlah lantai : 21 lantai  
 Struktur bangunan : Beton bertulang
- b. Data Material  
 Mutu beton ( $f^c$ ) : 40 MPa (pondasi sampai lantai atap)  
 Mutu baja : BJTD 40
- c. Data Tanah  
 Data tanah terlampir.
- d. Data *Base Isolator*  
 Tipe : *High Damping Rubber Bearing*  
 Spesifikasi : Terlampir.

### 3.3 Studi Literatur

Mempelajari literatur maupun mengacu peraturan yang berkaitan dengan perencanaan modifikasi struktur ini, diantaranya:

1. SNI 2847:2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
2. SNI 1726:2012 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
3. SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) tahun 1983.
5. *Base Isolation of Structure : Design Guideliness* oleh Trevor E. Kelly, S.E.

### 3.4 Penentuan Kriteria Desain

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.5, suatu struktur harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek  $S_{DS}$ , dan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik,  $S_{D1}$ . Berikut langkah-langkah dalam menetapkan kategori desain seismik :

1. Menentukan Parameter  $S_s$  dan  $S_l$

Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek,  $S_s$ , dan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1 detik,  $S_l$  ditentukan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.

2. Menentukan Kelas Situs

Penentuan kelas situs mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 5.3 yang mengklasifikasikan situs berdasarkan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas,  $\bar{v}_s$ , tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m teratas,  $\bar{N}$ , dan kuat geser niralir rata-rata dalam lapisan 30 m teratas,  $\bar{s}_u$ . Klasifikasi kelas situs dapat dilihat pada Tabel 3.1.

3. Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Penentuan kategori risiko struktur bangunan ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan suatu gedung yang mengacu pada SNI 1726:2012 Tabel 1. Kategori risiko untuk gedung apartemen adalah II.

4. Menentukan  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 6.2, parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ), dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) harus ditentukan dengan perumusan berikut :

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3-1)$$

$$S_{M1} = F_v S_l \quad (3-2)$$

Nilai koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
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 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah, - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m), - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Sumber : SNI 1726:2012



Tabel 3.2 Koefisien situs,  $F_a$ 

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	Situs memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik				

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 4.

Tabel 3.3 Koefisien situs,  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_I$				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
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	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	Situs memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik				

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 5.

### 5. Menentukan $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , ditentukan melalui perumusan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-4)$$

## 6. Menentukan Kategori Desain Seismik

Setelah memperoleh nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$ , kategori desain seismik dapat ditetapkan sesuai Tabel 3.4 dan Tabe; 3.5.

Tabel 3.4. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

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

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 6

Tabel 3.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

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

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 7.

## 3.5 Preliminary Design

*Preliminary desain* merupakan perkiraan dimensi awal untuk elemen-elemen utama dari struktur gedung seperti kolom dan balok induk. Perencanaan dimensi mengacu pada SNI 2847:2013.

### 3.5.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013, dalam mendesain kolom, kolom harus memiliki kekuatan yang cukup sesuai untuk memikul gaya aksial terfaktor dan momen maksimum dari beban

terfaktor. Kekuatan desain yang disediakan harus tetap mampu menahan beban setelah dikalikan faktor reduksi,  $\phi$ , sebesar 0,65 untuk penampang terkendali tekan (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2). Luas penampang kolom yang diperlukan dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} \quad (3-5)$$

dimana,

A = Luas penampang kolom  
 W = Beban aksial yang diterima kolom  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton karakteristik

### 3.5.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk

Bedasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.1, balok harus dirancang agar memiliki kekuatan yang cukup untuk membatasi defleksi. Tebal minimum,  $h$ , balok yang direncanakan harus mengacu SNI 2847:2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a), yaitu untuk balok tertumpu sederhana :

$$h = \frac{l}{16} \quad (3-6)$$

$$b = \frac{2}{3}h \quad (3-7)$$

dimana,

l = Panjang bentang, mm  
 h = Tinggi balok, mm  
 b = Lebar balok, mm

Catatan :

Prumusan di atas berlaku untuk komponen struktur dengan beton normal dan mutu tulangan 420 Mpa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut :

- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis,  $w_c$ , 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai di atas harus dikalikan dengan  $(1,65 - 0,0003w_c)$  tetapi tidak kurang dari 1,09.

- Untuk  $f_y$  selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

### 3.5.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Persyaratan untuk tebal minimum pelat,  $h$ , ditetapkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 untuk pelat satu arah tertumpu sederhana:

$$h = \frac{l}{20} \quad (3-8)$$

SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1 untuk pelat dua arah. Untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum,  $h$ , harus memenuhi ketentuan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 sebagai berikut :

- Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0,2$  harus memenuhi SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2 ( $h \geq 125\text{mm}$ ).
- Untuk  $0,2 < \alpha_{fm} \leq 2$ ,  $h$  tidak boleh kurang dari 125mm dan tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-9)$$

- Untuk  $\alpha_{fm} > 2$ ,  $h$  tidak boleh kurang dari 90mm dan tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (3-10)$$

- Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha_f$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan (3-9) atau (3-10) harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel tepi yang tidak menerus.

Keterangan :

$\alpha_{fm}$  = Nilai rata-rata  $\alpha_f$  (rasio kekakuan lentur penampang balik terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara

lateral oleh garis pusat panel ang di sebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok.

$L_n$  = Panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok.

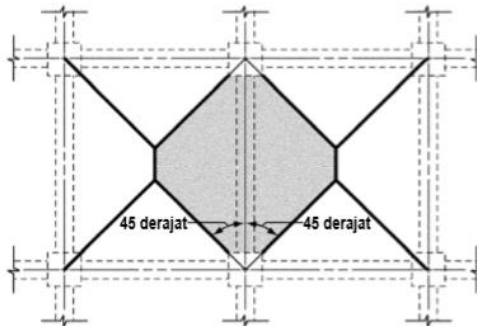
$B$  = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

### 3.6 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder yang direncanakan dimensinya meliputi balok anak, tangga, dan balok lift.

#### 3.6.1 Perencanaan Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan seperti perencanaan dimensi balok induk dengan beban pelat yang diteruskan ke balok anak diperhitungkan sebagai luasan trapesium dan segitiga (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Beban Pelat pada Balok Anak

Sumber : SNI 2847:2013

#### 3.6.2 Perencanaan Dimensi Tangga

Dimensi tangga yang direncanakan meliputi dimensi tinggi pijakan, lebar pijakan, dan sudut kemiringan tangga,  $\alpha$ . Ukuran ideal dari anak tangga dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$60 \text{ cm} \leq 2r + t \leq 65 \text{ cm} \quad (3-11)$$

dimana,

$r$  = tinggi pijakan

$t$  = lebar pijakan

$\alpha$  = sudut kemiringan tangga ( $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ )

Untuk ketebalan pelat tangga,  $t_s$ , dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$t_s = \frac{l}{10} \quad (3-12)$$

dimana,

$l$  = lebar anak tangga

### 3.6.3 Perencanaan Dimensi Balok Lift

Balok lift yang akan didesain yaitu balok pengontrol lift, balok perletakan mesin lift depan, dan balok perletakan mesin lift belakang. Perhitungan dimensi balok lift direncanakan seperti balok anak.

## 3.7 Pembebanan

Pembebanan struktur direncanakan mengacu pada SNI 1727:2013, PPIUG 1983, SNI 1726:2012, dan SNI 2847:2013.

### 3.7.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727:2013, 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.

Beban mati yang diperhitungkan dalam perencanaan tugas akhir ini ditetapkan sesuai dengan PPIUG 1983 yang tertera pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Beban Mati pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan bata merah	250 kg/m <sup>2</sup>
Kaca Setebal 12 mm	30 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit	11 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung Langit-Langit	7 kg/m <sup>2</sup>
Penutup Lantai dari Ubin Semen Portland	24 kg/m <sup>2</sup>
Adukan semen per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>

### 3.7.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Besarnya beban hidup yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Beban Hidup pada Struktur

Beban Hidup	Besar Beban
Lantai hotel	250 kg/m <sup>2</sup>
Koridor	479 kg/m <sup>2</sup>
Tangga dan Bordes	300 kg/m <sup>2</sup>
Atap datar	100 kg/m <sup>2</sup>
Pekerja	100 kg

### 3.7.3 Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 26.1.1 bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut pasal 26 sampai pasal 31.

### 3.7.4 Beban Gempa

Beban gempa harus direncanakan sesuai dengan SNI 1726:2012 dan menggunakan Peta Sumber Bahaya dan Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017. Berikut langkah-langkah dalam menghitung beban gempa :

1. Menentukan  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$   
Parameter  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  ditetapkan sesuai dengan langkah-langkah seperti pada sub bab 3.4.
2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa,  $I_e$   
Faktor keutamaan gempa suatu struktur harus dirancang dengan kategori risiko sesuai Tabel 2 SNI 1726:2012 berdasarkan fungsi dari struktur tersebut. Untuk struktur yang menggunakan *base isolator*, nilai faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) diambil sebesar 1,0 tanpa membedakan kategori risiko yang diterapkan.
3. Menentukan Faktor  $R$ ,  $Cd$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa

Faktor koefisien modifikasi respons,  $R$ , faktor amplifikasi defleksi,  $Cd$ , dan faktor kuat lebih,  $\Omega_0$ , ditetapkan pada SNI 1726:2012 Tabel 9. Gedung ini akan dirancang menggunakan sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dengan nilai faktor sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R & : 3 \\ Cd & : 3 \\ \Omega_0 & : 2,5 \end{aligned}$$

4. Menentukan Respons Seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-13)$$

dimana,

$S_{DS}$  = Percepatan Spektrum Respons Disain dalam Rentang Periode Pendek

$R$  = Faktor Modifikasi Respons

$I_e$  = Faktor Keutamaan Gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan (3-11) tidak boleh melebihi :



$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-14)$$

$C_s$  tidak boleh kurang dari :

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3-15)$$

dimana,

$S_{D1}$  = Percepatan spektrum respons disain pada periode 1 detik

$T$  = Periode fundamental struktur, detik

5. Gaya geser dasar seismik dan distribusi gaya gempa lateral

Gaya geser dasar seismik,  $V$ , ditetapkan sesuai dengan persamaan berikut (SNI 1726:2012 pasal; 7.8.1) :

$$V = C_s W \quad (3-16)$$

dimana,

$C_s$  = Koefisien respons seismik

$W$  = Berat seismik efektif menurut SNI 1726:2012 pasal 7.7.2.

Distribusi gaya gempa lateral,  $F_x$  yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut (SNI 1726:2012 pasal 7.8.3) :

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-17)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-18)$$

dimana,

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, Kn

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

$h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , 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.

### 3.7.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 :

$$U = 1,4 D \quad (3-19)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (3-20)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \quad (3-21)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (3-22)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E \quad (3-23)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W \quad (3-24)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E \quad (3-25)$$

Keterangan :

U = Beban ultimate

D = Beban mati

W = Beban angin

E = Beban gempa

R = Beban air hujan

L = Beban hidup

$L_r$  = Beban hidup atap

### 3.8 Perencanaan Base Isolator

Perencanaan *base isolator* harus mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 12. Untuk perhitungan dimensi dapat dihitung dengan tahapan berikut :

#### 1. Menentukan Parameter Desain

Parameter desain yang ditentukan adalah nilai kekakuan desain,  $K_D$  dan nilai kekakuan maksimum,  $K_M$ .

$$K_{D(\min)} = \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 \frac{W}{g} \quad (3-26)$$

$$K_{M(\min)} = \left(\frac{2\pi}{T_M}\right)^2 \frac{W}{g} \quad (3-27)$$

dimana,

$T_D$  = Periode efektif struktur dengan isolasi seismik, detik

$T_M$  = Periode efektif maksimum struktur dengan isolasi seismik, detik

$W$  = Berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi

$g$  = Percepatan gravitasi, meter/detik<sup>2</sup>

#### 2. Menentukan Perpindahan Rencana

Perpindahan rencana,  $D_D$ , dan perpindahan maksimum,  $D_M$ , untuk *High Damping Rubber Bearing* ditetapkan pada SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.1 dapat diperkirakan dengan rumus berikut :

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (3-28)$$

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (3-29)$$

dimana,

$D_D$  = Perpindahan gempa lateral rencana, mm

$D_M$  = Perpindahan gempa lateral maksimum, mm

$B_D$  = Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana,  $\beta_D$  seperti yang diatur dalam Tabel 3.8.

$B_M$  = Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum,  $\beta_M$ , seperti yang diatur dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Koefisien Redaman,  $B_D$  atau  $B_M$

Redaman Efektif, $\beta_D$ atau $\beta_M$ (presentase dari redaman kritis)	Faktor $B_D$ atau $B_M$
$\leq 2$	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
$\geq 50$	2,0

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 22.

### 3. Menentukan Dimensi Isolator

Dari parameter desain yang telah ditentukan, direncanakan diameter dan ketebalan bantalan *base isolator*.

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma} \quad (3-30)$$

Dengan tebal karet di atas, diperoleh luas permukaan bantalan,  $A$ , dan diameter,  $D$ , dengan rumus berikut :

$$A = K_D \frac{t_r}{G} \quad (3-31)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3-32)$$

### 4. Menghitung Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar pada struktur dengan *base isolator* dibagi menjadi dua bagian, yaitu gaya geser dasar untuk struktur di atas *isolation system*,  $V_S$ , gaya geser dasar untuk struktur di bawah *isolaton system*,  $V_B$ . Perhitungan  $V_S$  dan  $V_B$  dapat menggunakan rumus berikut :

$$V_B = k_{D_{MAX}} \times D_D \quad (3-33)$$

$$V_S = \frac{k_{DMAX} \times D_D}{R} \quad (3-34)$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.3, nilai  $V_S$  tidak boleh kurang dari gaya geser dasar *fixed base structure*.

### 3.9 Pemodelan Struktur dan Kontrol Desain

Permodelan struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 untuk mengetahui reaksi dan gaya dalam struktur akibat pembebanan gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, luaran dari pemodelan dengan SAP2000 adalah untuk mengetahui perilaku struktur seperti periode getar struktur, simpangan antarlantai, gaya geser dasar, serta partisipasi massa untuk selanjutnya dikontrol apakah perilaku struktur tersebut memenuhi persyaratan atau tidak.

#### 3.9.1 Kontrol Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur,  $T$ , diatur dalam SNI 1726:2012 pasal 7.8.1 tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung  $C_u$  (Tabel 3.9), dan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ . Periode fundamental pendekatan  $T_a$ , dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-35)$$

Keterangan :

$C_t$  = Nilai parameter periode pendekatan (Tabel 3.10)

$h_n$  = Ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

$x$  = Nilai parameter periode pendekatan (Tabel 3.10)

Tabel 3.9 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

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

Sumber : Tabel 14 SNI 1726:2012

Tabel 3.10 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% 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	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,90
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : Tabel 15 SNI 1726:2012

### 3.9.2 Kontrol Simpangan Antarlantai

Simpangan antar lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi tidak boleh melebihi  $0,015h_{sx}$ . Simpangan antar lantai harus dihitung berdasarkan Persamaan 34 SNI 1726:2012 dengan faktor  $C_d$  dari sistem isolasi sama dengan faktor  $R_I$  yang ditentukan di 12.5.4.2 (bernilai  $3/8$  dari  $R$  yang diberikan Tabel 9 SNI 1726:2013 dengan nilai maksimum 2,0 dam nilai minimum 1,0).

### 3.9.3 Batas Gaya Geser Struktur di Atas Sistem Isolasi, $V_s$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 12.5.4.3 nilai  $V_s$  tidak boleh diambil kurang dari batasan berikut :

1. Gaya gempa lateral yang disyaratkan dalam pasal 7.8 SNI 1726:2012 untuk struktur yang terjepit di dasar dengan berat gempa efektif,  $W$  , yang sama, dan periodanya sama dengan perioda struktur dengan isolasi seismik,  $T_D$ .
2. Gaya geser dasar untuk beban angin rencana terfaktor.
3. Gaya gempa lateral yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi secara penuh (misal: tingkat leleh dari suatu sistem yang melunak (softening system), kapasitas ultimit suatu sistem pengekang angin, atau tingkat friksi lepas dari suatu sistem gelincir (the break-away friction level of a sliding system)) dikalikan dengan faktor 1,5.

### 3.9.4 Partisipasi Massa

Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model (Pasal 7.9.1 SNI 1726:2012).

## 3.10 Perencanaan Struktur Utama

Perencanaan struktur utama meliputi perencanaan penulangan kolom dan penulangan balok induk.

### 3.10.1 Perencanaan Tulangan Kolom

Perencanaan tulangan memanjang kolom akibat beban aksial terfaktor untuk rangka momen biasa harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2.3, sedangkan perencanaan tulangan geser kolom harus memenuhi pasal 21.3.3.2 SNI 2847:2013 dengan  $\phi V_n$  kolom tidak boleh kurang dari yang terkecil dari (a) dan (b) :

$$a. V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \quad (3-36)$$

- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan  $E$ , dengan  $E$  ditingkatkan oleh  $\Omega_0$ .

### 3.10.2 Perencanaan Tulangan Lentur Balok

Perencanaan tulangan komponen struktur yang menahan lentur untuk rangka momen biasa ditetapkan dalam SNI 2847:2013 pasal 21.2.2 yaitu balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua muka atas dan bawah.

Berikut merupakan langkah-langkah dalam merencanakan tulangan longitudinal balok :

1. Menentukan tebal selimut beton

Persyaratann tebal minimum selimut beton ditetapkan dalam SNI 2847:2013 pasal 7.7

2. Menentukan jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal,  $d$
3. Menentukan momen ultimate yang diterima balok
4. Menentukan harga  $\beta_1$  sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 ditetapkan dengan perumusan berikut :

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \quad (3-37)$$

5. Menentukan batasan rasio tulangan.

Rasio tulangan maksimum dan minimum ditetapkan dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 dengan perumusan berikut :

$$\rho_{maks} = 0,025 \quad (3-38)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3-39)$$

6. Menentukan harga  $m$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \quad (3-40)$$

7. Menentukan koefisien kapasitas penampang,  $R_n$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2} \quad (3-41)$$

Dengan  $\phi = 0,65$  (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2).

8. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan.



Besarnya rasio tulangan yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus berikut ini kemudian dikontrol terhadap batas rasio tulangan minimum dan maksimum :

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (3-42)$$

9. Menghitung luas tulangan ( $A_s$ ) yang diperlukan.

$$A_s = \rho b d \quad (3-43)$$

10. Menghitung jarak tulangan dalam 1m,  $s$ .

$$s = \frac{1000}{n} \quad (3-44)$$

Dimana,  $n$  adalah jumlah jumlah tulangan yang diperoleh dengan rumus berikut :

$$n = \frac{A_s}{0,25\pi D^2} \quad (3-45)$$

### 3.10.3 Perencanaan Tulangan Geser Balok

Perencanaan tulangan geser ditetapkan dalam SNI 2847:2013 pasal 11.1, dimana desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u$$

dimana,

$V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang

$V_n$  = gaya geser nominal penampang, yang dihitung dengan persamaan (3-34)

$\phi$  = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75 (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)

$$V_n = V_c + V_s$$

dimana,

$V_c$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, yang dihitung sesuai dengan persamaan (3-50)

$V_s$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (3-48)$$

### 3.11 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan gedung ini direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang berdasarkan data hasil *Standard Penetration Test* (SPT). Langkah-langkah perencanaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :

#### 1. Koreksi Nilai NSPT terhadap Muka Air Tanah

Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air dan hanya bila  $N > 15$  :

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N - 15) \quad (\text{Terzaghi dan Peck, 1960})$$

$$N_1 = 0,6N \quad (\text{Bazaara, 1967})$$

Pilih harga  $N_1$  yang terkecil dari kedua nilai di atas.

Untuk jenis tanah lempung, lanau, dan pasir kasar dan bila  $N \leq 15$ , nilai  $N$  tidak perlu dikoreksi,  $N_1 = N$ .

#### 2. Daya Dukung 1 *Bored Pile*

Perhitungan daya dukung bored pile ini dilakukan berdasarkan hasil uji Standard Penetration Test (SPT) dengan penjumlahan daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi ( $Q_p$ ) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ) dengan metode Luciano Decourt sebagai berikut:

$$Q_L = Q_p + Q_s \quad (3-49)$$

Dimana,

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_p$  = Resistance ultimate di dasar pondasi

$Q_s$  = Resistance ultimate akibat tekanan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p = \alpha \cdot \bar{N}_p \cdot K \cdot A_p \quad (3-50)$$

Dimana,

$\bar{N}_p$  = Harga rata-rata SPT di sekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang pondasi (D = diameter pondasi)

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

K = 12 ton/m<sup>2</sup>, untuk lempung (clay)

K = 20 t/m<sup>2</sup>, untuk lempung berlanau (silty clay)

K = 25 t/m<sup>2</sup>, untuk pasir berlanau (silty sand)

K = 40 t/m<sup>2</sup>, untuk pasir (sand)

Ap = Luas penampang dasar tiang

qp = Tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot A_s \left( \frac{\bar{N}_s}{3} + 1 \right) \quad (3-51)$$

Dimana,

qs = Tegangan akibat lekatan lateral dalam ton/m<sup>2</sup>

$\bar{N}_s$  = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan:  $3 \leq N \leq 50$

As = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

Koefisien  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah merupakan base coefficient dan shaft coefficient menurut Decourt yaitu  $\alpha = 0,85$  dan  $\beta = 0,8$  untuk borepile.

$$P_{ijin} = \frac{P_{ult}}{SF} \quad (3-49)$$

SF = Faktor keamanan = 3

### 3. Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

$$P_{\max, \min} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{MyX_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{MxY_{\max}}{\sum y^2} \quad (3-50)$$

Efisiensi satu tiang pancang dalam kelompok,  $C_e$

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(\phi/S)}{90^\circ} \cdot \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \quad (3-51)$$

Dimana :

$\emptyset$  = diameter bored pile

$S$  = Jarak antar *bored pile*

$m$  = Jumlah baris *bored pile* dalam grup

$n$  = Jumlah kolom *bored pile* dalam grup

Sehingga,  $P_{ult} = C_e \times P_{u\ 1\ tiang}$

### **3.12 Penggambaran Hasil Perencanaan**

Hasil perencanaan dan perhitungan dalam tugas akhir ini divisualisasikan melalui gambar teknik dengan menggunakan program bantu AutoCAD.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Preliminary Design**

*Preliminary design* merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal mengacu pada peraturan yang ada. *Preliminary design* yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, pelat, dan kolom.

#### **4.1.1 Data Perencanaan**

Data perencanaan Gedung Skysuites Soho adalah sebagai berikut :

a. Data Umum Bangunan

Nama gedung : Skysuites Soho  
Lokasi : Jl. Kedung Baruk No.26, Surabaya  
Fungsi bangunan : Apartement  
Jumlah lantai : 21 lantai  
Struktur bangunan : Beton bertulang konvensional  
Tinggi bangunan : 82 m  
Luas bangunan : 1121,2 m<sup>2</sup>  
Tinggi lantai 1 : 2m (Ruang pemeliharaan)  
Tinggi lantai 2-21 : 4m

b. Data Material

Mutu beton (f'c) : 40 MPa (dari pondasi sampai lantai atap)  
Mutu baja : BJTD 40  
*Base Isolator* : Bridgestone (terlampir)

#### **4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok**

##### **4.1.2.1 Balok Induk**

Perencanaan dimensi tebal minimum balok induk nonprategang bila lendutan tidak dihitung mengacu pada persyaratan dalam SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.1 dengan perumusan sebagai berikut :

$$h = \frac{l}{16}, \text{ untuk balok tertumpu sederhana} \quad (4-1)$$

$$h = \frac{l}{8}, \text{ untuk balok kantilever} \quad (4-2)$$

$$b = \frac{2}{3}h \quad (4-3)$$

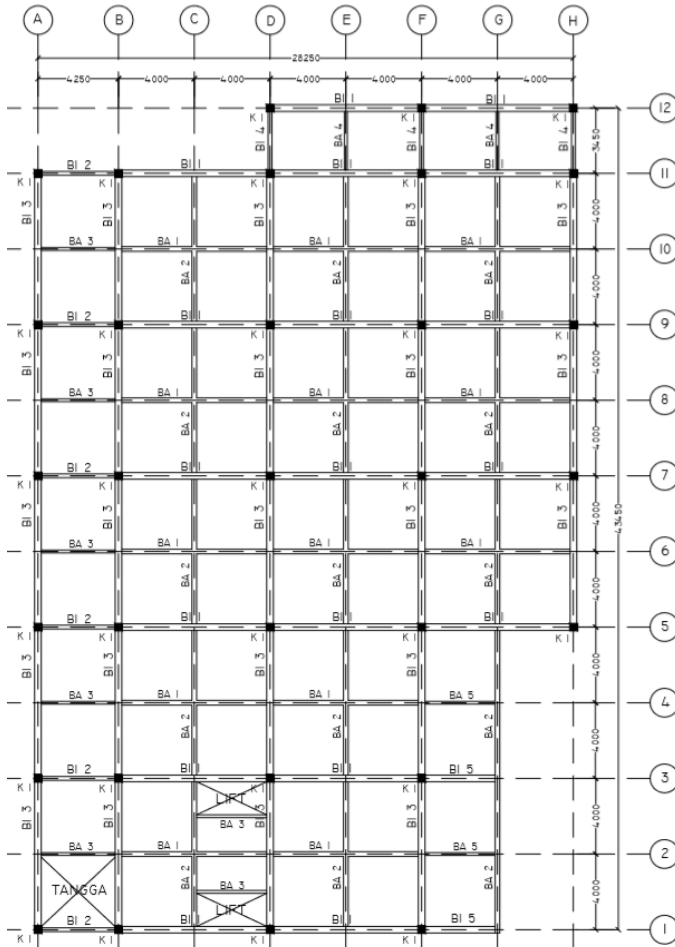
dimana,

h = tebal minimum balok (mm)

l = panjang balok (mm)

b = lebar balok (mm)

Perumusan tebal minimum balok di atas berlaku untuk  $f_y = 420$  MPa, karena pada perencanaan ini digunakan  $f_y = 400$  MPa maka nilai harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .



Gambar 4.1 Denah Pembalok

Denah balok induk dapat dilihat pada Gambar 4.1. Berikut perhitungan perencanaan dimensi balok induk :

1.  $0,4 + \frac{f_y}{700} = 0,4 + \frac{400}{700} = 0,971$
2. Balok Induk BI 1  
 $L = 8000 \text{ mm}$

$$h = \frac{l}{16} \times 0,971 = \frac{8000}{16} \times 0,971 = 485,71 \text{ mm} \approx 49 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 485,71 = 323,81 \text{ mm} \approx 33 \text{ cm}$$

## 3. Balok Induk BI 2

$$L = 4250 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{16} \times 0,971 = \frac{4250}{16} \times 0,971 = 258,04 \text{ mm} \approx 26 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 258,04 = 172,02 \text{ mm} \approx 18 \text{ cm}$$

## 4. Balok Induk BI 3

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{16} \times 0,971 = \frac{8000}{16} \times 0,971 = 485,71 \text{ mm} \approx 49 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 485,71 = 323,81 \text{ mm} \approx 33 \text{ cm}$$

## 5. Balok Induk BI 4

$$L = 3450 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{16} \times 0,971 = \frac{3450}{16} \times 0,971 = 209,46 \text{ mm} \approx 21 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 209,46 = 139,64 \text{ mm} \approx 14 \text{ cm}$$

## 6. Balok Induk BI 5 (Kantilever)

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{8} \times 0,971 = \frac{4000}{8} \times 0,971 = 485,72 \text{ mm} \approx 49 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 485,72 = 323,81 \text{ mm} \approx 33 \text{ cm}$$

Rekapitulasi perhitungan dimensi balok induk dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Balok Induk

No.	Balok	Panjang (m)	h (cm)	h pakai (cm)	b (cm)	b pakai (cm)
1	BI 1	8	49	60	33	40
2	BI 2	4,25	26	40	18	30
3	BI 3	8	49	60	33	40
4	BI 4	3,45	21	40	14	30
5	BI 5	4	49	60	33	40



#### 4.1.2.2 Balok Anak

Perencanaan dimensi tebal minimum balok anak nonprategang bila lendutan tidak dihitung mengacu pada persyaratan dalam SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.1 dengan perumusan sebagai berikut :

$$h = \frac{l}{21}, \text{ untuk balok dengan kedua ujung menerus} \quad (4-4)$$

$$b = \frac{2}{3}h \quad (4-5)$$

dimana,

h = tebal minimum balok (mm)

l = panjang balok (mm)

b = lebar balok (mm)

Perumusan tebal minimum balok di atas berlaku untuk  $f_y = 420$  MPa, karena pada perencanaan ini digunakan  $f_y = 400$  MPa maka nilai harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

Berikut perhitungan perencanaan dimensi balok anak :

1.  $0,4 + \frac{f_y}{700} = 0,4 + \frac{400}{700} = 0,971$

2. Balok Anak BA 1

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{21} \times 0,971 = \frac{8000}{21} \times 0,971 = 370,07 \text{ mm} \approx 38 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 370,07 = 246,71 \text{ mm} \approx 25 \text{ cm}$$

3. Balok Anak BA 2

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{21} \times 0,971 = \frac{8000}{21} \times 0,971 = 370,07 \text{ mm} \approx 38 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 370,07 = 246,71 \text{ mm} \approx 25 \text{ cm}$$

4. Balok Anak BA 3

$$L = 4250 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{21} \times 0,971 = \frac{4250}{21} \times 0,971 = 196,59 \text{ mm} \approx 20 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 196,59 = 131,07 \text{ mm} \approx 14 \text{ cm}$$

## 5. Balok Anak BA 4

$$L = 3450 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{21} \times 0,971 = \frac{3450}{21} \times 0,971 = 159,59 \text{ mm} \approx 16 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 159,59 = 106,39 \text{ mm} \approx 11 \text{ cm}$$

## 6. Balok Anak BA 5

$$L = 40000 \text{ mm}$$

$$h = \frac{l}{18,5} \times 0,971 = \frac{4000}{21} \times 0,971 = 210,01 \text{ mm} \approx 22 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 210,01 = 140,1 \text{ mm} \approx 15 \text{ cm}$$

Rekapitulasi perhitungan dimensi balok induk dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

No.	Balok	Panjang (m)	h (cm)	h pakai (cm)	b (cm)	b pakai (cm)
1	BA 1	8	38	40	25	30
2	BA 2	8	38	40	25	30
3	BA 3	4,25	20	25	14	20
4	BA 4	3,45	16	25	11	20
5	BA 5	4	22	25	15	20

#### 4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Terdapat dua jenis pelat berdasarkan rasio antara bentang panjang,  $L_y$ , terhadap bentang pendek,  $L_x$ , yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Perencanaan dimensi tebal minimum pelat satu arah ditentukan dalam SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 dengan perumusan tebal minimum,  $h$  untuk pelat dengan kedua ujung menerus sebagai berikut :

$$h = \frac{l}{28} \quad (4-6)$$

dimana,

$h$  = tebal minimum pelat (mm)

$l$  = panjang bentang (mm)

Sedangkan untuk persyaratan tebal minimum pelat dua arah mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3. Untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum pelat harus memenuhi :

a. Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0,2$  harus memenuhi pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2.

b. Untuk  $0,2 < \alpha_{fm} \leq 2$ ,  $h$  tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (4-7)$$

dan  $h \geq 125\text{mm}$ .

c. Untuk  $\alpha_{fm} \geq 2$ ,  $h$  harus lebih dari  $h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$  (4-8)

dan  $h \geq 90\text{mm}$ .

dimana,

$h$  = Tebal minimum

$l_n$  = Panjang bentang bersih dalam arah panjang

$\beta$  = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat

$\alpha_{fm}$  = Nilai rata-rata  $\alpha_f$  untuk semua balok pada tepi panel

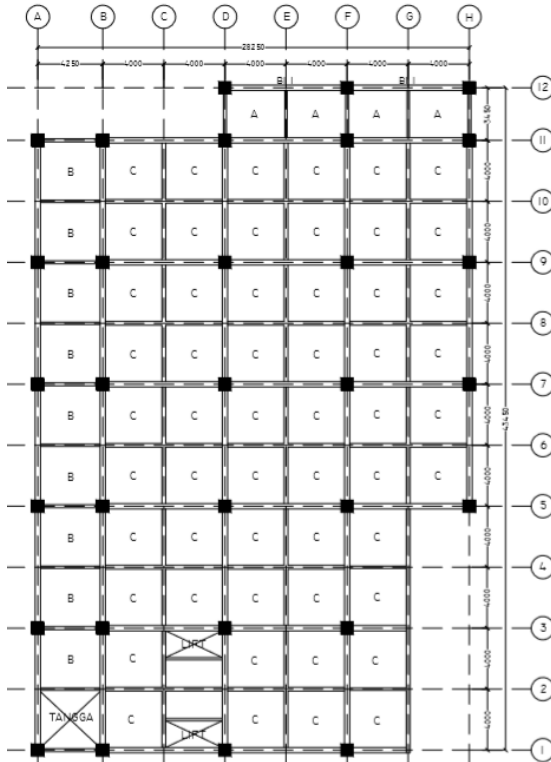
$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

$E_{cb}$  = Modulus elastisitas balok

$E_{cs}$  = Modulus elastisitas pelat

$I_b$  = Momen inersia penampang balok

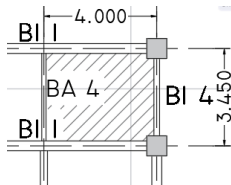
$I_s$  = Momen inersia penampang pelat



Gambar 4.2 Denah Tipe Pelat

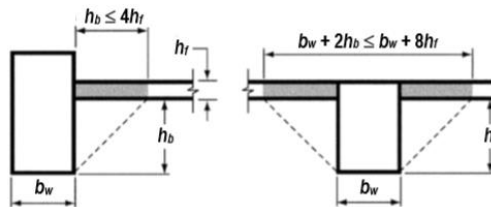
Seperti pada Gambar 4.2 terdapat tiga tipe pelat yang akan direncanakan dimensinya. Berikut perhitungan perencanaan dimensi pelat :

1. Pelat Tipe A



Gambar 4.3 Pelat Tipe A

- Menentukan jenis pelat  
 $L_x = 3450\text{mm}$   
 $L_y = 4000\text{mm}$   
 $\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{3450} = 1,16 < 2$  (Dua Arah)
- Menghitung momen inersia penampang balok,  $I_b$   
 Karena terdapat tambahan penampang dari pelat, maka lebar efektif ( $b_e$ ) harus diperhitungkan dalam perhitungan momen inersia. Besarnya lebar efektif mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 13.2.4 (lihat Gambar 4.4), yaitu :
  - Balok tepi, yang terkecil dari  $b_{e1} = h_b$  atau  $b_{e2} = 4h_f$
  - Balok tengah, yang terkecil dari  $b_{e1} = b_w + 2h_b$  atau  $b_{e2} = b_w + 8h_f$



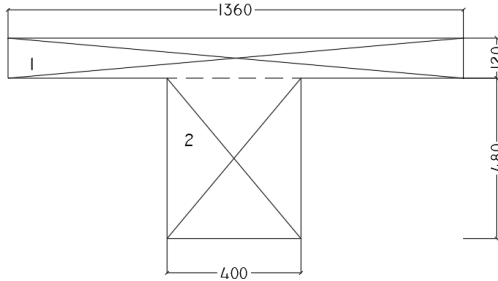
Gambar 4.4 Bagian pelat yang disertakan dengan balok

Data dimensi serta lebar efektif dari balok yang munumpu pelat tipe A dapat dilihat pada Tabel 4.3. Tebal pelat,  $h_f$ , diasumsikan terlebih dahulu sebesar 120mm.

Tabel 4.3 Dimensi serta Lebar Efektif Balok

Nama Balok	Letak Balok	$b_w$ (mm)	$h$ (mm)	$h_f$ (mm)	$h_b$ (mm)	$b_{e1}$ (mm)	$b_{e2}$ (mm)	$b_e$ pakai
BI 1	Tepi	400	600	120	480	880	880	880
BI 4	Tepi	300	400	120	280	580	780	580
BI 1	Tengah	400	600	120	480	1360	1360	1360
BA 4	Tengah	200	250	120	130	460	1160	460

Untuk contoh perhitungan momen inersia balok,  $I_b$  akan dihitung balok BI 1 (Tengah).



Gambar 4.5 Penampang BI 1 Tengah

$$A_1 = 1360 \times 120 = 163.200 \text{ mm}^2 ; y_1 = 540 \text{ mm}$$

$$A_2 = 400 \times 480 = 192.000 \text{ mm}^2 ; y_2 = 240 \text{ mm}$$

$$y_b = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = 377,8 \text{ mm}$$

$$I_{b1} = \frac{1}{12} \cdot 1360 \cdot 120^3 + 1360 \cdot 120 \cdot \left( \frac{120}{2} + 480 - 377,8 \right)^2$$

$$= 4.487.439.708 \text{ mm}^4$$

$$I_{b2} = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 480^3 + 400 \cdot 480 \cdot \left( 377,8 - \frac{480}{2} \right)^2$$

$$= 7.334.259.752 \text{ mm}^4$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} = 11.821.699.459 \text{ mm}^4$$

Dengan langkah perhitungan sama seperti diatas, dihitung pula momen inersia untuk BI1 (tepi), BI 4, dan BA 4 dengan hasil seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Momen Inersia Balok

Nama Balok	Letak Balok	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	$y_b$ (mm)	$I_{b1}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_{b2}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_b$ (cm <sup>4</sup> )
BI 1	Tepi	87600	133000	373,3	439.338,7	709.973,3	1.149.312,0
BI 4	Tepi	45600	36000	251,4	91.261,8	159.109,5	250.371,2
BI 1	Tengah	133200	133000	377,8	448.743,9	733.425,9	1.182.169,9
BA 4	Tengah	55200	26000	150,0	15.466,9	22.435,8	37.902,7

- Menghitung momen inersia penampang pelat,  $I_s$

$$hf = 120 \text{ mm (asumsi)}$$

$$b = 4000 \text{ mm}$$

$$I_s = \frac{1}{12} b h_f^3 = 57.600 \text{ cm}^4$$

- Menghitung  $E_{cs}$  dan  $E_{cb}$

$$f^c = 40 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = E_{cb} = 4700 \sqrt{f^c} = 29.726 \text{ MPa}$$

- Menghitung  $\alpha_f$  dan  $\alpha_{fm}$

$$\alpha_{fBI1} = \frac{I_{bBI1}}{I_s} = \frac{1.149.312,0}{57600} = 19,53$$

$$\alpha_{fBI4} = \frac{I_{bBI4}}{I_s} = \frac{250.371,2}{57600} = 4,35$$

$$\alpha_{fBI1} = \frac{I_{bBI1}}{I_s} = \frac{1.182.169,9}{57600} = 20,52$$

$$\alpha_{fBA4} = \frac{I_{bBA4}}{I_s} = \frac{37.902,7}{57600} = 0,658$$

$$\alpha_{fm} = \frac{19,53+4,35+20,52+0,658}{4} = 11,37$$

Karena  $\alpha_{fm} = 11,37 \geq 2$ , maka digunakan persamaan (4-8)

- Tebal minimum,  $h$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{4000 \left( 0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1,16} = 93,5 \text{ mm}$$

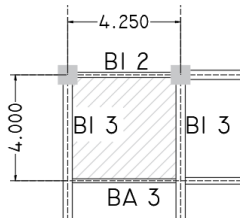
## 2. Pelat Tipe B

- Menentukan jenis pelat

$$L_x = 4000\text{mm}$$

$$L_y = 4250\text{mm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{4250}{4000} = 1,06 < 2 \text{ (Dua Arah)}$$



Gambar 4.6 Pelat Tipe B

- Menghitung momen inersia penampang balok,  $I_b$   
Besarnya lebar efektif mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 13.2.4, yaitu :
  - Balok tepi, yang terkecil dari  $b_{e1} = h_b$  atau  $b_{e2} = 4h_f$
  - Balok tengah, yang terkecil dari  $b_{e1} = b_w + 2h_b$  atau  $b_{e2} = b_w + 8h_f$

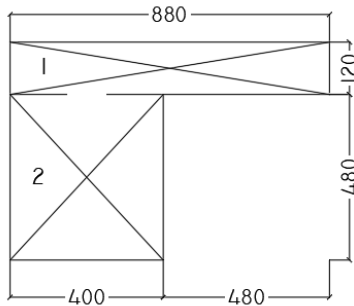
Data dimensi serta lebar efektif dari balok yang munumpu pelat tipe A dapat dilihat pada Tabel 4.5. Tebal  $h_f$  diasumsikan terlebih dahulu sebesar 120mm.

Tabel 4.5 Dimensi serta Lebar Efektif Balok

Nama Balok	Letak Balok	$b_w$ (mm)	$h$ (mm)	$h_f$ (mm)	$h_b$ (mm)	$b_{e1}$ (mm)	$b_{e2}$ (mm)	$b_e$ pakai
BI 2	Tepi	300	400	120	280	580	780	580
BI 3	Tepi	400	600	120	480	880	880	880
BI 3	Tengah	400	600	120	480	1360	1360	1360
BA 3	Tengah	200	250	120	130	460	1160	460

Untuk contoh perhitungan momen inersia balok,  $I_b$  akan dihitung balok BI 3 (Tepi).





Gambar 4.7 Penampang BI 3 Tepi

$$A_1 = 880 \times 120 = 153.600 \text{ mm}^2 ; y_1 = 540 \text{ mm}$$

$$A_2 = 400 \times 480 = 192.000 \text{ mm}^2 ; y_2 = 240 \text{ mm}$$

$$y_b = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = 373,3 \text{ mm}$$

$$I_{b1} = \frac{1}{12} \cdot 880 \cdot 120^3 + 880 \cdot 120 \cdot \left( \frac{120}{2} + 480 - 373,3 \right)^2$$

$$= 4.393.386.667 \text{ mm}^4$$

$$I_{b2} = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 480^3 + 400 \cdot 480 \cdot \left( 373,3 - \frac{480}{2} \right)^2$$

$$= 7.099.733.333 \text{ mm}^4$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} = 11.493.120.000 \text{ mm}^4$$

Dengan langkah perhitungan sama seperti diatas, dihitung pula momen inersia untuk BI 3 (tepi), BI 2, dan BA 3 dengan hasil seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Momen Inersia Balok

Nama Balok	Letak Balok	$A_1$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_2$ ( $\text{mm}^2$ )	$y_b$ (mm)	$I_{b1}$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_{b2}$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_b$ ( $\text{cm}^4$ )
BI 2	Tepi	105600	84000	251,4	91.261,8	159.109,5	250.371,2
BI 3	Tepi	153600	192000	373,3	439.338,7	709.973,3	1.149.312
BI 3	Tengah	163200	192000	377,8	448.743,9	733.425,9	1.182.169,9
BA 3	Tengah	55200	26000	150,0	15.466,9	22.435,8	37.902,7

- Menghitung momen inersia penampang pelat,  $I_s$   
 $hf = 120\text{mm}$  (asumsi)  
 $b = 4000\text{mm}$   
 $I_s = \frac{1}{12}bh_f^3 = 57.600\text{cm}^4$

- Menghitung  $E_{cs}$  dan  $E_{cb}$   
 $f'_c = 40 \text{ MPa}$   
 $E_{cs} = E_{cb} = 4700\sqrt{f'_c} = 29.726 \text{ MPa}$

- Menghitung  $\alpha_f$  dan  $\alpha_{fm}$   
 $\alpha_{f \text{ BI } 2} = \frac{I_b B I 2}{I_s} = \frac{250.371,2}{61200} = 4,09$   
 $\alpha_{f \text{ BI } 3} = \frac{I_b B I 3}{I_s} = \frac{1.149,31}{57600} = 19,95$   
 $\alpha_{f \text{ BI } 3} = \frac{I_b B I 3}{I_s} = \frac{1.182.169,9}{57600} = 20,52$   
 $\alpha_{f \text{ BA } 3} = \frac{I_b B A 3}{I_s} = \frac{37.902,7}{61200} = 0,619$

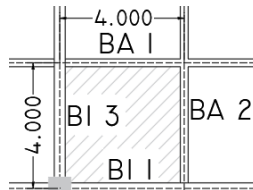
$$\alpha_{fm} = \frac{4,09 + 19,95 + 20,52 + 0,619}{4} = 11,29$$

Karena  $\alpha_{fm} = 11,29 \geq 2$ , maka digunakan persamaan (4-8)

- Tebal minimum,  $h$   
 $L = 4250 \text{ mm}$   
 $f_y = 400 \text{ Mpa}$   
 $h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{4250 \left( 0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1,16} = 101,3 \text{ mm}$

### 3. Pelat Tipe C

- Menentukan jenis pelat  
 $L_x = 4000\text{mm}$   
 $L_y = 4000\text{mm}$   
 $\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{4000} = 1 < 2$  (Dua Arah)



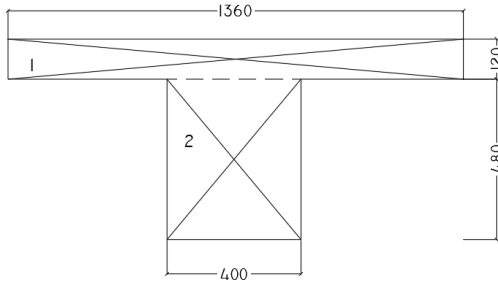
Gambar 4.8 Pelat Tipe C

- Menghitung momen inersia penampang balok,  $I_b$   
Besarnya lebar efektif mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 13.2.4, yaitu :
  - Balok tepi, yang terkecil dari  $b_{e1} = h_b$  atau  $b_{e2} = 4h_f$
  - Balok tengah, yang terkecil dari  $b_{e1} = b_w + 2h_b$  atau  $b_{e2} = b_w + 8h_f$
 Data dimensi serta lebar efektif dari balok yang munumpu pelat tipe A dapat dilihat pada Tabel 4.7. Tebal  $h_f$  diasumsikan terlebih dahulu sebesar 120mm.

Tabel 4.7 Dimensi serta Lebar Efektif Balok

Nama Balok	Letak Balok	$b_w$ (mm)	$h$ (mm)	$h_f$ (mm)	$h_b$ (mm)	$b_{e1}$ (mm)	$b_{e2}$ (mm)	$b_e$ pakai
BI 1	Tepi	400	600	120	480	880	880	880
BI 3	Tengah	400	600	120	480	1360	1360	1360
BA 1	Tengah	300	400	120	280	860	1260	860
BA 2	Tengah	300	400	120	280	860	1260	860

Untuk contoh perhitungan momen inersia balok,  $I_b$  akan dihitung balok BI 3 (Tengah).



Gambar 4.9 Penampang BI 3 Tengah

$$A_1 = 1360 \times 120 = 163.200 \text{ mm}^2 ; y_1 = 540 \text{ mm}$$

$$A_2 = 400 \times 480 = 192.000 \text{ mm}^2 ; y_2 = 240 \text{ mm}$$

$$y_b = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = 377,8 \text{ mm}$$

$$I_{b1} = \frac{1}{12} \cdot 1360 \cdot 120^3 + 1360 \cdot 120 \cdot \left( \frac{120}{2} + 480 - 377,8 \right)^2$$

$$= 4.487.439.708 \text{ mm}^4$$

$$I_{b2} = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 480^3 + 400 \cdot 480 \cdot \left( 377,8 - \frac{480}{2} \right)^2$$

$$= 7.334.259.752 \text{ mm}^4$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} = 11.821.699.459 \text{ mm}^4$$

Dengan langkah perhitungan sama seperti diatas, dihitung pula momen inersia untuk BI 1 (tepi), BI 2, dan BA 3 dengan hasil seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Momen Inersia Balok

Nama Balok	Letak Balok	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	y <sub>b</sub> (mm)	I <sub>b1</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>b2</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>b</sub> (cm <sup>4</sup> )
BI 2	Tepi	153600	192000	373,3	439.338,7	709.973,3	1.149.312
BI 3	Tepi	163200	192000	377,8	448.743,9	733.425,9	1.182.169,9
BA 1	Tengah	103200	84000	250,3	95.500,4	156.994,4	252.494,8
BA 2	Tengah	103200	84000	250,3	95.500,4	156.994,4	252.494,8

- Menghitung momen inersia penampang pelat, I<sub>s</sub>  
 hf = 120mm (asumsi)  
 b = 4000mm

$$I_s = \frac{1}{12}bh_f^3 = 57.600\text{cm}^4$$

- Menghitung  $E_{cs}$  dan  $E_{cb}$   
 $f^*c = 40 \text{ MPa}$   
 $E_{cs} = E_{cb} = 4700\sqrt{f^*c} = 29.726 \text{ MPa}$

- Menghitung  $\alpha_f$  dan  $\alpha_{fm}$   
 $\alpha_{f \text{ BI } 2} = \frac{I_b \text{BI } 2}{I_s} = \frac{1.149.312}{57600} = 19,95$   
 $\alpha_{f \text{ BI } 3} = \frac{I_b \text{BI } 3}{I_s} = \frac{1.182.169,9}{57600} = 20,52$   
 $\alpha_{f \text{ BA } 1} = \frac{I_b \text{BA } 1}{I_s} = \frac{252.494,8}{57600} = 4,38$   
 $\alpha_{f \text{ BA } 2} = \frac{I_b \text{BA } 2}{I_s} = \frac{252.494,8}{57600} = 4,38$

$$\alpha_{fm} = \frac{19,95+20,52+4,38+4,38}{4} = 12,31$$

Karena  $\alpha_{fm} = 12,31 \geq 2$ , maka digunakan persamaan (4-8)

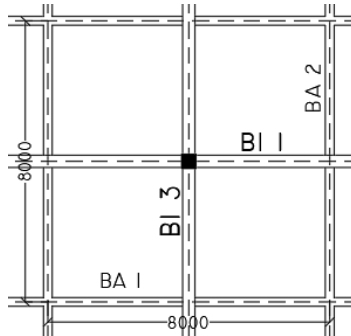
- Tebal minimum,  $h$   
 $L = 4000 \text{ mm}$   
 $f_y = 400 \text{ Mpa}$   
 $h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36+9\beta} = \frac{4000 \left(0,8 + \frac{400}{1400}\right)}{36+9 \times 1,16} = \mathbf{96,5 \text{ mm}}$

Dari perhitungan di atas diperoleh tebal pelat A = 93,5 mm, pelat B = 101,3 mm, dan pelat C = 96,5 mm. Untuk mempermudah pelaksanaan diambil ketebalan pelat dibuat sama, dan digunakan nilai yang terbesar yaitu minimal 101,3 mm  $\approx$  110 mm. Pada perancangan gedung ini akan direncanakan ketebalan pelat sebesar 120 mm.

#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom yang direncanakan adalah kolom yang menerima beban pada luasan pelat lantai terbesar dengan ukuran 8m x 8m

(Gambar 4.10). Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 8.10.1 kolom harus dirancang agar mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.



Gambar 4.10 Kolom yang Ditinjau

Untuk efisiensi dan keaktifan dimensi struktur dibuat beberapa variasi kolom setiap 4 lantai.

Pembebanan yang diberikan antara lain beban mati pelat lantai, atap, serta balok, beban mati tambahan, serta beban hidup. Berikut data perencanaan dimensi kolom :

$f'_c$  : 40 MPa

Tebal pelat lantai : 12cm

Tebal pelat atap : 12cm

Tinggi lantai 1 : 2m

Tinggi lantai 2-21 : 4m

**a. Input beban :**

Beban Mati

Pelat = 2400 kg/m<sup>3</sup>

Balok = 2400 kg/m<sup>3</sup>

Beban Mati Tambahan

Spesi = 21 kg/m<sup>2</sup>

Penutup lantai (keramik) = 24 kg/m<sup>2</sup>

Langit-langit	= 11 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit	= 7 kg/m <sup>2</sup>
<i>Ducting and plumbing</i>	= 25 kg/m <sup>2</sup>

### Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4.8, beban hidup pada pelat lantai dan pelat atap dapat direduksi jika komponen struktur memenuhi persyaratan SNI 1727:2013 pasal 4.7.2 berikut :

$$K_{LL} \times A_T \geq 37,16 \text{ m}^2$$

dimana,

$K_{LL}$  = Faktor elemen beban hidup, mengacu pada SNI 1727:2013 Tabel 4-2. Nilai  $K_{LL}$  diambil sebesar 4

$A_T$  = Luas tributari

$$A_T = 8 \times 8 = 64 \text{ m}^2$$

$$K_{LL} = 4$$

$$K_{LL} \times A_T = 4 \times 64 = 256 \text{ m}^2 > 37,16 \text{ m}^2$$

- Reduksi beban hidup lantai

$$L = L_o \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \quad (4-9)$$

dimana,

$L$  = beban hidup rencana tereduksi per m<sup>2</sup>

$L_o$  = beban hidup rencana tanpa reduksi per m<sup>2</sup> sebesar 1,92 Kn/m<sup>2</sup>

$$L = 1,92 \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{256}} \right) = 1,028 \text{ Kn/m}^2 = 104,83 \text{ kg/m}^2$$

Syarat :  $L \geq 0,4L_o$  ;  $0,4L_o = 0,4 \cdot 1,92 = 0,768 \text{ Kn/m}^2$  (Ok)

- Reduksi beban hidup lantai atap

$$L_r = L_o R_1 R_2 \quad (4-10)$$

dimana,

$L_r$  = beban hidup atap tereduksi per m<sup>2</sup>

$L_o$  = beban hidup atap tanpa reduksi per m<sup>2</sup> sebesar 0,96 Kn/m<sup>2</sup>

$R_1$  = 0,6 untuk  $A_T \geq 55,74 \text{ m}^2$

$R_2$  = 1 untuk kemiringan atap < 4

$$L_r = 0,96 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,576 \text{ Kn/m}^2$$

Syarat :  $0,58 \leq L_r \leq 0,96$  (Tidak Ok)

$$\text{Maka diambil } L_r = 0,96 \text{ Kn/m}^2 = 97,86 \text{ kg/m}^2$$

## b. Pembebanan

Perhitungan pembebanan tiap lantai untuk merencanakan dimensi kolom dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

### • Kolom Lantai Atap – Lantai 18

Berat total yang diterima satu kolom :

$$\begin{aligned} W &= 1,2D + 1,6L + 0,5L_r \\ &= 1,2(270.690) + 1,6(26.836,94) + 0,5(6.263) \\ &= 370.898,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Luas penampang kolom yang diperlukan dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$A = \frac{W}{\phi f'c} \quad (4-11)$$

dimana,

A = Luas penampang kolom

W = Beban aksial yang diterima kolom

$f'c$  = Kuat tekan beton karakteristik = 40 MPa = 400 kg/cm<sup>2</sup>

$\phi$  = 0,65 untuk penampang terkendali tekan (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2)

Perhitungan :

$$A = \frac{W}{\phi f'c} = \frac{370898,6}{0,65 \cdot 400} = 1426,53 \text{ cm}^2$$

A = b.h, diasumsikan b=h

$$A = h^2$$

$$h = \sqrt{A} = \sqrt{1426,53} = 37,76 \text{ cm}$$

Maka direncanakan kolom yang digunakan untuk lantai atap – lantai 18 adalah 50/50cm.



Tabel 4.9 Beban pada Kolom Lantai Atap – Lantai 18

<b>Beban Mati</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	64		0,12	5	92.160,00
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	64			5	7.680,00
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	64			5	6.720,00
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	64			5	3.520,00
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	64			5	2.240,00
Ducting & Plumbing	25	kg/m <sup>2</sup>	64			5	8.000,00
Dinding pasangan bata	250	kg/m <sup>2</sup>	65			5	81.250,00
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	5	23.040,00
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	5	23.040,00
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	5	11.520,00
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	5	11.520,00
<b>Total Beban Mati (D)</b>							<b>270.690,00</b>
<b>Beban Hidup</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	104,83	kg/m <sup>2</sup>	64			4	26.836,94
Pelat atap	97,86	kg/m <sup>2</sup>	64			1	6.263,00
<b>Total Beban Hidup (L+Lr)</b>							<b>33.099,94</b>

- Kolom Lantai 17 – Lantai 14

Tabel 4.10 Beban pada Kolom Lantai 17 – Lantai 14

<b>Beban Mati</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	64		0,12	9	165.888,0
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	64			9	13.824,0
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	64			9	12.096,0
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	64			9	6.336,0
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	64			9	4.032,0
Ducting & Plumbing	25	kg/m <sup>2</sup>	64			9	14.400,0
Dinding pasangan bata	250	kg/m <sup>2</sup>	65			9	146.250,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	9	41.472,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	9	41.472,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	9	20.736,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	9	20.736,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>							<b>487.242,0</b>
<b>Beban Hidup</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	104,83	kg/m <sup>2</sup>	64			8	53.673,9
Pelat atap	97,86	kg/m <sup>2</sup>	64			1	6.263,0
<b>Total Beban Hidup (L+Lr)</b>							<b>59.936,9</b>

Berat total yang diterima satu kolom :

$$\begin{aligned}
 W &= 1,2D + 1,6L + 0,5Lr \\
 &= 1,2(487.242,0) + 1,6(53.673,9) + 0,5(6.263) \\
 &= 673.700,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Luas penampang kolom yang diperlukan dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$A = \frac{W}{\phi f'c} \quad (4-12)$$

dimana,

- $A$  = Luas penampang kolom  
 $W$  = Beban aksial yang diterima kolom  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton karakteristik = 40 MPa = 400 kg/cm<sup>2</sup>  
 $\phi$  = 0,65 untuk penampang terkendali tekan (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2)

Perhitungan :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} = \frac{673700,1}{0,65 \cdot 400} = 2591,15 \text{ cm}^2$$

$A$  = b.h, diasumsikan b=h

$$A = h^2$$

$$h = \sqrt{A} = \sqrt{2591,15} = 50,91 \text{ cm}$$

Maka direncanakan kolom yang digunakan untuk lantai 17 – lantai 14 adalah 60/60cm.

- Kolom Lantai 13 – Lantai 10

Berat total yang diterima satu kolom :

$$\begin{aligned}
 W &= 1,2D + 1,6L + 0,5L_r \\
 &= 1,2(703.794,0) + 1,6(80.510,8) + 0,5(6.263) \\
 &= 976.501,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Luas penampang kolom yang diperlukan dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} \quad (4-13)$$

dimana,

$A$  = Luas penampang kolom

$W$  = Beban aksial yang diterima kolom

$f'_c$  = Kuat tekan beton karakteristik = 40 MPa = 400 kg/cm<sup>2</sup>

$\phi$  = 0,65 untuk penampang terkendali tekan (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2)

Perhitungan :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} = \frac{976501,6}{0,65 \cdot 400} = 3755,77 \text{ cm}^2$$

$$A = b \cdot h, \text{ diasumsikan } b=h$$

$$A = h^2$$

$$h = \sqrt{A} = \sqrt{3755,77} = 61,28 \text{ cm}$$

Maka direncanakan kolom yang digunakan untuk lantai 13 – lantai 10 adalah 70/70cm.

Tabel 4.11 Beban pada Kolom Lantai 13 – Lantai 10

<b>Beban Mati</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	64		0,12	13	239.616,0
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	64			13	19.968,0
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	64			13	17.472,0
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	64			13	9.152,0
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	64			13	5.824,0
Ducting & Plumbing	25	kg/m <sup>2</sup>	64			13	20.800,0
Dinding pasangan bata	250	kg/m <sup>2</sup>	65			13	211.250,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	13	59.904,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	13	59.904,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	29.952,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	29.952,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>							<b>703.794,0</b>
<b>Beban Hidup</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	104,83	kg/m <sup>2</sup>	64			12	80.510,8
Pelat atap	97,86	kg/m <sup>2</sup>	64			1	6.263,0
<b>Total Beban Hidup (L+Lr)</b>							<b>86.773,8</b>

- Kolom Lantai 9 – Lantai 6

Tabel 4.12 Beban pada Kolom Lantai 9 – Lantai 6

Beban Mati							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	64		0,12	17	313.344,0
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	64			17	26.112,0
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	64			17	22.848,0
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	64			17	11.968,0
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	64			17	7.616,0
Ducting & Plumbing	25	kg/m <sup>2</sup>	64			17	27.200,0
Dinding pasangan bata	250	kg/m <sup>2</sup>	65			17	276.250,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	17	78.336,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	17	78.336,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	17	39.168,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	17	39.168,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>							<b>920.346,0</b>
Beban Hidup							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	104,83	kg/m <sup>2</sup>	64			16	107.347,8
Pelat atap	97,86	kg/m <sup>2</sup>	64			1	6.263,0
<b>Total Beban Hidup (L+Lr)</b>							<b>113.610,8</b>

Berat total yang diterima satu kolom :

$$\begin{aligned}
 W &= 1,2D + 1,6L + 0,5Lr \\
 &= 1,2(920.346,0) + 1,6(107.347,8) + 0,5(6.263) \\
 &= 1.279.303,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Luas penampang kolom yang diperlukan dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$A = \frac{W}{\phi f'c} \quad (4-14)$$

dimana,

- $A$  = Luas penampang kolom  
 $W$  = Beban aksial yang diterima kolom  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton karakteristik = 40 MPa = 400 kg/cm<sup>2</sup>  
 $\phi$  = 0,65 untuk penampang terkendali tekan (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2)

Perhitungan :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} = \frac{1.279.303,1}{0,65 \cdot 400} = 4920,39 \text{ cm}^2$$

$A$  = b.h, diasumsikan b=h

$A$  = h<sup>2</sup>

$h$  =  $\sqrt{A} = \sqrt{4920,39} = 70,15 \text{ cm}$

Maka direncanakan kolom yang digunakan untuk lantai 9–lantai 6 adalah 80/80cm.

- Kolom Lantai 5 – Lantai 1

Berat total yang diterima satu kolom :

$$\begin{aligned}
 W &= 1,2D + 1,6L + 0,5Lr \\
 &= 1,2(1.191.036,0) + 1,6(140.893,9) + 0,5(6.263) \\
 &= 1.657.805,0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Luas penampang kolom yang diperlukan dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} \quad (4-15)$$

dimana,

$A$  = Luas penampang kolom

$W$  = Beban aksial yang diterima kolom

$f'_c$  = Kuat tekan beton karakteristik = 40 MPa = 400 kg/cm<sup>2</sup>

$\phi$  = 0,65 untuk penampang terkendali tekan (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2)

Perhitungan :

$$A = \frac{W}{\phi f'_c} = \frac{1657805,0}{0,65 \cdot 400} = 6376,17 \text{ cm}^2$$

$A$  = b.h, diasumsikan b=h

$A$  = h<sup>2</sup>

$$h = \sqrt{A} = \sqrt{6376,17} = 79,85 \text{ cm}$$

Maka direncanakan kolom yang digunakan untuk lantai 4 – lantai 1 adalah 90/90cm.

Tabel 4.13 Beban pada Lantai 5 – Lantai 1

<b>Beban Mati</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	64		0,12	22	405.504,0
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	64			22	33.792,0
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	64			22	29.568,0
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	64			22	15.488,0
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	64			22	9.856,0
Ducting & Plumbing	25	kg/m <sup>2</sup>	64			22	35.200,0
Dinding pasangan bata	250	kg/m <sup>2</sup>	65			22	357.500,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	22	101.376,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	22	101.376,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	22	50.688,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	22	50.688,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>							<b>1.191.036,0</b>
<b>Beban Hidup</b>							
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	104,83	kg/m <sup>2</sup>	64			21	140.893,9
Pelat atap	97,86	kg/m <sup>2</sup>	64			1	6.263,0
<b>Total Beban Hidup (L+Lr)</b>							<b>147.156,9</b>

### c. Rekapitulasi Perencanaan Dimensi Kolom

Rekapitulasi perhitungan dimensi awal kolom pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Lantai	Nama Kolom	n kolom	b (cm)	b pakai (cm)	h pakai (cm)
Atap-18	K5	4	37,77	50	50
17-14	K4	4	50,90	60	60
13-10	K3	4	61,28	70	70
9-6	K2	4	70,15	80	80
5-2	K1	4	79,85	90	90
1	Pedestal	1	79,85	90	90

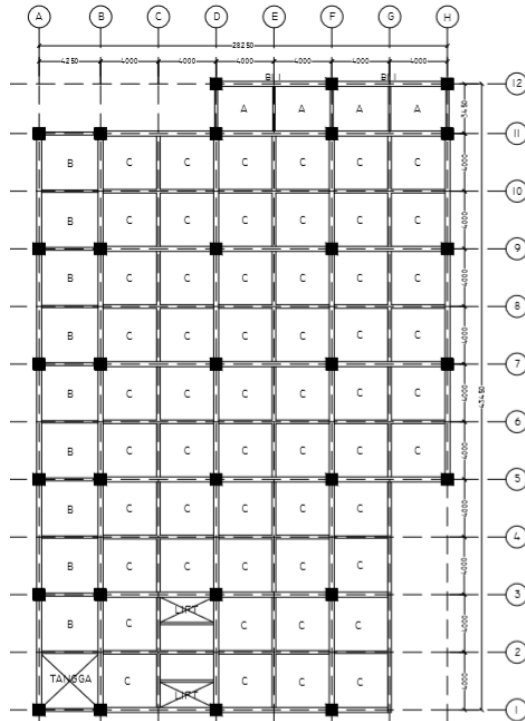
## 4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perancangan struktur sekunder. Bagian dari struktur sekunder yang akan direncanakan antara lain meliputi pelat lantai, pelat atap, tangga, balok lift dan balok anak.

### 4.2.1 Perencanaan Pelat Lantai dan Pelat Atap

Terdapat dua jenis pelat yang akan direncanakan yaitu pelat lantai dan pelat atap, yang terbagi lagi menjadi tiga tipe berdasarkan ukurannya (Gambar 4.11). Pada tugas akhir ini akan diberikan contoh perhitungan penulangan pelat lantai yang memiliki luasan terbesar yang mewakili pelat lainnya.





Gambar 4. 11 Denah Pelat

#### 4.2.1.1 Pelat Tipe B

i. Data Perencanaan

$$L_x = 4000\text{mm}$$

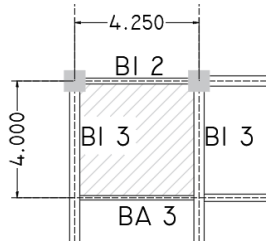
$$L_y = 4250\text{mm}$$

$$\beta = L_y/L_x = 4250/4000 = 1,06 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

$$h_{\text{pelat}} = 120 \text{ mm}$$

$$f'_c = 40\text{MPa}$$

$$f_y = 400\text{MPa}$$



Gambar 4. 12 Pelat Tipe B

ii. Pembebanan

Beban Mati ( $q_D$ )	:	
Berat sendiri	$= 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,12\text{m}$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Penutup lantai		$= 24 \text{ kg/m}^2$
Spesi		$= 21 \text{ kg/m}^2$
Langit-langit		$= 11 \text{ kg/m}^2$
Penggantung langit-langit		$= 7 \text{ kg/m}^2$
<i>Ducting and plumbing</i>		$= 25 \text{ kg/m}^2 +$
<b>Total <math>q_D</math></b>		<b><math>= 376 \text{ kg/m}^2</math></b>

Beban Hidup ( $q_L$ )	:	
Lantai apartemen	$= 195,72 \text{ kg/m}^2$	

Kombinasi Beban	:	
$q_U$	$= 1,2q_D + 1,6 q_L$	
	$= 1,2(376) + 1,6(195,72)$	
	$= 764,35 \text{ kg/m}^2$	

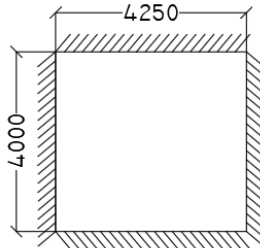
iii. Momen yang Terjadi pada Pelat Lantai

Pelat lantai B merupakan pelat yang terjepit penuh pada keempat sisinya, berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1 dapat digunakan perumusan momen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{tx} &= -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x \\ M_{lx} &= 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x \\ M_{ty} &= -0,001 \cdot q_U \cdot L_y^2 \cdot x \\ M_{ly} &= 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x \end{aligned}$$

dimana,

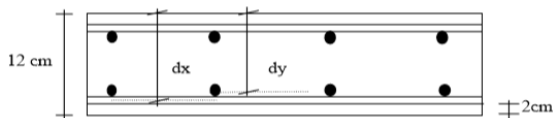
- $M_{tx}$  = Momen tumpuan arah x  
 $M_{lx}$  = Momen lapangan arah x  
 $M_{ty}$  = Momen tumpuan arah y  
 $M_{ly}$  = Momen lapangan arah y  
 $X$  = Nilai konstanta dari perbandingan  $L_y/L_x$



Gambar 4. 13 Pelat Terjepit Penuh

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 56,38 (\text{hasil interpolasi}) \\
 &= -0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 56,38 \\
 &= -689,44 \text{ kg m} \\
 M_{lx} &= 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 23,5 (\text{hasil interpolasi}) \\
 &= 0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 23,5 \\
 &= 287,39 \text{ kg m} \\
 M_{ty} &= -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 53,25 (\text{hasil interpolasi}) \\
 &= -0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 53,25 \\
 &= -651,23 \text{ kg m} \\
 M_{ly} &= 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 21 (\text{hasil interpolasi}) \\
 &= 0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 21 \\
 &= 256,82 \text{ kg m}
 \end{aligned}$$

iv. Tebal Manfaat Pelat



$$D_{tul} = 13 \text{ mm} ; A_{s1 \text{ tul}} = 132,74 \text{ mm}^2$$

Selimut beton = 20 mm

$$\begin{aligned} d_x &= h_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 0,5D \\ &= 120 - 20 - 0,5 \cdot 13 \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 1,5D \\ &= 120 - 20 - 1,5 \cdot 13 \\ &= 80,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

v. Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &\geq 0,25 \sqrt{f'_c} / f_y \quad \text{dan, } \rho_{\min} \geq 1,4/f_y \\ &\geq 0,25 \sqrt{40} / 400 \quad \geq 1,4/400 \\ &\geq 0,00395 \quad \geq 0,004 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

vi. Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029$$

vii. Tulangan Tumpuan Arah x

Rasio Tulangan Perlu :

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 689,44 \text{ kg m} \\ &= 6.763.441,34 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$d_x = 87 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{6.763.441,34}{0,9 \cdot 1000 \cdot 87^2} = 0,993 \text{ MPa}$$

$$m = f_y / (0,85 f'_c) = 400 / (0,85 / 40) = 11,765$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 0,993}{400}} \right) = 0,0025 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\min} = 0,004$$

Luas tulangan perlu :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 1000 \cdot 87 = 343,89 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 343,89 / 132,74 = 2,59 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 3 \cdot 132,74 = 398,19 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 2t_p$  yaitu 240 mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 200 mm**.

Luas Tulangan Terpasang :

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ buah}$$

$$A_s = n \cdot A_{s \text{ 1 tul}} = 5 \cdot 132,74 = 663,7 \text{ mm}^2$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,81$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\text{Tinggi area tekan beton, } c = a / \beta_1 = 7,81 / 0,76 = 10,22$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c) / c \\ &= 0,003 \cdot (87-10,22) / 10,22 \\ &= 0,023 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

viii. Tulangan Tumpuan Arah y

Rasio Tulangan Perlu :

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 651,23 \text{ kg m} \\ &= 6.388.527,74 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$d_y = 80,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{6.388.527,74}{0,9 \cdot 1000 \cdot 80,5^2} = 1,095 \text{ MPa}$$

$$m = f_y / (0,85 f_c) = 400 / (0,85 / 40) = 11,765$$

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

$$= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 1,095}{400}} \right) = 0,0028$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{min}} = 0,004$$

Luas tulangan perlu :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 1000 \cdot 80,5 = 318,204 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 318,204 / 132,74 = 2,397 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 3 \cdot 132,74 = 398,19 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 2t_p$  yaitu 240 mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 200 mm**.

Luas Tulangan Terpasang :

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ buah}$$

$$A_s = n \cdot A_{s \text{ 1 tul}} = 5 \cdot 132,74 = 663,7 \text{ mm}^2$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,81$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\text{Tinggi area tekan beton, } c = a / \beta_1 = 7,81 / 0,76 = 10,22$$

$$\text{Regangan tulangan, } \epsilon_t = 0,003 \cdot (d - c) / c$$

$$= 0,003 \cdot (87 - 10,22) / 10,22$$

$$= 0,023 > 0,005$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

ix. Tulangan Lapangan Arah x

Rasio Tulangan Perlu :

$$\begin{aligned} Ml_x &= 287,39 \text{ kg m} \\ &= 2.819.350,27 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$d_x = 87 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{2.819.350,27}{0,9 \cdot 1000 \cdot 87^2} = 0,414 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{(0,85 f_c)} = \frac{400}{(0,85/40)} = 11,765$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 0,414}{400}} \right) = 0,001 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{min}} = 0,004$$

Luas tulangan perlu :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 1000 \cdot 87 = 343,898 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ 1 tul}}} = \frac{343,898}{132,74} = 2,591 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 3 \cdot 132,74 = 398,19 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 2t_p$  yaitu 240 mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 200 mm**.

Luas Tulangan Terpasang :

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ buah}$$

$$A_s = n \cdot A_{s1 \text{ tul}} = 5.132,74 = 663,7 \text{ mm}^2$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,81$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 7,81/0,76 = 10,22$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c)/c \\ &= 0,003 \cdot (87-10,22)/10,22 \\ &= 0,023 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

#### x. Tulangan Lapangan Arah y

Rasio Tulangan Perlu :

$$\begin{aligned} Mly &= 256,82 \text{ kg m} \\ &= 2.519.419,39 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$d_y = 80,5 \text{ mm}$$

$\phi = 0,9$  (diasumsikan beton terkendali tarik)

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{2.519.419,39}{0,9 \cdot 1000 \cdot 80,5^2} = 0,432 \text{ MPa}$$

$$m = f_y / (0,85 f_c') = 400 / (0,85 / 40) = 11,765$$

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

$$= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 0,432}{400}} \right) = 0,0011$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{min}} = 0,004$$

Luas tulangan perlu :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 1000 \cdot 80,5 = 318,204 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s1 \text{ tul}} = 318,204 / 132,74 = 2,397 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 3.132,74 = 398,19 \text{ mm}^2$$



Jarak tulangan :

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 2t_p$  yaitu 240 mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 200 mm**.

Luas Tulangan Terpasang :

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ buah}$$

$$A_s = n \cdot A_{s1 \text{ tul}} = 5 \cdot 132,74 = 663,7 \text{ mm}^2$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,81$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\text{Tinggi area tekan beton, } c = a/\beta_1 = 7,81/0,76 = 10,22$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \epsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c)/c \\ &= 0,003 \cdot (87-10,22)/10,22 \\ &= 0,023 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

xi. Tulangan Pembagi (Tulangan Suhu dan Tulangan Susut)

Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= 0,002 \cdot b \cdot t_p \text{ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}}/A_{s1 \text{ tul}} = 240/132,74 = 1,81 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 2 \cdot 132,74 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 5t_p$  yaitu 600mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 300 mm**.

#### 4.2.1.2 Pelat Tipe C

##### i. Data Perencanaan

$$L_x = 4000\text{mm}$$

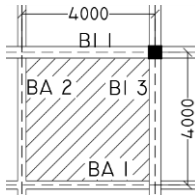
$$L_y = 4000\text{mm}$$

$$\beta = L_y/L_x = 4000/4000 = 1 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

$$h \text{ pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$f'_c = 40\text{MPa}$$

$$f_y = 400\text{MPa}$$



Gambar 4. 14 Pelat Tipe C

##### ii. Pembebanan

Beban Mati ( $q_D$ ) :

$$\text{Berat sendiri} = 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,12\text{m} = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penutup lantai} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Langit-langit} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung langit-langit} = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting and plumbing} = 25 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total } q_D = 376 \text{ kg/m}^2$$

Beban Hidup ( $q_L$ ) :

$$\text{Lantai apartemen} = 195,72 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi Beban :

$$q_U = 1,2q_D + 1,6 q_L$$

$$= 1,2(376) + 1,6(195,72)$$

$$= 764,35 \text{ kg/m}^2$$

iii. Momen yang Terjadi pada Pelat Lantai

Pelat lantai C merupakan pelat yang terjepit penuh pada ketiga sisinya, berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1 dapat digunakan perumusan momen sebagai berikut :

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x$$

dimana,

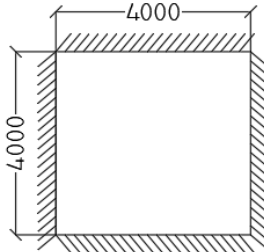
$M_{tx}$  = Momen tumpuan arah x

$M_{lx}$  = Momen lapangan arah x

$M_{ty}$  = Momen tumpuan arah y

$M_{ly}$  = Momen lapangan arah y

X = Nilai konstanta dari perbandingan  $L_y/L_x$



Gambar 4. 15 Pelat Terjepit Penuh

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 52$$

$$= -0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 52$$

$$= - 635,93 \text{ kg m}$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 21$$

$$= 0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 21$$

$$= 256,82 \text{ kg m}$$

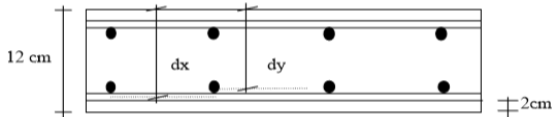
$$M_{ty} = -0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 52$$

$$= -0,001 \cdot 764,35 \cdot 4^2 \cdot 52$$

$$= - 635,93 \text{ kg m}$$

$$\begin{aligned}
 Mly &= 0,001 \cdot q_U \cdot L_x^2 \cdot x, \text{ dengan } x = 21 \\
 &= 0,001 \cdot 764,35 \cdot 21^2 \\
 &= 256,82 \text{ kg m}
 \end{aligned}$$

iv. Tebal Manfaat Pelat



$$\begin{aligned}
 D_{tul} &= 13 \text{ mm} ; A_{s \ 1 \ tul} = 132,74 \text{ mm}^2 \\
 \text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
 d_x &= h_{pelat} - \text{selimut} - 0,5D \\
 &= 120 - 20 - 0,5 \cdot 13 \\
 &= 87 \text{ mm} \\
 d_y &= h_{pelat} - \text{selimut} - 1,5D \\
 &= 120 - 20 - 1,5 \cdot 13 \\
 &= 80,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

v. Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &\geq 0,25 \sqrt{f'c} / f_y \quad \text{dan, } \rho_{min} \geq 1,4 / f_y \\
 &\geq 0,25 \sqrt{40} / 400 \quad \geq 1,4 / 400 \\
 &\geq 0,00395 \quad \geq 0,004
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{min} = 0,004$

vi. Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029$$

vii. Tulangan Tumpuan Arah x dan Tumpuan Arah y

Rasio Tulangan Perlu :

$$M_{tx} = M_{ty}$$

$$\begin{aligned}
 &= 635,93 \text{ kg m} \\
 &= 6.238.562,3 \text{ N mm} \\
 d_x &= 87 \text{ mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{6.238.562,3}{0,9 \cdot 1000 \cdot 87^2} = 0,916 \text{ MPa} \\
 m &= f_y / (0,85 f'_c) = 400 / (0,85 / 40) = 11,765 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 0,916}{400}} \right) = 0,0023 \\
 \rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho &= \rho_{\text{min}} = 0,004
 \end{aligned}$$

Luas tulangan perlu :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 1000 \cdot 87 = 343,89 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 343,89 / 132,74 = 2,591 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 3 \cdot 132,74 = 398,19 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 2t_p$  yaitu 240 mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 200 mm**.

Luas Tulangan Terpasang :

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ buah}$$

$$A_s = n \cdot A_{s \text{ 1 tul}} = 5 \cdot 132,74 = 663,7 \text{ mm}^2$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{663,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,81$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 7,81/0,76 = 10,22$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c)/c \\ &= 0,003 \cdot (87-10,22)/10,22 \\ &= 0,023 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

viii. Tulangan Lapangan Arah x dan Lapangan Arah y  
Rasio Tulangan Perlu :

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 256,822 \text{ kg m} \\ &= 2.519.419,392 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$d_x = 87 \text{ mm}$$

$\phi = 0,9$  (diasumsikan beton terkendali tarik)

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{2.519.419,392}{0,9 \cdot 1000 \cdot 87^2} = 0,432 \text{ MPa}$$

$$m = f_y / (0,85 f_c) = 400 / (0,85 / 40) = 11,765$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 0,432}{400}} \right) = 0,0011 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rho = \rho_{\text{min}} = 0,004$

Luas tulangan perlu :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 1000 \cdot 87 = 318,204 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 318,204 / 132,74 = 2,397 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 3 \cdot 132,74 = 398,19 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 2t_p$  yaitu 240 mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 200 mm**.

Luas Tulangan Terpasang :

$$n = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ buah}$$

$$A_s = n \cdot A_{s1 \text{ tul}} = 5 \cdot 132,74 = 663,7 \text{ mm}^2$$

Cek asumsi nilai  $\phi$ 

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,81$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\text{Tinggi area tekan beton, } c = a/\beta_1 = 7,81/0,76 = 10,22$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \epsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c)/c \\ &= 0,003 \cdot (87-10,22)/10,22 \\ &= 0,023 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

ix. Tulangan Pembagi (Tulangan Suhu dan Tulangan Susut)Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= 0,002 \cdot b \cdot t_p \text{ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}}/A_{s1 \text{ tul}} = 240/132,74 = 1,81 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 2 \cdot 132,74 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 5t_p$  yaitu 600mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D13 – 300 mm**.

### 4.2.1.3 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai dan Pelat Atap

Dari hasil perhitungan, diperoleh rencana penulangan pelat lantai dan pelat atap seperti pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai dan Pelat Atap

Nama Pelat	Tumpuan		Lapangan		Tulangan Pembagi
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y	
A	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	D13-300
B	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	D13-300
C	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	D13-300

### 4.2.2 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, tangga dimodelkan sebagai *free standing* dengan kondisi ujung perletakan berupa jepit-jepit dengan data teknis seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi lantai} &= 400 \text{ cm} \\
 \text{Panjang bentang tangga, } L &= 425 \text{ cm} \\
 \text{Panjang bersih bentang tangga, } L_n &= 425 - 40 = 385 \text{ cm} \\
 \text{Elevasi bordes} &= \frac{\text{Tinggi lantai}}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi tanjakan, } t &= 18 \text{ cm} \\
 \text{Jumlah tanjakan } n_t &= \frac{\text{Elevasi bordes}}{t} = \frac{200}{18} = 11 \text{ buah} \\
 \text{Lebar injakan, } i &= 25 \text{ cm} \\
 \text{Jumlah injakan, } n_i &= n_t - 1 = 11 - 1 = 10 \text{ buah} \\
 \text{Panjang horizontal tangga} &= i \cdot n_i = 25 \cdot 10 = 250 \text{ cm} \\
 \text{Panjang diagonal tangga} &= \sqrt{200^2 + 250^2} = 320,16 \text{ cm} \\
 \text{Kemiringan tangga, } \alpha &= \text{arc tan} \frac{\text{Elevasi bordes}}{n_t \cdot i} \\
 &= \text{arc tan} \frac{200}{11 \cdot 25} = 36,02^\circ \\
 \text{Panjang bordes} &= L - \text{Panjang horizontal tangga} \\
 &= 425 - 250 = 175 \text{ cm} \\
 \text{Lebar bordes} &= 400 \text{ cm} \\
 \text{Lebar tangga} &= 190 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

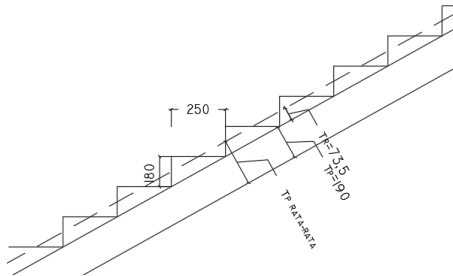


$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat tangga, } t_p &= \frac{l}{20} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right) \\ &= \frac{320,16}{20} \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) \\ &= 18,6 \approx 19 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal pelat bordes} = 19 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat rata-rata anak tangga, } t_r &= \frac{i \cdot \sin \alpha}{2} = \frac{25 \cdot \sin 36,02^\circ}{2} \\ &= 7,35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat rata-rata (Gambar 4..)} &= t_p + t_r \\ &= 19 + 7,35 \\ &= 26,352 \text{ cm} \end{aligned}$$

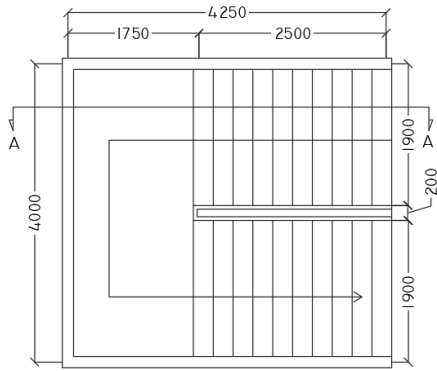


Gambar 4. 16 Detail Tebal Pelat

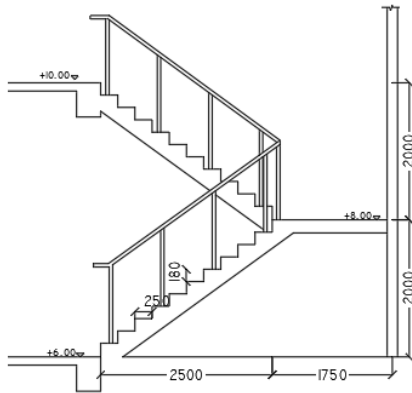
Denah dan potongan perencanaan tangga dapat dilihat pada Gambar.

Cek Syarat :

- i.  $60 \leq (2t + i) \leq 65$   
 $60 \leq 2(18) + 25 \leq 65$   
 $60 \leq 61 \leq 65 \dots \dots \dots (\text{Ok})$
- ii.  $25 \leq \alpha \leq 40$   
 $25 \leq 36,02^\circ \leq 40 \dots \dots \dots (\text{Ok})$



Gambar 4.17 Denah Tangga



Gambar 4.18 Potongan A-A Tangga

### 4.2.2.1 Pembebanan Tangga dan Bordes

#### a) Pembebanan Tangga

Tabel 4. 16 Pembebanan Tangga

<b>Beban mati tambahan</b>				
Jenis beban	Berat jenis	Satuan	l (m)	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Keramik	24	kg/m <sup>2</sup>	1	24
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1	21
Sandaran	25	kg/m <sup>2</sup>		25
<b>Total beban mati (qD)</b>				70,000
<b>Beban hidup</b>				
Jenis beban	Berat	Satuan	l (m)	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Tangga	488,28	kg/m <sup>2</sup>	1	488,28
<b>Total beban hidup (qL)</b>				488,28

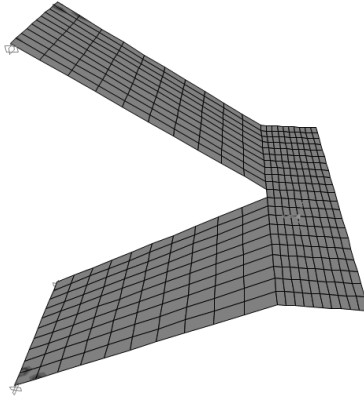
#### b) Pembebanan Bordes

Tabel 4. 17 Pembebanan Bordes

<b>Beban mati tambahan</b>				
Jenis beban	Berat jenis	Satuan	l (m)	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Keramik	24	kg/m <sup>2</sup>	1	24
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1	21
<b>Total beban mati (qD)</b>				45,000
<b>Beban hidup</b>				
Jenis beban	Berat	Satuan	l (m)	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Tangga	488,28	kg/m <sup>2</sup>	1	488,28
<b>Total beban hidup (qL)</b>				488,28

### 4.2.2.2 Analisis Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisis struktur tangga ini, tangga dimodelkan dengan menggunakan program bantu SAP2000 dengan perletakan jepit-jepit seperti pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Pemodelan Tangga

Berikut perhitungan gaya dalam pada tangga :

#### 4.2.2.3 Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

##### i. Data Perencanaan

$$f^c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$t_p \text{ tangga} = 190 \text{ mm}$$

$$t_p \text{ bordes} = 190 \text{ mm}$$

$$\text{selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$d_b = 19 \text{ mm} (A_s \text{ tul} = 283,53 \text{ mm}^2)$$

$$d = t_p - \text{selimut beton} - 0,5d_b$$

$$= 190 - 20 - 0,5 \cdot 19$$

$$= 160,5 \text{ mm}$$

$$m = f_y / (0,85f^c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765$$

##### Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} \geq 0,25\sqrt{f^c} / f_y \quad \text{dan} \quad \rho_{\min} \geq 1,4/f_y$$

$$\geq 0,25\sqrt{40} / 400 \qquad \geq 1,4/400$$

$$\geq 0,00395 \qquad \geq 0,004$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

##### Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389$$

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029$$

## ii. Tulangan Lentur Arah x (Sisi Bawah)

### Rasio tulangan perlu

Dari hasil pemodelan pada program bantu analisis didapatkan momen maksimum sebesar 102.473.291 Nmm.

$$M_u = 102.473.291 \text{ N mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{102.473.291}{0,9 \cdot 1000 \cdot 160,5^2} = 4,42 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 4,42}{400}} \right) = 0,012$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}, \text{ maka } \rho = \rho_{perlu} = 0,012$$

### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,012 \cdot 1000 \cdot 160,5 = 1906,75 \text{ mm}^2$$

### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 1906,75 / 283,53 = 6,7 \approx 7 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 7 \cdot 283,53 = 1984,7 \text{ mm}^2$$

### Jarak tulangan

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{7} = 142,9 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 3t_p$  dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D19 – 140 mm**.

Cek asumsi nilai  $\phi$ 

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1984,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 15,62$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 15,62/0,76 = 20,43$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c)/c \\ &= 0,003 \cdot (160,5 - 20,43)/20,43 \\ &= 0,02 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

**iii. Tulangan Lentur Arah x (Sisi Atas)**Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= 0,5 A_{s \text{ bawah}} \\ &= 0,5 \times 1906,75 \text{ mm}^2 \\ &= 953,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$d_b = 16 \text{ mm } (= A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 \text{ mm}^2)$$

$$n = A_{s \text{ perlu}}/A_{s \text{ 1 tul}} = 953,38/201,062 = 4,74 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 5 \cdot 201,062 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 3t_p$  dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D16 – 140 mm**.

Cek asumsi nilai  $\phi$ 

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1005,31 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 13,23$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 13,23/0,76 = 17,46$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d-c)/c \\ &= 0,003 \cdot (141,5 - 17,46)/17,46 \end{aligned}$$

$$= 0,02 > 0,005$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

#### iv. Tulangan Pembagi

##### Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= 0,002 \cdot b \cdot t_p \text{ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)} \\ &= 0,002 \cdot 1900 \cdot 190 \\ &= 722 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

##### Jumlah tulangan

$$\begin{aligned} d_b &= 10 \text{ mm } ((=A_{s \text{ 1 tul}} = 78,54 \text{ mm}^2) \\ n &= A_{s \text{ perlu}}/A_{s \text{ 1 tul}} = 722/78,54 = 9,2 \approx 10 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan aktual} = 10 \cdot 78,54 = 785,4 \text{ mm}^2$$

##### Jarak tulangan

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ mm}$$

Syarat,  $s \leq 5t_p$  yaitu 600mm dan tidak boleh melebihi 450mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.5). Maka digunakan **D10 – 100 mm**.

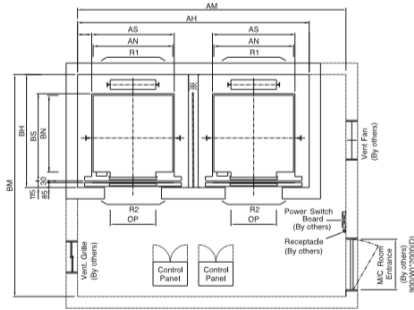
### 4.2.3 Perencanaan Balok Lift

Pada perancangan gedung ini menggunakan lift penumpang yang diproduksi oleh Sigma Elevator Company dengan data-data sebagai berikut (brosur terlampir) :

Merk	: Sigma Elevator
Kapasitas orang	: 11 orang
Kapasitas beban	: 750 kg
Kecepatan	: 1,5-1,75 m/s
Lebar pintu	: 800 mm
<i>Car size</i>	: <i>Width</i> = 1400 mm
	<i>Depth</i> = 1350 mm
<i>Hoistway size (Duplex)</i>	: <i>Width</i> = 3750 mm
	<i>Depth</i> = 1950 mm

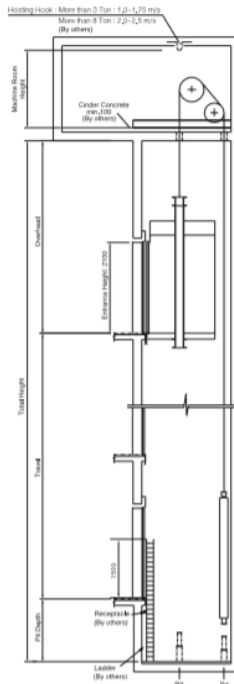
*Machine room size* : Width = 4050 mm  
 : Depth = 3750 mm  
*Machine room reaction load* : R1 = 5250 kg  
 : R2 = 3700 kg

Untuk gambar *layout* denah dan potongan lift dapat dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4.20 *Layout* Lift





Gambar 4.21 Potongan Lift

### 4.2.3.1 Dimensi Balok Penggantung Lift

Sesuai dengan denah lift pada Gambar 4.22 akan direncanakan balok lift dengan perhitungan dimensi sebagai berikut.

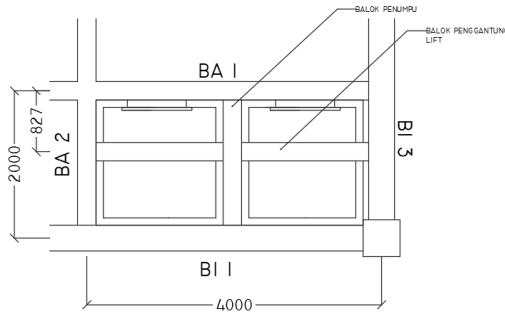
$$F_y = 400 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{balok}} = 200 \text{ cm}$$

$$h_{\text{min}} = \frac{l}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{200}{16} \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) = 12,15 \text{ cm}$$

digunakan  $h = 35 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \cdot 35 = 23,33 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$



Gambar 4.22 Denah Lift

#### 4.2.3.2 Pembebanan Balok Penggantung Lift

##### i. Beban Terpusat

Beban terpusat yang bekerja merupakan beban akibat reaksi ruang mesin. Berdasarkan PPIUG 1983 pasal 3.3.(3) dalam pembebanan balok lift perlu diperhitungkan koefisien kejut yang terjadi, koefisien kejut ditentukan menurut rumus berikut :

$$\psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15 \quad (4-16)$$

dimana,

$\psi$  = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

$v$  = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/det.

$K_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

$k_2$  = koefisien yang bergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan dapat diambil sebesar 1,3.

Sehingga koefisien kejut yang bekerja pada balok adalah,

$$\psi = (1 + 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1) = 1,78 \geq 1,15$$

maka,

$$R_1 = 5250 \cdot 1,78 = 9345 \text{ kg}$$

$$R_2 = 3700,1,78 = 6586 \text{ kg}$$

$$P = R_1 + R_2 = 15931 \text{ kg}$$

ii. Beban Terbagi Merata

Tabel 4.18 Pembebanan Balok Lift

<b>Beban Mati Lantai</b>					
Jenis Beban	Berat Jenis	Satuan	l (m)	t (m)	Berat (kg/m)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	1	0,12	288
Balok penggantung	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,25	0,35	210
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1		21
<b>Total</b>					519
<b>Beban Hidup Lantai</b>					
Jenis Beban	Berat	Satuan	l (m)	t (m)	Berat (kg/m)
Lantai R.Mesin	97,86	kg/m <sup>2</sup>	1		97,859
<b>Total</b>					97,859

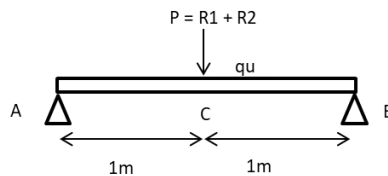
Kombinasi Beban :

$$q_U = 1,2q_D + 1,6q_L$$

$$= 1,2(519) + 1,6(97,859)$$

$$= 779,37 \text{ kg/m}$$

#### 4.2.3.3 Analisis Gaya Dalam Balok Penggantung Lift



Gambar 4.23 Pembebanan pada Balok Lift

a) Reaksi Perletakan akibat P dan  $q_U$

$$\sum M_A = P.L/2 - R_B.L + 0,5.q_U.L^2$$

$$0 = 15931.2/2 - R_B.2 + 0,5.779,37.2^2$$

$$R_B = 8744,875 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\sum M_B &= R_A \cdot L - P \cdot L/2 - 0,5 \cdot q_U \cdot L^2 \\ 0 &= R_A \cdot 2 - 15931 \cdot 2/2 - 0,5 \cdot 779,37 \cdot 2^2 \\ R_A &= 8744,875 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum V &= R_A + R_B - P - q_U \cdot L \\ 0 &= 8744,875 + 8744,875 - 15931 - 779,37 \cdot 2 \\ 0 &= 0 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

b) Gaya-Gaya Dalam

i. Gaya Normal (N)

$$N_A = 0$$

$$N_B = 0$$

$$N_C = 0$$

ii. Gaya Lintang (D)

$$D_A = R_A = 8744,875 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}D_C &= R_A - 0,5 q_U \cdot L \\ &= 8744,875 - 0,5 \cdot 779,37 \cdot 2 \\ &= 7965,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_C &= R_A - P - 0,5 q_U \cdot L \\ &= 8744,875 - 15931 - 0,5 \cdot 779,37 \cdot 2 \\ &= -7965,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$D_B = -R_B = -8744,875 \text{ kg}$$

iii. Gaya Momen (M)

$$M_A = 0$$

$$\begin{aligned}M_C &= R_A \cdot L/2 - 1/8 \cdot q_U \cdot L^2 \\ &= 8744,875 \cdot 2/2 - 1/8 \cdot 779,37 \cdot 2^2 \\ &= 8355,18 \text{ kg m}\end{aligned}$$

$$M_B = 0$$

#### 4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Balok Penggantungan Lift

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_b = 19 \text{ mm (} A_{s1 \text{ tul}} = 283,53 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$d_s = 10 \text{ mm (} A_{s1 \text{ tul}} = 78,54 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

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

selimut beton = 40 mm

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - d_s - 0,5d_b \\ &= 350 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 19 \\ &= 290,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = f_y / (0,85 f_c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765$$

### Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &\geq 0,25 \sqrt{f_c} / f_y \quad \text{dan, } \rho_{\min} \geq 1,4 / f_y \\ &\geq 0,25 \sqrt{40} / 400 \quad \geq 1,4 / 400 \\ &\geq 0,00395 \quad \geq 0,004 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

### Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029 \end{aligned}$$

## • Tulangan Lentur

### Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 8355,18 \text{ kg m} \\ &= 81.964.389,0 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$\phi = 0,9$  (diasumsikan beton terkendali tarik)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{81.964.389}{0,9 \cdot 250 \cdot 290,5^2} = 4,32 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 4,32}{400}} \right) \\ &= 0,012 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ , maka  $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,012$

### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,012 \cdot 250 \cdot 290,5 = 841,604 \text{ mm}^2$$

### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 841,604 / 283,53 = 2,97 \approx 3 \text{ buah}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan 3 D19.

$$\text{Luas tulangan aktual 3 D19} = 2 \cdot 283,53 = 850,58 \text{ mm}^2$$

### Cek asumsi nilai $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{850,58 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 250} = 40,03$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\text{Tinggi area tekan beton, } c = a / \beta_1 = 40,03 / 0,76 = 52,37$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0,003(d - c) / c \\ &= 0,003 \cdot (290,5 - 52,37) / 52,37 \\ &= 0,0136 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

### Cek spasi tulangan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1 spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam satu lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - 3d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 19}{3 - 1} = 46,5 \text{ mm (Ok)}$$

### Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,58 \times 400 (290,5 - 40,03/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 92.028.735,1 \text{ N mm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 92.028.735,1 \text{ N mm} \\
 &= 82.825.861,5 \text{ Nmm} > M_u = 81.964.389,0 \text{ Nmm (Ok)}
 \end{aligned}$$

• **Tulangan Geser**

Analisis Gaya Dalam

$$\begin{aligned}
 V_u &= 8744,875 \text{ kg} \\
 &= 85.787,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\Phi v_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\Phi v_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} bd \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 250 \cdot 290,5 \\
 &= 76.553,47 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Phi v_c = 0,75 \times 76.553,47 = 57415,104 \text{ N}$$

$$0,5\Phi v_c = 0,5 \times 0,75 \times 76.553,47 = 28707,552 \text{ N}$$

$$V_u = 85.787,2 \text{ N} < 0,5\Phi v_c = 28707,552 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 2.

Kondisi 2 :

Jika  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_u = 85.787,2 \text{ N} < \Phi v_c = 57.415,104 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 3.

Kondisi 3 :

Jika  $\Phi v_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ min}} &= 1/3 \cdot b \cdot d \\
 &= 1/3 \cdot 250 \cdot 290,5 \\
 &= 24208,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi (V_c + V_{s \text{ min}}) = 0,9 (76.553,47 + 24208,33) = 75.571 \text{ N}$$

$$V_u = 85.787,2 \text{ N} < \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 4.

Kondisi 4 :

Jika  $V_u > \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$  maka tulangan geser harus disediakan untuk memenuhi persamaan  $\Phi V_n \geq V_u$  dan  $V_n = V_c + V_s$ .

$$\begin{aligned} V_s &= V_u/\phi - V_c \\ &= 85.787,2/0,75 - 76.553,47 \\ &= 37.829,49 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Jarak Tulangan Geser

Diasumsikan menggunakan tulangan geser D10.

$$\begin{aligned} A_v &= 2\pi d_s^2 = 2 \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,1 \text{ mm}^2 \\ V_s &= 37.829,49 \text{ N} \\ s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,1 \cdot 400 \cdot 209,5}{37.829,49} = 482,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Syarat Jarak Tulangan Geser

Dalam SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1, jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap komponen struktur tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 290,5/2 = 145,25 \text{ mm} ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser D10-140 mm.

### **4.2.3.5 Dimensi Balok Penumpu**

Sesuai dengan denah lift pada Gambar 4.22 akan direncanakan balok lift dengan perhitungan dimensi sebagai berikut.

$$F_y = 400 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{balok}} = 200 \text{ cm}$$

$$h_{\text{min}} = \frac{l}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{200}{16} \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) = 12,15 \text{ cm}$$

digunakan  $h = 35 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \cdot 35 = 23,33 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$



### 4.2.3.6 Pembebanan Balok Penumpu

#### i. Beban Terpusat

Balok penumpu menerima beban terpusat yaitu reaksi dari dua balok penggantung,  $P = 8744,87 + 8744,87 = 17489,75\text{kg}$ .

#### ii. Beban Terbagi Merata

Tabel 4. 19 Pembebanan Balok Penumpu

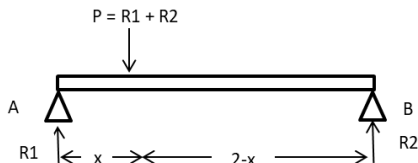
Beban Mati Lantai					
Jenis Beban	Berat Jenis	Satuan	l (m)	t (m)	Berat (kg/m)
Pelat	2400	kg/m <sup>3</sup>	1	0,12	288
Balok penumpu	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,25	0,35	210
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1		21
<b>Total</b>					519
Beban Hidup Lantai					
Jenis Beban	Berat	Satuan	l (m)	t (m)	Berat (kg/m)
Lantai R.Mesin	97,86	kg/m <sup>2</sup>	1		97,859
<b>Total</b>					97,859

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2q_D + 1,6q_L \\
 &= 1,2(519) + 1,6(97,859) \\
 &= 779,37 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

### 4.2.3.7 Analisis Gaya Dalam Balok Penumpu

- a) Menentukan jarak  $x$  beban terpusat  $P$  akibat reaksi ruang mesin  $R_1$  dan  $R_2$



$$\begin{aligned}
 L_{\text{penumpu}} &= 2 \text{ m} \\
 R_1 &= 9345 \text{ kg} \\
 R_2 &= 6586 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P = R_1 + R_2 = 15931 \text{ kg}$$

$$\sum M_A = 0$$

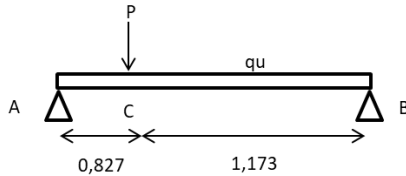
$$P \cdot x - R_2 \cdot L = 0$$

$$15931x - 6586 \cdot 2 = 0$$

$$x = 0,827 \text{ m}$$

$$2 - x = 1,173 \text{ m}$$

b) Reaksi Perletakan akibat P dan  $q_U$



$$\sum M_A = P \cdot x - R_B \cdot L + 0,5 \cdot q_U \cdot L^2$$

$$0 = 17489,75 \cdot 0,827 - R_B \cdot 2 + 0,5 \cdot 779,37 \cdot 2^2$$

$$R_B = 8009,77 \text{ kg}$$

$$\sum M_B = R_A \cdot L - P \cdot (L-x) - 0,5 \cdot q_U \cdot L^2$$

$$0 = R_A \cdot 2 - 17489,75(2-0,827) - 0,5 \cdot 779,37 \cdot 2^2$$

$$R_A = 11038,73 \text{ kg}$$

$$\sum V = R_A + R_B - P - q_U \cdot L$$

$$0 = 11038,73 + 8009,77 - 17489,75 - 779,37 \cdot 2$$

$$0 = 0 \text{ (Ok)}$$

c) Gaya-Gaya Dalam

iv. Gaya Normal (N)

$$N_A = 0$$

$$N_B = 0$$

$$N_C = 0$$

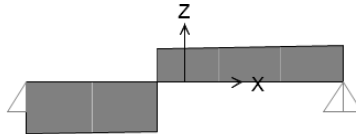
v. Gaya Lintang (D)

$$D_A = R_A = 11038,73 \text{ kg}$$

$$D_C = R_A - q_U \cdot x$$

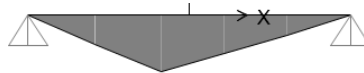
$$= 11038,73 - 779,37 \cdot 0,827$$

$$\begin{aligned}
 &= 10394,33 \text{ kg} \\
 D_C &= R_A - P - q_U \cdot x \\
 &= 11038,73 - 17489,75 - 779,37 \cdot 0,827 \\
 &= -7095,42 \text{ kg} \\
 D_B &= -R_B = -8009,774 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



vi. Gaya Momen (M)

$$\begin{aligned}
 M_A &= 0 \\
 M_C &= R_A \cdot x - 0,5 \cdot q_U \cdot x^2 \\
 &= 11038,73 \cdot 0,827 - 0,5 \cdot 779,37 \cdot 0,827^2 \\
 &= 8860,591 \text{ kg m} \\
 M_B &= 0
 \end{aligned}$$



#### 4.2.3.8 Perhitungan Tulangan Balok Penumpu

Dengan langkah-langkah perhitungan kebutuhan tulangan yang sama seperti pada balok penggantung, diperoleh tulangan balok penumpu sebagai berikut :

Tulangan Longitudinal : 3D33 ( $A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$ )

Tulangan Geser : D13-140mm

#### 4.2.4 Perencanaan Balok Anak

Berikut merupakan data perencanaan balok anak :

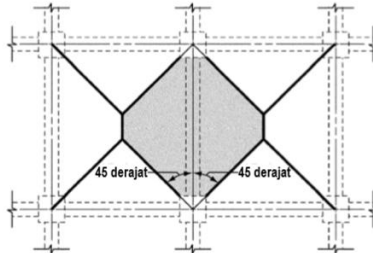
- Mutu beton ( $f'c$ ) = 40MPa
- Mutu baja tulangan = BJTD 40 ( $f_y = 400 \text{ MPa}$ )
- Tebal pelat = 12 cm
- Dimensi balok anak (Tabel 4.20)

Tabel 4.20 Dimensi Balok Anak

Nama	L (m)	b (cm)	h (cm)
------	-------	--------	--------

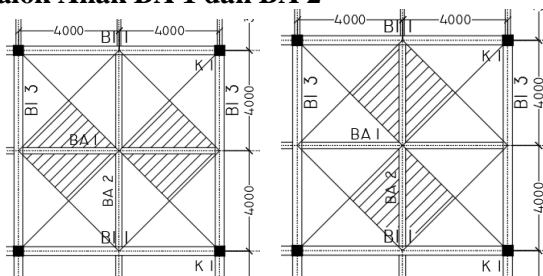
BA 1	8,00	30	40
BA 2	8,00	30	40
BA 3	4,25	20	25
BA 4	3,45	20	25
BA 5	4,00	20	25

Balok anak direncanakan untuk mampu menerima beban dari pelat lantai. Besarnya luasan pelat lantai yang diampu balok anak (luas tributari) seperti yang ada pada SNI 2847:2013 pasal 13.6.8 (Gambar 4.24).



Gambar 4.24 Luas Tributari yang Diterima Balok Anak  
Pembebanan serta perhitungan kebutuhan tulangan balok anak akan dijelaskan pada sub bab di bawah ini.

#### 4.2.4.1 Balok Anak BA 1 dan BA 2



Gambar 4.25 Luas Tributari BA 1 dan BA 2

##### a) Pembebanan

Beban mati pada pelat lantai :

$$\text{Pelat} = 2400\text{kg/m}^3 \times 0,12\text{m} = 288 \text{ kg/m}^2$$

Penutup lantai	= 24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi	= 21 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit	= 11 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit	= 7 kg/m <sup>2</sup>
<u>Ducting and plumbing</u>	= 25 kg/m <sup>2</sup> +
Total (q <sub>D</sub> )	= 376 kg/m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 L_x &= 8 \text{ m} \\
 L_y &= 8 \text{ m} \\
 A_{\text{segitiga}} &= 0,5 \cdot 4 \cdot (4/2) = 4 \text{ m}^2 \\
 q_{D \text{ lantai}} &= 4 \cdot A_{\text{segitiga}} \cdot q_{D/L} \\
 &= 4 \cdot 4 \cdot 376/8 \\
 &= 752 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Berat sendiri balok :

$$\text{Berat balok} = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,30 \text{ m} \times 0,40 = 288 \text{ kg/m}$$

$$q_{D \text{ total}} = 752 + 288 = 1040 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup :

$$\begin{aligned}
 q_L &= 104,83 \text{ kg/m}^2 \text{ (lantai apartemen)} \\
 q_{L \text{ total}} &= 4 \cdot A_{\text{segitiga}} \cdot q_{L/L} \\
 &= 4 \cdot 4 \cdot 104,83/8 \\
 &= 209,66 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2q_{D \text{ total}} + 1,6q_{L \text{ total}} \\
 &= 1,2(1040) + 1,6(209,66) \\
 &= 1583,462 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b) Analisis Gaya Dalam

Koefisien momen yang digunakan mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Momen tumpuan (-)} &= \frac{1}{10} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 1583,462 \cdot 8^2 = 10134,15 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan(+)} &= \frac{1}{14} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{14} \cdot 1583,462 \cdot 8^2 = 7238,68 \text{ kgm} \end{aligned}$$

## c) Penulangan Lentur

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_b = 16 \text{ mm } (A_{s \text{ tul}} = 201,062 \text{ mm}^2)$$

$$d_s = 10 \text{ mm } (A_{s \text{ tul}} = 78,54 \text{ mm}^2)$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

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

selimut beton = 40 mm

$$d = h - \text{selimut beton} - d_s - 0,5d_b$$

$$= 400 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 16$$

$$= 342 \text{ mm}$$

$$m = f_y / (0,85f'_c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &\geq 0,25\sqrt{f'_c} / f_y & \text{ dan, } \rho_{\min} &\geq 1,4/f_y \\ &\geq 0,25\sqrt{40} / 400 & &\geq 1,4/400 \\ &\geq 0,00395 & &\geq 0,004 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389 \\ \rho_{\max} &= 0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029 \end{aligned}$$

- **Tulangan Lentur Negatif Tumpuan**

Rasio tulangan perlu

$$M_{\text{tumpuan}} = 10134,15 \text{ kg m}$$

$$\begin{aligned}
 &= 99.416.064 \text{ N mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{99.416.064}{0,9 \cdot 300 \cdot 342^2} = 3,148 \text{ MPa} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 3,148}{400}} \right) \\
 &= 0,008
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,008$$

#### Luas tulangan perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,008 \cdot 300 \cdot 342 = 848,77 \text{ mm}^2$$

#### Jumlah tulangan

$$n = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ 1 tul} = 848,77 / 201,062 = 4,221 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual 5 D16} = 5 \cdot 201,062 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

#### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 16}{5 - 1} \\
 &= 30 \text{ mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

#### Cek asumsi nilai $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1005,31 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 300} = 39,42$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 39,42 / 0,76 = 51,58$

$$\epsilon_t = 0,003(d - c) / c$$

$$= 0,003 \cdot (337,5 - 51,58) / 51,58$$

$$= 0,0169 > 0,005 \text{ (Beton terkendali tarik)}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1005,31 \times 400 (342 - 39,42/2) \\ &= 129.599.713 \text{ N mm} \\ \phi M_n &= 0,9 \times 129.599.713 \text{ N mm} \\ &= 116.639.741,7 \text{ Nmm} > M_u = 99.416.064 \text{ Nmm} \\ &\text{(Ok)} \end{aligned}$$

- **Tulangan Lentur Positif Tumpuan**

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= 0,5 \cdot A_{s \text{ negatif tumpuan}} = 0,5 \cdot 1005,31 \\ &= 502,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D16 ( $A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 \text{ mm}^2$ )

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 502,65 / 201,062 = 2,5 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka digunakan 3 D16.

- **Tulangan Lentur Positif Lapangan**

Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= 7238,68 \text{ kg m} \\ &= 71.011.474,28 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$\phi = 0,9$  (diasumsikan beton terkendali tarik)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{71011474,28}{0,9 \cdot 300 \cdot 342} = 2,249 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 2,249}{400}} \right) \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,006$$

Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 300 \cdot 342 = 597,215 \text{ mm}^2$$



Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 597,215 / 201,062 = 2,97 \approx 3$$

$$\text{Luas tulangan aktual 3 D16} = 3 \cdot 201,062 = 603,18 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 16}{3 - 1}$$

$$= 76 \text{ mm (Ok)}$$

Cek asumsi nilai  $\phi$ 

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{603,18 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 300} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\text{Tinggi area tekan beton, } c = a / \beta_1 = 23,65 / 0,76 = 30,95$$

$$\epsilon_t = 0,003(d - c) / c$$

$$= 0,003 \cdot (337,5 - 30,95) / 30,95$$

$$= 0,0302 > 0,005 \text{ (Beton terkendali tarik)}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

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

$$= 603,18 \times 400 (342 - 23,65/2)$$

$$= 79.662.223,09 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 79.662.223,09 \text{ N mm}$$

$$= 71.696.000,78 \text{ Nmm} > M_u = 71.011.474 \text{ Nmm}$$

(Ok)

- Tulangan Lentur Negatif Lapangan

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,5 \cdot A_{s \text{ positif lapangan}} = 0,5 \cdot 603,18$$

$$= 301,593 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan D16 (} A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 301,593 / 201,062 = 1,51 \approx 2 \text{ buah}$$

Maka digunakan 2 D16.

- **Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan**

Analisis Gaya Dalam

$$\begin{aligned} q_u &= 1583,462 \text{ kg/m} \\ L_{\text{balok}} &= 8 \text{ m} \\ V_u &= 0,5 \cdot q_u \cdot L_{\text{balok}} \\ &= 0,5 \cdot 1583,462 \cdot 8,9,81 \\ &= 62.135 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\Phi V_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\Phi V_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} bd \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 300 \cdot 342 \\ &= 108149,89 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 108149,89 = 81112,42 \text{ N}$$

$$0,5\Phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 108149,89 = 40556,21 \text{ N}$$

$$V_u = 62.135 \text{ N} < 0,5\Phi V_c = 40556,21 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 2.

Kondisi 2 :

Jika  $0,5\Phi V_c < V_u \leq \Phi V_c$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_u = 62.135 \text{ N} < \Phi V_c = 81112,42 \text{ N}$$

Memenuhi.

Jarak Tulangan Geser

Karena  $0,5\Phi V_c < V_u \leq \Phi V_c$  maka tulangan geser minimum harus disediakan.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (4-17)$$

dimana,

$$A_v = 2\pi d_s^2 = 2 \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$V_{s \text{ min}} = 1/3 \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= 1/3 \cdot 300 \cdot 342 \\
 &= 34200 \text{ N} \\
 s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 400 \cdot 342}{34200} = 628,32 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

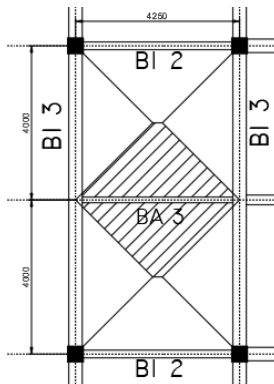
#### Syarat Jarak Tulangan Geser

Dalam SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1, jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap komponen struktur tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 342/2 = 171 \text{ mm} ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser D10-150mm.

#### 4.2.4.2 Balok Anak BA 3



Gambar 4. 26 Luas Tributari BA 3

#### a) Pembebanan

Beban mati pada pelat lantai :

Pelat = $2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,12 \text{ m}$	= $288 \text{ kg/m}^2$
Penutup lantai	= $24 \text{ kg/m}^2$
Spesi	= $21 \text{ kg/m}^2$
Langit-langit	= $11 \text{ kg/m}^2$
Penggantung langit-langit	= $7 \text{ kg/m}^2$
<u>Ducting and plumbing</u>	= $25 \text{ kg/m}^2$ +
Total ( $q_D$ )	= $376 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}
 L_x &= 4 \text{ m} \\
 L_y &= 4,25 \text{ m} \\
 A_{\text{trapesium}} &= (0,25+4) \cdot (4/2) \cdot 0,5 = 4,5 \text{ m}^2 \\
 q_D \text{ lantai} &= 2 \cdot A_{\text{trapesium}} \cdot q_D/L \\
 &= 2 \cdot 4,5 \cdot 376/4,25 \\
 &= 796,23 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Berat sendiri balok :

$$\text{Berat balok} = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,20 \text{ m} \times 0,25 = 120 \text{ kg/m}$$

$$q_{D \text{ total}} = 796,23 + 120 = 916,235 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup :

$$\begin{aligned}
 q_L &= 104,83 \text{ kg/m}^2 \text{ (lantai apartemen)} \\
 q_{L \text{ total}} &= 2 \cdot A_{\text{trapesium}} \cdot q_L/L \\
 &= 2 \cdot 4,5 \cdot 104,83/4,25 \\
 &= 221,99 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2q_{D \text{ total}} + 1,6q_{L \text{ total}} \\
 &= 1,2(916,235) + 1,6(221,99) \\
 &= 1454,67 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b) Analisis Gaya Dalam

Koefisien momen yang digunakan mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Momen tumpuan (-)} &= \frac{1}{10} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 1454,67 \cdot 4,25^2 = 2627,51 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen lapangan(+)} &= \frac{1}{14} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{14} \cdot 1454,67 \cdot 4,25^2 = 1876,79 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

c) Penulangan Lentur

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_b = 16 \text{ mm (} A_{s \text{ tul}} = 201,062 \text{ mm}^2)$$

$$d_s = 10 \text{ mm (} A_{s \text{ tul}} = 78,54 \text{ mm}^2)$$

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

$$h = 250 \text{ mm}$$

selimut beton = 40 mm

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - d_s - 0,5d_b \\ &= 250 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 16 \\ &= 192 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = f_y / (0,85 f'_c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765$$

### Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &\geq 0,25 \sqrt{f'_c} / f_y & \text{dan, } \rho_{\min} &\geq 1,4 / f_y \\ &\geq 0,25 \sqrt{40} / 400 & &\geq 1,4 / 400 \\ &\geq 0,00395 & &\geq 0,004 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

### Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029 \end{aligned}$$

## • Tulangan Lentur Negatif Tumpuan

### Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned} M_{\text{tumpuan}} &= 2627,51 \text{ kg m} \\ &= 25.775.879,40 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{25.775.879,40}{0,9 \cdot 200 \cdot 192^2} = 3,885 \text{ MPa}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.11,765.3,885}{400}} \right) \\
 &= 0,010
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$ , maka  $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,010$

Luas tulangan perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,010 \cdot 200 \cdot 192 = 397,06 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ 1 tul} = 397,06 / 201,062 = 1,97 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual } \mathbf{2 D16} = 2 \cdot 201,062 = 402,12 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$  (SNI 2847:2013 pasal 7.6.1)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1} \\
 &= 68 \text{ mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 200} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 23,65 / 0,76 = 30,95$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d - c) / c \\
 &= 0,003 \cdot (192 - 30,95) / 30,95 \\
 &= 0,016 > 0,005
 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

Cek kemampuan penampang

$$M_n = 0,85f'_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_n = 0,85 \cdot 40 \cdot 23,65 \cdot 200 \cdot \left(192 - \frac{23,65}{2}\right)$$

$$= 28.980.717,15 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 28.980.717,15 \text{ N mm}$$

$$= 26.082.645,43 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n > M_u = 25.775.879,40 \text{ N mm (Ok)}$$

- **Tulangan Lentur Positif Tumpuan**

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,5 \cdot A_{s \text{ negatif tumpuan}} = 0,5 \cdot 402,12 = 201,062 \text{ mm}^2$$

Digunakan D16 ( $A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 \text{ mm}^2$ )

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 / 201,062 = 1 \text{ buah}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan **2 D16**.

- **Tulangan Lentur Positif Lapangan**

Rasio tulangan perlu

$$M_{\text{lapangan}} = 1876,793 \text{ kg m}$$

$$= 18.411.342,42 \text{ N mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{18.411.342,42}{0,9 \cdot 200 \cdot 192^2} = 2,775 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 2,775}{400}}\right)$$

$$= 0,007$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,007$$

Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,007 \cdot 200 \cdot 192 = 278,23 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = A_s \text{ perlu} / A_{s \text{ 1 tul}} = 278,23 / 201,062 = 1,38 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual } \mathbf{2 D16} = 2 \cdot 201,062 = 402,12 \text{ mm}^2$$

### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1}$$

$$= 68 \text{ mm (Ok)}$$

### Cek asumsi nilai $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 200} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 23,65 / 0,76 = 30,95$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \epsilon_t &= 0,003 \cdot (d - c) / c \\ &= 0,003 \cdot (192 - 30,95) / 30,95 \\ &= 0,016 > 0,005 \\ &\text{(Beton terkendali tarik)} \end{aligned}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

### Cek kemampuan penampang

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot 40 \cdot 23,65 \cdot 200 \cdot \left( 192 - \frac{23,65}{2} \right) \\ &= 28.980.717,15 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 28.980.717,15 \text{ N mm} \\ &= 26.082.645,43 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u = 18.411.342,42 \text{ N mm (Ok)}$$

- **Tulangan Lentur Negatif Lapangan**

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= 0,5 \cdot A_s \text{ positif lapangan} \\ &= 0,5 \cdot 402,12 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D16 ( $A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 \text{ mm}^2$ )

$$n = A_s \text{ perlu} / A_{s \text{ 1 tul}} = 201,062 / 201,062 = 1 \text{ buah}$$



Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan **2 D16**.

- **Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan**

Analisis Gaya Dalam

$$\begin{aligned} q_u &= 1454,67 \text{ kg/m} \\ L_{\text{balok}} &= 4,25 \text{ m} \\ V_u &= 0,5 \cdot q_u \cdot L_{\text{balok}} \\ &= 0,5 \cdot 1454,67 \cdot 4,25 \cdot 9,81 \\ &= 30.325 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\Phi v_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\Phi v_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 300 \cdot 192 \\ &= 40477,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi v_c = 0,75 \times 40477,15 = 30357,86 \text{ N}$$

$$0,5\Phi v_c = 0,5 \times 0,75 \times 40477,15 = 15178,93 \text{ N}$$

$$V_u = 30.325 \text{ N} < 0,5\Phi v_c = 15178,93 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 2.

Kondisi 2 :

Jika  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_u = 30.325 \text{ N} < \Phi v_c = 30357,86 \text{ N}$$

Memenuhi.

Jarak Tulangan Geser

Karena  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka tulangan geser minimum harus disediakan.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (4-18)$$

dimana,

$$A_v = 2\pi d_s^2 = 2 \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \cdot b \cdot d \\ &= 1/3 \cdot 300 \cdot 192 \\ &= 12800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 400 \cdot 192}{12800} = 942,47 \text{ mm}$$

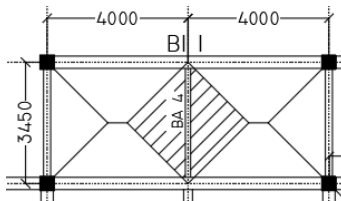
#### Syarat Jarak Tulangan Geser

Dalam SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1, jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap komponen struktur tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 192/2 = 96 \text{ mm} ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser D10-90 mm.

#### 4.2.4.3 Balok Anak BA 4



Gambar 4. 27 Laus Tributari BA 4

#### d) Pembebanan

Beban mati pada pelat lantai :

$$\text{Pelat} = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,12 \text{ m} = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penutup lantai} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Langit-langit} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung langit-langit} = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\underline{\text{Ducting and plumbing} = 25 \text{ kg/m}^2} +$$

$$\text{Total (q}_D) = 376 \text{ kg/m}^2$$

$$L_x = 3,45 \text{ m}$$

$$L_y = 4,00 \text{ m}$$

$$A_{\text{segitiga}} = 0,5 \cdot 3,45 \cdot (3,45/2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,97 \text{ m}^2 \\
 q_D \text{ lantai} &= 2 \cdot A_{\text{segitiga}} \cdot q_D / L \\
 &= 2 \cdot 2,97 \cdot 376 / 3,45 \\
 &= 648,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Berat sendiri balok :

$$\text{Berat balok} = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,20 \text{ m} \times 0,25 = 120 \text{ kg/m}$$

$$q_{D \text{ total}} = 864,8 + 120 = 984,8 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup :

$$\begin{aligned}
 q_L &= 104,83 \text{ kg/m}^2 \text{ (lantai apartemen)} \\
 q_{L \text{ total}} &= 2 \cdot A_{\text{segitiga}} \cdot q_L / L \\
 &= 2 \cdot 2,97 \cdot 104,83 / 3,45 \\
 &= 180,83 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2q_D + 1,6q_L = 1,2(648,6) + 1,6(180,83) \\
 &= 1211,65 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

e) Analisis Gaya Dalam

Koefisien momen yang digunakan mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Momen tumpuan (-)} &= \frac{1}{10} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 1211,65 \cdot 3,45^2 = 1442,17 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen lapangan (+)} &= \frac{1}{14} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{14} \cdot 1211,65 \cdot 3,45^2 = 1030,12 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

f) Penulangan Lentur

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_b = 16 \text{ mm (} A_{s \text{ tul}} = 201,06 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$d_s = 10 \text{ mm (} A_{s \text{ tul}} = 78,54 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$\begin{aligned}
 b &= 200 \text{ mm} \\
 h &= 250 \text{ mm} \\
 \text{selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\
 d &= h - \text{selimut beton} - d_s - 0,5d_b \\
 &= 250 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 16 \\
 &= 192 \text{ mm} \\
 m &= f_y / (0,85f_c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765
 \end{aligned}$$

#### Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &\geq 0,25\sqrt{f_c} / f_y & \text{dan, } \rho_{\min} &\geq 1,4/f_y \\
 &\geq 0,25\sqrt{40} / 400 & &\geq 1,4/400 \\
 &\geq 0,00395 & &\geq 0,004
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

#### Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389 \\
 \rho_{\max} &= 0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029
 \end{aligned}$$

- **Tulangan Lentur Negatif Tumpuan**

#### Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}
 M_{\text{tumpuan}} &= 1442,17 \text{ kg m} \\
 &= 14.147.719,99 \text{ N mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{14.147.719,99}{0,9 \cdot 200 \cdot 192^2} = 2,132 \text{ MPa} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.11,765.2,132}{400}} \right) \\
 &= 0,006
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ , maka  $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,006$

#### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 200 \cdot 192 = 211,53 \text{ mm}^2$$

#### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 211,53 / 201,06 = 1,052 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual } \mathbf{2 D16} = 2 \cdot 201,06 = 402,12 \text{ mm}^2$$

#### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1} \\
 &= 68 \text{ mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

#### Cek asumsi nilai $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 200} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 23,65 / 0,76 = 30,95$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan, } \epsilon_t &= 0,003 \cdot (d - c) / c \\
 &= 0,003 \cdot (192 - 30,95) / 30,95 \\
 &= 0,0156 > 0,005
 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

#### Cek kemampuan penampang

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot 40 \cdot 23,65 \cdot 200 \cdot (192 - 23,65/2) \\
 &= 28.980.717,15 \text{ N mm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 28.980.717,15 \text{ N mm} \\
 &= 26.082.645,43 \text{ N mm} \\
 \phi M_n > M_u &= 14.147.719,99 \text{ N mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

- **Tulangan Lentur Positif Tumpuan**

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= 0,5 \cdot A_{s \text{ negatif tumpuan}} = 0,5 \cdot 402,12 = 201,06 \text{ mm}^2 \\
 \text{Digunakan D16} & (A_{s \text{ 1 tul}} = 201,06 \text{ mm}^2) \\
 n &= A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 201,06 / 201,06 = 1 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan **2 D16**.

- **Tulangan Lentur Positif Lapangan**

**Rasio tulangan perlu**

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= 1030,12 \text{ kg m} \\
 &= 10.105.514,28 \text{ N mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{10.105.514,28}{0,9 \cdot 200 \cdot 192^2} = 1,523 \text{ MPa} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 1,523}{400}} \right) \\
 &= 0,0039
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\min} = 0,004$$

**Luas tulangan perlu**

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 200 \cdot 192 = 151,78 \text{ mm}^2$$

**Jumlah tulangan**

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 151,78 / 201,06 = 0,76 \approx 1 \text{ buah}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan 2 D16.

Luas tulangan aktual **2 D16** =  $2.210,06 = 402,12 \text{ mm}^2$

#### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1}$$

$$= 68 \text{ mm (Ok)}$$

#### Cek asumsi nilai $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 200} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 23,65/0,76 = 30,95$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan, } \epsilon_t &= 0,003 \cdot (d - c)/c \\ &= 0,003 \cdot (189 - 30,95)/30,95 \\ &= 0,0153 > 0,005 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

#### Cek kemampuan penampang

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot 40 \cdot 23,65 \cdot 200 \cdot \left( 192 - \frac{23,65}{2} \right) \\ &= 28.980.717,15 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 28.980.717,15 \text{ N mm} \\ &= 26.082.645,43 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u = 10.105.514,28 \text{ N mm (Ok)}$$

- **Tulangan Lentur Negatif Lapangan**

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,5 \cdot A_{s \text{ positif lapangan}} = 0,5 \cdot 402,12 = 201,06 \text{ mm}^2$$

Digunakan D16 ( $A_{s \text{ 1 tul}} = 201,06 \text{ mm}^2$ )

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 201,06 / 201,06 = 1 \text{ buah}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan **2 D16**.

- **Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan**

**Analisis Gaya Dalam**

$$\begin{aligned} q_u &= 1211,65 \text{ kg/m} \\ L_{\text{balok}} &= 3,45 \text{ m} \\ V_u &= 0,5 \cdot q_u \cdot L_{\text{balok}} \\ &= 0,5 \cdot 1211,65 \cdot 3,45 \cdot 9,81 \\ &= 20.504 \text{ N} \end{aligned}$$

**Cek Kebutuhan Tulangan Geser**

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\Phi v_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\Phi v_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 300 \cdot 192 \\ &= 40477,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi v_c = 0,75 \times 40477,15 = 30357,86 \text{ N}$$

$$0,5\Phi v_c = 0,5 \times 0,75 \times 40477,15 = 15178,93 \text{ N}$$

$$V_u = 30.325 \text{ N} < 0,5\Phi v_c = 15178,93 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 2.

Kondisi 2 :

Jika  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_u = 30.325 \text{ N} < \Phi v_c = 30357,86 \text{ N}$$

Memenuhi.

**Jarak Tulangan Geser**

Karena  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka tulangan geser minimum harus disediakan.



$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (4-19)$$

dimana,

$$A_v = 2\pi d_s^2 = 2 \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \cdot b \cdot d \\ &= 1/3 \cdot 300 \cdot 192 \\ &= 12800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 400 \cdot 192}{12800} = 942,47 \text{ mm}$$

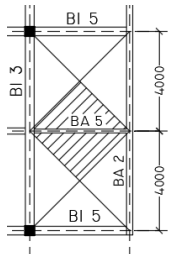
#### Syarat Jarak Tulangan Geser

Dalam SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1, jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap komponen struktur tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 192/2 = 96 \text{ mm} ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser D10-90 mm.

#### 4.2.4.4 Balok Anak BA 5



Gambar 4.28 Luas Tributari BA 5

#### d) Pembebanan

Beban mati pada pelat lantai :

$$\text{Pelat} = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,12 \text{ m} = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penutup lantai} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Langit-langit} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung langit-langit} = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting and plumbing} = 25 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total (q}_D) = 376 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 L_x &= 4 \text{ m} \\
 L_y &= 4 \text{ m} \\
 A_{\text{segitiga}} &= 0,5 \cdot 4(4/2) = 4 \text{ m}^2 \\
 q_D \text{ lantai} &= 2 \cdot A_{\text{segitiga}} \cdot q_D / L \\
 &= 2 \cdot 4 \cdot 376 / 4 \\
 &= 752 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Berat sendiri balok :

$$\text{Berat balok} = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,20 \text{ m} \times 0,25 = 120 \text{ kg/m}$$

$$q_{D \text{ total}} = 752 + 120 = 872 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup :

$$\begin{aligned}
 q_L &= 104,83 \text{ kg/m}^2 \text{ (lantai apartemen)} \\
 q_{L \text{ total}} &= 2 \cdot A_{\text{segitiga}} \cdot q_L / L \\
 &= 2 \cdot 4 \cdot 104,83 / 4 \\
 &= 209,66 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2q_D + 1,6q_L = 1,2(752) + 1,6(209,66) \\
 &= 1381,86 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

e) Analisis Gaya Dalam

Koefisien momen yang digunakan mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Momen tumpuan (-)} &= \frac{1}{10} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 1381,86 \cdot 4^2 = 2210,97 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen lapangan(+)} &= \frac{1}{14} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{14} \cdot 1381,86 \cdot 4^2 = 1579,27 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

f) Penulangan Lentur

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_b = 16 \text{ mm (} A_{s \text{ tul}} = 201,062 \text{ mm}^2)$$

$$d_s = 10 \text{ mm (} A_{s \text{ tul}} = 78,54 \text{ mm}^2)$$

$$\begin{aligned}
 b &= 200 \text{ mm} \\
 h &= 250 \text{ mm} \\
 \text{selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\
 d &= h - \text{selimut beton} - d_s - 0,5d_b \\
 &= 250 - 40 - 10 - 0,5 \cdot 16 \\
 &= 192 \text{ mm} \\
 m &= f_y / (0,85 f'_c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765
 \end{aligned}$$

#### Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &\geq 0,25 \sqrt{f'_c} / f_y & \text{dan, } \rho_{\min} &\geq 1,4/f_y \\
 &\geq 0,25 \sqrt{40} / 400 & &\geq 1,4/400 \\
 &\geq 0,00395 & &\geq 0,004
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

#### Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029
 \end{aligned}$$

### • Tulangan Lentur Negatif Tumpuan

#### Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}
 M_{\text{tumpuan}} &= 2.210,97 \text{ kg m} \\
 &= 21.689.702,4 \text{ N mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{21.689.702,4}{0,9 \cdot 200 \cdot 192^2} = 3,269 \text{ MPa} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.11,765.3,269}{400}} \right) \\
 &= 0,009
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$ , maka  $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,009$

Luas tulangan perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,009 \cdot 200 \cdot 192 = 330,534 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ 1 tul} = 330,534 / 201,062 = 1,64 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual } \mathbf{2 D16} = 2 \cdot 201,062 = 402,12 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1} \\
 &= 68 \text{ mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

Cek asumsi nilai  $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 200} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 23,65 / 0,76 = 30,95$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t &= 0,003 \cdot (d - c) / c \\
 &= 0,003 \cdot (192 - 30,95) / 30,95 \\
 &= 0,0156 > 0,005
 \end{aligned}$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

Cek kemampuan penampang

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot 40 \cdot 23,65 \cdot 200 \cdot (192 - 23,65/2) \\
 &= 28.980.717,15 \text{ N mm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 28.980.717,15 \text{ N mm} \\
 &= 26.082.645,43 \text{ N mm} \\
 \phi M_n > M_u &= 21.689.702,4 \text{ N mm (Ok)}
 \end{aligned}$$

- **Tulangan Lentur Positif Tumpuan**

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= 0,5 \cdot A_s \text{ negatif tumpuan} = 0,5 \cdot 402,12 = 201,06 \text{ mm}^2 \\
 &\text{Digunakan D16 (} A_s \text{ tul} = 201,06 \text{ mm}^2) \\
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tul} = 201,06 / 201,06 = 1 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan **2 D16**.

- **Tulangan Lentur Positif Lapangan**

Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= 1579,27 \text{ kg m} \\
 &= 15.492.644,57 \text{ N mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{15.492.644,57}{0,9 \cdot 200 \cdot 192^2} = 2,335 \text{ MPa} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 2,335}{400}} \right) \\
 &= 0,006
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,006$$

Luas tulangan perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 200 \cdot 192 = 232,42 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 232,42 / 201,062 = 1,16 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Luas tulangan aktual } \mathbf{2 \text{ D16}} = 2 \cdot 201,062 = 402,12 \text{ mm}^2$$

### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1}$$

$$= 68 \text{ mm (Ok)}$$

### Cek asumsi nilai $\phi$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402,12 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 200} = 23,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 23,65 / 0,76 = 30,95$

$$\text{Regangan tulangan, } \varepsilon_t = 0,003 \cdot (d - c) / c$$

$$= 0,003 \cdot (192 - 30,95) / 30,95$$

$$= 0,0156 > 0,005$$

(Beton terkendali tarik)

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

### Cek kemampuan penampang

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 0,85 \cdot 40 \cdot 23,65 \cdot 200 \cdot \left( 192 - \frac{23,65}{2} \right)$$

$$= 28.980.717,15 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 28.980.717,15 \text{ N mm}$$

$$= 26.082.645,43 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n > M_u = 15.492.644,57 \text{ N mm (Ok)}$$

- Tulangan Lentur Negatif Lapangan

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,5 \cdot A_{s \text{ positif lapangan}} = 0,5 \cdot 402,12 = 201,06 \text{ mm}^2$$

Digunakan D16 ( $A_{s \text{ 1 tul}} = 201,06 \text{ mm}^2$ )

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 201,06 / 201,06 = 1 \text{ buah}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.2 syarat tulangan lentur untuk balok minimal 2 buah di sisi atas dan bawah. Maka digunakan **2 D16**.

• **Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan**

Analisis Gaya Dalam

$$\begin{aligned} q_u &= 1381,86 \text{ kg/m} \\ L_{\text{balok}} &= 4 \text{ m} \\ V_u &= 0,5 \cdot q_u \cdot L_{\text{balok}} \\ &= 0,5 \cdot 1381,86 \cdot 4 \cdot 9,81 \\ &= 27.112 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\Phi v_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\Phi v_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 300 \cdot 192 \\ &= 40477,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi v_c = 0,75 \times 40477,15 = 30357,86 \text{ N}$$

$$0,5\Phi v_c = 0,5 \times 0,75 \times 40477,15 = 15178,93 \text{ N}$$

$$V_u = 27.112 \text{ N} < 0,5\Phi v_c = 15178,93 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 2.

Kondisi 2 :

Jika  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_u = 27.112 \text{ N} < \Phi v_c = 30357,86 \text{ N}$$

Memenuhi.

Jarak Tulangan Geser

Karena  $0,5\Phi v_c < V_u \leq \Phi v_c$  maka tulangan geser minimum harus disediakan.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (4-20)$$

dimana,

$$A_v = 2\pi d_s^2 = 2 \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$V_{s \text{ min}} = 1/3 \cdot b \cdot d$$

$$= 1/3 \cdot 300 \cdot 192$$

$$= 12800 \text{ N}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \cdot 400 \cdot 192}{12800} = 942,47 \text{ mm}$$

#### Syarat Jarak Tulangan Geser

Dalam SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1, jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap komponen struktur tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 192/2 = 96 \text{ mm} ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser D10-90 mm.

#### **4.2.4.5 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak**

Tabel 4. 21 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Balok Anak	Tumpuan		Lapangan		Tulangan Geser
	Negatif	Positif	Positif	Negatif	
BA 1	5D16	3D16	3D16	2D16	D10-150
BA 2	5D16	3D16	3D16	2D16	D10-150
BA 3	2D16	2D16	2D16	2D16	D10-90
BA 4	2D16	2D16	2D16	2D16	D10-90
BA 5	2D16	2D16	2D16	2D16	D10-90

### **4.3 Pemodelan dan Analisis Struktur *Fixed Base***

#### **4.3.1 Pemodelan Struktur *Fixed Base***

Perancangan gedung apartemen Skysuites SOHO ini dimodelkan sebagai sistem rangka pemikul momen biasa menggunakan program bantu SAP2000. Beban lateral yang terjadi dipikul oleh rangka pemikul momen. Gedung ini dimodelkan dua kali, pertama dengan struktur *fixed base* untuk mendapatkan nilai perioda fundamental (T) dan gaya aksial yang



diterima kolom paling dasar yang akan digunakan dalam perencanaan *base isolator*, kedua dimodelkan sebagai struktur dengan *base isolator* untuk mendapatkan gaya dalam yang dipikul struktur utama. Pemodelan struktur ini mengacu pada peraturan SNI 1726:2012.

### 4.3.2 Pembebanan Struktur

Sebelum melakukan analisis struktur dengan program bantu, perlu dilakukan perhitungan beban sebagai input ke program bantu analisis. Beban-beban yang diperhitungkan meliputi beban gravitasi yang terdiri dari beban mati dan beban hidup, serta beban gempa.

#### 4.3.2.1 Beban Gravitasi

Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan PPIUG 1983 serta SNI 1727:2013. Beban-beban gravitasi yang bekerja pada gedung ini antara lain :

a. Beban Mati

Uraian beban mati yang diterima oleh struktur dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Beban Mati

No.	Jenis Beban	Dimensi		Berat Jenis	Satuan
		b (cm)	h (cm)		
	Balok Induk :				
1	BI 1	40	60	2400	kg/m <sup>3</sup>
2	BI 2	30	40	2400	kg/m <sup>3</sup>
3	BI 3	40	60	2400	kg/m <sup>3</sup>
4	BI 4	30	40	2400	kg/m <sup>3</sup>
5	BI 5	40	60	2400	kg/m <sup>3</sup>
	Balok anak :				
6	BA 1	30	40	2400	kg/m <sup>3</sup>
7	BA 2	30	40	2400	kg/m <sup>3</sup>
8	BA 3	20	25	2400	kg/m <sup>3</sup>
9	BA 4	20	25	2400	kg/m <sup>3</sup>

10	BA 5	20	25	2400	kg/m <sup>3</sup>
	Kolom :				
11	K 1	50	50	2400	kg/m <sup>3</sup>
12	K 2	60	60	2400	kg/m <sup>3</sup>
13	K 3	70	70	2400	kg/m <sup>3</sup>
14	K 4	80	80	2400	kg/m <sup>3</sup>
15	K 5	90	90	2400	kg/m <sup>3</sup>
16	Pelat	-	12	2400	kg/m <sup>3</sup>

b. Beban Mati Tambahan

Uraian beban mati tambahan yang diterima oleh struktur dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Beban Mati Tambahan

No.	Jenis Beban	Berat Jenis	Satuan
1	Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>
2	Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>
3	Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>
4	Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>
5	<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>
Total		88	kg/m <sup>2</sup>

c. Beban Hidup

Lantai atap : 97,86 kg/m<sup>2</sup>

Lantai apartemen: 195,72 kg/m<sup>2</sup>

d. Data Perencanaan

f<sup>'c</sup> : 40 MPa

Tinggi lantai 1 : 2m

Tinggi lantai 2-21: 4m

#### 4.3.2.2 Beban Gempa

Beban gempa direncanakan sesuai dengan SNI 1726:2012 dan menggunakan Peta Sumber Bahaya dan Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017. Berikut langkah-langkah dalam menghitung beban gempa.

##### 1. Penentuan Kelas Situs

Tipe kelas situs seperti pada Tabel 3.1 ditetapkan berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 5.3. Dari data tanah yang terlampir, klasifikasi situs tanah akan ditentukan berdasarkan hasil SPT. Parameter yang dihitung adalah tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata  $\bar{N}$  yang mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 dengan perumusan sebagai berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (4-21)$$

dimana,

$d_i$  = ketebalan total dari lapisan tanah di 30m lapisan paling atas.

$N_i$  = Tanah penetrasi standar 60% energi ( $N_{60}$ ) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi.

$\bar{N} = \frac{30}{1,51} = 19,86 > 15$ , maka klasifikasi kelas situs adalah SD (tanah sedang).

Tabel 4.24 Data NSPT

Lapis ke-	Kedalaman (m)	$d_i$ (m)	$N_i$	$d_i/N_i$
1	1	1	2	0,00
2	3	2	18	0,11
3	5	2	13	0,15
4	7	2	12	0,17
5	9	2	14	0,14
6	11	2	18	0,11
7	13	2	30	0,07
8	15	2	50	0,04
9	17	2	10	0,00
10	19	2	12	0,17
11	21	2	17	0,12
12	23	2	19	0,11
13	25	2	19	0,11
14	27	2	20	0,10
15	29	2	24	0,08
16	30	1	25	0,04
	$\sum d_i$	30	$\sum d_i/N_i$	1,51

## 2. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko untuk gedung yang difungsikan sebagai apartemen sesuai SNI 1726:2012 Tabel-1 termasuk dalam kategori II dengan faktor keutamaan gempa = 1.

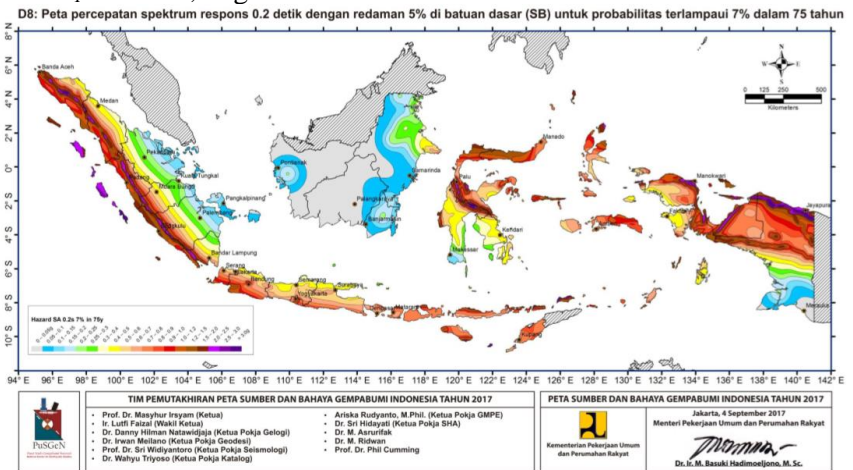
## 3. Nilai Parameter Percepatan Respons Spektral MCE pada Periode Pendek Redaman 5%, $S_s$ , serta Parameter

### Percepatan Respons Spektral MCE pada Periode 1 Detik Redaman 5%, $S_I$

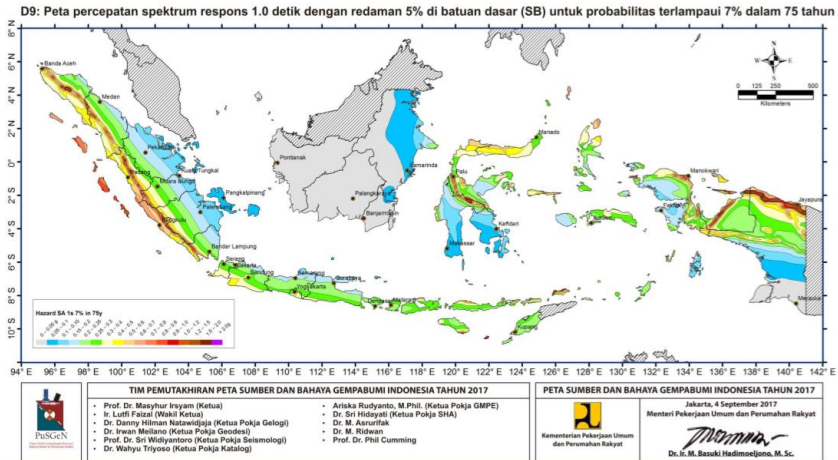
Nilai  $S_S$  dan  $S_I$  ditentukan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang dapat dilihat pada Gambar 4. Dan Gambar 4. Berikut nilai  $S_S$  dan  $S_I$  untuk Kota Surabaya :

$$S_S = 0,55 \text{ g}$$

$$S_I = 0,23 \text{ g}$$



Gambar 4. 29 Peta Percepatan Spektrum Respons  $S_S$



Gambar 4. 30 Peta Percepatan Spektrum Respons  $S_1$

#### 4. Koefisien Situs $F_a$ dan $F_v$

Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  ditentukan berdasarkan Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 sesuai dengan kelas situsnya yaitu SD dan nilai  $S_s$  serta  $S_1$ .

$$S_s = 0,55 \text{ g} \rightarrow F_a = 1,36$$

$$S_1 = 0,23 \text{ g} \rightarrow F_v = 1,94$$

#### 5. Nilai $S_{MS}$ dan $S_{M1}$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,36 \cdot 0,55 = 0,748 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 1,94 \cdot 0,23 = 0,446 \text{ g}$$

#### 6. Nilai $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} = 2/3 \cdot 0,748 = 0,499 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} = 2/3 \cdot 0,446 = 0,297 \text{ g}$$

#### 7. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan Tabel 3.5, bangunan dengan kategori risiko II dan  $S_{DS} > 0,5\text{g}$  dapat ditentukan bahwa gedung ini termasuk dalam kategori risiko D.

#### 8. Faktor $R$ , $\Omega_0$ , $C_d$

Sistem penahan gaya gempa direncanakan sebagai sistem rangka pemikul momen biasa dengan nilai  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R &= 3 \\ \Omega_0 &= 3 \\ C_d &= 2,5 \end{aligned}$$

### 9. Spektrum Respons Desain

Grafik spektrum respons desain mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 6.4 dengan ketentuan di bawah ini :

- Untuk  $T < T_0$ ,  $S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$
- Untuk  $T_0 \leq T \leq T_s$ ,  $S_a = S_{DS}$
- Untuk  $T > T_s$ ,  $S_a = S_{D1}/T$

dimana,

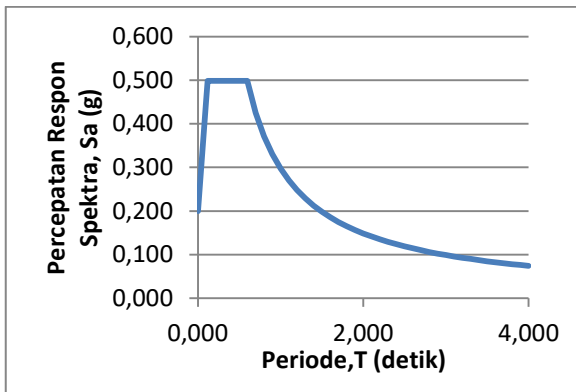
$$T_0 = 0,2 \cdot S_{D1} / S_{DS} = 0,2 \cdot 0,297 / 0,499 = 0,119 \text{ detik}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0,297 / 0,499 = 0,597 \text{ detik}$$

Sehingga didapat fungsi  $S_a$  berdasarkan  $T$  dengan nilai seperti pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Nilai  $T$  dan  $S_a$

T (detik)	Sa (g)	1,900	0,1566
0,000	0,1995	2,000	0,1487
0,100	0,4503	2,100	0,1417
0,119	0,4987	2,200	0,1352
0,200	0,4987	2,300	0,1293
0,300	0,4987	2,400	0,1239
0,400	0,4987	2,500	0,1190
0,500	0,4987	2,600	0,1144
0,597	0,4987	2,700	0,1102
0,600	0,4958	2,800	0,1062
0,700	0,4250	2,900	0,1026
0,800	0,3718	3,000	0,0992
0,900	0,3305	3,100	0,0960
1,000	0,2975	3,200	0,0930
1,100	0,2704	3,300	0,0901
1,200	0,2479	3,400	0,0875
1,300	0,2288	3,500	0,0850
1,400	0,2125	3,600	0,0826
1,500	0,1983	3,700	0,0804
1,600	0,1859	3,800	0,0783
1,700	0,1750	3,900	0,0763
1,800	0,1653	4,000	0,0744



Gambar 4.31 Grafik Respons Spektrum Surabaya

## 10. Faktor Skala Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.5.3, arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban sebesar 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus. Namun perlu adanya faktor skala nilai respon spektrum sebesar  $g \cdot I_e / R$ .

$$\text{Faktor skala} \quad : 100\% \frac{g \cdot I_e}{R} = 100\% \frac{9,81 \cdot 1}{3} = 3,27$$

$$30\% \frac{g \cdot I_e}{R} = 30\% \frac{9,81 \cdot 1}{3} = 0,981$$

### 4.3.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 :

$$U = 1,4 D$$

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

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

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



Keterangan :

U = Beban ultimate

D = Beban mati

E = Beban gempa

L = Beban hidup

### **4.3.3 Berat Struktur**

Perhitungan berat struktur meliputi berat sendiri elemen struktur, berat beban mati tambahan, dan berat akibat beban hidup yang membebani struktur. Berat struktur digunakan untuk perhitungan nilai gaya geser dasar statis untuk dibandingkan dengan gaya geser dasar dinamis yang terjadi. Rincian perhitungan berat struktur dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4. 26 Berat Lantai Atap

Lantai Atap								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai atap	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	1	313.401,6
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	22.852,2
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	11.970,2
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	7.617,4
<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	27.205,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8,00	0,4	0,6	18	1	82.944,0
BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,3	0,4	6	1	7.344,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8,00	0,4	0,6	23	1	105.984,0
BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,3	0,4	3	1	2.980,8
BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,00	0,4	0,6	2	1	4.608,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8,00	0,3	0,4	13	1	29.952,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8,00	0,3	0,4	15	1	34.560,0
BA 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,2	0,25	7	1	3.570,0
BA 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,2	0,25	2	1	828,0
BA 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,00	0,2	0,25	2	1	960,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>656.777,2</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat atap	97,86	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	106.490,5
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>106.490,5</b>

Tabel 4. 27 Berat Lantai 21-Lantai 18

Lantai 21 - Lantai 18								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	4	1.253.606,4
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	104.467,2
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	91.408,8
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	47.880,8
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	30.469,6
<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	108.820,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	18	4	331.776,0
BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,3	0,4	6	4	29.376,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	23	4	423.936,0
BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,3	0,4	3	4	11.923,2
BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,4	0,6	2	4	18.432,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	4	119.808,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	15	4	138.240,0
BA 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,2	0,25	7	4	14.280,0
BA 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,2	0,25	2	4	3.312,0
BA 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,2	0,25	2	4	3.840,0
Kolom	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,5	0,5	4	31	4	297.600,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>3.029.176,0</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	195,72	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	851.924,2
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>851.924,2</b>

Tabel 4. 28 Berat Lantai 17-Lantai 14

Lantai 17 - Lantai 14								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	4	1.253.606,4
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	104.467,2
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	91.408,8
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	47.880,8
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	30.469,6
<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	108.820,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	18	4	331.776,0
BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,3	0,4	6	4	29.376,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	23	4	423.936,0
BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,3	0,4	3	4	11.923,2
BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,4	0,6	2	4	18.432,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	4	119.808,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	15	4	138.240,0
BA 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,2	0,25	7	4	14.280,0
BA 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,2	0,25	2	4	3.312,0
BA 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,2	0,25	2	4	3.840,0
Kolom	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,6	0,6	4	31	4	428.544,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>3.160.120,0</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	195,72	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	851.924,2
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>851.924,2</b>

Tabel 4. 29 Berat Lantai 13-Lantai 10

Lantai 13 - Lantai 10								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	4	1.253.606,4
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	104.467,2
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	91.408,8
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	47.880,8
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	30.469,6
<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	108.820,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	18	4	331.776,0
BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,3	0,4	6	4	29.376,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	23	4	423.936,0
BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,3	0,4	3	4	11.923,2
BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,4	0,6	2	4	18.432,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	4	119.808,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	15	4	138.240,0
BA 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,2	0,25	7	4	14.280,0
BA 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,2	0,25	2	4	3.312,0
BA 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,2	0,25	2	4	3.840,0
Kolom	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,7	0,7	4	31	4	583.296,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>3.314.872,0</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	195,72	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	851.924,2
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>851.924,2</b>

Tabel 4. 30 Berat Lantai 9-Lantai 6

Lantai 9 - Lantai 6								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	4	1.253.606,4
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	104.467,2
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	91.408,8
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	47.880,8
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	30.469,6
<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	108.820,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	18	4	331.776,0
BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,3	0,4	6	4	29.376,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	23	4	423.936,0
BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,3	0,4	3	4	11.923,2
BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,4	0,6	2	4	18.432,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	4	119.808,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	15	4	138.240,0
BA 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,2	0,25	7	4	14.280,0
BA 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,2	0,25	2	4	3.312,0
BA 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,2	0,25	2	4	3.840,0
Kolom	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,8	0,8	4	31	4	761.856,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>3.493.432,0</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	195,72	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	851.924,2
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>851.924,2</b>

Tabel 4. 31 Berat Lantai 5-Lantai 2

Lantai 5 - Lantai 2								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	4	1.253.606,4
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	104.467,2
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	91.408,8
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	47.880,8
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	30.469,6
<i>Ducting and Plumbing</i>	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	108.820,0
BI 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	18	4	331.776,0
BI 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,3	0,4	6	4	29.376,0
BI 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,4	0,6	23	4	423.936,0
BI 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,3	0,4	3	4	11.923,2
BI 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,4	0,6	2	4	18.432,0
BA 1	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	13	4	119.808,0
BA 2	2400	kg/m <sup>3</sup>	8	0,3	0,4	15	4	138.240,0
BA 3	2400	kg/m <sup>3</sup>	4,25	0,2	0,25	7	4	14.280,0
BA 4	2400	kg/m <sup>3</sup>	3,45	0,2	0,25	2	4	3.312,0
BA 5	2400	kg/m <sup>3</sup>	4	0,2	0,25	2	4	3.840,0
Kolom	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,9	0,9	4	31	4	964.224,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>3.695.800,0</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai apartemen	195,72	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	4	851.924,2
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>851.924,2</b>

Tabel 4. 32 Berat Lantai 1 (Ruang Pemeliharaan)

Lantai 1 (Ruang Pemeliharaan)								
Beban Mati								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Pelat lantai	2400	kg/m <sup>3</sup>	1088,2		0,12	1	1	313.401,6
Penutup lantai	24	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	26.116,8
Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	22.852,2
Langit-langit	11	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	11.970,2
Penggantung langit-langit	7	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	7.617,4
Ducting & Plumbing	25	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	27.205,0
Kolom	2400	kg/m <sup>3</sup>	0,9	0,9	2	31	1	120.528,0
<b>Total Beban Mati (D)</b>								<b>529.691,2</b>
Beban Hidup								
Jenis Beban	W		p (m)	l (m)	t (m)	n	Jumlah	Berat (kg)
Pelat lantai Ruang Pemeliharaan	195,72	kg/m <sup>2</sup>	1088,2			1	1	212.981,0
<b>Total Beban Hidup (L)</b>								<b>212.981,0</b>

Dari perhitungan berat struktur tiap lantai di atas, diperoleh total beban mati dan beban hidup sebesar :

$$D = 17.879.868,4 \text{ kg}$$

$$L = 4.579.092,4 \text{ kg}$$

$$D + L = 22.458.960,8 \text{ kg}$$

#### 4.3.4 Analisis Struktur *Fixed Base*

Hasil analisis struktur perlu dikontrol melalui suatu batasan tertentu sesuai dengan SNI 1726:2012, antara lain :

- Kontrol pembebanan struktur
- Kontrol perioda fundamental struktur
- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol gaya geser dasar
- Kontrol simpangan antar lantai

##### 4.3.4.1 Kontrol Pembebanan Struktur

Besarnya pembebanan struktur yang diinput pada program bantu analisis harus mendekati hasil perhitungan manual, dimana



selisih antara beban pada program bantu dengan perhitungan manual tidak boleh melebihi 5%.

Dari hasil perhitungan manual diperoleh berat struktur sebesar 22.458.960,8 kg. Untuk berat struktur hasil analisis SAP2000 didapatkan dari tabel *base reaction* sebesar 21.883.970,5 kg. Sehingga rasio selisih dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{22.458.960,8 - 21.883.970,5}{22.458.960,8} \times 100\% = 2,56\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Jadi dapat dikatakan bahwa input pembebanan pada SAP2000 sudah benar.

#### 4.3.4.2 Kontrol Periode Fundamental Struktur

Mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 serta pasal 7.9.4.1 besarnya periode fundamental struktur,  $T$  ditentukan berdasarkan batasan berikut :

- Jika  $T > C_u \cdot T_a$  maka digunakan  $T = C_u \cdot T_a$
- Jika  $T_a < T < C_u \cdot T_a$  maka digunakan  $T = T$
- Jika  $T < T_a$  maka digunakan  $T = T_a$

dimana,

$C_u$  = Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung, untuk  $S_{D1} > 0,4g$ ,  $C_u = 1,4$  (Tabel 14 SNI 1726:2012).

$T_a$  = Periode fundamental pendekatan (SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1)

Untuk periode fundamental pendekatan,  $T_a$  dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (4-22)$$

dimana,

$h_n$  = Ketinggian struktur, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

$C_t$  = Koefisien sebesar 0,0466 untuk tipe struktur rangka beton pemikul momen (Tabel 15 SNI 1726:2012)

$x$  = Koefisien sebesar 0,9 untuk tipe struktur rangka beton pemikul momen (Tabel 15 SNI 1726:2012)

Maka,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0466 \times 82^{0,9} = 2,459 \text{ detik}$$

$$C_u \cdot T_a = 1,4 \times 2,459 = 3,443 \text{ detik}$$

Dari hasil analisis struktur dengan SAP2000 diperoleh perioda struktur,  $T = 3,73$  detik ( $T > C_u \cdot T_a$ ), sehingga digunakan  $T = C_u \cdot T_a = 3,443$  detik.

#### 4.3.4.3 Kontrol Partisipasi Massa

Analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90 dari massa aktual dari masing-masing arah horisontal ortogonal dari respon yang ditinjau model (SNI 1726:2012 pasal 7.9.1). Hasil analisis struktur seperti pada Tabel 4.33, partisipasi massa telah mencapai 90% untuk arah x dan arah y pada moda ke 11.

Tabel 4.33 Partisipasi Massa

StepNum	Period	SumUX	SumUY
Unitless	Sec	Unitless	Unitless
1	3,728	0,703	0,003
2	3,501	0,712	0,677
3	3,024	0,732	0,736
4	1,305	0,833	0,737
5	1,233	0,835	0,832
6	1,074	0,838	0,840
7	0,762	0,875	0,841
8	0,723	0,877	0,877
9	0,633	0,878	0,880
10	0,526	0,899	0,881
11	0,501	0,900	0,900
12	0,438	0,900	0,902
13	0,390	0,914	0,902
14	0,372	0,914	0,916
15	0,325	0,915	0,917

#### 4.3.4.4 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam,  $V_t$  harus lebih besar 85% dari geser dasar yang dihitung,  $V$  menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen. Apabila  $V_t$  lebih kecil dari  $V$  maka

gaya harus dikalikan dengan  $0,85V/V_t$  (SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1). Berikut langkah-langkah perhitungan  $V$  :

- Menentukan Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )  
 Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1 nilai  $C_s$  ditentukan dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,499}{\frac{3}{1}} = 0,1662$$

Nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,297}{3,44 \cdot \frac{3}{1}} = 0,0288$$

$C_s$  tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \cdot 0,499 \cdot 1 \\ &= 0,0219 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Maka digunakan  $C_s = 0,0288$

- Gaya geser dasar seismik  
 Gaya geser dasar seismik,  $V$ , ditetapkan sesuai dengan persamaan pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.1. Berat seismik efektif,  $W$  yang digunakan adalah seluruh beban mati serta 50% beban hidup ( $W = 1D + 0,5L$ ).

$$V = C_s \cdot W$$

dimana,

$$C_s = \text{Koefisien respons seismik} = 0,0288$$

$$W = \text{Berat seismik efektif} = 20.169.414,6 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V &= 0,0288 \times 20.169.414,6 \text{ kg} \\ &= 580.849,91 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Kontrol  
 Dari hasil analisis pada SAP2000 besarnya geser dasar dapat dilihat pada tabel *output base reaction*.

$$V = 580.849,91 \text{ kg}$$

$$0,85V = 0,85 \times 580.849,91 = 493.722,42 \text{ kg}$$

$$V_{t,x} = 430.109,8 \text{ kg} < 0,85V \quad (\text{Not OK})$$

$$V_{t,y} = 446.258,8 \text{ kg} < 0,85V \quad (\text{Not OK})$$

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 apabila  $V_t < 0,85V$ , maka gaya dikalikan dengan  $0,85V/V_t$  untuk arah x dan arah y. Faktor skala ini dikalikan pada input *scale factor* saat *define respons spectra*, kemudian dilakukan *running* ulang pada SAP2000.

$$\text{Arah x} : \frac{0,85V}{V_{t,x}} = \frac{0,85 \times 580.849,91}{430.109,8} = 1,1479$$

$$\text{Arah y} : \frac{0,85V}{V_{t,y}} = \frac{0,85 \times 580.849,91}{446.258,8} = 1,1064$$

Tabel 4.34 *Output Base Reaction*

OutputCase	Case Type	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Kgf	Kgf
RSX	LinRespSpec	Max	493723,03	160290,74
RSY	LinRespSpec	Max	149364,49	493740,73

$$V_{t,x} = 493.723,03 \text{ kg} > 0,85V \quad (\text{OK})$$

$$V_{t,y} = 493.740,730 \text{ kg} > 0,85V \quad (\text{OK})$$

#### 4.3.4.5 Kontrol Simpangan Antarlantai

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.6 simpangan antarlantai desain,  $\Delta$  dihitung sebagai perbedaan defleksi pada tingkat di atas dan di bawah yang ditinjau yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

$$\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1} \quad (4-23)$$

dimana,

$\Delta_x$  = Simpangan antarlantai pada lantai x

$\delta_x$  = Defleksi di lantai x

$\delta_{x-1}$  = Defleksi pada lantai di bawah lantai x

Defleksi pada lantai yang ditinjau,  $\delta_x$ , tidak boleh melebihi simpangan antarlantai izin,  $\Delta_a$ ,  $\delta_x$  ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{ex}}{I_e} \leq \Delta_a \text{ dan tidak melebihi } \Delta_a/\rho \quad (4-24)$$

dimana,

$C_d$  = Faktor amplifikasi defleksi = 2,5 untuk SRPMB

$\delta_{ex}$  = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal 7.8.6 SNI 1726:2012 yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa = 1

$\Delta_a$  = Simpangan antarlantai izin  
=  $0,02h_{sx}$  (Tabel 16 SNI 1726:2012)

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah tingkat x

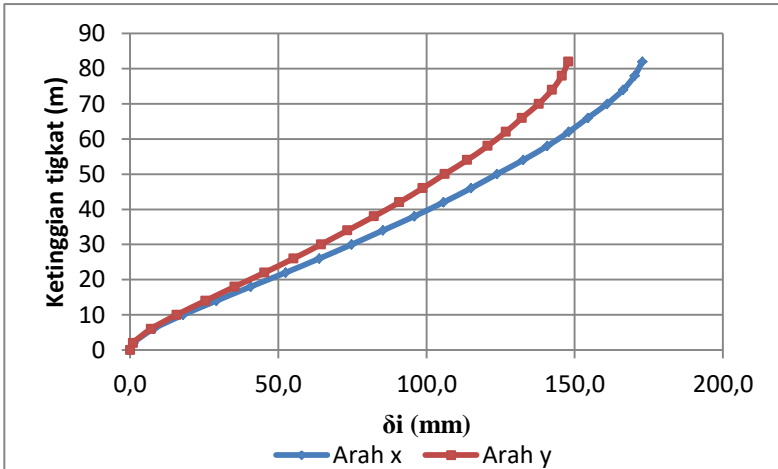
Karena pada kontrol geser dasar  $V_t < 0,85V$  maka simpangan antarlantai harus dikalikan dengan  $0,85V/V_t$  sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.2.

Tabel 4. 35 Kontrol Simpangan Antar Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah x

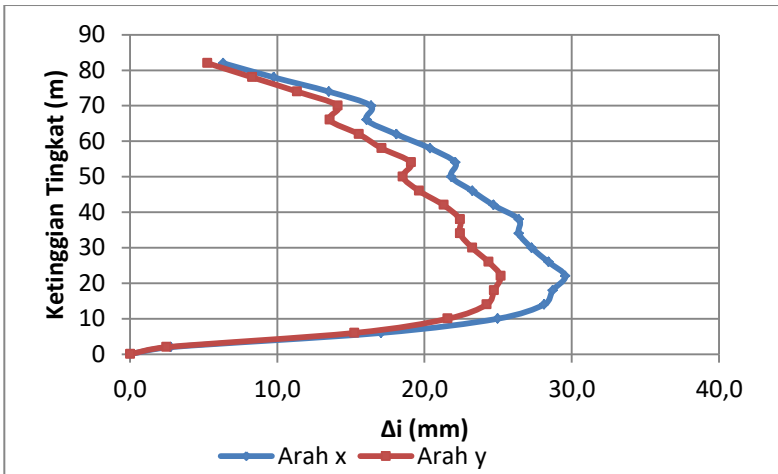
Arah x						
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	$\delta_{ex}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_x$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	Kontrol : $\Delta_x \leq \Delta_a$
Atap	4000	172,8	431,9	6,3	80	OK
21	4000	170,2	425,6	9,8	80	OK
20	4000	166,3	415,8	13,5	80	OK
19	4000	160,9	402,3	16,4	80	OK
18	4000	154,4	386,0	16,1	80	OK
17	4000	148,0	369,9	18,1	80	OK
16	4000	140,7	351,8	20,4	80	OK
15	4000	132,6	331,5	22,1	80	OK
14	4000	123,7	309,4	21,8	80	OK
13	4000	115,0	287,5	23,2	80	OK
12	4000	105,7	264,3	24,7	80	OK
11	4000	95,8	239,6	26,4	80	OK
10	4000	85,3	213,2	26,4	80	OK
9	4000	74,7	186,8	27,3	80	OK
8	4000	63,8	159,6	28,4	80	OK
7	4000	52,5	131,1	29,6	80	OK
6	4000	40,6	101,6	28,7	80	OK
5	4000	29,2	72,9	28,1	80	OK
4	4000	17,9	44,8	25,0	80	OK
3	4000	7,9	19,8	17,0	80	OK
2	2000	1,1	2,8	2,8	40	OK
1 (Dasar)	0	0	0	0	0	OK

Tabel 4.36 Kontrol Simpangan Antar Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah y

Arah y						
Lantai	$h_{sy}$ (mm)	$\delta_{ey}$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\Delta_y$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	Kontrol : $\Delta_y \leq \Delta_a$
Atap	4000	147,8	369,5	5,3	80	OK
21	4000	145,7	364,3	8,3	80	OK
20	4000	142,4	356,0	11,3	80	OK
19	4000	137,9	344,6	14,1	80	OK
18	4000	132,2	330,5	13,6	80	OK
17	4000	126,8	317,0	15,5	80	OK
16	4000	120,6	301,4	17,1	80	OK
15	4000	113,7	284,3	19,1	80	OK
14	4000	106,1	265,2	18,5	80	OK
13	4000	98,7	246,7	19,6	80	OK
12	4000	90,8	227,1	21,3	80	OK
11	4000	82,3	205,8	22,4	80	OK
10	4000	73,4	183,4	22,4	80	OK
9	4000	64,4	161,0	23,2	80	OK
8	4000	55,1	137,7	24,3	80	OK
7	4000	45,4	113,4	25,2	80	OK
6	4000	35,3	88,2	24,7	80	OK
5	4000	25,4	63,5	24,2	80	OK
4	4000	15,7	39,3	21,6	80	OK
3	4000	7,1	17,7	15,2	80	OK
2	2000	0,98	2,5	2,5	40	OK
1 (Dasar)	0		0	0	0	OK



Gambar 4.32 Grafik Hubungan antara Ketinggian Tingkat dan Simpangan



Gambar 4. 33 Grafik Hubungan antara Ketinggian Tingkat dan Simpangan antar Lantai



#### 4.3.4.6 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral,  $F_i$  yang timbul di semua tingkat ditentukan dari persamaan :

$$F_i = C_{vi} \cdot V \text{ dan } C_{vi} = \frac{w_i h_i^k}{\sum w_i h_i^k}$$

Dimana,

$C_{vi}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

$w_i$  = Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$

$h_i$  = Tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$ ,

$k$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut: untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih,  $k = 2$

Tabel 4. 37 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Arah x

Lantai	$h_i$ (m)	$h_i^k$ (m)	$W_i$ (kg)	$W_i \cdot h_i^k$ (kg m)	$C_{vx}$ (m)	$F_i$ (kg)	$V_i$ (kg)
Atap	82	6724	710022,46	4774191021	0,1115	55054,12	55054,12
21	78	6084	863784,52	5255265019	0,1227	60601,68	115655,80
20	74	5476	863784,52	4730084031	0,1105	54545,50	170201,30
19	70	4900	863784,52	4232544147	0,0989	48808,06	219009,36
18	66	4356	863784,52	3762645369	0,0879	43389,37	262398,73
17	62	3844	896520,52	3446224878	0,0805	39740,53	302139,26
16	58	3364	896520,52	3015895029	0,0704	34778,13	336917,39
15	54	2916	896520,52	2614253836	0,0611	30146,56	367063,95
14	50	2500	896520,52	2241301300	0,0523	25845,82	392909,77
13	46	2116	935208,52	1978901228	0,0462	22819,92	415729,70
12	42	1764	935208,52	1649707829	0,0385	19023,79	434753,49
11	38	1444	935208,52	1350441103	0,0315	15572,76	450326,25
10	34	1156	935208,52	1081101049	0,0253	12466,84	462793,09
9	30	900	979848,52	881863667,9	0,0206	10169,31	472962,40
8	26	676	979848,52	662377599,4	0,0155	7638,28	480600,68
7	22	484	979848,52	474246683,6	0,0111	5468,83	486069,51
6	18	324	979848,52	317470920,4	0,0074	3660,95	489730,46
5	14	196	1030440,52	201966341,9	0,0047	2329,00	492059,46
4	10	100	1030440,52	103044052	0,0024	1188,26	493247,72
3	6	36	1030440,52	37095858,72	0,0009	427,78	493675,50
2	2	4	1030440,52	4121762,08	0,0001	47,53	493723,03
1 (Dasar)	0	0	636181,72	0	0,0000	0,00	493723,03
Total			20169414,6	42814742724	1,0000	493723,03	

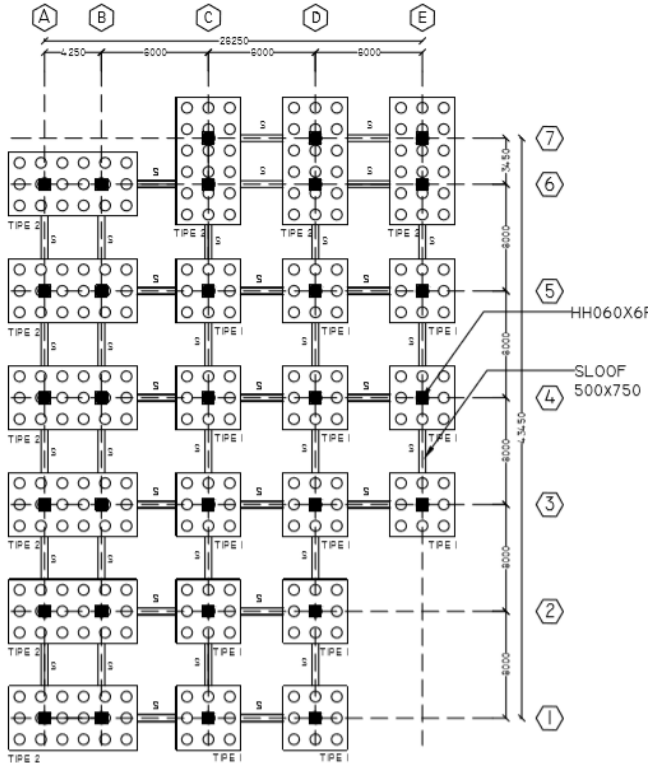
Tabel 4. 38 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Arah y

Lantai	$h_i$ (m)	$h_i^k$ (m)	$W_i$ (kg)	$W_i \cdot h_i^k$ (kg m)	$C_{vi}$ (m)	$F_i$ (kg)	$V_i$ (kg)
Atap	82	6724	710022,46	4774191021	0,1115	55056,10	55056,10
21	78	6084	863784,52	5255265019	0,1227	60603,85	115659,95
20	74	5476	863784,52	4730084031	0,1105	54547,45	170207,40
19	70	4900	863784,52	4232544147	0,0989	48809,81	219017,21
18	66	4356	863784,52	3762645369	0,0879	43390,92	262408,14
17	62	3844	896520,52	3446224878	0,0805	39741,96	302150,09
16	58	3364	896520,52	3015895029	0,0704	34779,38	336929,47
15	54	2916	896520,52	2614253836	0,0611	30147,64	367077,11
14	50	2500	896520,52	2241301300	0,0523	25846,75	392923,86
13	46	2116	935208,52	1978901228	0,0462	22820,74	415744,60
12	42	1764	935208,52	1649707829	0,0385	19024,47	434769,07
11	38	1444	935208,52	1350441103	0,0315	15573,32	450342,40
10	34	1156	935208,52	1081101049	0,0253	12467,29	462809,68
9	30	900	979848,52	881863667,9	0,0206	10169,67	472979,36
8	26	676	979848,52	662377599,4	0,0155	7638,56	480617,91
7	22	484	979848,52	474246683,6	0,0111	5469,03	486086,94
6	18	324	979848,52	317470920,4	0,0074	3661,08	489748,02
5	14	196	1030440,52	201966341,9	0,0047	2329,08	492077,10
4	10	100	1030440,52	103044052	0,0024	1188,31	493265,41
3	6	36	1030440,52	37095858,72	0,0009	427,79	493693,20
2	2	4	1030440,52	4121762,08	0,0001	47,53	493740,73
1 (Dasar)	0	0	636181,72	0	0,0000	0,00	493740,73
Total			20169414,6	42814742724	1,0000	493740,73	

#### 4.4 Pemodelan dan Analisis Struktur dengan *Base Isolator : High Damping Rubber Bearing (HDRB)*

Struktur dengan isolasi seismik harus dirancang dan dibangun mengacu pada persyaratan SNI 1726:2012 pasal 12. Untuk prosedur analisis akan digunakan analisis dinamis dengan respons spektrum (SNI 1726:2012 pasal 12.4.2).

#### 4.4.1 Preliminary Design High Damping Rubber Bearing (HDRB)



Gambar 4. 34 Denah Pemasangan HDRB

Dalam menentukan dimensi HDRB diperlukan hasil analisis struktur dengan perletakan jepit (*fixed base*) yaitu gaya reaksi terbesar yang terjadi pada kolom :

Kolom interior = 14.228.851 N (as 4-C)

Kolom eksterior = 8.704.497 N (as 6-C)

#### 4.4.1.1 Perhitungan Desain HDRB Kolom Interior

- Menentukan perioda  $T_D$   
Berdasarkan analisis struktur *fixed base*, diperoleh perioda fundamental struktur,  $T = 3,44$  detik. Perioda efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan rencana,  $T_D$  dapat diambil sebesar 3 kali perioda fundamental struktur *fixed base*.

$$T_D = 3T = 3 \cdot 3,44 = 10,33 \text{ detik.}$$

- Kekakuan horizontal isolator,  $K_H$

$$W = 14.228.851 \text{ N}$$

$$T_D = 10,33 \text{ detik}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$K_H = \frac{W \left( \frac{2\pi}{T_D} \right)^2}{g} = \frac{14.228.851 \left( \frac{2\pi}{10,33} \right)^2}{9,81} = 536.692,11 \text{ N/m}$$

$$= 536,69 \text{ N/mm}$$

- Kebutuhan diameter *rubber bearing*

Diasumsikan spesifikasi HDRB sebagai berikut :

$$\text{Modulus shear, } G = 0,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tebal rubber, } t_r = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Luas rubber, } A = \frac{K_H \cdot t_r}{G} = \frac{536,69 \cdot 200}{0,62}$$

$$= 173.126,487 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter rubber, } D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 173.126,487}{\pi}}$$

$$= 469,5 \text{ mm}$$

Digunakan HDRB dengan diameter 600mm (HH060X6R).

#### 4.4.1.2 Perhitungan Desain HDRB Kolom Eksterior

- Menentukan perioda  $T_D$   
Berdasarkan analisis struktur *fixed base*, diperoleh perioda fundamental struktur,  $T = 3,44$  detik. Perioda efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan rencana,  $T_D$  dapat diambil sebesar 3 kali perioda fundamental struktur *fixed base*.

$$T_D = 3T = 3.3,44 = 10,33 \text{ detik.}$$

- Kekakuan horizontal isolator,  $K_H$

$$W = 8.704.497 \text{ N}$$

$$T_D = 10,33 \text{ detik}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$K_H = \frac{W \left( \frac{2\pi}{T_D} \right)^2}{g} = \frac{8.704.497 \left( \frac{2\pi}{10,33} \right)^2}{9,81} = 328.321,31 \text{ N/m}$$

$$= 328,32 \text{ N/mm}$$

- Kebutuhan diameter *rubber bearing*

Diasumsikan spesifikasi HDRB sebagai berikut :

$$\text{Modulus shear, } G = 0,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tebal rubber, } t_r = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Luas rubber, } A = \frac{K_H \cdot t_r}{G} = \frac{328,32 \cdot 200}{0,62}$$

$$= 105.910,10 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter rubber, } D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 105.910,10}{\pi}}$$

$$= 367,2 \text{ mm}$$

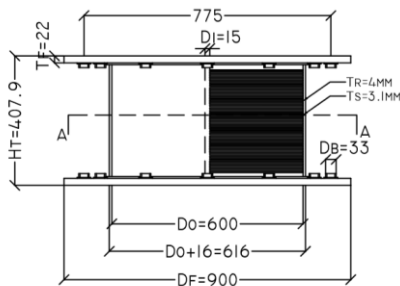
Digunakan HDRB dengan diameter 600mm (HH060X6R).

#### 4.4.1.3 Spesifikasi Produk Base Isolator

*Base isolator* yang digunakan dalam perancangan gedung ini merupakan produk dari Bridgestone. Spesifikasi produk secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.39 Spesifikasi Produk HDRB Tipe HH060X6R

Karakteristik	Nilai	Satuan
Outer diameter	600	mm
Inner diameter	15	mm
Thickness of one rubber layer	4	mm
Number of rubber layers	50	-
Total rubber thickness	200	mm
First shape factor	36,6	-
Second shape factor	3	-
Diameter of flange	900	mm
Total height	407,9	mm
Total weight	6,5	kN
Compressive stiffness	1970	$10^3$ kN/m
Equivalent shear stiffness	0,876	$10^3$ kN/m
Characteristic strength	71,5	kN
Equivalent damping ratio	0,24	-
Initial stiffness	5,19	$10^3$ kN/m
Post yield stiffness	0,519	$10^3$ kN/m



Gambar 4. 35 Penampang HDRB Tipe HH060X6R

#### 4.4.1.4 Nilai Kekakuan, Perpindahan Rencana, dan *Base Shear*

- a. Menentukan Koefisien Modifikasi Respon,  $R_I$   
 Faktor  $R_I$  merupakan koefisien yang berhubungan dengan tipe sistem penahan gaya gempa di atas sistem isolasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.2 nilai  $R_I$  harus bernilai  $\frac{3}{8}$  dari nilai  $R$  struktur di atas sistem isolasi yaitu untuk tipe struktur dengan SRPMB nilai  $R = 3$ .  

$$R_I = \frac{3}{8} R = \frac{3}{8} \cdot 3 = 1,125 \text{ (Syarat } 1 \leq R_I \leq 2)$$
- b. Koefisien Redaman,  $B_D$  atau  $B_M$   
 Nilai koefisien  $B_D$  dan  $B_M$  ditentukan dari Tabel 4.. berdasarkan nilai presentase redaman. Sesuai dengan spesifikasi HDRB tipe HH060X6R, besarnya presentase redaman adalah 24%, maka perlu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai  $B_D$  atau  $B_M$ .

Tabel 4. 40 Faktor  $B_D$  dan  $B_M$

Redaman Efektif, $\beta_D$ atau $\beta_M$ (presentase dari redaman kritis)	Faktor $B_D$ atau $B_M$
$\leq 2$	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
$\geq 50$	2,0

$$B_D \text{ dan } B_M = \frac{24-20}{20-10} (1,7 - 1,5) + 1,5 = 1,58$$

- c. Periode Efektif Struktur yang Diisolasi,  $T_D$  dan  $T_M$   
 $T_D$  = Periode efektif struktur dengan isolasi seismic, dalam detik pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau.



$T_M$  = Periode efektif struktur dengan isolasi seismic, dalam detik pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau.

Nilai  $T_D$  diambil sebesar 3 kali periode fundamental struktur terjepit.

Maka,  $T_D = 3.T = 3.3,44 = 10,33$  detik

$T_M = 3$  detik (SNI 1726:2012 pasal 12.4.1)

d. Kekakuan Efektif Minimum Sistem Isolasi

- $k_{Dmin}$   
Adalah kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam Kn/mm, pada perpindahan rencana (SNI 1726:2012 pasal 12.5.3)

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Dmin} \cdot g}}$$

dimana  $W$  adalah berat seismik efektif di atas pemisah isolasi,  $W = 20.169.415 \text{ kg} = 197.861.957 \text{ N}$ .

$$k_{Dmin} = \frac{4\pi^2 \cdot W}{T_D \cdot g} = \frac{4\pi^2 \times 197.861.957}{10,33 \times 9,81} = 7.463.072,9 \text{ N/m}$$

- $k_{Mmin}$   
Adalah kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam Kn/mm, pada perpindahan rencana (SNI 1726:2012 pasal 12.5.3)

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Mmin} \cdot g}}$$

dimana  $W$  adalah berat seismik efektif di atas pemisah isolasi,  $W = 20.169.415 \text{ kg} = 197.861.957 \text{ N}$ .

$$k_{Mmin} = \frac{4\pi^2 \cdot W}{T_M \cdot g} = \frac{4\pi^2 \times 197.861.957}{3 \times 9,81} = 7.086.655,1 \text{ N/m}$$

e. Kekakuan Efektif Maksimum Sistem Isolasi

Kekakuan efektif maksimum,  $k_{Dmaks}$  dan  $k_{Mmaks}$ , diasumsikan sebesar  $a + 10\%$  dari kekakuan efektif minimum.

$$k_{Dmaks} = \frac{1,1 \cdot k_{Dmin}}{0,9} = \frac{1,1 \times 7.463.072,9}{0,9} = 9.121.533,5 \text{ N/m}$$

$$k_{Mmaks} = \frac{1,1 \cdot k_{Mmin}}{0,9} = \frac{1,1 \times 7.086.655,1}{0,9} = 8.661.467,4 \text{ N/m}$$

## f. Perpindahan Rencana dan Perpindahan Maksimum

• Perpindahan Rencana,  $D_D$ 

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.1, perpindahan rencana dapat ditentukan dengan perumusan berikut :

$$D_D = \frac{g \cdot S_{D1} \cdot T_D}{4\pi^2 \cdot B_D} = \frac{9,81 \cdot 0,297 \cdot 10,33}{4\pi^2 \cdot 1,58} = 0,483 \text{ m}$$

• Perpindahan Maksimum,  $D_M$ 

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.3, perpindahan rencana dapat ditentukan dengan perumusan berikut :

$$D_M = \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_M}{4\pi^2 \cdot B_M} = \frac{9,81 \cdot 0,446 \cdot 3}{4\pi^2 \cdot 1,58} = 0,210 \text{ m}$$

## g. Gaya Lateral Minimum

- Sistem isolasi dan elemen struktural di bawah sistem isolasi Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.1 sistem isolasi, fondasi dan semua elemen-elemen struktural dibawah sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral minimum,  $V_b$  sesuai dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} V_b &= k_{D_{maks}} \cdot D_D \\ &= 9.121.533,5 \times 0,483 \\ &= 4.407.842,03 \text{ N} \\ &= 449.321,31 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Elemen struktural di atas sistem isolasi

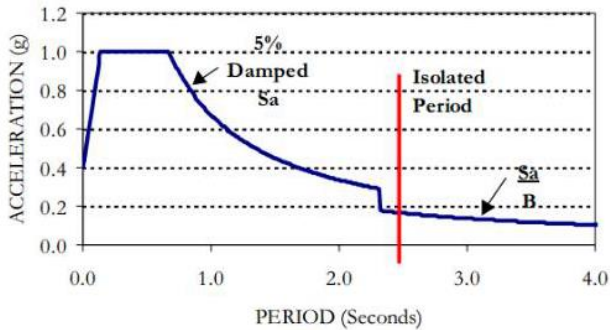
Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.2 struktur di atas sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum,  $V_s$ .

$$\begin{aligned} V_s &= k_{D_{maks}} \cdot D_D / R_I \\ &= 9.121.533,5 \times 0,483 / 1,125 \\ &= 3.526.273,624 \text{ N} \\ &= 359.457,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.4.2 Pembebanan Gempa

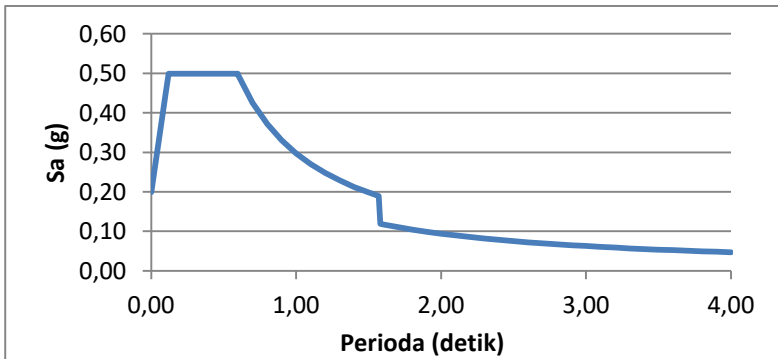
Dalam analisis dinamis struktur dengan isolasi seismik, beban gempa respon spektrum dengan redaman awal 5%

kemudian direduksi oleh faktor koefisien redaman efektif,  $B$ , seperti pada Gambar 4.37 (Kelly,2001).



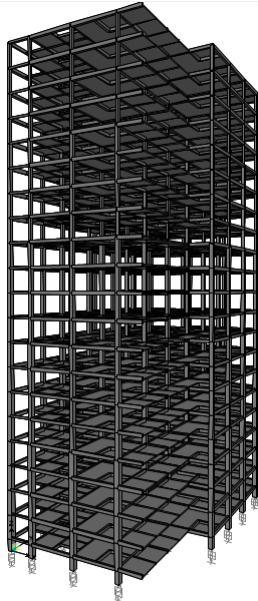
Gambar 4. 36 Respons Spektrum Struktur dengan *Base Isolator*  
Sumber

Untuk perencanaan ini redaman efektif *base isolator* yang digunakan adalah 24% dengan  $B = 1,58$ .



Gambar 5. 1 Respons Spektrum Surabaya dengan *Base Isolator*

#### 4.4.3 Pemodelan Struktur dengan *Base Isolator*



Gambar 4.37 Pemodelan Struktur dengan *Base Isolator*

Perletakan jepit yang sebelumnya telah dimodelkan diganti dengan *base isolator* jenis HDRB. HDRB tersebut akan dimodelkan sebagai *link* dalam program bantu analisis SAP2000. Berikut langkah-langkahnya :

1. Definisikan perletakan HDRB  
*Define > Section Properties > Link/Support Properties > Add new property*
2. Masukkan data dari spesifikasi HDRB yang akan digunakan yaitu HH060X6R.

Gambar 4.38 *Input Link/Support Property Data*

3. Kemudian dilakukan input data Directional properties yang meliputi UI dalam arah vertikal, U2 dan U3 dalam arah horizontal.

Gambar 4.39 *Input Link/Support Directional Properties U1*

Identification	
Property Name	HH060X6R
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	876
Effective Damping	0,240

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0,4079

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	876
Yield Strength	71,5
Post Yield Stiffness Ratio	0,1

Gambar 4. 40 *Input Link/Support Directional Properties U2 dan U3*

4. *Draw* HDRB HH060X6R sebagai perletakan.  
Klik menu *Draw > Draw 1 joint link > pilih Link properties HH060X6R > klik pada joint yang akan diberikan isolator. Lalu Run Analyze.*

#### 4.4.4 Analisis Struktur dengan *Base Isolator*

##### 4.4.4.1 Kontrol Partisipasi Massa

Analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90 dari massa aktual dari masing-masing arah horisontal ortogonal dari respon yang ditinjau model (SNI 1726:2012 pasal 7.9.1). Hasil analisis struktur seperti pada Tabel 4.40, partisipasi massa telah mencapai lebih dari 90% yaitu 95,1 % untuk arah x dan 93,7% arah y pada moda ke 2.

Tabel 4. 41 Partisipasi Massa

OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	6,548	0,897	0,039
MODAL	Mode	2	6,394	0,951	0,937
MODAL	Mode	3	5,474	0,974	0,980
MODAL	Mode	4	1,903	0,996	0,980
MODAL	Mode	5	1,801	0,997	0,996
MODAL	Mode	6	1,561	0,997	0,998
MODAL	Mode	7	0,993	0,999	0,998
MODAL	Mode	8	0,941	0,999	0,999
MODAL	Mode	9	0,824	0,999	0,999
MODAL	Mode	10	0,655	1,000	0,999
MODAL	Mode	11	0,621	1,000	1,000
MODAL	Mode	12	0,545	1,000	1,000

#### 4.4.4.2 Kontrol Gaya Geser Dasar

Struktur dengan sistem isolasi direncanakan untuk gaya geser lateral tidak kurang dari 80%  $V_s$  sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 12.6.2.2. Dari hasil analisis diperoleh gaya geser lateral dinamis seperti pada Tabel 4.41.

Tabel 4. 42 *Output Base Reaction*

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Kgf	Kgf
RSX	LinRespSpec	Max	294284,62	90448,18
RSY	LinRespSpec	Max	91000,81	292385,51

$$0,8 V_s = 0,8 \times 359.457,05 \text{ kg} = 287.565,64 \text{ kg}$$

$$V_{dx} = 294.284,62 \text{ kg} > 0,8V_s \quad (\text{Ok})$$

$$V_{dy} = 292.385,51 \text{ kg} > 0,8V_s \quad (\text{Ok})$$

#### 4.4.4.3 Kontrol Simpangan antar Lantai

Simpangan antar lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi tidak boleh melebihi 0,015  $h_{sx}$ . Simpangan antar lantai

harus dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini, dengan faktor  $C_d$  dari sistem isolasi sama dengan faktor  $R_I$  (SNI 1726:2012 pasal 12.5.6).

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{ex}}{I_e}$$

dimana,

$\delta_x$  = Defleksi pada lantai yang ditinjau

$C_d = R_I = 1,125$

$\delta_{ex}$  = Defleksi yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa = 1

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah tingkat x

Tabel 4. 43 Perpindahan dan Simpangan antarlantai akibat Gempa  
Arah x

Arah x						
Lantai	hsx (mm)	$\delta_{ex}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	$\Delta x \leq \Delta a$
Atap	4000	233,1	262,2	1,283	60	OK
21	4000	231,96	261,0	1,980	60	OK
20	4000	230,2	259,0	2,587	60	OK
19	4000	227,9	256,4	3,487	60	OK
18	4000	224,8	252,9	3,375	60	OK
17	4000	221,8	249,5	3,938	60	OK
16	4000	218,3	245,6	4,613	60	OK
15	4000	214,2	241,0	5,063	60	OK
14	4000	209,7	235,9	5,063	60	OK
13	4000	205,2	230,9	5,512	60	OK
12	4000	200,3	225,3	6,075	60	OK
11	4000	194,9	219,3	6,413	60	OK
10	4000	189,2	212,9	6,525	60	OK
9	4000	183,4	206,3	6,975	60	OK
8	4000	177,2	199,4	7,313	60	OK
7	4000	170,7	192,0	7,650	60	OK
6	4000	163,9	184,4	7,875	60	OK
5	4000	156,9	176,5	8,100	60	OK
4	4000	149,7	168,4	8,550	60	OK
3	4000	142,1	159,9	8,887	60	OK
2	2000	134,2	151,0	4,950	30	OK
1 (Dasar)	0	129,8	146,0	0,000	0	OK



Tabel 4. 44 Perpindahan dan Simpangan antarlantai akibat Gempa  
Arah y

Arah y						
Lantai	hsx (mm)	$\delta_{ex}$	$\delta_x$	$\Delta x$	$\Delta a$ (mm)	$\Delta x \leq \Delta a$
Atap	4000	209,5	235,7	0,900	60	OK
21	4000	208,7	234,8	1,575	60	OK
20	4000	207,3	233,2	2,250	60	OK
19	4000	205,3	231,0	2,813	60	OK
18	4000	202,8	228,2	2,813	60	OK
17	4000	200,3	225,3	3,262	60	OK
16	4000	197,4	222,1	3,713	60	OK
15	4000	194,1	218,4	4,162	60	OK
14	4000	190,4	214,2	4,275	60	OK
13	4000	186,6	209,9	4,500	60	OK
12	4000	182,6	205,4	5,063	60	OK
11	4000	178,1	200,4	5,400	60	OK
10	4000	173,3	195,0	5,400	60	OK
9	4000	168,5	189,6	5,737	60	OK
8	4000	163,4	183,8	6,075	60	OK
7	4000	158	177,8	6,412	60	OK
6	4000	152,3	171,3	6,525	60	OK
5	4000	146,5	164,8	6,862	60	OK
4	4000	140,4	158,0	7,088	60	OK
3	4000	134,1	150,9	7,537	60	OK
2	2000	127,4	143,3	4,275	30	OK
1 (Dasar)	0	123,6	139,1	0,000	0	OK

Perpindahan pada lantai dasar merupakan perpindahan dari sistem isolasi yang perlu dikontrol dengan  $D_M$ .

Arah x :  $\delta_x = 146,0 \text{ mm} < D_M = 210 \text{ mm}$

Arah y :  $\delta_y = 139,1 \text{ mm} < D_M = 210 \text{ mm}$

Dari hasil analisis *base isolation structure*, simpangan antar lantai memenuhi persyaratan. Maka dapat disimpulkan struktur kuat terhadap beban perpindahan rencana.

#### 4.4.4.4 Perbandingan Struktur *Fixed Base* dan Struktur dengan *Base Isolator*

##### 1. Periode Fundamental Struktur

$$T_{\text{fixed base}} = 3,44 \text{ detik}$$

$$T_{\text{isolated}} = 6,548 \text{ detik}$$

Periode fundamental struktur dengan *base isolator* tipe HDRB meningkat 1,9 kali lipat dari struktur *fixed base*, karena berkurangnya kekakuan struktur pada bagian dasar akibat penggunaan *base isolator*.

##### 2. Gaya geser dasar

Perbandingan antara gaya geser dasar pada struktur *fixed base* dan struktur dengan *base isolator* dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4. 45 Perbandingan Gaya Geser Dasar

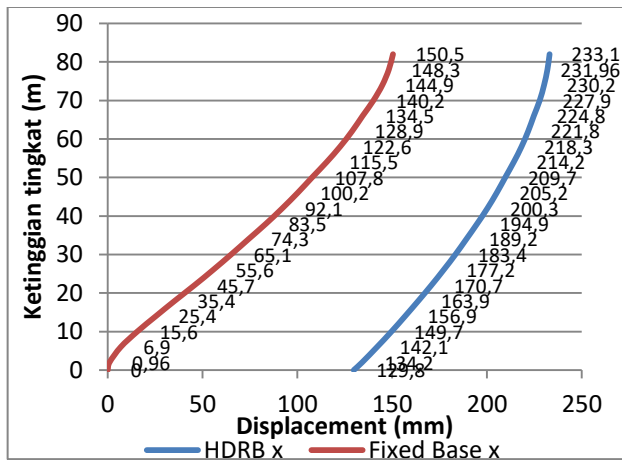
Gempa	Fixed Base (kg)	HDRB (kg)	% Reduksi
arah X	430109,8	294284,6	31,579
arah Y	446258,8	292385,5	34,481

##### 3. Perpindahan akibat Beban Gempa

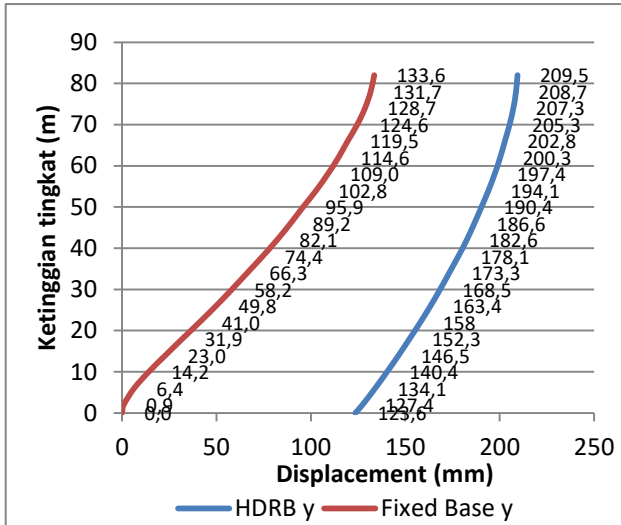
Perbandingan antara perpindahan akibat beban gempa pada struktur *fixed base* dan struktur dengan *base isolator* dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4. 46 Perbandingan Perpindahan akibat Beban Gempa

Lantai	Ketinggian (m)	Arah x		Arah y	
		Fixed Base	Base Isolation	Fixed Base	Base Isolation
Atap	82	150,5	233,1	133,6	209,5
21	78	148,3	231,96	131,7	208,7
20	74	144,9	230,2	128,7	207,3
19	70	140,2	227,9	124,6	205,3
18	66	134,5	224,8	119,5	202,8
17	62	128,9	221,8	114,6	200,3
16	58	122,6	218,3	108,98	197,4
15	54	115,5	214,2	102,8	194,1
14	50	107,8	209,7	95,9	190,4
13	46	100,2	205,2	89,2	186,6
12	42	92,1	200,3	82,1	182,6
11	38	83,5	194,9	74,4	178,1
10	34	74,3	189,2	66,3	173,3
9	30	65,1	183,4	58,2	168,5
8	26	55,6	177,2	49,8	163,4
7	22	45,7	170,7	41	158
6	18	35,4	163,9	31,9	152,3
5	14	25,4	156,9	22,96	146,5
4	10	15,6	149,7	14,2	140,4
3	6	6,9	142,1	6,4	134,1
2	2	0,96	134,2	0,89	127,4
1 (Dasar)	0	0	129,8	0	123,6



Gambar 4. 41 Perpindahan akibat Beban Gempa Arah x



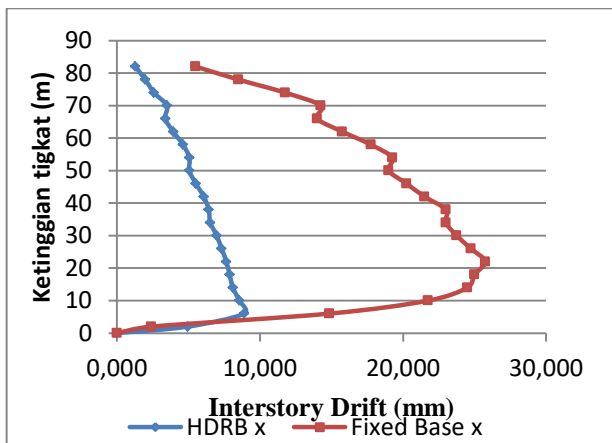
Gambar 4. 42 Perpindahan akibat Gempa Arah y

#### 4. Simpangan Antarlantai akibat Beban Gempa

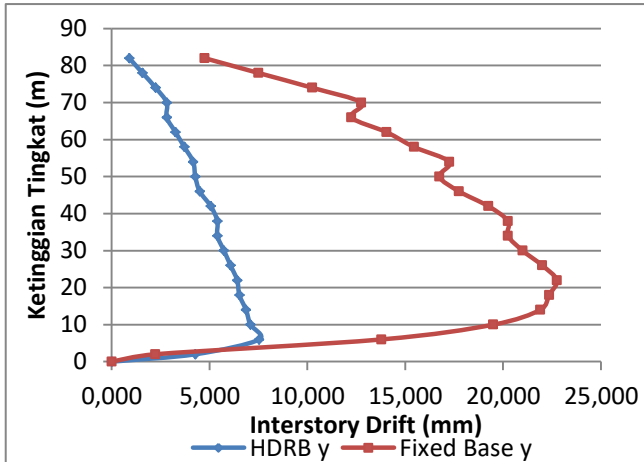
Perbandingan antara simpangan antarlantai akibat beban gempa pada struktur *fixed base* dan struktur dengan *base isolator* dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4. 47 Perbandingan Simpangan Antarlantai

Lantai	Ketinggian (m)	Arah x		Arah y	
		Fixed Base	Base Isolation	Fixed Base	Base Isolation
Atap	82	5,50	1,28	4,75	0,90
21	78	8,50	1,98	7,50	1,57
20	74	11,75	2,59	10,25	2,25
19	70	14,25	3,49	12,75	2,81
18	66	14,00	3,38	12,25	2,81
17	62	15,75	3,94	14,05	3,26
16	58	17,75	4,61	15,45	3,71
15	54	19,25	5,06	17,25	4,16
14	50	19,00	5,06	16,75	4,28
13	46	20,25	5,51	17,75	4,50
12	42	21,50	6,07	19,25	5,06
11	38	23,00	6,41	20,25	5,40
10	34	23,00	6,52	20,25	5,40
9	30	23,75	6,98	21,00	5,74
8	26	24,75	7,31	22,00	6,08
7	22	25,75	7,65	22,75	6,41
6	18	25,00	7,88	22,35	6,53
5	14	24,50	8,10	21,90	6,86
4	10	21,75	8,55	19,50	7,09
3	6	14,85	8,89	13,78	7,54
2	2	2,40	4,95	2,23	4,28
1 (Dasar)	0	0,00	0,00	0,00	0,00



Gambar 4. 43 Simpangan Antarlantai akibat Gempa Arah x



Gambar 4. 44 Simpangan Antarlantai akibat Gempa Arah y

## 4.5 Perencanaan Struktur Utama

### 4.5.1 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Perencanaan balok induk meliputi perencanaan tulangan lentur, tulangan geser, dan tulangan torsi. Gaya dalam yang digunakan untuk perencanaan merupakan hasil kombinasi pembebanan yang menghasilkan envelope terbesar pada masing-masing tipe balok. Pada subbab ini akan diberikan contoh perhitungan untuk balok induk tipe BI 1 dengan dimensi 40/60cm dan panjang bentang 8m.

#### 4.5.1.1 Data Perencanaan

##### Data Perencanaan Tulangan

Dimensi balok	= 400 mm x 600 mm
Panjang bentang, L	= 8000 mm
Mutu beton, $f'_c$	= 40 MPa
Mutu baja, $f_y$	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur, $D_b$	= 22 mm ( $A_{s\ 1\ tul} = 380,13\ mm^2$ )

Diameter tulangan geser,  $D_s$  = 13 mm ( $A_{s1\ tul} = 132,73 \text{ mm}^2$ )  
 Diameter tulangan torsi = 22 mm ( $A_{s1\ tul} = 380,13 \text{ mm}^2$ )  
 Selimut beton = 50 mm

### Gaya Dalam Hasil Analisis Struktur BI 1

Tabel 4. 48 Gaya Dalam Balok Induk BI 1

Gaya Dalam	Notasi	Nilai	Satuan
Tumpuan kiri momen positif	$M_{t\ kiri +}$	248.464.677	N mm
Tumpuan kiri momen negatif	$M_{t\ kiri -}$	-562.319.070	N mm
Tumpuan kanan momen positif	$M_{t\ kanan +}$	216.970.804	N mm
Tumpuan kanan momen negatif	$M_{t\ kanan -}$	-521.322.489	N mm
Lapangan momen positif	$M_{lapangan +}$	207.718.224	N mm
Gaya geser	$V_u$	231.130	N
Gaya aksial	$P_u$	0	N
Torsi	$T_u$	70.148.547	N mm

### Cek Penampang Lentur

1. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u < 0,1.A_g.f'_c$  (Ok)
2. Bentang bersih,  $L_n = 8000\text{mm} > 4d = 2104 \text{ mm}$  (Ok)
3. Lebar komponen,  $b_w = 400\text{mm} > 0,3h = 180\text{mm}$  (Ok)
4. Lebar komponen,  $b_w = 400\text{mm} > 250 \text{ mm}$  (Ok)

### **4.5.1.2 Perencanaan Tulangan Lentur**

#### Data Tulangan

$f'_c$  = 40 MPa  
 $f_y$  = 400 MPa  
 $b$  = 400 mm  
 $h$  = 600 mm  
 $D_b$  = 22 mm ( $A_{s1\ tul} = 201,062 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 D_s &= 13 \text{ mm} \quad (A_{s1 \text{ tul}} = 78,54 \text{ mm}^2) \\
 \text{Selimut} &= 50 \text{ mm} \\
 m &= f_y / (0,85 f'_c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &\geq 0,25 \sqrt{f'_c} / f_y \text{ dan, } \rho_{\min} \geq 1,4 / f_y \\
 &\geq 0,25 \sqrt{40} / 400 && \geq 1,4 / 400 \\
 &\geq 0,00395 && \geq 0,004
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029$$

**a) Tulangan Lentur Tumpuan Momen Negatif**

Kebutuhan tulangan awal direncanakan menggunakan satu lapis tulangan dengan tinggi efektif,  $d$  :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{selimut beton} - D_s - 0,5D_b \\
 &= 600 - 40 - 13 - 0,5 \cdot 22 \\
 &= 526 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu

$$M_t - = 562.319.070 \text{ N mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{562.319.070}{0,9 \cdot 300 \cdot 526^2} = 5,646 \text{ MPa}$$

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



$$= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.11,765.5,646}{400}} \right)$$

$$= 0,016$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$ , maka  $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,016$

### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,016 \cdot 400 \cdot 526 = 3268,19 \text{ mm}^2$$

### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 3268,19 / 380,133 = 8,59 \approx 9 \text{ buah}$$

### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 9 \cdot 22}{9 - 1}$$

$$= 9,5 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

Karena spasi antar tulangan  $< 25 \text{ mm}$  maka tulangan dipasang dalam 2 lapis, dengan jumlah tulangan **10D22** (5 buah pada lapis pertama, dan 5 buah pada lapis kedua).

$$S = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 22}{5 - 1}$$

$$= 41 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)}$$

### Koreksi tinggi efektif, $d$

$$A_{s \text{ lapis 1}} = 5D22 = 1900,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ lapis 2}} = 5D22 = 1900,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ total}} = 10D22 = 3801,32 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}}$$

$$x = \frac{A_{s \text{ lapis 1}} \left( c_c + D_s + \frac{D_b}{2} \right) + A_{s \text{ lapis 2}} \left( c_c + D_s + \frac{D_b}{2} + 25 \right)}{A_{s \text{ total}}}$$

$$= \frac{1900,66(50 + 13 + 22/2) + 1900,66(50 + 13 + 22/2 + 25)}{3801,32}$$

$$= 97,5 \text{ mm (jarak serat bawah ke tengah lapis tulangan)}$$

$$d = h - x = 600 - 97,5 = 502,5 \text{ mm}$$

Cek kondisi penampang

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{3801,32 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 111,8$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{fc' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 111,8/0,76 = 146,3$

$$\varepsilon_t = 0,003(d - c)/c$$

$$= 0,003 \cdot (502,5 - 146,3)/146,3$$

$$= 0,0073 > 0,005 \text{ (Beton terkendali tarik)}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

$$M_n = As \cdot fy \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 3801,32 \times 400 (502,5 - 111,8/2)$$

$$= 679.066.232,8 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 679.066.232,8 \text{ N mm}$$

$$= 611.159.609,5 \text{ N mm} > M_u = 562.319.070 \text{ Nmm}$$

(Ok)

**b) Tulangan Lentur Tumpuan Momen Positif**

Kebutuhan tulangan awal direncanakan menggunakan satu lapis tulangan dengan tinggi efektif,  $d$  :

$$d = h - \text{selimut beton} - D_s - 0,5D_b$$

$$= 600 - 40 - 13 - 0,5 \cdot 22$$

$$= 526 \text{ mm}$$

Rasio tulangan perlu

$$M_t + = 281.159.535 \text{ N mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{281.159.535}{0,9 \cdot 300 \cdot 526^2} = 2,823 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 2,823}{400}} \right)$$

$$= 0,007$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,007$$

#### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,007 \cdot 400 \cdot 526 = 1552,14 \text{ mm}^2$$

#### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 1552,14 / 380,133 = 4,08 \approx 5 \text{ buah}$$

#### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 22}{5 - 1}$$

$$= 41 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)}$$

Maka **SD22** ( $A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$ ) dapat digunakan.

#### Cek kondisi penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1900,66 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 55,9$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 55,9 / 0,76 = 73,13$

$$\varepsilon_t = 0,003(d - c) / c$$

$$= 0,003 \cdot (526 - 73,13) / 73,13$$

$$= 0,018 > 0,005 \text{ (Beton terkendali tarik)}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

#### Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

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

$$= 1900,66 \times 400 (526 - 55,9/2)$$

$$= 378.649.482,9 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 378.649.482,9 \text{ N mm}$$

$$= 340.784.534,6 \text{ N mm} > M_u = 281.159.535 \text{ N mm}$$

(Ok)

c) **Tulangan Lentur Lapangan Momen Positif**

Kebutuhan tulangan awal direncanakan menggunakan satu lapis tulangan dengan tinggi efektif,  $d$  :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - D_s - 0,5D_b \\ &= 600 - 40 - 13 - 0,5 \cdot 22 \\ &= 526 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Rasio tulangan perlu**

$$M_{\text{lapp}} = 207.718.224 \text{ N mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{207.718.224}{0,9 \cdot 300 \cdot 526^2} = 2,085 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 2,085}{400}} \right) \\ &= 0,005 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,005$$

**Luas tulangan perlu**

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,005 \cdot 400 \cdot 526 = 1052,00 \text{ mm}^2$$

**Jumlah tulangan**

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 1052,00 / 260,133 = 4,08 \approx 5 \text{ buah}$$

**Jarak antar tulangan**

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 22}{5 - 1} \\ &= 41 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)} \end{aligned}$$

Maka **5D22** ( $A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$ ) dapat digunakan.

**Cek kondisi penampang**

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1900,66 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 33,54$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_{c'} - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a/\beta_1 = 33,54/0,76 = 43,89$

$$\epsilon_t = 0,003(d - c)/c$$

$$= 0,003 \cdot (526 - 43,89)/43,89$$

$$= 0,033 > 0,005 \text{ (Beton terkendali tarik)}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

#### Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1900,66 \times 400 (526 - 33,54/2) \\ &= 232.289.720,8 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 232.289.720,8 \text{ N mm} \\ &= 209.060.748,7 \text{ N mm} > M_u = 207.718.224 \text{ N mm} \\ &\text{(Ok)} \end{aligned}$$

#### **d) Tulangan Lentur Lapangan Momen Negatif**

Kebutuhan tulangan awal direncanakan menggunakan satu lapis tulangan dengan tinggi efektif,  $d$  :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - D_s - 0,5D_b \\ &= 600 - 40 - 13 - 0,5 \cdot 22 \\ &= 526 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Rasio tulangan perlu

Momen ultimate negatif untuk bagian lapangan direncanakan sebesar 0,5 dari momen lapangan positif.

$$\begin{aligned} M_{\text{lapp}} - &= 0,5M_{\text{lapp}} + \\ &= 103.859.112 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{103.859.112}{0,9 \cdot 300 \cdot 526^2} = 1,043 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 1,043}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0026$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rho = \rho_{\min} = 0,004$

### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \cdot 400 \cdot 526 = 831,67 \text{ mm}^2$$

### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 831,67 / 380,133 = 2,18 \approx 3 \text{ buah}$$

### Jarak antar tulangan

Syarat  $s \geq 25 \text{ mm}$

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 3 \cdot 22}{3 - 1}$$

$$= 104 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)}$$

Maka **3D22** ( $A_s = 1140,39 \text{ mm}^2$ ) dapat digunakan.

### Cek kondisi penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1140,39 \cdot 400}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 33,54$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76$$

Tinggi area tekan beton,  $c = a / \beta_1 = 33,54 / 0,76 = 43,89$

$$\varepsilon_t = 0,003(d - c) / c$$

$$= 0,003 \cdot (526 - 43,89) / 43,89$$

$$= 0,033 > 0,005 \text{ (Beton terkendali tarik)}$$

Maka asumsi  $\phi = 0,9$  dapat digunakan.

### Cek kemampuan penampang

Syarat,  $\phi M_n > M_u$  dimana,

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

$$= 1140,39 \times 400 \left( 526 - 33,54 / 2 \right)$$

$$= 232.289.720,8 \text{ N mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 232.289.720,8 \text{ N mm}$$

$$= 209.060.748,7 \text{ N mm} > M_u = 103.859.112 \text{ N mm}$$

(Ok)

### 4.5.1.3 Perencanaan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser untuk SRPMB berdasarkan gaya geser ultimate hasil program bantu analisis.

$$V_u = 231.130 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

#### Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\Phi V_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\Phi V_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 526 \\ &= 221.781,07 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi V_c &= 0,75 \times 221.781,07 \\ &= 166.335,80 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5\Phi V_c &= 0,5 \times 0,75 \times 221.781,07 \\ &= 83.167,90 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 231.130 \text{ N} < 0,5\Phi V_c = 83.167,90 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 2.

Kondisi 2 :

Jika  $0,5\Phi V_c < V_u \leq \Phi V_c$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_u = 231.130 \text{ N} < \Phi V_c = 166.335,80 \text{ N}$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 3.

Kondisi 3 :

Jika  $\Phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$  maka disediakan tulangan geser minimum.

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \cdot b \cdot d \\ &= 1/3 \cdot 400 \cdot 526 \\ &= 70.133,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi (V_c + V_{s \text{ min}}) = 0,9 (221.781,07 + 70.133,33)$$

$$= 218.936 \text{ N}$$

$$V_u = 231.130 \text{ N} < \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$$

Tidak memenuhi, maka dicek pada kondisi 4.

Kondisi 4 :

Jika  $V_u > \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$  maka tulangan geser harus disediakan untuk memenuhi persamaan  $\Phi V_n \geq V_u$  dan  $V_n = V_c + V_s$ .

$$\begin{aligned} V_s &= V_u / \phi - V_c \\ &= 231.130 / 0,75 - 221.781,07 \\ &= 86.392,50 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Jarak Tulangan Geser

Diasumsikan menggunakan tulangan geser D10.

$$\begin{aligned} A_v &= 2\pi d_s^2 = 2 \cdot \pi \cdot 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2 \\ V_s &= 86392,50 \text{ N} \\ A_v / s &= \frac{V_s}{f_y \cdot d} = \frac{86392,50}{400 \cdot 526} = 0,411 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s &= \frac{A_v}{0,411} = 646 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Syarat Jarak Tulangan Geser

Dalam SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1, jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap komponen struktur tidak boleh melebihi :

$$d/2 = 526/2 = 263 \text{ mm} ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser D13-250 mm.

#### **4.5.1.4 Perencanaan Tulangan Torsi**

Perencanaan torsi didasarkan pada persyaratan SNI 2847:2013 pasal 11.5.1 dimana pengaruh torsi dapat diabaikan jika momen torsi terfaktor,  $T_u$  memenuhi syarat sebagai berikut :

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

Keterangan :

$\phi$  = Faktor reduksi untuk torsi = 0,75

$A_{cp}$  = Luas yang dibatasi keliling luar penampang beton



$P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton

$\lambda$  = 1 (beton normal)

1. Luas dan Keliling Penampang

Luas yang dibatasi keliling luar penampang beton,  $A_{cp}$

$$A_{cp} = b \cdot h = 400 \times 600 = 240.000 \text{ mm}^2$$

Keliling luar penampang beton,  $P_{cp}$

$$P_{cp} = 2(b+h) = 2(400+600) = 2000 \text{ mm}$$

Luas yang dilingkupi garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar,  $A_{oh}$

$$b_h = b_w - 2 \cdot \text{selimut} - D_s = 400 - 2 \cdot 50 - 13 = 287 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot \text{selimut} - D_s = 600 - 2 \cdot 50 - 13 = 487 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = b_h \cdot H_h = 287 \times 487 = 139.769 \text{ mm}^2$$

Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar,  $P_h$

$$P_h = 2(b_h+h_h) = 2(287+487) = 1548 \text{ mm}$$

2. Cek Pengaruh Torsi

Pengaruh torsi dapat diabaikan jika  $T_u = 70.148.547 \text{ N mm}$  kurang dari perumusan berikut :

$$\varphi \cdot 0,083 \lambda \sqrt{f_c' \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)} = 0,75 \cdot 0,083 \sqrt{40 \left( \frac{240000^2}{2000} \right)}$$

$$= 11.338.662,78 \text{ N mm} > T_u$$

Maka diperlukan tulangan untuk menahan momen torsi.

3. Cek Dimensi Penampang untuk Menahan Momen Torsi

Dimensi penampang untuk menahan momen torsi harus memenuhi persamaan berikut (SNI 2847:2023 pasal 11.5.3.1).

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

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left( \frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{231.130}{400 \cdot 526} \right)^2 + \left( \frac{70.148.547 \times 1548}{1,7 \times 139.769^2} \right)^2}$$

$$= 3,45$$

$$\varphi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0,66\sqrt{f_c'} \right) = 0,75 \left( \frac{221781,07}{400.529} + 0,66\sqrt{40} \right) = 3,92$$

3,45 < 3,92 (Memenuhi persyaratan).

4. Perhitungan Tulangan Transversal Penahan Torsi  
Kebutuhan tulangan transversal penahan torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut (SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6).

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\varphi \times 2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot^2 \theta}$$

Dimana  $A_o$  boleh diambil sama dengan  $0,85A_{oh}$  dan  $\theta$  tidak boleh diambil lebih kecil dari 30 derajat ataupun lebih besar dari 60 derajat.

$$A_o = 0,85 \times 139.769 = 118.803,65 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{70.148.547}{0,75 \times 2 \times 118803,65 \times 400 \times \cot^2 45} = 0,984 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Luas tulangan transversal untuk menahan geser dan torsi

$$\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = 0,411 + 0,984 = 1,395 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan transversal dua kaki dengan D13 ( $A_s = 132,73 \text{ mm}^2$ ).

$$\frac{A_{v+t}}{s} = 1,395$$

$$s = \frac{132,73}{1,395} = 190,4 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan transversal dua kaki **D13-150**.

5. Perhitungan Tulangan Longitudinal Tambahan Penahan Torsi

Besarnya luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi,  $A_l$  tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} p_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,984 \times 1548 \times \left( \frac{400}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 1523,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas tulangan longitudinal tambahan  $A_l$  tersebut didistribusikan merata ke 4 sisi balok :

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1523,38}{4} = 380,84 \text{ mm}^2$$

Tulangan tambahan untuk sisi samping balok :

$$A_l = 380,84 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D25 ( $A_{s \text{ 1 tul}} = 490,87 \text{ mm}^2$ ) maka,

$$n_{\text{tul}} = 380,84/490,87 = 0,78 \approx 1 \text{ buah}$$

Pada sisi samping balok kanan dan kiri ditambahkan 1 buah tulangan D25.

Tulangan tambahan untuk sisi atas dan bawah balok :

Digunakan tulangan tambahan D22 untuk sisi atas dan bawah balok dengan rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan tulangan longitudinal balok seperti pada Tabel 4.48.

Tabel 4. 49 Tulangan Longitudinal Terpasang

Sisi	$A_s$ perlu ( $\text{mm}^2$ )	$A_l$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_s$ perlu total	$A_{s \text{ 1 tul}}$ D22 ( $\text{mm}^2$ )	n tul	n tul pasang	$A_s$ pasang ( $\text{mm}^2$ )
Tumpuan M-	3268,20	380,845	3649,04	380,133	9,60	10	3801,33
Tumpuan M+	1552,14	380,845	1932,99	380,133	5,09	6	2280,80
Lapangan M-	831,68	380,845	1212,52	380,133	3,19	4	1520,53
Lapangan M+	1132,83	380,845	1513,67	380,133	3,98	4	1520,53

#### 4.5.1.5 Panjang Penyaluran

##### Panjang Penyaluran Batang Tulangan dalam Kondisi Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.3 panjang penyaluran,  $l_d$  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,

$$\Psi_t = 1,3 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 12.2.4)}$$

$$\Psi_e = 1, \text{ untuk tulangan yang tidak dilapisi}$$

$$\Psi_s = 1, \text{ untuk tulangan D22 dan yang lebih besar}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= 1, \text{ untuk beton normal} \\ d_b &= \text{Diameter batang tulangan} \\ c_b &= \text{Jarak dari pusat batang tulangan ke permukaan beton} \\ &\text{terdekat} \\ &= \text{Selimut} + D_s + 0,5D_b \\ &= 50 + 13 + 0,5 \cdot 22 \\ &= 74 \text{ mm} \\ K_{tr} &= 0 \\ \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} &= \frac{74 + 0}{22} = 3,36 > 2,5 ; \text{ dipakai } 2,5\end{aligned}$$

$$l_d = \left( \frac{400}{1,1 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{40}} \frac{1,3 \cdot 1,1}{2,5} \right) 22 = 505,96 \text{ mm}$$

#### Panjang Penyaluran Batang Tulangan dalam Kondisi Tekan

Panjang penyaluran  $l_{dc}$  harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$\left( \frac{0,24f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b = \left( \frac{0,24 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{40}} \right) 22 = 333,94 \text{ mm}$$

dan

$$0,043f_y d_b = 0,043 \cdot 400 \cdot 22 = 378,40 \text{ mm (digunakan sebagai panjang penyaluran.)}$$

#### **4.5.1.6 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk**

Hasil perencanaan tulangan balok induk dapat dilihat pada Tabel 4.49.

Tabel 4. 50 Penulangan Balok Induk

Balok Induk	Dimensi			Tumpuan		Lapangan		Geser	Torsi Samping
	L (m)	b (cm)	h (cm)	M -	M +	M -	M +		
BI 1	8,00	40	60	10 D22	6 D22	4 D22	4 D22	D13-150	2 D25
BI 2	4,25	30	40	5 D22	4 D22	2 D22	2 D22	D13-150	2 D13
BI 3	8,00	40	60	10 D22	5 D22	4 D22	5 D22	D13-150	2 D25
BI 4	3,45	30	40	5 D22	3 D22	2 D22	2 D22	D13-150	2 D13
BI 5	4,00	40	60	7 D22	4 D22	4 D22	3 D22	D13-150	2 D22

## 4.5.2 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul seluruh beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, dan berfungsi meneruskan beban ke pondasi. Pada tugas akhir ini direncanakan 5 tipe dimensi kolom seperti pada Tabel 4.51.

Tabel 4. 51 Dimensi Kolom

Lantai	Nama Kolom	h (m)	n kolom	b (cm)	h (cm)
Atap-18	K5	4	4	50	50
17-14	K4	4	4	60	60
13-10	K3	4	4	70	70
9-6	K2	4	4	80	80
5-2	K1	4	4	90	90
1	Pedestal	2	1	90	90

### 4.5.2.1 Data Perencanaan

Pada sub bab ini akan diberikan contoh perhitungan perencanaan tulangan untuk kolom K1 dengan dimensi 90/90. Kolom yang ditinjau adalah kolom yang menahan beban aksial terbesar (Lantai 2 pada As 4-C). Berikut data perencanaan K1 :

Dimensi kolom	= 900 mm x 900 mm
Tinggi bentang, L	= 4000 mm
Luas penampang, $A_g$	= 81.000 mm <sup>2</sup>
Mutu beton, $f'_c$	= 40 MPa
Mutu baja, $f_y$	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur, $D_b$	= 25 mm ( $A_{s1\ tul} = 490,874 \text{ mm}^2$ )
Diameter tulangan geser, $D_s$	= 16 mm ( $A_{s1\ tul} = 201,062 \text{ mm}^2$ )
Selimut beton	= 50 mm
Tinggi efektif, d	= 900 – 16 – 25/2 = 821,5 mm
Gaya dalam maks : $P_u$	= 13319,76 Kn
$M_{u\ top}$	= 343,64 Kn m
$M_{u\ bottom}$	= 337,42 Kn m
$V_u$	= 173,95 Kn

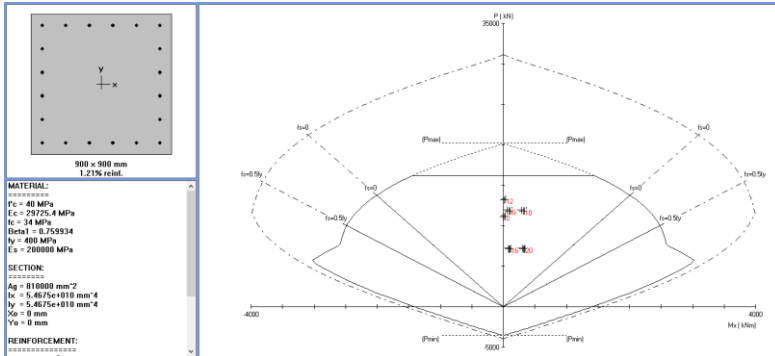


Tabel 4. 52 Gaya Dalam Kolom K1

Static	Kombinasi	P	M3	M2	V2	V3	T
m	Beban	KN	KN-m	KN-m	KN	KN	KN-m
4	1,4D+1,4SDL	11267,86	29,06	9,02	9,85	3,15	7,46
0	1,4D+1,4SDL	11161,10	10,35	3,56	9,85	3,15	7,46
4	1,2D+1,2SDL+1L+1RSY	11949,73	67,08	246,61	61,97	136,38	18,12
4	1,2D+1,2SDL+1L+1RSY	11943,61	134,56	265,61	38,76	129,76	35,08
0	1,2D+1,2SDL+1L+1RSY	11858,22	113,42	280,18	61,97	136,38	18,12
0	1,2D+1,2SDL+1L+1RSY	11852,10	88,05	272,70	38,76	129,76	35,08
4	1,2D+1,2SDL+1L+1RSX	11953,19	291,22	69,84	173,95	44,52	14,47
4	1,2D+1,2SDL+1L+1RSX	11940,15	358,70	88,84	150,74	37,90	31,43
0	1,2D+1,2SDL+1L+1RSX	11861,68	337,42	89,35	173,95	44,52	14,47
0	1,2D+1,2SDL+1L+1RSX	11848,64	312,05	81,87	150,74	37,90	31,43
4	1,2D+1,2SDL+1,6L	13319,77	39,03	10,56	13,50	3,68	9,73
0	1,2D+1,2SDL+1,6L	13228,26	14,97	4,15	13,50	3,68	9,73
4	0,9D+0,9SDL+1RSY	7246,68	82,14	250,31	56,70	135,09	21,81
4	0,9D+0,9SDL+1RSY	7240,57	119,50	261,90	44,03	131,04	31,40
0	0,9D+0,9SDL+1RSY	7178,05	107,39	278,73	56,70	135,09	21,81
0	0,9D+0,9SDL+1RSY	7171,94	94,08	274,15	44,03	131,04	31,40
4	0,9D+0,9SDL+1RSX	7250,15	306,28	73,54	168,68	43,24	18,16
4	0,9D+0,9SDL+1RSX	7237,10	343,64	85,14	156,01	39,19	27,75
0	0,9D+0,9SDL+1RSX	7181,52	331,39	87,90	168,68	43,24	18,16
0	0,9D+0,9SDL+1RSX	7168,47	318,08	83,32	156,01	39,19	27,75

#### 4.5.2.2 Perencanaan Tulangan Longitudinal

Beban aksial terfaktor, P, serta momen yang terjadi, M3 dan M2, pada kolom K1 di *input* ke dalam program bantu SPCOLUMN untuk mendapatkan jumlah tulangan longitudinal.



Gambar 4. 45 Diagram Interaksi Aksial dan Momen

Dari hasil *trial error* dengan program bantu SPCOLUMN diperoleh tulangan longitudinal 20 D25 ( $A_{st} = 9817,48 \text{ mm}^2$ ) dengan rasio tulangan 1,21 %.

#### Kontrol Kapasitas Kolom terhadap Momen

Dari hasil analisis program bantu diambil nilai  $\Phi_m_n$  terkecil untuk selanjutnya dikontrol terhadap  $M_u$ .

$$\Phi M_n = 2091 \text{ Kn m} > M_u = 343,64 \text{ Kn m (Ok)}$$

#### Kontrol Batasan Luas Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 luas tulangan longitudinal,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih dari  $0,08A_g$ .

$$A_{st} = 9817,48 \text{ mm}^2$$

$$0,01A_g = 0,01 \cdot 81000 = 8100 \text{ mm}^2$$

$$0,08A_g = 0,08 \cdot 81000 = 64800 \text{ mm}^2$$

Maka  $0,01A_g < A_{st} < 0,08A_g$  (Ok)

#### Kontrol Spasi Antar Tulangan

Spasi bersih minimum antar batang tulangan sejajar dalam satu lapi harus sebesar  $d_b$  tetapi tidak kurang dari 25 mm (SNI 2847:2013 pasal 7.6.1).

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut} - 2d_s - n \cdot d_b}{n \text{ tul} - 1} = \frac{900 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 16 - 6 \cdot 25}{6 - 1}$$

$$= 123,6 \text{ mm} > 25 \text{ mm (Ok)}$$



### Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

SNI 2847:2013 Ppasal 10.3.6.2 mengatur besarnya beban aksial terfaktor hasil analisa struktur harus mampu ditahan oleh kapasitas beban aksial penampang kolom yang dihitung pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\varphi P_{n(maks)} &= 0,8\varphi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \\ &= 0,8 \cdot 0,65[0,85 \cdot 40(810000 - 9817,48) + 400 \cdot 9817,48] \\ &= 16.189.262,23 \text{ N} \\ &= 16.189,26 \text{ Kn} > P_u = 13319,76 \text{ Kn (Ok)}\end{aligned}$$

### **4.5.2.3 Perencanaan Tulangan Transversal**

Luas penampang total tulangan persegi,  $A_{sh}$ , tidak boleh kurang dari persamaan berikut (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4).

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \text{ dan } A_{sh2} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan :

$s$  = Jarak spasi antar tulangan transversal

$b_c$  = Jarak pusat ke pusat tulangan transversal

$$= b - 2 \cdot \text{selimut} - D_s = 900 - 2 \cdot 50 - 16 = 784 \text{ mm}$$

$A_g$  = Luas penampang kolom

$$= b \cdot h = 900 \cdot 900 = 810000 \text{ mm}^2$$

$A_{ch}$  = Luas penampang kolom dari tepi luar tulangan transversal

$$= (b - 2 \cdot \text{selimut})^2 = (900 - 2 \cdot 50)^2 = 640000 \text{ mm}^2$$

- Jarak spasi antar tulangan transversal

Jarak spasi,  $s$ , harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1 serta pasal 7.10.5.2.

$$s \leq d/2 = 821,5/2 = 410,75 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

$$s \leq 16D_b = 16 \cdot 25 = 400 \text{ mm}$$

$$s \leq 48D_s = 48 \cdot 16 = 768 \text{ mm}$$

$$s \leq c_1 = 900 \text{ mm}$$

Direncanakan  $s = 100 \text{ mm}$ .

- Luas penampang total tulangan persegi

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{100.784.40}{400} \left[ \left( \frac{810000}{640000} \right) - 1 \right] = 624,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{100.784.40}{400} = 705,6 \text{ mm}^2 \text{ (Menentukan)}$$

- Jumlah tulangan transversal

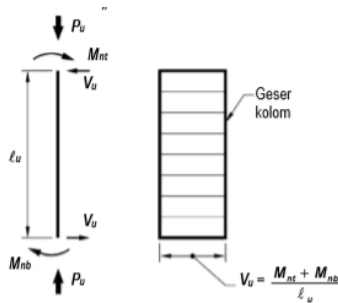
$$A_{sh} = 705,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan D16 dengan  $A_{s1 \text{ tul}} = 201,062 \text{ mm}^2$ .

$$N_{\text{tul}} = A_{sh} / A_{s1 \text{ tul}} = 705,6 / 201,062 = 3,51 \approx 4 \text{ buah.}$$

Maka digunakan tulangan transversal 4D16 – 100mm.

#### 4.5.2.4 Perhitungan Gaya Geser Desain



Gambar 4. 46 Geser Desain Kolom untuk SRPMB

Gaya geser desain,  $V_e$ , yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal pada struktur sistem rangka pemikul momen biasa ditentukan dari persamaan berikut sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.2 :

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \quad (4-25)$$

dan harus melebihi  $V_u$  hasil analisis struktur.

$M_{nt}$  dan  $M_{nb}$  diperoleh dari hasil analisis pada SPCOLUMN.

$$\Phi M_{nt} = 2091 \text{ Kn m} ; \varphi = 0,65$$

$$\varphi M_{nb} = 2106,64 \text{ Kn m} ; \varphi = 0,65$$

$$l_u = \text{Tinggi kolom dari muka balok} = 3,4\text{m}$$

$$V_e = \frac{2091/0,65 + 2106,64/0,65}{3,4} = 1899,385 \text{ Kn} > V_{u \text{ SAP}} = 173,95 \text{ Kn}$$

Perencanaan geser memenuhi syarat SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.2, dimana nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari nilai  $V_u$  yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

#### 4.5.2.5 Perhitungan Panjang Sambungan Lewatan

Karena seluruh luas tulangan pada sambungan lewatan disalurkan, maka sambungan merupakan Kelas B (SNI 2847:2013 pasal 12.15.2). Panjang minimum sambungan untuk sambungan lewatan kelas B harus sebesar  $1,3l_d$  tetapi tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2013 pasal 12.15.1). Besarnya  $l_d$  ditentukan dari perumusan berikut :

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

Dimana,

$\Psi_t = 1$ , (SNI 2847:2013 pasal 12.2.4)

$\Psi_e = 1$ , untuk tulangan yang tidak dilapisi

$\Psi_s = 1$ , untuk tulangan D22 dan yang lebih besar

$\lambda = 1$ , untuk beton normal

$d_b =$  Diameter batang tulangan

$c_b =$  Jarak dari pusat batang tulangan ke permukaan beton terdekat

$$= \text{Selimut} + D_s + 0,5D_b$$

$$= 50 + 16 + 0,5 \cdot 25$$

$$= 78,5 \text{ mm}$$

$K_{tr} = 0$

$$\frac{c_b+K_{tr}}{d_b} = \frac{78,5+0}{25} = 3,14 > 2,5 ; \text{ dipakai } 2,5$$

$$l_d = \left( \frac{400}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}} \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{2,5} \right) 25 = 574,96 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 1,3l_d = 1,3 \cdot 574,96 = 747,45 \text{ mm} > 300 \text{ mm (Ok)}$$

#### 4.5.2.6 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Kolom

Hasil perhitungan tulangan longitudinal dan tulangan transversal kolom dapat dilihat pada Tabel 4.52.

Tabel 4. 53 Rekapitulasi Tulangan Kolom

Kolom	Dimensi			Tulangan		Tulangan Transversal		
	Tinggi (m)	b (cm)	h (cm)	n tul	D (mm)	n tul	D (mm)	s (mm)
K5	4	50	50	8	25	3	16	90
K4	4	60	60	8	25	3	16	90
K3	4	70	70	12	25	4	16	100
K2	4	80	80	16	25	4	16	100
K1	4	90	90	20	25	4	16	100
Pedestal	2	90	90	20	25	4	16	100

#### 4.6 Perencanaan Pondasi

##### 4.6.1 Perencanaan Pondasi Dalam

Pondasi memiliki fungsi sebagai penahan beban struktur yang ada di atasnya serta untuk menyalurkan beban struktur ke tanah. Pada perancangan gedung ini akan digunakan pondasi jenis pondasi dalam. Pondasi dalam dapat digunakan untuk mentransfer beban ke lapisan yang lebih dalam untuk mencapai kedalaman tertentu sampai didapatkan daya dukung tanah yang mampu menahan beban struktur bangunan.

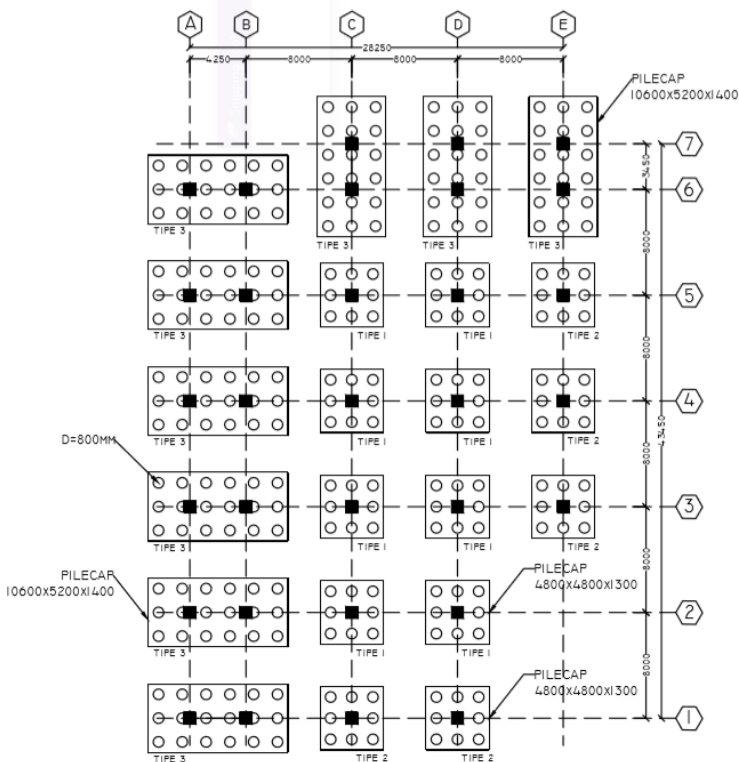
##### 4.6.1.1 Data perencanaan pondasi

Jenis pondasi dalam yang akan digunakan adalah pondasi *bored pile*, dikarenakan gedung ini berada di sekitar pemukiman sehingga tidak memungkinkan apabila digunakan tiang pancang karena akan menimbulkan gangguan berupa kebisingan, getaran, maupun deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan di sekitarnya.

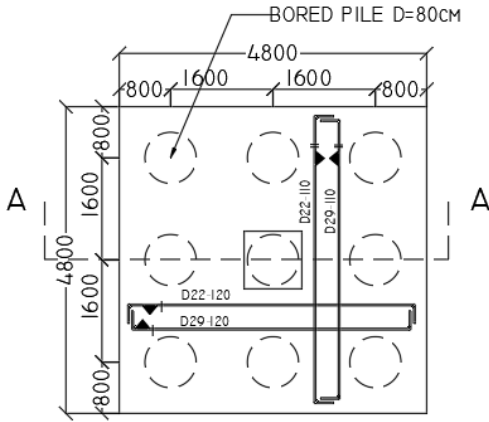
Terdapat 3 tipe pondasi yang akan direncanakan berdasarkan beban kolom yang dipikulnya, yaitu Tipe 1 untuk kolom interior (Gambar 4.48), Tipe 2 untuk kolom eksterior (Gambar 4.49), dan Tipe 3 yang menahan beban dua kolom (Gambar 4.50). Rencana pondasi dapat dilihat pada Gambar 4.47.

Pada sub bab ini akan diberikan contoh perhitungan untuk pondasi Tipe 1. Spesifikasi *bored pile* yang akan digunakan untuk Tipe 1 adalah sebagai berikut :

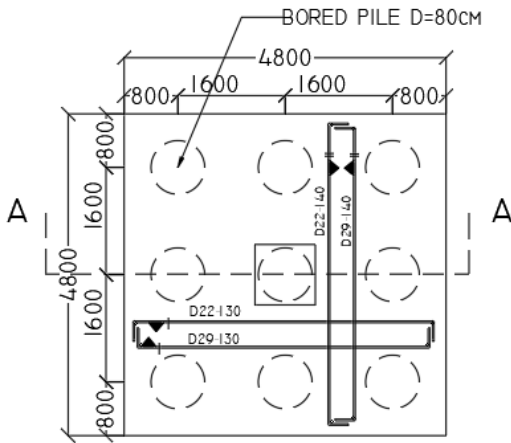
Diameter tiang : 800 mm  
 Kedalaman : 36 m  
 Jumlah tiang : 9 buah  
 $f'_c$  : 40 MPa  
 $f_y$  : 400 MPa  
 Dimensi *pilecap* : 4,8 x 4,8 x 1,3m



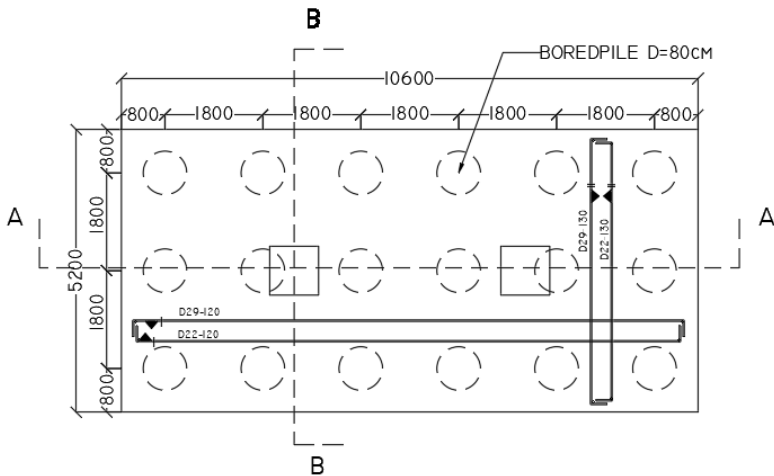
Gambar 4. 47 Denah Pondasi



Gambar 4. 48 Tipe 1



Gambar 4. 49 Tipe 2



Gambar 4. 50 Tipe 3

Beban yang bekerja pada pondasi untuk menghitung daya dukung *bored pile* dihitung menurut SNI 1726:2012 pasal 4. kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin.

- D
- D + L
- D + 0,75L
- D + 0,7E
- D + 0,75(0,7E) + 0,75L
- 0,6D + 0,7E

#### 4.6.1.2 Daya dukung tanah *bored pile* tunggal

Ada beberapa metode untuk menghitung daya dukung *bored pile* misalnya berdasarkan data sondir, data bor dalam, dan data SPT. Pada perancangan pondasi ini akan digunakan data SPT untuk menghitung daya dukung *bored pile*. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu :

- Daya dukung *bored pile* tunggal
- Daya dukung *bored pile* tunggal dalam kelompok

Daya dukung SPT dari lapangan tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan *bored pile*. Koreksi data SPT asli harus dilakukan terlebih dahulu terhadap muka air tanah. Perhitungan koreksi nilai SPT berdasarkan Terzaghi dan Peck, 1960 adalah sebagai berikut :

i. Koreksi terhadap muka air tanah

Khusus untuk tanah berpasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung, yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila  $N > 15$  :

- $N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N-15)$
- $N_1 = 0,6 N$

Kemudian pilih harga  $N_1$  yang terkecil dari kedua nilai tersebut. Untuk jenis tanah lempung, lanau, dan pasir kasar dan bila  $N \leq 15$ , tidak perlu dilakukan koreksi.

ii. Perhitungan daya dukung *bored pile* tunggal

Perhitungan daya dukung *bored pile* ini dilakukan berdasarkan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) dengan penjumlahan daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi ( $Q_p$ ) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ) dengan metode Luciano Decourt sebagai berikut:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana,

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_p$  = *Resistance ultimate* di dasar pondasi

$Q_s$  = *Resistance ultimate* akibat tekanan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p = \alpha \cdot \bar{N}_p \cdot K \cdot A_p$$

Dimana,

$\bar{N}_p$  = Harga rata-rata SPT di sekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang pondasi (D = diameter pondasi)

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

K = 12 ton/m<sup>2</sup>, untuk lempung (clay)

K = 20 t/m<sup>2</sup>, untuk lempung berlanau (silty clay)



$K = 25 \text{ t/m}^2$ , untuk pasir berlanau (silty sand)

$K = 40 \text{ t/m}^2$ , untuk pasir (sand)

$A_p$  = Luas penampang dasar tiang

$q_p$  = Tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot A_s \left( \frac{\bar{N}_s}{3} + 1 \right)$$

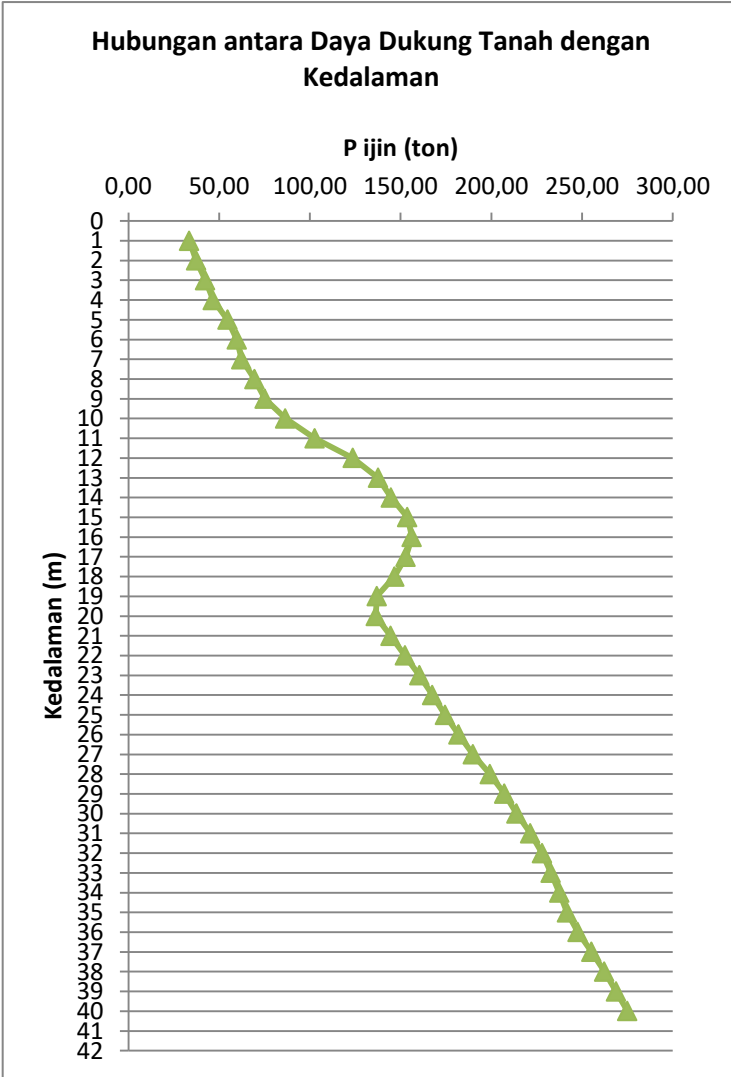
Dimana,

$q_s$  = Tegangan akibat lekatan lateral dalam ton/m<sup>2</sup>

$\bar{N}_s$  = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan:  $3 \leq N \leq 50$

$A_s$  = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

Koefisien  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah merupakan *base coefficient* dan *shaft coefficient* menurut Decourt yaitu  $\alpha = 0,85$  dan  $\beta = 0,8$  untuk *borepile*. Pada Gambar 4.51 ditunjukkan hubungan antara kedalaman dengan daya dukung *bored pile* tunggal untuk diameter 800mm.



Gambar 4. 51 Hubungan Antara Kedalaman Dengan Daya Dukung Bored Pile Tunggal untuk Diameter 800mm

Direncanakan kedalaman tiang *bored pile* adalah  $L = 36$  m dengan diameter,  $D = 800$  mm.

$$A_p = 0,25\pi D^2 = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$\alpha = 0,85 \text{ (lempung)}$$

$$K = 20 \text{ ton/m}^2 \text{ (silty clay)}$$

$$\bar{N}_p = 22,86$$

$$Q_p = \alpha \cdot \bar{N}_p \cdot K \cdot A_p = 195,32 \text{ ton}$$

$$A_s = \pi DL = 90,48 \text{ m}$$

$$\beta = 0,8 \text{ (lempung)}$$

$$\bar{N}_s = 19,56$$

$$Q_s = \beta \cdot A_s \left( \frac{\bar{N}_s}{3} + 1 \right) = 547,56 \text{ ton}$$

$$Q_L = Q_p + Q_s = 742,88 \text{ ton}$$

Daya dukung ijin dari satu *bored pile* tunggal adalah daya dukung *bored pile* tunggal dibagi dengan suatu angka keamanan.

$$P \text{ ijin 1 tiang} = P_{ult}/SF$$

Dimana,

$$SF = \text{safety factor} = 3$$

$$Q_{l \text{ ijin}} = 742,88 / 3 = 247,63 \text{ ton}$$

*Output joint reaction* yang akan digunakan sebagai beban *bored pile* pada Tipe 1 dapat dilihat pada Tabel 4.54 berikut.

Tabel 4. 54 Hasil Pembebanan Pondasi Tipe 1

Kombinasi Beban	Hx (ton)	Hy (ton)	H (ton)	P (ton)	Mx (ton m)	My (ton m)	P 1 tiang (ton)	n tiang (buah)
ID+ISDL	3,33	0,76	3,42	875,18	1,10	5,35	247,63	3,53
ID+ISDL+1L	4,31	0,99	4,42	1125,32	1,45	6,96	247,63	4,54
ID+ISDL+0,75L	4,07	0,93	4,17	1062,79	1,36	6,56	247,63	4,29
ID+ISDL+0,7RSX	15,70	5,27	16,56	965,17	20,43	71,66	247,63	3,90
ID+ISDL+0,7RSY	7,56	14,26	16,14	904,73	59,32	28,16	247,63	3,65
ID+ISDL+0,75(0,7RSX)+0,75L	13,25	4,32	13,93	1125,49	15,86	56,29	247,63	4,55
ID+ISDL+0,75(0,7RSY)+0,75L	7,24	11,06	13,22	1080,16	45,03	23,67	247,63	4,36
0,6D+0,6SDL+0,7RSX	15,39	4,97	16,17	615,27	19,99	69,52	247,63	2,48
0,6D+0,6SDL+0,7RSY	6,23	13,96	15,28	554,84	58,88	26,02	247,63	2,24

Keterangan :

$$H = \text{Resultan gaya lateral} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$

$$n \text{ tiang} = \text{Jumlah tiang dalam grup} = \frac{P}{P_1 \text{ tiang}}$$

Berdasarkan tabel diatas jumlah tiang pancang yang digunakan minimal 5 buah. Pada perencanaan pondasi ini digunakan *bored pile* sebanyak 9 buah. Dengan jarak antar *bored pile*,  $s$ , dan jarak as *bored pile* ke tepi *pilecap*,  $s_1$  sebagai berikut :

Syarat :

Jarak antar *bored pile*,  $s \geq 2D$  (1,6m), diambil  $s = 1,6$  m

Jarak as *bored pile* ke tepi *pilecap*,  $D$  (0,8m)  $\leq s_1 \leq 2D$  (1,6m), diambil 0,8 m.

#### 4.6.1.3 Daya dukung tanah *bored pile* tunggal dalam kelompok

Untuk mengetahui jumlah tiang yang dibutuhkan dalam satu kolom adalah dengan membagi beban aksial dan daya dukung ijin tiang tunggal.

Terdapat tiga tipe susunan tiang pancang berdasarkan satu berat kolom yang dipikulnya. Jumlah *bored pile* direncanakan jaraknya sesuai dengan yang diijinkan. Tebal *pilecap* yang direncanakan pada *bored pile* group sebesar 1,3 meter. Untuk daya dukung ini diambil nilai :

P ijin 1 tiang = 247,63 ton

Maka daya dukung satu tiang pancang adalah 247,63 ton.

Perhitungan daya dukung *bored pile* tunggal dalam kelompok untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi ( $C_e$ ) menurut *Converse-Labarre*.

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(\phi/S)}{90^\circ} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$C_e = 1 - \arctan(1/1,6)/90 \times (2 - 1/3 - 1/3) = 0,6064$$

Dimana :

$\emptyset$  = diameter *bored pile*

S = Jarak antar *bored pile*

m = Jumlah baris *bored pile* dalam grup

n = Jumlah kolom *bored pile* dalam grup

Sehingga perhitungan daya dukung *bored pile* menjadi

$$\begin{aligned} P_{1 \text{ tiang dalam grup}} &= P_{1 \text{ tiang tunggal}} \times C_e \\ &= 247,63 \times 0,6064 \\ &= 150,17 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 4.6.1.4 Kontrol beban maksimum 1 *bored pile*

Beban maksimum yang bekerja pada satu *bored pile* dalam kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang. Beban maksimum yang diterima satu tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_{max} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \times x_{max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \times y_{max}}{\sum y^2} \leq P_{ijin \ 1 \ tiang \ grup}$$

Perhitungan jarak tiang

$s \geq 2D$  , dengan s = jarak antar tiang

$s \geq 160 \text{ cm}$  , dipakai s = 160cm

$1D \leq s_1 \leq 2D$  , dengan  $s_1$  = jarak tepi

$80\text{cm} \leq s_1 \leq 160\text{cm}$  , dipakai  $s_1$  = 80 cm

Tabel 4. 55 Rekapitulasi Kontrol Beban Maksimum

Kombinasi Beban	P (ton)	Mx (ton m)	My (ton m)	P/n (ton)	$\frac{M_y \times x_{maks}}{\sum x^2}$	$\frac{M_x \times y_{maks}}{\sum y^2}$	P maks (ton)	P ijin (ton)	P maks $\leq$ P ijin
1D+ISDL	875,18	1,10	5,35	97,24	1,672	0,345	99,26	150,17	OK
1D+ISDL+1L	1125,32	1,45	6,96	125,04	2,176	0,452	127,66	150,17	OK
1D+ISDL+0,75L	1062,79	1,36	6,56	118,09	2,050	0,426	120,56	150,17	OK
1D+ISDL+0,7RSX	965,17	20,43	71,66	107,24	22,394	6,385	136,02	150,17	OK
1D+ISDL+0,7RSY	904,73	59,32	28,16	100,53	8,800	18,538	127,86	150,17	OK
1D+ISDL+0,75(0,7RSX)+0,75L	1125,49	15,86	56,29	125,05	17,592	4,956	147,60	150,17	OK
1D+ISDL+0,75(0,7RSY)+0,75L	1080,16	45,03	23,67	120,02	7,396	14,071	141,48	150,17	OK
0,6D+0,6ISDL+0,7RSX	615,27	19,99	69,52	68,36	21,725	6,247	96,34	150,17	OK
0,6D+0,6ISDL+0,7RSY	554,84	58,88	26,02	61,65	8,132	18,400	88,18	150,17	OK

#### 4.6.1.5 Kontrol Kekuatan *Bored Pile*

##### i. Kontrol terhadap Gaya Aksial

Untuk *bored pile* diameter 80 cm, gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 247,63 ton.

$$P_{\max} = 147,60 \text{ ton} < P_{\text{ijin}} = 247,63 \text{ ton (Ok)}$$

##### ii. Kontrol terhadap Gaya Momen

Besarnya momen maksimum yang bekerja di ujung atas sebuah tiang dapa dicari dengan persamaan berikut.

$$M_{\max} = H (e + 1,5d + 0,5f)$$

$$f = H / (9 C_u D)$$

Dimana:

$$H = \text{Lateral Load}$$

$$e = \text{jarak antara lateral load (H) dengan muka tanah}$$

$$D = \text{diameter pondasi}$$

$$C_u = 0,12 \text{ kg/cm}^2 \text{ (pada lapisan tanah teratas)}$$

$$H_{\max} = 16,56 \text{ ton}$$

$$H_{1 \text{ tiang}} = H_{\max} / n_{\text{tiang}}$$

$$= 16,56 / 9$$

$$= 1,839 \text{ ton} = 1839,97 \text{ kg}$$

$$f = H / (9 C_u D)$$

$$= 1839,97 / (9 \times 0,12 \times 80)$$

$$= 21,296 \text{ cm}$$

$$M_{\max} = H (e + 1,5d + 0,5f)$$

$$= 1839,97 (0 + 1,5 \times 80 + 0,5 \times 21,296)$$

$$= 2351057,41 \text{ kg cm}$$

$$= 23,51 \text{ ton m}$$

Untuk diameter 800 mm, momen tidak diperkenankan melebihi  $M_{\text{crack}}$ .

$$M_{\text{crack}} = (f_r + f_{pe}) \cdot W_i$$

Dimana,

$$M_{\text{crack}} = \text{Cracking moment capacity (kg cm)}$$

$$f_r = \text{Permissible tensile strength of concrete (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f_{pe} = \text{Effective prestress in concrete (kg/cm}^2\text{)}$$

$$W_i = \text{Section modulus (cm}^3\text{)}$$

Diketahui :

$$f'_c = 40 \text{ Mpa} = 407,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 0,63 \sqrt{f'_c} = 0,63 \sqrt{40} = 3,98 \text{ MPa} = 40,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{pe} = f'_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$W = I/Y$$

$$I = 1/64 \pi D^4$$

$$= 1/64 \times \pi \times 80^4$$

$$= 2010619 \text{ cm}^4$$

$$Y = D/2 = 80/2 = 40 \text{ cm}$$

$$W = 2010619 \text{ cm}^4 / 40 \text{ cm} = 50265,48 \text{ cm}^3$$

$$M_{\text{crack}} = (407,75 + 40,62) \cdot 50265,48$$

$$= 22537213,02 \text{ kg cm}$$

$$= 225,37 \text{ ton m}$$

Cek kekuatan momen tiang :

$$M_{\text{crack}} = 225,37 \text{ ton m} > M_{\text{maks}} = 23,51 \text{ ton m (Ok)}$$

### iii. Kontrol Kekuatan Defleksi Tiang

Gaya lateral yang bekerja pada tiang dapat menyebabkan terjadinya defleksi dan momen. Oleh karena itu harus dilakukan kontrol terhadap defleksi yang terjadi pada tiang.

Kontrol defleksi tiang :

$$\delta = Fd \left( \frac{PT^3}{EI} \right) \leq 2.5 \text{ cm}$$

Dimana,

$\delta$  = defleksi yang terjadi

Fd = koefisien defleksi (Gambar 4.50)

P = Gaya lateral 1 tiang

T = *Relative stiffness factor* =  $T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}}$

Pondasi Bored Pile Tipe 1

Jumlah tiang = 9 buah

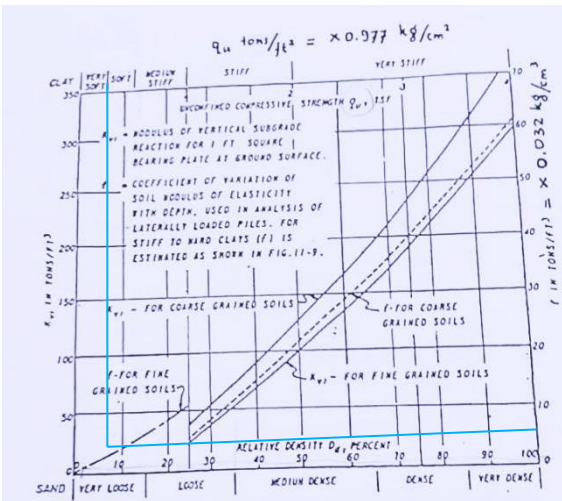
H<sub>maks</sub> = 16,56 ton

H<sub>1 tiang maks</sub> = 1,84 ton

C<sub>u</sub> = 0,12 kg/cm<sup>2</sup> (pada lapisan tanah teratas)

Q<sub>u</sub> = 2.C<sub>u</sub> = 0,24 kg/cm<sup>2</sup> x 0,977 = 0,234 tsf

Nilai *relative density*, f, diperoleh dari Terzaghi seperti pada Gambar 4.52 berikut.



Gambar 4. 52 Hubungan antara Q<sub>u</sub> dengan Koefisien f

f = 3 ton/ft<sup>3</sup> x 0,032 = 0,096 kg/cm<sup>3</sup>

I = 1/64 π D<sup>4</sup>  
 = 1/64 x π x 80<sup>4</sup>



$$= 2010619 \text{ cm}^4$$

$$E = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{40} = 33.892,18 \text{ kg/cm}^2$$

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = 363,5 \text{ cm}$$

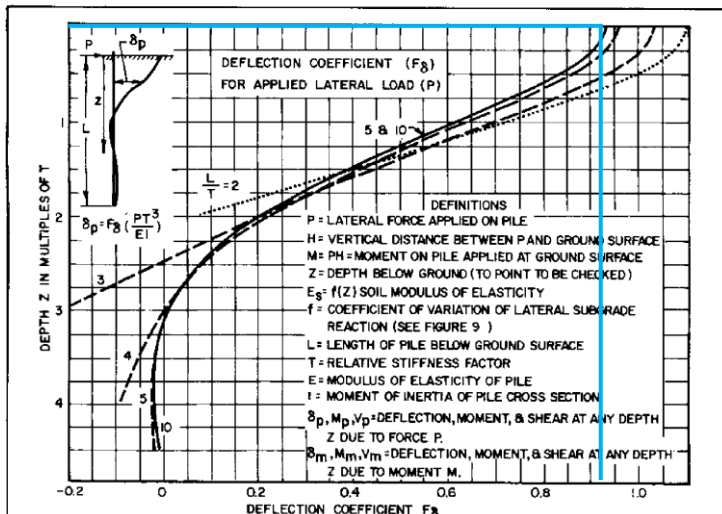
Dalam menentukan  $F_d$  (*deflection coefficient*) diperlukan nilai  $L/T$  dan  $Z$  kemudian diplotkan ke grafik pada Gambar 4.53. Dimana,

$L$  = Panjang tiang pancang dibawah permukaan tanah = 36 m

$T$  = *Relative stiffness factor* = 363,5 cm

$Z$  = Kedalaman di bawah tanah ke titik yang ditinjau = 0 m

$L/T$  = 9,904



Gambar 4. 53 Grafik Faktor Defleksi

Dari grafik di atas maka didapatkan  $F_d = 0,93$

$$\delta = F_d \left( \frac{PT^3}{EI} \right) \leq 2,5 \text{ cm}$$

$$\delta = 0,9 \left( \frac{1839,97 \times 363,5^3}{33892,18 \times 2010619,3} \right) = 0,135 \text{ cm} < 2,5 \text{ cm (OK)}$$

Kontrol momen maksimum :

$$M_{crack} = 225,37 \text{ ton m}$$

$$L/T = 9,904$$

$$Z = 0 \text{ m}$$

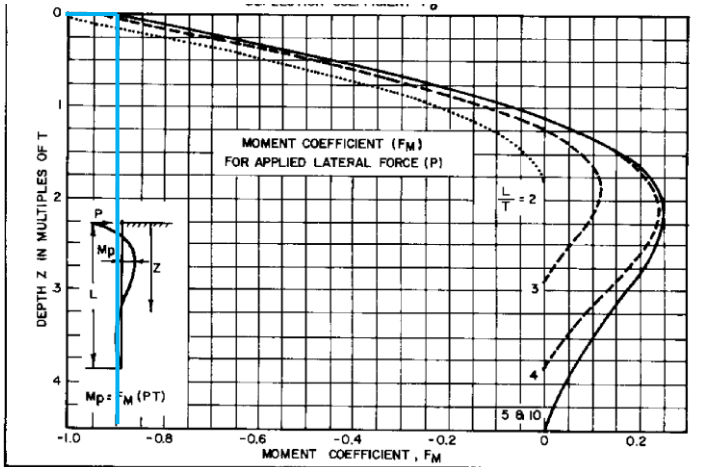


FIGURE 12  
Influence Values for Laterally Loaded Pile  
(Case II. Fixed Against Rotation at Ground Surface)

Gambar 4. 54 Grafik Faktor Momen

Dari grafik pada Gambar 4.54 maka didapatkan  $F_m = 0,9$

$$M_p = F_m(PT) \leq M_{crack}$$

$$M_p = 0,9 \times (1838,97 \times 363,5) / 10^5$$

$$M_p = 6,02 \text{ ton m} \leq 225,37 \text{ ton m (Ok)}$$

## 4.6.2 Penulangan Bored Pile

### 4.6.2.1 Data Perencanaan

Diameter	: 800 mm
Kuat tekan beton ( $f^c$ )	: 40 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_y$ geser)	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur ( $D_b$ )	: 25 mm
Diameter tulangan geser ( $D_s$ )	: 19 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal selimut beton} & : 80 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi efektif} & : \\
 d & = D - \text{selimut} - D_s - \frac{1}{2} D_b \\
 & = 800 - 80 - 19 - 25/2 \\
 & = 688,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2.2 Tulangan Longitudinal

Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 didapatkan reaksi-reaksi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 M_x & = 59,323 \text{ ton m} \\
 M_y & = 71,662 \text{ ton m} \\
 P_u & = 147,602 \text{ ton (P max 1 tiang)} \\
 H_x & = 15,699 \text{ ton} \\
 H_y & = 14,261 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tambahan momen arah x ( $M_x$ ) dan arah y ( $M_y$ ) akibat  $H \times t$  :

$$\begin{aligned}
 M_x \text{ tambahan} & = H_y \times t = 14,261 \times 1,3 = 18,54 \text{ ton m} \\
 M_y \text{ tambahan} & = H_x \times t = 15,699 \times 1,3 = 20,41 \text{ ton m}
 \end{aligned}$$

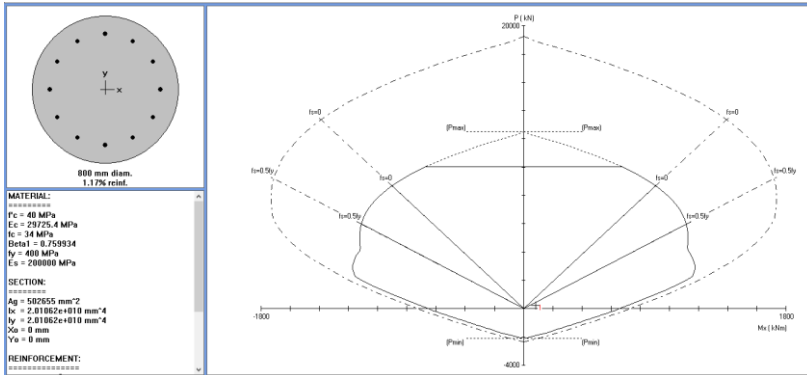
Tambahan aksial akibat berat pilecap :

$$W \text{ pilecap} = 4,8 \times 4,8 \times 1,3 \times 2,4 = 71,885 \text{ ton}$$

Diketahui jumlah tiang pada pilecap Tipe 1 adalah 9 buah sehingga gaya-gaya tersebut akan didistribusikan ke masing-masing tiang. Didapat gaya-gaya yang bekerja pada 1 tiang adalah:

$$\begin{aligned}
 P_u & = 23,39 \text{ ton} \\
 M_x & = 8,65 \text{ ton} \\
 M_y & = 10,23 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dari beban aksial dan momen yang terjadi tersebut, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang pile menggunakan program bantu SPcolumn, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada *bored pile*, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. 55 Grafik Interaksi Aksial dan Momen pada pile

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3, luas tulangan memanjang,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,06 A_g$ . Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program SPcolumn diperoleh Tulangan longitudinal : 12 D25 ( $A_s = 5890,49 \text{ mm}^2$ ), dengan rasio tulangan = 1.17 % (OK).

#### 4.6.2.3 Tulangan Geser

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dihitung dengan persamaan berikut ini (SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2).

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

$$N_u = 24,39 \text{ ton} = 239,24 \text{ N}$$

$$A_g = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,8^2 = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$b_w = D = 0,8 \text{ m}$$

$$d = 688,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 612339,10 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 612339,1$$

$$= 229627,16 \text{ N}$$

$$= 23407,45 \text{ kg} > N_u = 24387 \text{ kg}$$

$0,5\phi V_c > N_u$ , maka disediakan tulangan geser minimum.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.6, ujung-ujung tiang sepanjang lo harus dikekang oleh tulangan tranversal ( $A_{sh}$ ) dengan spasi sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6.

Pemasangan tulangan di daerah sendi plastis

Jarak tulangan maksimum :

$$1/4 D = 1/4 \times 800 = 200 \text{ mm}$$

$$6 D_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq s_o \leq 150 \text{ mm}$$

$$s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left( \frac{350 - 0,5 \cdot (800 - 2 \cdot 80 - 19)}{3} \right) \\ = 113,2 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 90 \text{ mm}$

$A_{sh}$  min sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut.

Keterangan :

$h_x$  : spasi horisontal kaki sengkang pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom

$b_c$  : dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas tulangan

$A_{sh}$

$A_{ch}$  : luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \\ = 0,3 \frac{90 \cdot 640 \cdot 40}{400} \left( \frac{502654,82}{409600} - 1 \right) \\ = 392,58 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} = 0,09 \frac{90 \cdot 640 \cdot 40}{400} = 518 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

Maka digunakan 2 D19-90mm ( $A_v = 567,1 \text{ mm}^2$ )

### Pemasangan tulangan diluar daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, sisa panjang kolom diluar sendi plastis tetap harus dipasang tulangan transversal dengan tidak lebih dari :  $6 D_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$  atau 150 mm maka dipakai s adalah 150 mm.

### 4.6.3 Perencanaan *Pilecap*

*Pilecap* direncanakan terhadap gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur. Beban yang bekerja pada *pilecap* dihitung menggunakan kombinasi LRFD, seperti pada Tabel 4.56.

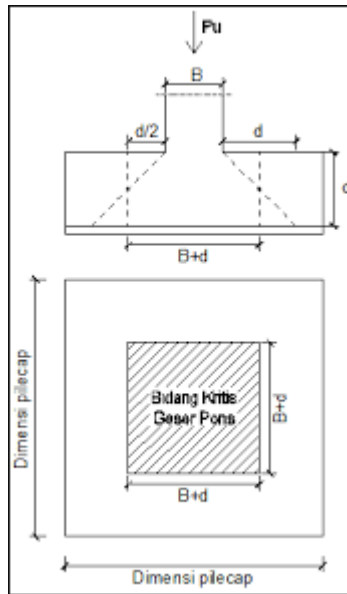
Tabel 4. 56 Beban yang Terjadi

Kombinasi Beban	P (ton)	Mx (ton m)	My (ton m)	P/n (ton)	$\frac{M_y \times x_{maks}}{\sum x^2}$	$\frac{M_x \times y_{maks}}{\sum y^2}$	P 1 maks
1,4D+1,4SDL	1225,251	1,546	7,492	136,139	2,341	0,483	138,963
1,2D+1,2SDL+1,6L	1450,444	1,875	9,000	161,160	2,813	0,586	164,559
1,2D+1,2SDL+1L+1RS	1422,780	29,282	102,763	158,087	32,113	9,151	199,350
1,2D+1,2SDL+1L+1RS	1336,441	84,838	40,619	148,493	12,694	26,512	187,699
0,9D+0,9SDL+1RSX	916,451	28,607	99,545	101,828	31,108	8,940	141,876
0,9D+0,9SDL+1RSY	830,112	84,163	37,402	92,235	11,688	26,301	130,224

#### 4.6.3.1 Data Perencanaan

- $P_u = 1450,44 \text{ ton}$   
 $P_{max} \text{ ( 1 tiang )} = 199,35 \text{ ton}$   
 $n \text{ tiang pancang} = 9 \text{ buah}$   
 $\text{Dimensi pilecap} = 4,8 \times 4,8 \times 1,3 \text{ m}$   
 $\text{Mutu beton (f'c)} = 40 \text{ MPa}$   
 $\text{Mutu baja (fy)} = 400 \text{ MPa}$   
 $\text{Diameter tulangan} = 25 \text{ mm}$   
 $\text{Selimut beton} = 80 \text{ mm}$   
 $\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$   
 $\text{Tinggi efektif (d) :}$   
 $dx = 1200 - 80 - \frac{1}{2} 25 = 1207,5 \text{ mm}$   
 $dy = 1200 - 80 - 25 - \frac{1}{2}(25) = 1182,5 \text{ mm}$

#### 4.6.3.2 Kontrol Geser Pons



Gambar 4. 56 Bidang Kritis Geser Pons

*Pilecap* harus mampu menyebarkan beban dari kolom ke pondasi, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser pons untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Perencanaan geser pons pada poer tersebut berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.

Untuk pondasi tapak non-prategang ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$V_{c2} = 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$V_{c3} = 0,333 \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

dimana :

$\alpha_s$  = 20 untuk kolom sudut, 30 untuk kolom tepi, 40 untuk kolom interior

$\beta$  = rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek  
 $= 900/900 = 1$

$b_o$  = Keliling penampang kritis :

$b_o = 2 (b_{\text{kolom}} + d) + 2(h_{\text{kolom}} + d)$

$b_o = 2 (900 + 1207,5) + 2 (900 + 1207,5)$   
 $= 8430 \text{ mm}$

$$V_{c1} = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$= 0,17(1+2)\sqrt{40.8030.1207,5}$$

$$= 32.833.326,53 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$= 0,08(40.1207,5/8430 + 2).\sqrt{40.8430.1207,5}$$

$$= 41.302.496,5 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,333\lambda\sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$= 0,333\sqrt{40.8430.1207,5}$$

$$= 21.438.230,85 \text{ N}$$

Dari ketiga nilai  $V_c$  diatas diambil nilai terkecil, maka kapasitas penampang dalam memikul geser adalah

$$\phi V_c \geq P_u$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 21.438.230,85 \text{ N}$$

$$= 16.078.673,14 \text{ N}$$

$$= 1607,86 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 1607,86 \text{ ton} \geq 11450,44 \text{ ton}$$

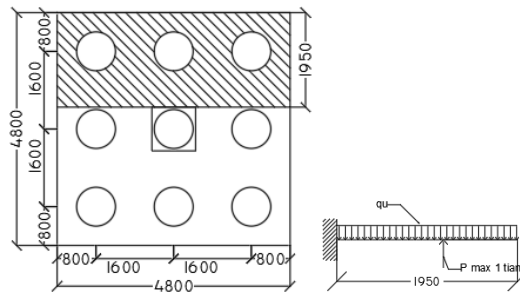
Jadi ketebalan dan ukuran pilecap memenuhi syarat terhadap geser pons akibat kolom.



### 4.6.3.3 Penulangan *Pilecap*

Untuk penulangan lentur, *pilecap* dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di *bored pile* yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri *pilecap*. Perhitungan gaya dalam pada *pilecap* didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

#### a. Tulangan Arah x (sisi bawah)



Gambar 4. 57 Pembebanan *Pilecap* Arah x

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pilecap, } q_u &= 4,8 \times 1,3 \times 2,4 = 14,98 \text{ ton/m} \\
 P \text{ maks 1 tiang} &= 199,35 \text{ ton} \\
 \text{Jumlah tiang} &= 9 \text{ buah (3 baris, 3 kolom)} \\
 P_t &= n \times P \text{ maks 1 tiang} \\
 &= 3 \times 199,35 = 598,051 \text{ ton} \\
 X &= (4,8 - 0,9) / 2 \\
 &= 1,95 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### Momen momen yang bekerja

$$\begin{aligned}
 M_u &= P_t \cdot x - (q_u \cdot x) \\
 M_u &= 598,051 \cdot 1,95 - (0,5 \cdot 14,98 \cdot (1,95)^2) \\
 &= 1132,03 \text{ ton m} \\
 &= 11.105.239.206 \text{ N mm}
 \end{aligned}$$

#### Data Perencanaan

$$\begin{aligned}
 f'c &= 40 \text{ MPa} \\
 fy &= 400 \text{ MPa} \\
 d_b &= 25 \text{ mm} \quad (A_{s \text{ tul}} = 490,87 \text{ mm}^2) \\
 t &= 1300 \text{ mm} \\
 \text{selimut beton} &= 80 \text{ mm} \\
 d_x &= t - \text{selimut beton} - 0,5d_b \\
 &= 1300 - 80 - 0,5 \cdot 25 \\
 &= 1207,5 \text{ mm} \\
 d_y &= t - \text{selimut beton} - 1,5d_b \\
 &= 1300 - 90 - 1,5 \cdot 25 \\
 &= 1182,5 \text{ mm} \\
 m &= fy / (0,85f'c) = 400 / (0,85 \cdot 40) = 11,765
 \end{aligned}$$

#### Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 rasio tulangan minimum harus disediakan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &\geq 0,25\sqrt{f'c} / fy \text{ dan } \rho_{\min} \geq 1,4/fy \\
 &\geq 0,25\sqrt{40} / 400 && \geq 1,4/400 \\
 &\geq 0,00395 && \geq 0,004
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $\rho_{\min} = 0,004$

#### Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2013 Lampiran B pasal 10.3.3 rasio tulangan maksimum tidak boleh melebihi  $0,75\rho_b$ .

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,76 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{fy} \left( \frac{600}{600 + fy} \right) = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,76}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0389 \\
 \rho_{\max} &= 0,75\rho_b = 0,75 \cdot 0,0389 = 0,029
 \end{aligned}$$

#### Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}
 Mu &= 11.105.239.206 \text{ N mm} \\
 \phi &= 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)} \\
 Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{11.105.239.206}{0,9 \cdot 4800 \cdot 1207,5^2} = 1,76 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 1,76}{400}} \right) \\ &= 0,0045\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$  , maka  $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,0045$

### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0045 \cdot 4800 \cdot 1207,5 = 26246,02 \text{ mm}^2$$

### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 26246,02 / 490,87 = 53,58 \approx 54 \text{ buah}$$

$$s = 4800 / 54 = 88,89 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur D25-90 mm.

### **b. Tulangan Arah x (sisi atas)**

#### Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,5 A_{s \text{ perlu bawah}} = 13123,01 \text{ mm}^2$$

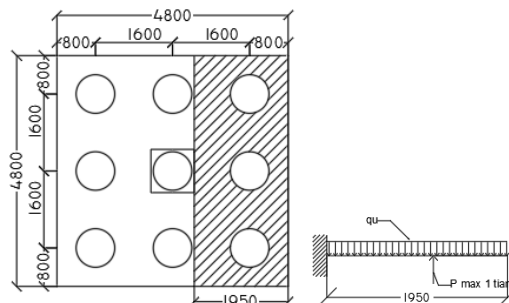
#### Jumlah tulangan

$$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{s \text{ 1 tul}} = 13123,01 / 490,87 = 26,7 \approx 27 \text{ buah}$$

$$s = 4800 / 27 = 177,8 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur D25-160 mm.

### **c. Tulangan Arah y (sisi bawah)**



Gambar 4. 58 Pembebanan *Pilecap* Arah y

Momen momen yang bekerja

$$M_u = P_t \cdot x - (q_u \cdot x)$$

$$\begin{aligned} M_u &= 598,051 \cdot 1,95 - (0,5 \cdot 14,98 \cdot (1,95)^2) \\ &= 1132,03 \text{ ton m} \\ &= 11.105.239.206 \text{ N mm} \end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu

$$M_u = 11.105.239.206 \text{ N mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan beton terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{11.105.239.206}{0,9 \cdot 4800 \cdot 1182,5^2} = 1,84 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,765 \cdot 1,84}{400}} \right) \\ &= 0,0047 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,0047$$

Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0047 \cdot 4800 \cdot 1182,5 = 26833,21 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ 1 tul}}} = \frac{26833,21}{490,87} = 54,6 \approx 55 \text{ buah}$$

$$s = \frac{4800}{55} = 87,3 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur D25-90 mm.

**d. Tulangan Arah y (sisi atas)**Luas tulangan perlu

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,5 A_{s \text{ perlu bawah}} = 13416,60 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ 1 tul}}} = \frac{13416,60}{490,87} = 27,3 \approx 28 \text{ buah}$$

$$s = \frac{4800}{28} = 165,7 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur D25-160 mm.

#### 4.6.3.4 Rekapitulasi Penulangan Pondasi

Tabel 4. 57 Tipe 1

Dimensi pilecap	4,8 x 4,8 x 1,3 m	
n bored pile	9 buah	
D bored pile	80 cm	
Kedalaman	36 m	
Tulangan arah x	Atas	D22 - 120mm
	Bawah	D29 - 120mm
Tulangan arah y	Atas	D22 - 110mm
	Bawah	D29 - 110mm

Tabel 4. 58 Tipe 2

Dimensi pilecap	4,8 x 4,8 x 1,3 m	
n bored pile	9 buah	
D bored pile	80 cm	
Kedalaman	28 m	
Tulangan arah x	Atas	D22 - 130mm
	Bawah	D29 - 130mm
Tulangan arah y	Atas	D22 - 140mm
	Bawah	D29 - 140mm

Tabel 4. 59 Tipe 3

Dimensi pilecap	10,6 x 5,2 x 1,4 m	
n bored pile	18 buah	
D bored pile	80 cm	
Kedalaman	38 m	
Tulangan arah x	Atas	D29 - 120mm
	Bawah	D22 - 120mm
Tulangan arah y	Atas	D29 - 130mm
	Bawah	D22 - 130mm

#### 4.6.4 Perencanaan Balok *Sloof*

Struktur balok *sloof* berfungsi agar penurunan yang terjadi pada pondasi (*pilecap*) bergerak bersama-sama, dengan kata lain balok *sloof* merupakan pengaku yang menghubungkan antar pondasi (*pilecap*). Besarnya gaya dalam yang terjadi pada balok

*sloof* adalah akibat dari berat balok *sloof* sendiri, berat dinding di atasnya, dan beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom maksimum. Berikut adalah perhitungan balok *sloof*:

#### 4.6.4.1 Data Perencanaan

Panjang sloof, L	: 3200 mm
Lebar, b	: $L/20 = 3200/20 = 220$ mm Ambil $b = 500$ mm (SNI 2847:2013 pasal 21.12.3.2)
Tinggi, h	: 750 mm
Mutu beton, $f'_c$	: 40 MPa
Mutu baja, $f_y$	: 400 MPa
$D_b$	: 25 mm ( $A_{s\text{ tul }} = 490,87$ mm <sup>2</sup> )
$D_s$	: 13 mm
Selimit beton	: 50 mm
d	: $750 - 50 - 13 - 25/2 = 674,5$ mm
$P_{u\text{ kolom}}$	: 14.002,3 kN
$P_{\text{sloof}} (10\% P_{u\text{ kolom}})$	: 1.400,23 kN

Perencanaan dimensi dari *sloof* memperhitungkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan ijin tarik beton (modulus keruntuhan) yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} f_{r\text{ ijin}} &= 0,7\sqrt{f'_c} \\ &= 0,7\sqrt{40} \\ &= 4,43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan tarik yang terjadi :

$$f_r = \frac{P}{\phi \cdot b \cdot h} = \frac{1400,23 \times 1000}{0,9 \times 500 \times 750} = 4,15 \text{ MPa} > f_{r\text{ ijin}} \text{ (Ok)}$$

#### 4.6.4.2 Pembebanan

Penulangan *sloof* didasarkan atas kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti penulangannya pada kolom. Adapun beban *sloof* adalah sebagai berikut :

Berat sendiri *sloof* :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{sloof}} &= b \cdot h \cdot \text{berat jenis} \\
 &= 0,50 \cdot 0,75 \cdot 2400 \\
 &= 900 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Berat dinding :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{dinding}} &= h \cdot \text{berat jenis} \\
 &= 2,250 \\
 &= 500 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{total}} &= q_{\text{sloof}} + q_{\text{dinding}} \\
 &= 1400 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Aksial *sloof*

$$\begin{aligned}
 P_{\text{sloof}} &= 1.400,23 \text{ Kn} \\
 &= 142.734,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,4q_D \\
 &= 1,4 \times 1400 \\
 &= 1960 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Balok *sloof* merupakan balok menerus, sehingga perhitungan momen untuk tumpuan dan lapangan digunakan momen koefisien. Besarnya koefisien menurut SNI 2847:2013 pasal 8.3.3 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{tumpuan}} &= q_u \cdot L^2 / 10 \\
 &= 1960 \cdot 4,4^2 / 10 \\
 &= 3794,56 \text{ kg m} \\
 &= 37,22 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

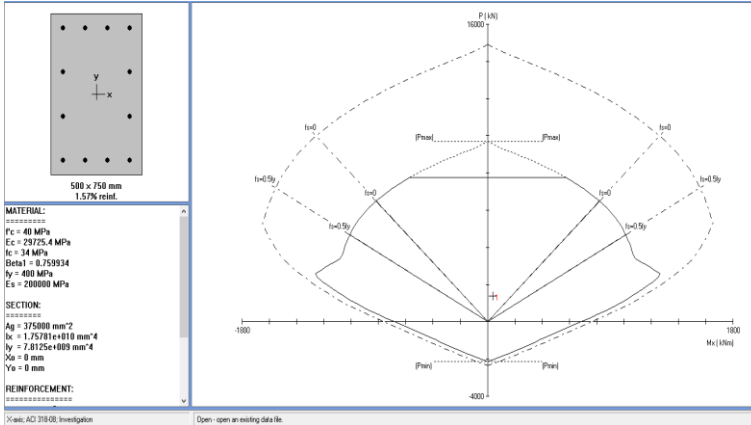
$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= q_u \cdot L^2 / 14 \\
 &= 1960 \cdot 4,4^2 / 14 \\
 &= 2710,4 \text{ kg m} \\
 &= 26,59 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Dengan program bantu SPCOLUMN dimasukkan data beban sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 1400,23 \text{ kN} \\
 M &= 37,22 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.4.3 Tulangan Longitudinal

Dari hasil analisis SPCOLUM diperoleh tulangan longitudinal 12 D25 ( $A_s = 5891 \text{ mm}^2$ ) dengan rasio tulangan sebesar 1,57 %.



Gambar 4. 59 Hasil SPCOLUM untuk *Sloof*

#### 4.6.4.4 Tulangan Transversal

$$\begin{aligned} V_u &= 0,5 \cdot q_u \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 1960 \cdot 4,4 \cdot 9,81 \\ &= 42300,72 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

#### Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6, tulangan geser minimum harus disediakan jika  $V_u \geq 0,5\phi V_c$ .

Kondisi 1 :

Jika  $V_u \leq 0,5\phi V_c$  maka tidak diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 500 \cdot 674,5 \\ &= 355.492,71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 355.492,71 \text{ N} \\ &= 266.619,53 \text{ N} \end{aligned}$$



$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 355.492,71 \\ = 133.309,76 \text{ N}$$

$$V_u = 42300,72 \text{ N} < 0,5\phi V_c = 133.309,76 \text{ N}$$

Tidak diperlukan tulangan geser, maka disediakan tulangan minimum.

Jarak tulangan transversal

Syarat jarak  $s < d/2 = 337,25 \text{ mm}$  dan  $s < 300 \text{ mm}$

dipasang  $s = 250 \text{ mm}$

Digunakan D13 – 250 mm.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Modifikasi Perancangan Gedung Skyuites SOHO Surabaya dengan *Base Isolator : High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dan Peta Gempa Tahun 2017, diantaranya sebagai berikut :

1. Perancangan Gedung Skysuites SOHO Surabaya memiliki dimensi struktur sekunder dan struktur primer sebagai berikut :

##### Struktur Sekunder

- Balok anak : BA 1 : 30/40 cm  
BA 2 : 30/40 cm  
BA 3 : 20/25 cm  
BA 4 : 20/25 cm  
BA 5 : 20/25 cm
- Balok lift : 25/35 cm (penggantung)  
25/35 cm (penumpu)
- Tebal pelat : 12 cm

##### Struktur Primer

- Balok induk : BI 1 : 40/60 cm  
BI 2 : 30/40 cm  
BI 3 : 40/60 cm  
BI 4 : 30/40 cm  
BI 5 : 40/60 cm
- Kolom : K1 : 90/90 cm  
K2 : 80/80 cm  
K3 : 70/70 cm  
K4 : 60/60 cm  
K5 : 50/50 cm  
Pedestal : 90/90 cm

2. Dimensi diameter *rubber base isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) yang digunakan adalah 600mm dengan tebal *rubber* 200 mm (HH060X6R).
  
3. Perencanaan tulangan pelat lantai dan pelat atap adalah sebagai berikut :
  - Tipe A (4 m x 3,45 m)
    - Tumpuan arah x : D13 – 200 mm
    - Lapangan arah x : D13 – 200 mm
    - Tumpuan arah y : D13 – 200 mm
    - Lapangan arah y : D13 – 200 mm
    - Tulangan bagi : D13 – 300 mm
  - Tipe B (4 m x 4,425 m)
    - Tumpuan arah x : D13 – 200 mm
    - Lapangan arah x : D13 – 200 mm
    - Tumpuan arah y : D13 – 200 mm
    - Lapangan arah y : D13 – 200 mm
    - Tulangan bagi : D13 – 300 mm
  - Tipe C (4 m x 4 m)
    - Tumpuan arah x : D13 – 200 mm
    - Lapangan arah x : D13 – 200 mm
    - Tumpuan arah y : D13 – 200 mm
    - Lapangan arah y : D13 – 200 mm
    - Tulangan bagi : D13 – 300 mm
  
4. Perencanaan tulangan balok anak adalah sebagai berikut :
  - Balok Anak 1 (L = 8m)
    - Tumpuan negatif : 5D16
    - Tumpuan positif : 3D16
    - Lapangan positif : 3D16
    - Lapangan negatif : 2D16
    - Tulangan geser : D10 - 150 mm
  - Balok Anak 2 (L = 8m)
    - Tumpuan negatif : 5D16
    - Tumpuan positif : 3D16

- Lapangan positif : 3D16
- Lapangan negatif : 2D16
- Tulangan geser : D10 - 150 mm
- Balok Anak 3 (L = 4,25m)
  - Tumpuan negatif : 2D16
  - Tumpuan positif : 2D16
  - Lapangan positif : 2D16
  - Lapangan negatif : 2D16
  - Tulangan geser : D10 - 90 mm
- Balok Anak 4 (L = 3,45m)
  - Tumpuan negatif : 2D16
  - Tumpuan positif : 2D16
  - Lapangan positif : 2D16
  - Lapangan negatif : 2D16
  - Tulangan geser : D10 - 90 mm
- Balok Anak 5 (L = 4m)
  - Tumpuan negatif : 2D16
  - Tumpuan positif : 2D16
  - Lapangan positif : 2D16
  - Lapangan negatif : 2D16
  - Tulangan geser : D10 - 90 mm
- 5. Perencanaan tulangan balok induk adalah sebagai berikut :
  - Balok Induk 1 (L = 8m)
    - Tumpuan negatif : 10D22
    - Tumpuan positif : 6D22
    - Lapangan negatif : 4D22
    - Lapangan positif : 4D22
    - Tulangan geser : D13 - 150 mm
    - Tulangan torsi samping : 2D25
  - Balok Induk 2 (L = 4,25m)
    - Tumpuan negatif : 5D22
    - Tumpuan positif : 4D22
    - Lapangan negatif : 2D22
    - Lapangan positif : 2D22
    - Tulangan geser : D13 - 150 mm

- Tulangan torsi samping : 2D13
- Balok Induk 3 (L = 8m)
  - Tumpuan negatif : 10D22
  - Tumpuan positif : 5D22
  - Lapangan negatif : 4D22
  - Lapangan positif : 5D22
  - Tulangan geser : D13 - 150 mm
  - Tulangan torsi samping : 2D25
- Balok Induk 4 (L = 3,45m)
  - Tumpuan negatif : 5D22
  - Tumpuan positif : 3D22
  - Lapangan negatif : 2D22
  - Lapangan positif : 2D22
  - Tulangan geser : D13 - 150 mm
  - Tulangan torsi samping : 2D13
- Balok Induk 5 (L = 4m)
  - Tumpuan negatif : 7D22
  - Tumpuan positif : 4D22
  - Lapangan negatif : 4D22
  - Lapangan positif : 3D22
  - Tulangan geser : D13 - 150 mm
  - Tulangan torsi samping : 2D22

6. Perencanaan tulangan kolom adalah sebagai berikut :

- Kolom 5
  - Tinggi : 4m
  - Dimensi : 50cm x 50cm
  - Tulangan longitudinal : 8D25
  - Tulangan transversal : 3D16 – 90 mm
- Kolom 4
  - Tinggi : 4m
  - Dimensi : 60cm x 60cm
  - Tulangan longitudinal : 8D25
  - Tulangan transversal : 3D16 – 90 mm

- Kolom 3
  - Tinggi : 4m
  - Dimensi : 70cm x 70cm
  - Tulangan longitudinal : 12D25
  - Tulangan transversal : 4D16 – 100 mm
- Kolom 2
  - Tinggi : 4m
  - Dimensi : 80cm x 80cm
  - Tulangan longitudinal : 16D25
  - Tulangan transversal : 4D16 – 100 mm
- Kolom 1
  - Tinggi : 4m
  - Dimensi : 90cm x 90cm
  - Tulangan longitudinal : 20D25
  - Tulangan transversal : 4D16 – 100 mm
- Pedestal
  - Tinggi : 4m
  - Dimensi : 90cm x 90cm
  - Tulangan longitudinal : 20D25
  - Tulangan transversal : 4D16 – 100 mm

7. Dari hasil analisis beban gempa respon spektrum untuk struktur *fixed base* dan struktur *base isolator* dapat diperoleh perbandingan hasil perioda fundamental struktur, gaya geser dasar, *displacement*, serta simpangan antarlantai sebagai berikut :

- a. Perioda fundamental struktur dengan *base isolator* tipe HDRB meningkat 1,9 kali lipat dari struktur *fixed base*, karena berkurangnya kekakuan struktur pada bagian dasar akibat penggunaan *base isolator*.

$$T_{\text{fixed base}} = 3,44 \text{ detik}$$

$$T_{\text{isolated}} = 6,548 \text{ detik}$$

- b. Perbandingan gaya geser dasar pada struktur *fixed base* dan struktur dengan *base isolator* dapat dilihat sebagai berikut :

Arah x

*Fixed base* : 430.109,8 kg

HDRB : 294.284,6 kg

Maka reduksi untuk gaya geser dasar pada arah x sebesar 31,58%.

Arah y

*Fixed base* : 446.258,8 kg

HDRB : 292.385,5 kg

Maka reduksi untuk gaya geser dasar pada arah x sebesar 34,48%.

- c. Struktur gedung dengan *base isolator* memiliki *displacement* yang lebih besar daripada struktur *fixed base* :

Arah x

Atas : *Fixed base* = 150 mm

HDRB = 233 mm

Bawah : *Fixed base* = 0 mm

HDRB = 130 mm

Arah y

Atas : *Fixed base* = 134 mm

HDRB = 209 mm

Bawah : *Fixed base* = 0 mm

HDRB = 123 mm

- d. Struktur dengan *base isolator* mampu mereduksi simpangan antarlantai struktur *fixed base* sebesar 69,8% pada arah x, dan 71,6% pada arah y.
8. Pondasi yang digunakan dalam perancangan gedung ini adalah *boredpile* dengan diameter 80cm. Terdapat 3 tipe *pilecap* sebagai berikut :

*Pilecap 1* :

Dimensi : 4,8m x 4,8m x 1,3m

Jumlah *bored pile* : 9 buah

Diameter *bored pile* : 80cm

Kedalaman *bored pile* : 36m

Tulangan arah x atas : D22 – 120mm

Tulangan arah x bawah : D29 – 120mm



Tulangan arah y atas : D22 – 110mm  
 Tulangan arah y bawah : D29 – 110mm

Pilecap 2 :

Dimensi : 4,8m x 4,8m x 1,3m  
 Jumlah *bored pile* : 9 buah  
 Diameter *bored pile* : 80cm  
 Kedalaman *bored pile* : 36m  
 Tulangan arah x atas : D22 – 130mm  
 Tulangan arah x bawah : D29 – 130mm  
 Tulangan arah y atas : D22 – 140mm  
 Tulangan arah y bawah : D29 – 140mm

Pilecap 3 :

Dimensi : 10,6m x 5,2m x 1,4m  
 Jumlah *bored pile* : 9 buah  
 Diameter *bored pile* : 80cm  
 Kedalaman *bored pile* : 36m  
 Tulangan arah x atas : D29 – 120mm  
 Tulangan arah x bawah : D22 – 120mm  
 Tulangan arah y atas : D29 – 130mm  
 Tulangan arah y bawah : D22 – 130mm

6. *Sloof* direncanakan dengan dimensi 500x750mm dengan tulangan lentur 12 D25 serta tulangan geser D13-250mm.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa dalam Tugas Akhir ini meliputi :

Dalam perencanaan struktur menggunakan *base isolator* sebaiknya dilakukan studi membandingkan biaya dan perilaku struktur antara struktur *fixed base* dengan *base isolation* sehingga dapat diketahui keunggulan penggunaan *base isolator* terhadap gedung.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, W. 2017. **Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover**. Jurnal Teknik ITS 6, 2:624-629.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **SNI 1726-2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 1727-2013: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Buchanan, A. H., Bull, D., Dhakal, R., MacRae, G., Palermo, A., dan Pampanin, S. 2011. **Base Isolation and Damage-Resistant Technologies Improved Seismic Performance Buildings**. University of Canterbury Research Report 8, 2:19-20.
- Budiono, B. dan Setiawan, A. 2014. **Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang**. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil 21, 3:179-195.
- Farissi, M. A. 2013. **Design And Analysis of Base Isolated Structures**. Safety and Security Engineering 5, 863-878.
- Kelly, T.E. 2001. **Design Isolation of Structures: Design Guideliness**. New Zealand: Holmes Consulting Group Ltd.

- Malek, K.A., dan Basir, K.B., 2001. **Design and Characteristics of High Damping Natural Rubber Bearings for Base Isolation**. Earthquake Resistant Structure 57, 3:156-163.
- Seismic Engineering Services and Products. **Brochure Eaton**. United States: Eaton.
- Lee, G.C., Ou, Y.C., Niu, T., Song, J., dan Liang, Z. 2010. **A roller seismic isolation bearing for highway bridges – Characterization**. Journal of Structural Engineering 136, 5
- Seismic Isolation Product Line-up. **Catalogue Bridgestone Corporation**. Tokyo: Bridgestone.
- Siagian, A. R., Wesli, C.Y., dan Akbar, S. J. 2017. **Studi Komparasi Base Shear pada Gedung Menggunakan Base Isolator dan Non Base Isolator**. Teras Jurnal Universitas Malikussaleh 7, 2:3-5.
- Teruna, D., 2005. **Analisis Respon Bangunan Dengan Base Isolator Akibat Gaya Gempa**. Jurnal Sistem Teknik Industri 6, 4:58–63.
- Widodo, Amien. Nov. 2017. **Kajian Sesar di Kota Surabaya dan Jawa Timur**, <URL: <http://www.pskbpi.its.ac.id/2017/11/30/kajian-sesar-di-kota-surabaya-dan-jawa-timur/>>

## BIODATA PENULIS



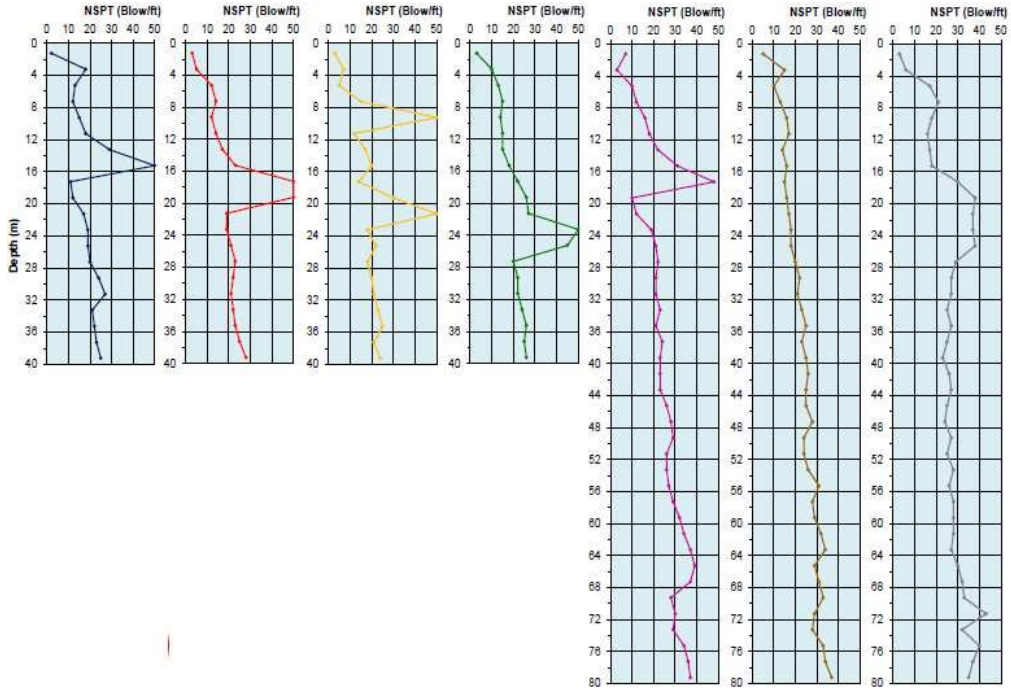
Penulis yang bernama lengkap Diananda Eska Pratiwi ini dilahirkan di Bojonegoro pada tanggal 9 April 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Sukorejo 1, SMP Negeri 1 Bojonegoro, dan SMA Negeri 1 Bojonegoro. Setelah lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil ITS pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN Undangan dan terdaftar dengan NRP

0311154000007. Penulis mengambil judul Tugas Akhir “Modifikasi Perancangan Gedung Skyuites SOHO Surabaya dengan *Base Isolator : High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dan Peta Gempa Tahun 2017”



Email : dianandaaa@gmail.com

**LAMPIRAN 1**  
**DATA TANAH**

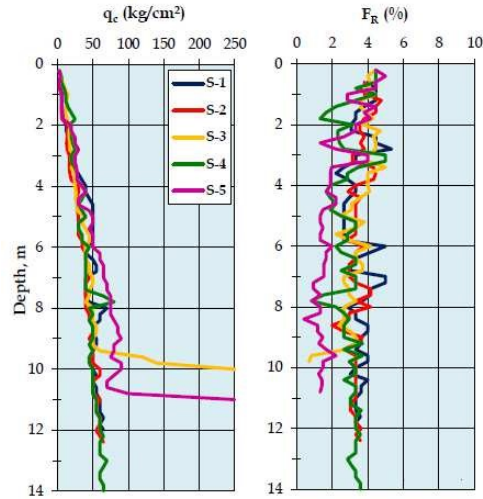
<b>REV</b>	<b>DATE</b>	<b>CONTRACT NO. :</b>	<b>PAGE</b>
03	24-03-2016	109/SPK/PPProp/GSL/0315	11



**Gambar 3-7 Plot N-SPT vs Kedalaman (m)**

		FINAL REPORT ANALISIS GEOTEKNIK GEDUNG CASPIAN TOWER SURABAYA			
REV	DATE	CONTRACT NO. :		PAGE	
03	24-03-2016	109/SPK/PPPprop/GSL/0315		12	

Hasil sondir untuk setiap titik dipaparkan dalam gambar berikut ini.



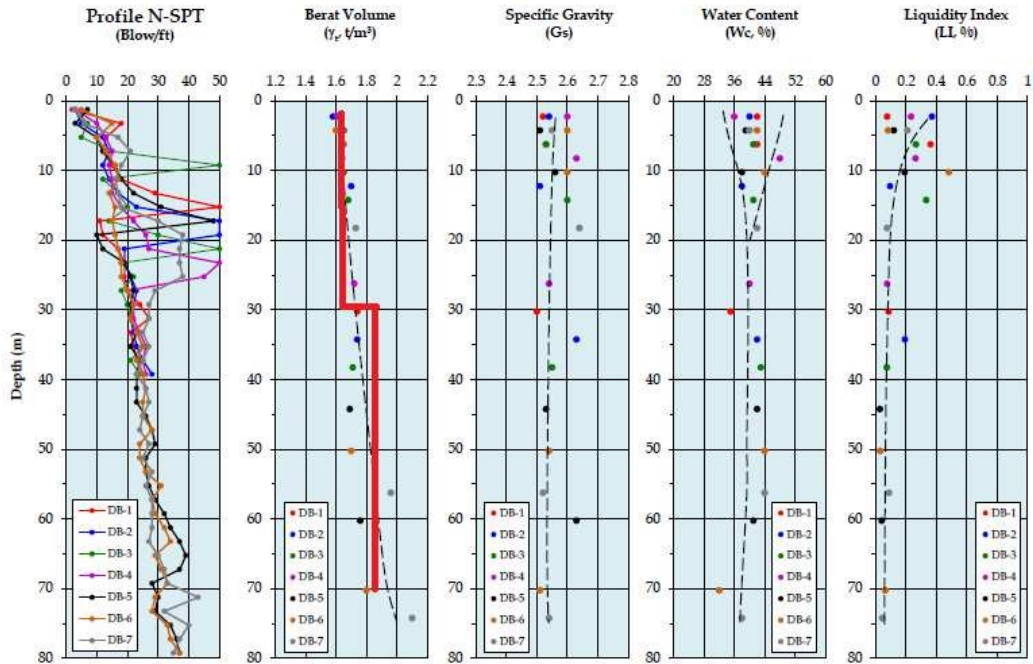
Gambar 3-8 Plot  $q_c$  &  $F_R$  vs Kedalaman (m)

### 3.5.1 Hasil Uji Laboratorium



Hasil uji laboratorium terdiri dari parameter fisis, parameter kuat geser tanah dan parameter Kemampatan tanah. Berikut adalah hasil plot parameter fisis tanah terhadap kedalaman untuk setiap titik Bor.



REV	DATE	CONTRACT NO. :	PAGE
03	24-03-2016	109/SPK/PPProp/GSL/0315	13



Gambar 3-9 Plot Parameter Fisik Tanah vs Kedalaman (m)

	FINAL REPORT ANALISIS GEOTEKNIK GEDUNG CASPIAN TOWER SURABAYA		
	<b>REV</b>	<b>DATE</b>	
03	24-03-2016	109/SPK/PPPprop/GSL/0315	18

### 3.7 Normally Consolidated dan Over Consolidated

Kondisi normally consolidated merupakan kondisi dimana tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik di dalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya (atau tanah yang tidak pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari tekanan pada waktu sekarang), atau dengan kata lain tekanan prakonsolidasi sama dengan tekanan overburden efektif. Sedangkan tanah pada kondisi overconsolidated ratio adalah kondisi dimana tanah pada lapisan bawah pernah menerima beban yang lebih besar dari sekarang (tekanan prakonsolidasi lebih besar dari tekanan overburden efektif yang ada pada sekarang).

Nilai banding overconsolidation (OCR) didefinisikan sebagai perbandingan tekanan prakonsolidasi terhadap tegangan efektif yang ada, atau :

$$OCR = \frac{P_c}{P_{0v}}$$

Dimana :

$P_c$  = tekanan prakonsolidasi

$P_{0v}$  = tekanan overburden efektif



Berdasarkan riwayat pembebanannya, kondisi tanah dibedakan menjadi :

Normally consolidated, dimana  $OCR = 1$

Over consolidated, dimana  $OCR > 1$

Under consolidated, dimana  $OCR < 1$

Dari hasil laboratorium, besarnya nilai OCR untuk lapisan tanah lempung pada setiap titik bor dalam terlihat pada Tabel 3-1.

	<b>FINAL REPORT</b> <b>ANALISIS GEOTEKNIK</b> <b>GEDUNG CASPIAN TOWER SURABAYA</b>		
	<b>REV</b>	<b>DATE</b>	
03	24-03-2016	109/SPK/PPPProp/GSL/0315	PAGE 19

Tabel 3-1 Nilai OCR pada Tiap Titik Bor Dalam

Titik Pengujian	$P_c$ (Tekanan Prakonsolidasi)	$P_{0v}$ (Tekanan overburden efektif)	OCR (Over consolidation Ratio)
DB- 1	4.10	5.10	0.80
DB-2	5.60	5.84	0.96
DB-3	5.90	6.49	0.91
DB-4	4.55	4.13	1.10
DB-5	7.92	10.23	0.77
DB-6	9.00	12.03	0.75
DB-7	7.95	12.05	0.66

Berikut adalah rekomendasi parameter tanah berdasarkan hasil korelasi data SPT.

No.	Deskripsi	Depth (m)	$\gamma^s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma^m$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Undrained Condition				Drained Condition			
					$c_u$ [kPa]	$q_u$ [T]	$E_u$ [kPa]	$u_w$	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'$ [kPa]	$\nu'$
1	Silty Clay, very soft, N-SPT 5	2	15	15	12	0	2400	0.35	1	22	2200	0.3
2	Silty Clay, med to stiff, N-SPT 14	15	16	17	84	1	25200	0.35	6	25	21000	0.3
3	Silty Clay, med, N-SPT 17	26	17	18	102	1	35700	0.3	15	23	28000	0.25
4	Silty clay, stiff N-SPT 24	54	16	18	144	1	43200	0.35	18	32	34000	0.3

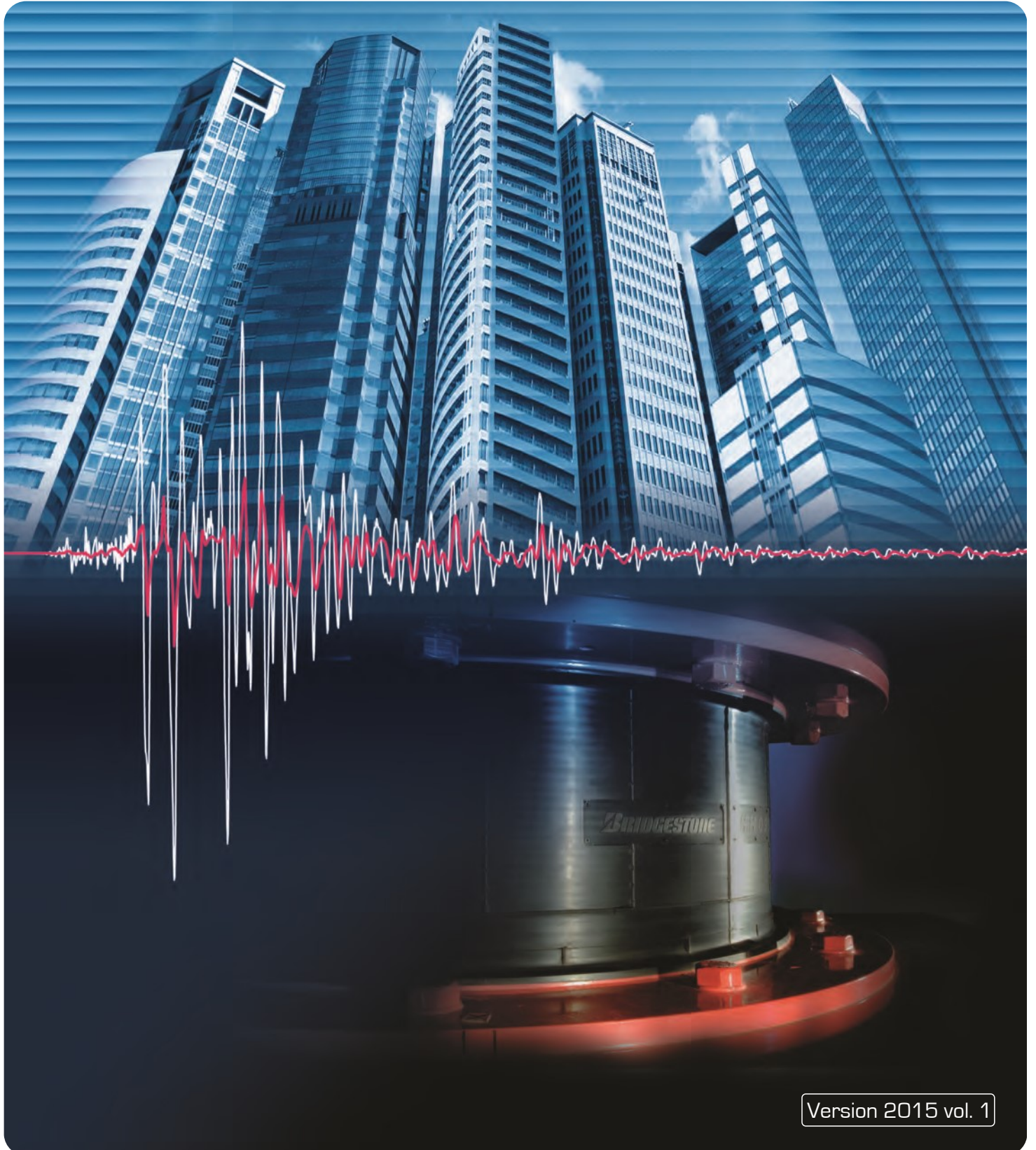
**LAMPIRAN 2**  
**BROSUR SPESIFIKASI PRODUK HDRB**



## Seismic Isolation Product Line-up

High Damping Rubber Bearing    Lead Rubber Bearing

Natural Rubber Bearing    Elastic Sliding Bearing



# Product Specification & Description of Performance Characteristics

## High Damping Rubber Bearing (HDR)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan  
**MVBR-0516 (XO.3R Series)** Acquired in December 2014  
**MVBR-0510/MVBR-0519 (XO.4S Series)** Acquired in December 2014  
**MVBR-0514/MVBR-0520 (XO.6R Series)** Acquired in December 2014

### Product Dimension

Characteristics			Sectional View	
Physical Dimensions	Outer diameter	: $D_o$ (mm)		
	Inner diameter	: $D_i$ (mm)		
	Number of inner diameter	: $n_i$		
	Effective plane area	: $A$ [ $\times 10^2 \text{mm}^2$ ]		
	Thickness of one rubber layer	: $t_r$ (mm)		
	Number of rubber layers	: $n$		
	Total rubber thickness	: $H = n \cdot t_r$ (mm)		
	First shape factor $S_1 = (D_o^2 \cdot n_i \cdot D_i^2) / \{4 \cdot t_r \cdot (D_o + n_i \cdot D_i)\}$			
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \cdot t_r)$			
	Diameter of flange	: $D_f$ (mm)		
	Thickness of flange: edge/center	: $t_e / t_c$ (mm)		
	Connecting bolt PCD	: PCD (mm)		
	Diameter of connecting bolt hole $\times$ qty	: $d_b$ (mm) $\times$ qty		
	Bolt size (assumption)	: $M$ ( $d_b - 3$ )		
	Thickness of each reinforced steel plate	: $t_s$ (mm)		
Total height	: $H_t$ (mm)			
Total weight 1 [kN] = 1 / 9.80665 (tonf)				

### Rubber Material

Notation of rubber kind (standard temperature 20°C standard strain  $\gamma = 100\%$ )

Compound name	Rubber code	Shear modulus $G_{eq}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio $H_{eq}$
X3R	XO.3R	0.300	0.17
X4S	XO.4S	0.392	0.24
X6R	XO.6R	0.620	0.24

Composition of rubber materials (weight ratio %)

Rubber code	Natural rubber	Synthetic rubber	Filler, Reinforcement agent	Vulcanization agent and others
Inner Rubber	XO.3R	35 and above	15 and above	50 and below
	XO.4S	35 and above	20 and above	45 and below
	XO.6R	35 and above	25 and above	40 and below
Cover rubber	40 and above		15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus E (N/mm <sup>2</sup> )	Bulk modulus $E_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	Correction factor for apparent Young's modulus according to hardness, k
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	—	—	—
Inner Rubber	XO.3R	7 and above	700 and above	34 $\pm$ 8	0.53 $\pm$ 0.2	4.0	1150
	XO.4S	7 and above	840 and above	37 $\pm$ 8	0.43 $\pm$ 0.2	6.2	1300
	XO.6R	8.5 and above	780 and above	53 $\pm$ 5	0.73 $\pm$ 0.2	7.6	1500
Cover rubber	12 and above	600 and above	—	—	—	—	—

### Steel Material

Steel material for each part

Part	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange <sup>*1*</sup>	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate <sup>*1</sup>	SS400 (JIS G 3101)

\*1: Optionally SM490A (JIS G 3106).

\*2: Optionally special thickness other than standard thickness.

Anti-rust treatment of flange

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 $\mu$ m $\times$ 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 $\mu$ m $\times$ 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 $\mu$ m $\times$ 1 coat
Total film thickness	170 $\mu$ m and above

\*1: Standard color is gray.

\*2: Other kinds of anti-rust treatment are also available. Please contact us for more details.

### Precautions

- For mid-storey isolation, fire resistant cover is necessary (according to JSSI provision, HS110X4S cannot apply any fire resistant cover). Please contact fire resistant cover manufacturer who are listed in the JSSI manufacturer list for more details. ([http://www.jssi.or.jp/bussiness/kigyoun\\_detail/to-si-base.htm](http://www.jssi.or.jp/bussiness/kigyoun_detail/to-si-base.htm))
- There are two certification numbers for XO.4S, XO.6R due to difference of some manufacturing process. Although their properties values are the same, please fill the certification number as shown in the table on the right in the design documents.

	Rubber size $\varnothing$ 1000 and below	Rubber size $\varnothing$ 1100 and above
XO.4S	Both MVBR-0510/MVBR-0519	MVBR-0510 only
XO.6R	Both MVBR-0514/MVBR-0520	MVBR-0514 only

# Product Specification

(Please contact us if you require more information regarding the specification)

## High Damping Rubber Bearing (HDR)

Certification Number MVBR-0516 (X0.3R)

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio
X3R	X0.3R	0.300	0.170

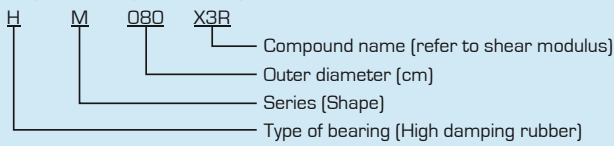
### ●HM Series (Total Rubber Thickness 16cm)

Characteristics		HM060X3R	HM070X3R	HM080X3R	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	700	800	
	Inner diameter (mm)	15	15	20	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3847	5023	
	Thickness of one rubber layer (mm)	5.0	5.9	6.8	
	Number of rubber layers (-)	32	27	23	
	Total rubber thickness (mm)	160.0	159.3	156.4	
	First shape factor (-)	29.3	29.0	28.7	
	Second shape factor (-)	3.75	4.39	5.12	
	Diameter of flange (mm)	800	900	1000	
	Thickness of flange <sup>*1</sup> (mm)	19	19	19	
	Connecting bolt PCD (mm)	825	925	1025	
	Diameter of connecting bolt hole × qty	∅ 33 × 8	∅ 33 × 8	∅ 33 × 8	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	
	Total height (mm)	<b>294.1</b>	<b>277.9</b>	<b>262.6</b>	
	Total weight (tonf)	<b>0.44</b>	<b>0.54</b>	<b>0.64</b>	
Total weight (kN)	<b>4.4</b>	<b>5.3</b>	<b>6.3</b>		
Compression Properties	Critical stress (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	28	34	40
	Ultimate compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	$(\gamma_0, \sigma_0)$	(0.00,28)	(0.00,34)	(0.00,40)
		$(\gamma_1, \sigma_1)$	(0.20,28)	(0.65,34)	(1.24,40)
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(3.38,3)	(3.95,4)	(4.00,12)
	Compressive stiffness	(×10 <sup>3</sup> kN/m)	1740	2370	3140
	Nominal long term compressive stress <sup>*2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )		5.0	5.0	5.0
	Nominal long term column load (kN)		1410	1920	2510
Allowable tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )		1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		3.82	5.22	6.95
	Post yield stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		0.382	0.522	0.695
	Characteristic Strength (kN)		23.7	32.2	42.0
	Equivalent shear stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		0.530	0.724	0.964
	Equivalent damping ratio (-)		0.170	0.170	0.170

\*1 Special thickness for flange is available. Please contact us for more details.

\*2 Nominal long term compressive stress is referred as long term upper limit of compressive stress.

Description of the product designation



Certification Number MVBR-0516 (X0.3R)

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio
X3R	X0.3R	0.300	0.170

●HN Series (Total Rubber Thickness 20cm)

Characteristics		HN060X3R	HN070X3R	HN080X3R	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	700	800	
	Inner diameter (mm)	15	15	20	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3847	5023	
	Thickness of one rubber layer (mm)	5.0	5.9	6.8	
	Number of rubber layers (-)	40	34	29	
	Total rubber thickness (mm)	200.0	200.6	197.2	
	First shape factor (-)	29.3	29.0	28.7	
	Second shape factor (-)	3.00	3.49	4.06	
	Diameter of flange (mm)	800	900	1000	
	Thickness of flange*1 (mm)	19	19	19	
	Connecting bolt PCD (mm)	825	925	1025	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	∅ 33 × 8	∅ 33 × 8	∅ 33 × 8	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	
	Total height (mm)	<b>358.9</b>	<b>340.9</b>	<b>322.0</b>	
Total weight (tonf)	<b>0.51</b>	<b>0.62</b>	<b>0.74</b>		
Total weight (kN)	<b>5.0</b>	<b>6.1</b>	<b>7.2</b>		
Compression Properties	Critical stress (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	19	25	31
	Ultimate compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	$(\gamma_1, \sigma_1)$	(0.00,19)	(0.00,25)	(0.00,31)
		$(\gamma_1, \sigma_1)$	-	(0.03,25)	(0.41,31)
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(2.70,2)	(3.14,3)	(3.65,3)
	Compressive stiffness	(×10 <sup>3</sup> kN/m)	1390	1880	2490
	Nominal long term compressive stress*2 (N/mm <sup>2</sup> )		5.0	5.0	5.0
	Nominal long term column load (kN)		1410	1920	2510
Allowable tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )		1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		3.06	4.15	5.51
	Post yield stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		0.306	0.415	0.551
	Characteristic Strength (kN)		23.7	32.2	42.0
	Equivalent shear stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		0.424	0.575	0.764
	Equivalent damping ratio (-)		0.170	0.170	0.170

\*1 Special thickness for flange is available. Please contact us for more details.

\*2 Nominal long term compressive stress is referred as long term upper limit of compressive stress.



# High Damping Rubber Bearing (HDR)

## MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm <sup>2</sup> ]	Equivalent damping ratio
X4S	X0.4S	0.392	0.240

### ●HH Series (Total Rubber Thickness 20cm)

Characteristics		HH060X4S	HH065X4S	HH070X4S	HH075X4S	HH080X4S	HH085X4S	HH090X4S	HH095X4S	HH100X4S	HH110X4S	HH120X4S	HH130X4S	HH140X4S	HH150X4S	HH160X4S	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	65	65	80	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3847	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056	
	Thickness of one rubber layer (mm)	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4	
	Number of rubber layers (-)	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	20	19	
	Total rubber thickness (mm)	200	198	202	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200	200	198
	First shape factor (-)	36.6	36.1	36.4	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5	
	Second shape factor (-)	3.00	3.28	3.46	3.75	4.00	4.26	4.55	4.79	4.98	5.51	6.00	6.50	7.02	7.50	8.10	
	Diameter of flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of flange <sup>×1</sup> (edge/center) (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110	
	Connecting bolt PCD (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅33×12	∅39×12	∅39×12	∅39×12	∅39×12	∅42×12	∅42×16	∅45×12
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8	
	Total height (mm)	<b>407.9</b>	<b>390.4</b>	<b>388.3</b>	<b>376.9</b>	<b>422.2</b>	<b>413.1</b>	<b>410.8</b>	<b>402.4</b>	<b>400.6</b>	<b>390.2</b>	<b>385.6</b>	<b>376.9</b>	<b>405.5</b>	<b>410.2</b>	<b>522.0</b>	
Total weight (tonf)	<b>0.66</b>	<b>0.72</b>	<b>0.80</b>	<b>0.90</b>	<b>1.21</b>	<b>1.31</b>	<b>1.49</b>	<b>1.59</b>	<b>1.77</b>	<b>2.05</b>	<b>2.38</b>	<b>2.65</b>	<b>3.46</b>	<b>4.05</b>	<b>6.64</b>		
Total weight (kN)	<b>6.5</b>	<b>7.0</b>	<b>7.9</b>	<b>8.9</b>	<b>11.9</b>	<b>12.9</b>	<b>14.6</b>	<b>15.6</b>	<b>17.3</b>	<b>20.1</b>	<b>23.3</b>	<b>26.0</b>	<b>33.9</b>	<b>39.7</b>	<b>65.1</b>		
Compression Properties	Critical stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	26	29	31	35	38	41	45	48	51	56	61	66	71	76	82
	Ultimate compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$(\gamma_0, \sigma_0)$	(0,20)	(0,23)	(0,25)	(0,28)	(0,35)	(0,38)	(0,40)	(0,43)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)
		$(\gamma_1, \sigma_1)$	(0,7,20)	(0,7,23)	(0,8,25)	(0,8,28)	(0,3,35)	(0,4,38)	(0,4,40)	(0,5,43)	(0,5,45)	(1,1,45)	(1,6,45)	(2,1,45)	(2,6,45)	(3,1,45)	(3,7,45)
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(2,7,3)	(3,0,3)	(3,1,3)	(3,4,3)	(3,6,4)	(3,8,4)	(3,9,6)	(4,0,8)	(4,0,10)	(4,0,15)	(4,0,20)	(4,0,25)	(4,0,31)	(4,0,36)	(4,0,42)
	Compressive stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		1700	2020	2290	2660	3030	3420	3870	4300	4700	5690	6780	7960	9230	10600	12200
	Nominal long term compressive stress <sup>×2</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]		4.6	5.5	6.1	7.0	9.4	10.4	11.5	12.4	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
	Nominal long term column load (kN)		1300	1830	2340	3090	4710	5880	7280	8780	10200	12300	14700	17200	20000	22900	26100
Allowable tensile stress ( $\gamma = 100\%$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		3.28	3.89	4.42	5.12	5.83	6.60	7.45	8.29	9.06	11.0	13.1	15.4	17.9	20.5	23.6
	Post yield stiffness ( $\gamma = 100\%$ ) [×10 <sup>3</sup> kN/m]		0.328	0.389	0.442	0.512	0.583	0.660	0.745	0.829	0.906	1.10	1.31	1.54	1.79	2.05	2.36
	Characteristic Strength (kN)		45.2	56.0	61.5	70.6	80.3	90.7	102	113	126	152	181	212	246	282	321
	Equivalent shear stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		0.554	0.657	0.746	0.866	0.986	1.11	1.26	1.40	1.53	1.86	2.21	2.60	3.02	3.46	3.98
	Equivalent damping ratio (-)		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

×1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table on the next page (upper top table) for more details.

×2 Nominal long term compressive stress is referred as long term upper limit of compressive stress.

Outer diameter of rubber bearing (Ø) <sup>※1</sup>	{600}	{650}	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300
Standard thickness	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40
Special thickness (option)	{26/32}	{26/32}	26/32	30/36	32/40	32/40	37/45	37/45	42/50	42/50	42/50	42/50

※1 For adoption of special thickness in regard to those sizes that stated in the {}, delivery time will be longer due to mold preparation.  
 ※2 For Ø1400 and above, assembled type flange will be used.  
 ※3 Compared to the standard specification, total height & weight of product for special thickness will be changed.

### MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
 Please refer to "Precautions" in table on the certificate number that used for design document.

#### Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio
X6R	X0.6R	0.620	0.240

### ●HH Series (Total Rubber Thickness 20cm)

Characteristics		HH060X6R	HH065X6R	HH070X6R	HH075X6R	HH080X6R	HH085X6R	HH090X6R	HH095X6R	HH100X6R	HH110X6R	HH120X6R	HH130X6R	HH140X6R	HH150X6R	HH160X6R	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	65	65	80	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3847	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056	
	Thickness of one rubber layer (mm)	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4	
	Number of rubber layers (-)	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	20	19	
	Total rubber thickness (mm)	200	198	202	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200	200	198
	First shape factor (-)	36.6	36.1	36.4	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5	
	Second shape factor (-)	3.00	3.28	3.46	3.75	4.00	4.26	4.55	4.79	4.98	5.51	6.00	6.50	7.02	7.50	8.10	
	Diameter of flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of flange <sup>※1</sup> (edge/center) (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110	
	Connecting bolt PCD (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø33×12	Ø39×12	Ø39×12	Ø39×12	Ø39×12	Ø42×12	Ø42×16	Ø45×12
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8
	Total height (mm)	407.9	390.4	388.3	376.9	422.2	413.1	410.8	402.4	400.6	390.2	385.6	376.9	405.5	410.2	522.0	
	Total weight (tonf)	0.66	0.72	0.80	0.90	1.21	1.31	1.49	1.59	1.77	2.05	2.38	2.65	3.46	4.05	6.64	
	Total weight (kN)	6.5	7.0	7.9	8.9	11.9	12.9	14.6	15.6	17.3	20.1	23.3	26.0	33.9	39.7	65.1	
	Compression Properties	Critical stress (N/mm <sup>2</sup> ) σ <sub>cr</sub> when γ = 0	43	52	58	69	78	89	102	113	122	136	148	160	173	185	200
		Ultimate compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	(γ <sub>0</sub> , σ <sub>0</sub> )	{0.22}	{0.30}	{0.35}	{0.42}	{0.48}	{0.52}	{0.56}	{0.59}	{0.60}	{0.60}	{0.60}	{0.60}	{0.60}	{0.60}
(γ <sub>1</sub> , σ <sub>1</sub> )			{1.5,22}	{1.4,30}	{1.4,35}	{1.5,42}	{1.6,48}	{1.8,52}	{2.1,56}	{2.3,59}	{2.5,60}	{3.1,60}	{3.6,60}	{3.8,60}	{3.8,60}	{3.9,60}	{3.9,60}
		(γ <sub>2</sub> , σ <sub>2</sub> )	{2.7,4}	{3.0,5}	{3.1,6}	{3.4,7}	{3.4,11}	{3.5,17}	{3.5,23}	{3.6,29}	{3.6,34}	{3.7,46}	{3.7,56}	-	-	-	-
		Compressive stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)	1970	2340	2660	3090	3510	3970	4490	4980	5450	6590	7860	9220	10700	12300	14200
Nominal long term compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )		6.6	8.1	9.1	10.7	12.0	13.4	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
Nominal long term column load (kN)	1860	2690	3500	4710	6050	7620	9540	10600	11800	14200	16900	19900	23000	26500	30100		
Allowable tensile stress (γ = 100%) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
Shear Properties (γ = 100%)	Initial stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)	5.19	6.15	6.99	8.10	9.23	10.4	11.8	13.1	14.3	17.4	20.7	24.3	28.3	32.4	37.3	
	Post yield stiffness (γ = 100%) (×10 <sup>3</sup> kN/m)	0.519	0.615	0.699	0.810	0.923	1.04	1.18	1.31	1.43	1.74	2.07	2.43	2.83	3.24	3.73	
	Characteristic Strength (kN)	71.5	83.9	97.3	112	127	143	161	179	199	240	285	335	389	446	507	
	Equivalent shear stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)	0.876	1.04	1.18	1.37	1.56	1.76	1.99	2.21	2.42	2.94	3.50	4.11	4.77	5.47	6.29	
	Equivalent damping ratio (-)	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	

※1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

# MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm <sup>2</sup> ]	Equivalent damping ratio
X4S	X0.4S	0.392	0.240

## ●HL Series (Total Rubber Thickness 16cm)

Characteristics		HL060X4S	HL065X4S	HL070X4S	HL075X4S	HL080X4S	HL085X4S	HL090X4S	HL095X4S	HL100X4S	HL110X4S	HL120X4S	HL130X4S	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	
	Inner diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3847	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	
	Thickness of one rubber layer (mm)	3.95	4.4	4.9	4.85	5.1	5.25	5.65	6.00	6.35	7.2	7.7	8.0	
	Number of rubber layers (-)	41	37	34	34	33	32	30	28	26	23	22	21	
	Total rubber thickness (mm)	162	163	167	165	168	168	170	168	165	166	169	168	
	First shape factor (-)	37.0	36.1	34.9	37.9	38.2	39.5	38.9	38.8	38.4	36.3	37.2	38.9	
	Second shape factor (-)	3.70	3.99	4.20	4.55	4.75	5.06	5.31	5.65	6.06	6.64	7.08	7.74	
	Diameter of flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	
	Thickness of flange (edge/center) (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	
	Connecting bolt PCD (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅39 × 12	∅39 × 12	∅39 × 12	∅39 × 12	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	
	Total height (mm)	<b>342.0</b>	<b>330.4</b>	<b>324.9</b>	<b>323.2</b>	<b>373.1</b>	<b>368.4</b>	<b>369.1</b>	<b>358.8</b>	<b>347.1</b>	<b>338.4</b>	<b>341.8</b>	<b>364.0</b>	
	Total weight (tonf)	<b>0.58</b>	<b>0.64</b>	<b>0.70</b>	<b>0.82</b>	<b>1.12</b>	<b>1.23</b>	<b>1.40</b>	<b>1.49</b>	<b>1.63</b>	<b>1.88</b>	<b>2.22</b>	<b>2.80</b>	
Total weight (kN)	<b>5.7</b>	<b>6.3</b>	<b>6.9</b>	<b>8.1</b>	<b>11.0</b>	<b>12.1</b>	<b>13.7</b>	<b>14.6</b>	<b>15.9</b>	<b>18.4</b>	<b>21.8</b>	<b>27.5</b>		
Compression Properties	Critical stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	34	38	40	45	48	51	54	58	62	68	72	79
	Ultimate compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$(\gamma_{cr}, \sigma_{cr})$	(0,27)	(0,30)	(0,37)	(0,40)	(0,43)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)
		$(\gamma_1, \sigma_1)$	(0,8,27)	(0,8,30)	(0,3,37)	(0,4,40)	(0,5,43)	(0,6,45)	(0,9,45)	(1,2,45)	(1,6,45)	(2,2,45)	(2,7,45)	(3,3,45)
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(3,3,3)	(3,6,4)	(3,8,4)	(3,9,6)	(4,0,8)	(4,0,11)	(4,0,13)	(4,0,17)	(4,0,21)	(4,0,27)	(4,0,31)	(4,0,38)
	Compressive stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		2110	2450	2760	3240	3620	4110	4560	5120	5770	6890	8050	9590
	Nominal long term compressive stress*1 [N/mm <sup>2</sup> ]		6.9	7.8	10.1	11.5	12.3	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
Nominal long term column load [kN]		1940	2580	3900	5060	6160	7370	8270	9210	10200	12300	14700	17200	
Allowable tensile stress [ $\gamma = 100\%$ ] [N/mm <sup>2</sup> ]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		4.05	4.73	5.36	6.21	6.93	7.83	8.71	9.79	11.0	13.3	15.5	18.3
	Post yield stiffness [ $\gamma = 100\%$ ] [×10 <sup>3</sup> kN/m]		0.405	0.473	0.536	0.621	0.693	0.783	0.871	0.979	1.10	1.33	1.55	1.83
	Characteristic Strength [kN]		45.2	53.0	61.5	70.6	80.3	90.7	102	113	126	152	181	212
	Equivalent shear stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		0.684	0.799	0.905	1.05	1.17	1.32	1.47	1.65	1.86	2.24	2.61	3.09
	Equivalent damping ratio (-)		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

\*1 Nominal long term compressive stress is referred as long term upper limit of compressive stress.

MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm <sup>2</sup> ]	Equivalent damping ratio
X6R	X0.6R	0.620	0.240

●HL Series (Total Rubber Thickness 16cm)

Characteristics		HL060X6R	HL065X6R	HL070X6R	HL075X6R	HL080X6R	HL085X6R	HL090X6R	HL100X6R	HL110X6R	HL120X6R	HL130X6R	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200	1300	
	Inner diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	25	55	55	55	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3847	4416	5023	5671	6359	7849	9480	11286	13249	
	Thickness of one rubber layer (mm)	3.95	4.4	4.9	4.85	5.1	5.25	5.65	6.35	7.2	7.7	8.0	
	Number of rubber layers (-)	41	37	34	34	33	32	30	26	23	22	21	
	Total rubber thickness (mm)	162	163	167	165	168	168	170	165	165	166	169	168
	First shape factor (-)	37.0	36.1	34.9	37.9	38.2	39.5	38.9	38.4	36.3	37.2	38.9	
	Second shape factor (-)	3.70	3.99	4.20	4.55	4.75	5.06	5.31	6.06	6.64	7.08	7.74	
	Diameter of flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1400	1500	1600	1700	
	Thickness of flange (edge/center) (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	
	Connecting bolt PCD (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1250	1350	1450	1550	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅33 × 12	∅39 × 12	∅39 × 12	∅39 × 12	∅39 × 12	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	
	Total height (mm)	<b>342.0</b>	<b>330.4</b>	<b>324.9</b>	<b>323.2</b>	<b>373.1</b>	<b>368.4</b>	<b>369.1</b>	<b>347.1</b>	<b>338.4</b>	<b>341.8</b>	<b>364.0</b>	
	Total weight (tonf)	<b>0.58</b>	<b>0.64</b>	<b>0.70</b>	<b>0.82</b>	<b>1.12</b>	<b>1.23</b>	<b>1.40</b>	<b>1.63</b>	<b>1.88</b>	<b>2.22</b>	<b>2.80</b>	
Total weight (kN)	<b>5.7</b>	<b>6.3</b>	<b>6.9</b>	<b>8.1</b>	<b>11.0</b>	<b>12.1</b>	<b>13.7</b>	<b>15.9</b>	<b>18.4</b>	<b>21.8</b>	<b>27.5</b>		
Compression Properties	Critical stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	67	78	86	102	111	125	131	149	164	175	191
	Ultimate compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\{\gamma_1, \sigma_1\}$	[0.41]	[0.48]	[0.51]	[0.56]	[0.59]	[0.60]	[0.60]	[0.60]	[0.60]	[0.60]	[0.60]
		$\{\gamma_1, \sigma_1\}$	[1.4,41]	[1.5,48]	[1.7,51]	[2.1,56]	[2.2,59]	[2.6,60]	[2.9,60]	[3.6,60]	[3.8,60]	[3.8,60]	[3.9,60]
		$\{\gamma_2, \sigma_2\}$	[3.3,7]	[3.4,11]	[3.5,15]	[3.5,23]	[3.6,28]	[3.6,36]	[3.6,41]	[3.7,57]	-	-	-
	Compressive stiffness	[×10 <sup>3</sup> kN/m]	2440	2840	3200	3760	4190	4760	5280	6680	7990	9330	11100
	Nominal long term compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]		10.4	12.0	13.1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Nominal long term column load [kN]		2940	3970	5040	6620	7540	8510	9540	11800	14200	16900	19900	
Allowable tensile stress [ $\gamma = 100\%$ ] [N/mm <sup>2</sup> ]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		6.40	7.48	8.47	9.83	11.0	12.4	13.8	17.4	21.0	24.5	28.9
	Post yield stiffness [ $\gamma = 100\%$ ] [×10 <sup>3</sup> kN/m]		0.640	0.748	0.847	0.983	1.10	1.24	1.38	1.74	2.10	2.45	2.89
	Characteristic Strength [kN]		71.5	83.9	97.3	112	127	143	161	199	240	285	335
	Equivalent shear stiffness [×10 <sup>3</sup> kN/m]		1.08	1.26	1.43	1.66	1.85	2.09	2.33	2.95	3.55	4.13	4.89
	Equivalent damping ratio (-)		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

# MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm <sup>2</sup> ]	Equivalent damping ratio
X4S	X0.4S	0.392	0.240

## ●HT Series (Total Rubber Thickness 25cm)

Characteristics		HT090X4S	HT095X4S	HT100X4S	HT110X4S	HT120X4S	HT130X4S	HT140X4S	HT150X4S	HT160X4S	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner diameter (mm)	20	20	25	55	55	55	65	65	80	
	Effective plane area [ $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> ]	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056	
	Thickness of one rubber layer (mm)	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4	
	Number of rubber layers (-)	42	39	37	34	31	29	26	25	24	
	Total rubber thickness (mm)	252	250	248	252	248	252	247	250	250	
	First shape factor (-)	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5	
	Second shape factor (-)	3.57	3.81	4.03	4.37	4.84	5.15	5.67	6.00	6.41	
	Diameter of flange (mm)	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of flange <sup>*1</sup> (edge/center) (mm)	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110	
	Connecting bolt PCD (mm)	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800	
	Diameter of connecting bolt hole $\times$ qty (mm)	$\varnothing 33 \times 12$	$\varnothing 33 \times 12$	$\varnothing 39 \times 12$	$\varnothing 39 \times 12$	$\varnothing 39 \times 12$	$\varnothing 39 \times 12$	$\varnothing 42 \times 12$	$\varnothing 42 \times 16$	$\varnothing 45 \times 12$	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8	
	Total height (mm)	<b>504.4</b>	<b>488.8</b>	<b>478.3</b>	<b>472.8</b>	<b>460.0</b>	<b>455.5</b>	<b>482.0</b>	<b>489.2</b>	<b>603.0</b>	
	Total weight (tonf)	<b>1.73</b>	<b>1.83</b>	<b>2.00</b>	<b>2.34</b>	<b>2.68</b>	<b>3.01</b>	<b>3.90</b>	<b>4.56</b>	<b>7.22</b>	
Total weight (kN)	<b>16.9</b>	<b>18.0</b>	<b>19.6</b>	<b>22.9</b>	<b>26.2</b>	<b>29.5</b>	<b>38.2</b>	<b>44.7</b>	<b>70.8</b>		
Compression Properties	Critical stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	33	35	38	43	49	52	58	61	65
	Ultimate compressive stress [N/mm <sup>2</sup> ]	$(\gamma_0, \sigma_0)$	(0,26)	(0,28)	(0,35)	(0,39)	(0,43)	(0,45)	(0,45)	(0,45)	(0,45)
		$(\gamma_1, \sigma_1)$	(0,8,26)	(0,8,28)	(0,3,35)	(0,4,39)	(0,5,43)	(0,7,45)	(1,2,45)	(1,6,45)	(2,0,45)
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(3,2,3)	(3,4,4)	(3,6,4)	(3,9,5)	(4,0,9)	(4,0,12)	(4,0,17)	(4,0,20)	(4,0,25)
	Compressive stiffness [ $\times 10^3$ kN/m]		3040	3420	3810	4520	5470	6310	7450	8480	9690
	Nominal long term compressive stress <sup>*2</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]		6.4	7.2	9.5	10.8	12.6	13.0	13.0	13.0	13.0
	Nominal long term column load (kN)		4090	5090	7450	10200	14200	17200	20000	22900	26100
Allowable tensile stress ( $\gamma = 100\%$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness [ $\times 10^3$ kN/m]		5.86	6.59	7.35	8.74	10.6	12.2	14.4	16.4	18.6
	Post yield stiffness ( $\gamma = 100\%$ ) [ $\times 10^3$ kN/m]		0.586	0.659	0.735	0.874	1.06	1.22	1.44	1.64	1.86
	Characteristic Strength (kN)		102	113	126	152	181	212	246	282	321
	Equivalent shear stiffness [ $\times 10^3$ kN/m]		0.989	1.11	1.24	1.48	1.78	2.06	2.44	2.77	3.15
	Equivalent damping ratio (-)		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

\*1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table on the next page (upper top table) for more details.

\*2 Nominal long term compressive stress is referred as long term upper limit of compressive stress.

Specification of flange (edge thickness / center thickness)

Outer diameter of rubber bearing (Ø) <sup>*1</sup>	[900]	[950]	1000	1100	1200	1300
Standard thickness	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40
Special thickness (option)	[37/45]	[37/45]	42/50	42/50	42/50	42/50

\*1 For adoption of special thickness in regard to those sizes that stated in the ( ), delivery time will be longer due to mold preparation.  
 \*2 For Ø1400 and above, assembled type flange will be used.  
 \*3 Compared to the standard specification, total height & weight of product for special thickness will be changed.

MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
 Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio
X6R	X0.6R	0.620	0.240

●HT Series (Total Rubber Thickness 25cm)

Characteristics		HT090X6R	HT095X6R	HT100X6R	HT110X6R	HT120X6R	HT130X6R	HT140X6R	HT150X6R	HT160X6R	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
	Inner diameter (mm)	20	20	25	55	55	55	65	65	80	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056	
	Thickness of one rubber layer (mm)	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4	
	Number of rubber layers (-)	42	39	37	34	31	29	26	25	24	
	Total rubber thickness (mm)	252	250	248	252	248	252	247	250	250	
	First shape factor (-)	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5	
	Second shape factor (-)	3.57	3.81	4.03	4.37	4.84	5.15	5.67	6.00	6.41	
	Diameter of flange (mm)	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	Thickness of flange <sup>*1</sup> (edge/center) (mm)	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110	
	Connecting bolt PCD (mm)	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800	
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	Ø 33 × 12	Ø 33 × 12	Ø 39 × 12	Ø 39 × 12	Ø 39 × 12	Ø 39 × 12	Ø 42 × 12	Ø 42 × 16	Ø 45 × 12	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8	
	Total height (mm)	<b>504.4</b>	<b>488.8</b>	<b>478.3</b>	<b>472.8</b>	<b>460.0</b>	<b>455.5</b>	<b>482.0</b>	<b>489.2</b>	<b>603.0</b>	
	Total weight (tonf)	<b>1.73</b>	<b>1.83</b>	<b>2.00</b>	<b>2.34</b>	<b>2.68</b>	<b>3.01</b>	<b>3.90</b>	<b>4.56</b>	<b>7.22</b>	
Total weight (kN)	<b>16.9</b>	<b>18.0</b>	<b>19.6</b>	<b>22.9</b>	<b>26.2</b>	<b>29.5</b>	<b>38.2</b>	<b>44.7</b>	<b>70.8</b>		
Compression Properties	Critical stress (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	62	71	80	94	115	127	148	158	
	Ultimate compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	$[\gamma_0, \sigma_0]$	[0,38]	[0,43]	[0,48]	[0,53]	[0,60]	[0,60]	[0,60]	[0,60]	[0,60]
		$[\gamma_1, \sigma_1]$	[1,4,38]	[1,5,43]	[1,6,48]	[1,9,53]	[2,3,60]	[2,7,60]	[3,2,60]	[3,6,60]	[3,8,60]
		$[\gamma_2, \sigma_2]$	[3,2,6]	[3,4,8]	[3,4,12]	[3,5,19]	[3,6,30]	[3,6,38]	[3,7,49]	[3,7,56]	-
	Compressive stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		3530	3960	4420	5240	6340	7310	8640	9830	11200
	Nominal long term compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )		9.7	11.0	12.2	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Nominal long term column load (kN)		6170	7790	9580	13300	16900	19900	23000	26500	30100	
Allowable tensile stress ( $\gamma = 100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		9.26	10.4	11.6	13.8	16.7	19.3	22.8	25.9	29.5
	Post yield stiffness ( $\gamma = 100\%$ ) (×10 <sup>3</sup> kN/m)		0.926	1.04	1.16	1.38	1.67	1.93	2.28	2.59	2.95
	Characteristic Strength (kN)		161	179	199	240	285	335	389	446	507
	Equivalent shear stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		1.56	1.76	1.96	2.34	2.82	3.26	3.86	4.37	4.98
	Equivalent damping ratio (-)		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

\*1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

Specification of flange (edge thickness / center thickness)

Outer diameter of rubber bearing (Ø) <sup>*1</sup>	{600}	{650}	700	{750}	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300
Standard thickness	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40
Special thickness (option)	{26/32}	{26/32}	26/32	{30/36}	32/40	32/40	37/45	37/45	42/50	42/50	42/50	42/50

×1 For adoption of special thickness in regard to those sizes that stated in the {}, delivery time will be longer due to mold preparation.  
 ×2 For Ø1400 and above, assembled type flange will be used.  
 ×3 Compared to the standard specification, total height & weight of product for special thickness will be changed.

MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.  
 Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio
X4S	X0.4S	0.392	0.240

●HS Series (S<sub>2</sub> = 5)

Characteristics		HS070X4S	HS075X4S	HS080X4S	HS085X4S	HS090X4S	HS095X4S	HS100X4S	HS110X4S	HS120X4S	HS130X4S	HS140X4S	HU150X4S	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
	Inner diameter (mm)	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	65	65	
	Effective plane area (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	3847	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	
	Thickness of one rubber layer (mm)	4.7	5	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.3	8.5	
	Number of rubber layers (-)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	
	Total rubber thickness (mm)	141	150	162	171	180	192	201	222	240	261	279	298	
	First shape factor (-)	36.4	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.8	35.9	42.2
	Second shape factor (-)	4.96	5.00	4.94	4.97	5.00	4.95	4.98	4.95	5.00	4.98	4.98	5.02	5.04
	Diameter of flange (mm)	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	
	Thickness of flange <sup>*1</sup> (edge/center) (mm)	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	50/100	
	Connecting bolt PCD (mm)	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	
	Diameter of connecting bolt hole × qty	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø42 × 12	Ø42 × 16	
	Bolt size (assumption) (-)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	
	Total height (mm)	<b>286.9</b>	<b>295.9</b>	<b>353.6</b>	<b>362.6</b>	<b>379.6</b>	<b>391.6</b>	<b>400.6</b>	<b>425.6</b>	<b>447.6</b>	<b>468.6</b>	<b>537.2</b>	<b>694.7</b>	
Total weight (tonf)	<b>0.65</b>	<b>0.77</b>	<b>1.07</b>	<b>1.19</b>	<b>1.41</b>	<b>1.56</b>	<b>1.77</b>	<b>2.17</b>	<b>2.63</b>	<b>3.07</b>	<b>4.24</b>	<b>7.04</b>		
Total weight (kN)	<b>6.4</b>	<b>7.5</b>	<b>10.5</b>	<b>11.7</b>	<b>13.8</b>	<b>15.3</b>	<b>17.3</b>	<b>21.3</b>	<b>25.8</b>	<b>30.1</b>	<b>41.6</b>	<b>69.1</b>		
Compression Properties	Critical stress (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cr}$ when $\gamma = 0$	50	51	50	50	51	50	51	51	51	51	51	
	Ultimate compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	$\{\gamma_{cr}, \sigma_{cr}\}$	{0.45}	{0.45}	{0.44}	{0.45}	{0.45}	{0.44}	{0.45}	{0.45}	{0.45}	{0.45}	{0.45}	{0.45}
		$\{\gamma_1, \sigma_1\}$	{0.5, 45}	{0.6, 45}	{0.6, 44}	{0.5, 45}	{0.6, 45}	{0.6, 44}	{0.5, 45}	{0.5, 45}	{0.6, 45}	{0.6, 45}	{0.6, 45}	{0.6, 45}
		$\{\gamma_2, \sigma_2\}$	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 10}	{4.0, 11}
	Compressive stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		3290	3550	3730	4000	4260	4440	4700	5120	5650	6100	6620	7280
	Nominal long term compressive stress <sup>*2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )		13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
	Nominal long term column load (kN)		5000	5740	6530	7370	8270	9210	10200	12300	14700	17200	20000	22900
Allowable tensile stress ( $\gamma = 100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		6.33	6.83	7.20	7.70	8.20	8.56	9.06	9.91	10.9	11.8	12.8	13.8
	Post yield stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		0.633	0.683	0.720	0.770	0.820	0.856	0.906	0.991	1.091	1.178	1.278	1.376
	Characteristic Strength (kN)		61.5	70.6	80.3	90.7	102	113	126	152	181	212	246	282
	Equivalent shear stiffness (×10 <sup>3</sup> kN/m)		1.07	1.15	1.22	1.30	1.38	1.45	1.53	1.67	1.84	1.99	2.16	2.32
	Equivalent damping ratio (-)		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

×1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

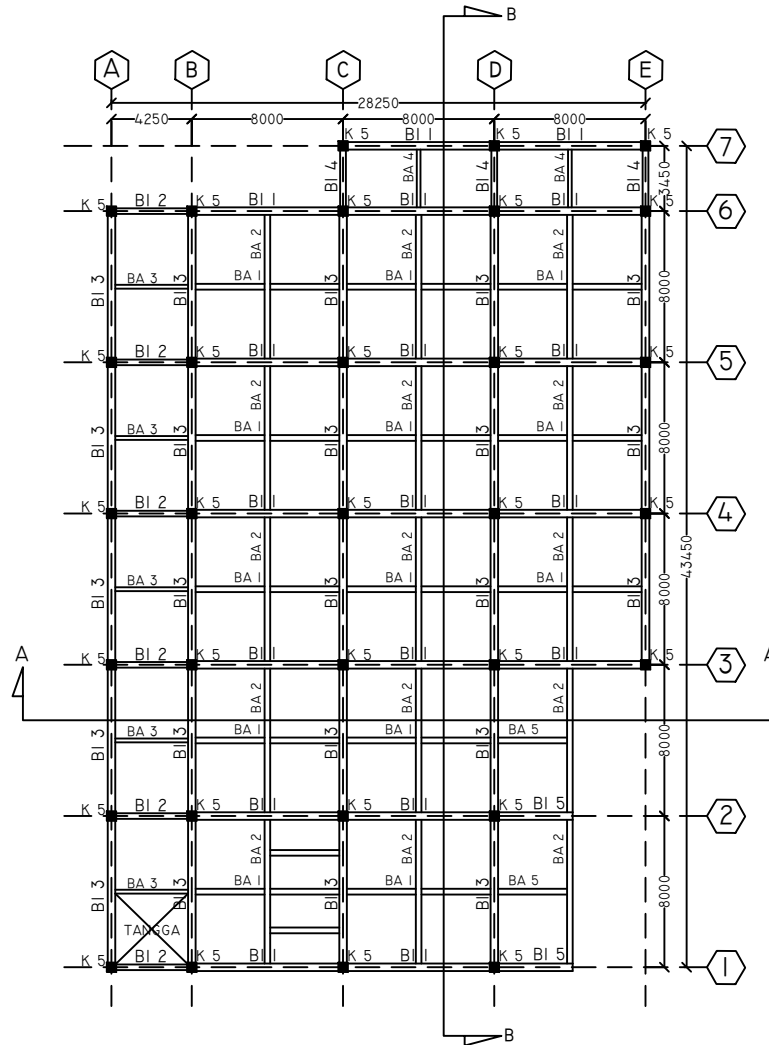
×2 Nominal long term compressive stress is referred as long term upper limit of compressive stress.

**LAMPIRAN 3**  
**GAMBAR TEKNIK**




## DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar
1	Denah Kolom dan Balok Lantai Atap
2	Denah Kolom dan Balok Lantai 18-21
3	Denah Kolom dan Balok Lantai 14-17
4	Denah Kolom dan Balok Lantai 10-13
5	Denah Kolom dan Balok Lantai 6-9
6	Denah Kolom dan Balok Lantai 2-5
7	Denah Kolom dan Balok Lantai 1 (R.Pemeliharaan)
8	Potongan Memanjang A-A
9	Potongan Melintang B-B
10	Detail Penulangan Pelat A
11	Detail Penulangan Pelat B
12	Detail Penulangan Pelat C
13	Denah dan Potongan Tangga
14	Detail Balok Anak dan Balok Lift
15	Detail Balok Induk
16	Detail Kolom
17	Detail Penulangan Balok Induk BI 1
18	Detail Penulangan Kolom K1
19	Detail HDRB
20	Detail HDRB
21	Denah Pondasi
22	Denah Sloof
23	Detail Pilecap Tipe 1
24	Detail Pilecap Tipe 2
25	Detail Pilecap Tipe 3
26	Detail Pilecap Tipe 3
27	Detail Sloof



KETERANGAN :

NAMA	b (cm)	h (cm)
K 5	50	50
BI 1	40	60
BI 2	30	40
BI 3	40	60
BI 4	30	40
BI 5	40	60
BA 1	30	40
BA 2	30	40
BA 3	20	25
BA 4	20	25
BA 5	20	25

 DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI ATAP  
SKALA 1:400



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

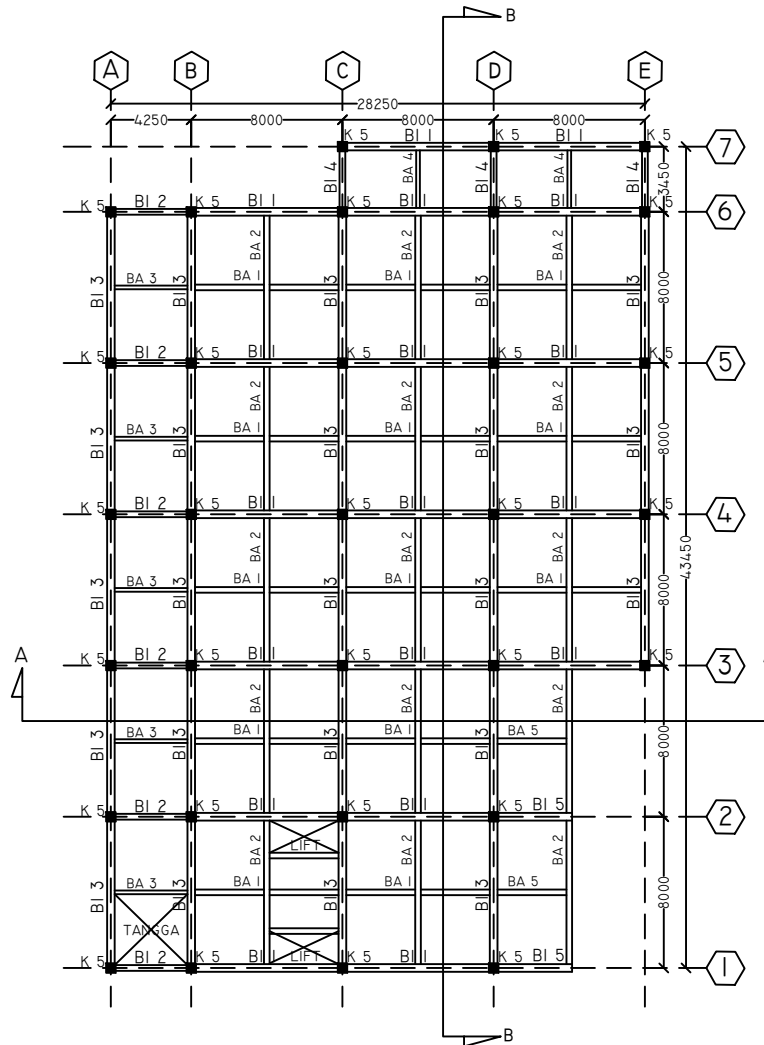
JUDUL GAMBAR  
DENAH KOLOM DAN BALOK  
LANTAI ATAP


SKALA  
1 : 400

NO. LEMBAR  
1  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007




**DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI 18-21**  
 SKALA 1:400

**KETERANGAN :**

NAMA	b (cm)	h (cm)
K 5	50	50
BI 1	40	60
BI 2	30	40
BI 3	40	60
BI 4	30	40
BI 5	40	60
BA 1	30	40
BA 2	30	40
BA 3	20	25
BA 4	20	25
BA 5	20	25



**JUDUL TUGAS AKHIR**  
 MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
 SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
 DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
 GEMPA TAHUN 2017

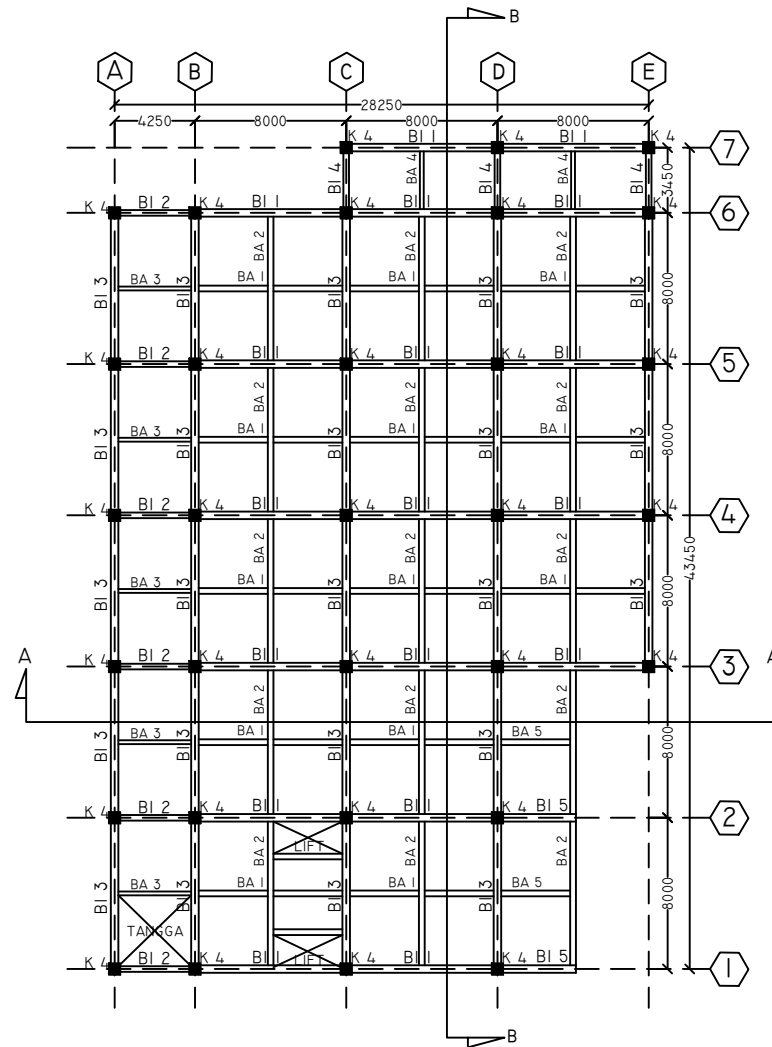
**JUDUL GAMBAR**  
 DENAH KOLOM DAN BALOK  
 LANTAI 18-21

**SKALA**  
 1 : 400

**NO. LEMBAR**  
 2  
**JUMLAH LEMBAR**  
 27

**NAMA DOSEN PEMBIMBING**  
 HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
 DATA IRANATA, ST. MT. PHD

**NAMA/NRP MAHASISWA**  
 DIANANDA ESKA PRATIWI  
 0311154000007



KETERANGAN :

NAMA	b (cm)	h (cm)
K 4	60	60
BI 1	40	60
BI 2	30	40
BI 3	40	60
BI 4	30	40
BI 5	40	60
BA 1	30	40
BA 2	30	40
BA 3	20	25
BA 4	20	25
BA 5	20	25

 DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI 14-17  
SKALA 1:400



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

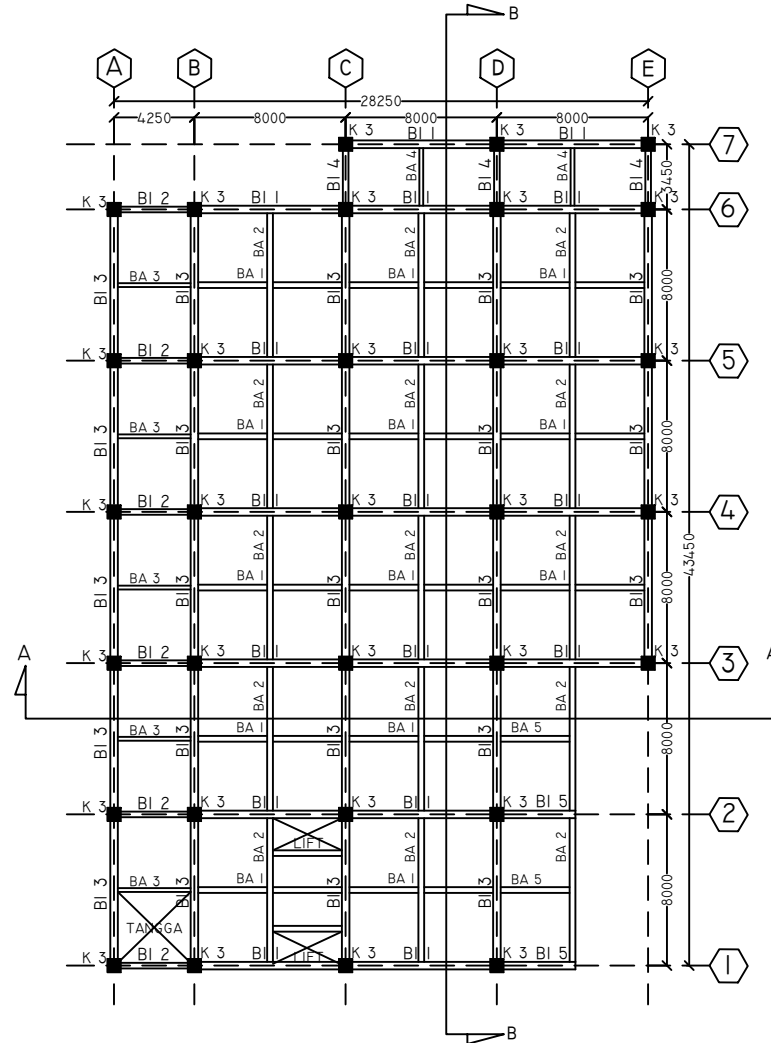
JUDUL GAMBAR  
DENAH KOLOM DAN BALOK  
LANTAI 14-17

SKALA  
1 : 400

NO. LEMBAR  
3  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007



KETERANGAN :

NAMA	b (cm)	h (cm)
K 3	70	70
BI 1	40	60
BI 2	30	40
BI 3	40	60
BI 4	30	40
BI 5	40	60
BA 1	30	40
BA 2	30	40
BA 3	20	25
BA 4	20	25
BA 5	20	25

 DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI 10-13  
SKALA 1:400



JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM DAN BALOK  
LANTAI 10-13

SKALA

1 : 400

NO. LEMBAR

4

JUMLAH LEMBAR

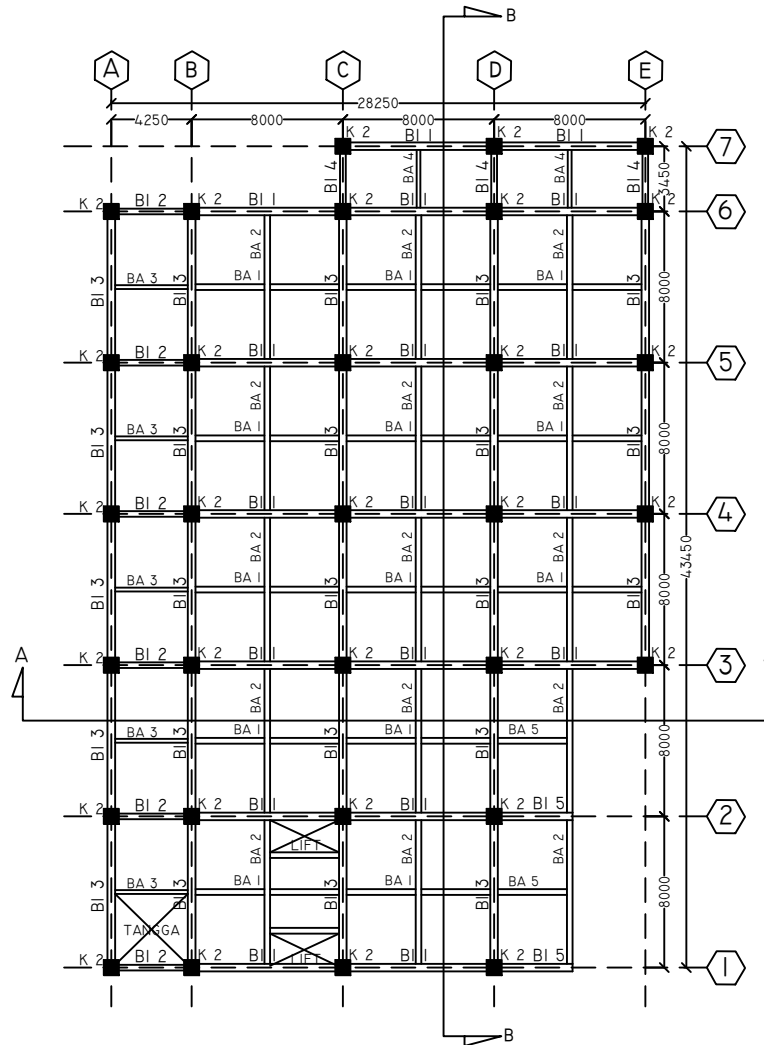
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING

HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA

DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007



KETERANGAN :

NAMA	b (cm)	h (cm)
K 2	80	80
BI 1	40	60
BI 2	30	40
BI 3	40	60
BI 4	30	40
BI 5	40	60
BA 1	30	40
BA 2	30	40
BA 3	20	25
BA 4	20	25
BA 5	20	25


 DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI 6-9  
 SKALA 1:400



JUDUL TUGAS AKHIR  
 MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
 SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
 DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
 GEMPA TAHUN 2017

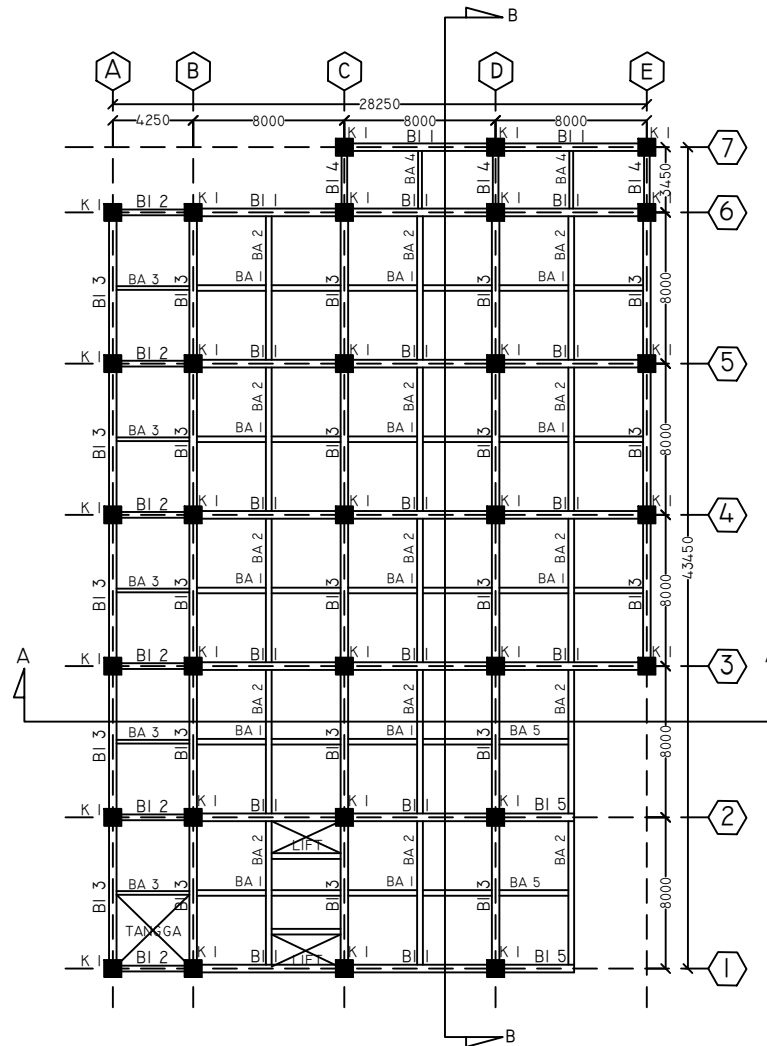
JUDUL GAMBAR  
 DENAH KOLOM DAN BALOK  
 LANTAI 6-9

SKALA  
 1 : 400

NO. LEMBAR  
 5  
 JUMLAH LEMBAR  
 27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
 HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
 DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
 DIANANDA ESKA PRATIWI  
 0311154000007



KETERANGAN :

NAMA	b (cm)	h (cm)
K 1	90	90
BI 1	40	60
BI 2	30	40
BI 3	40	60
BI 4	30	40
BI 5	40	60
BA 1	30	40
BA 2	30	40
BA 3	20	25
BA 4	20	25
BA 5	20	25

 DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI 2-5  
SKALA 1:400



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

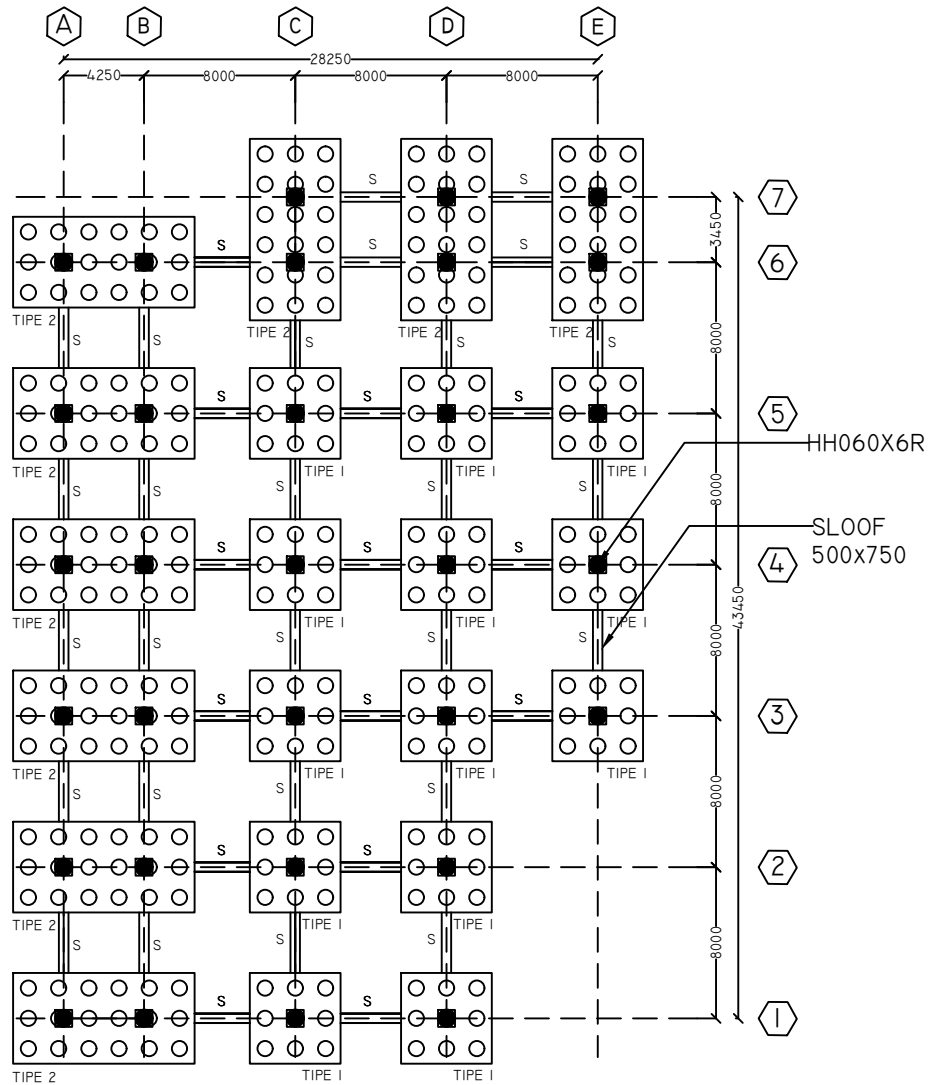
JUDUL GAMBAR  
DENAH KOLOM DAN BALOK  
LANTAI 2-5

SKALA  
1 : 400


NO. LEMBAR  
6  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007




**DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI I DASAR**  
 SKALA 1:400

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA
	MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	DENAH KOLOM DAN BALOK LANTAI I (RUANG PEMELIHARAAN)	1 : 400	7	HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
				JUMLAH LEMBAR 27		





JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

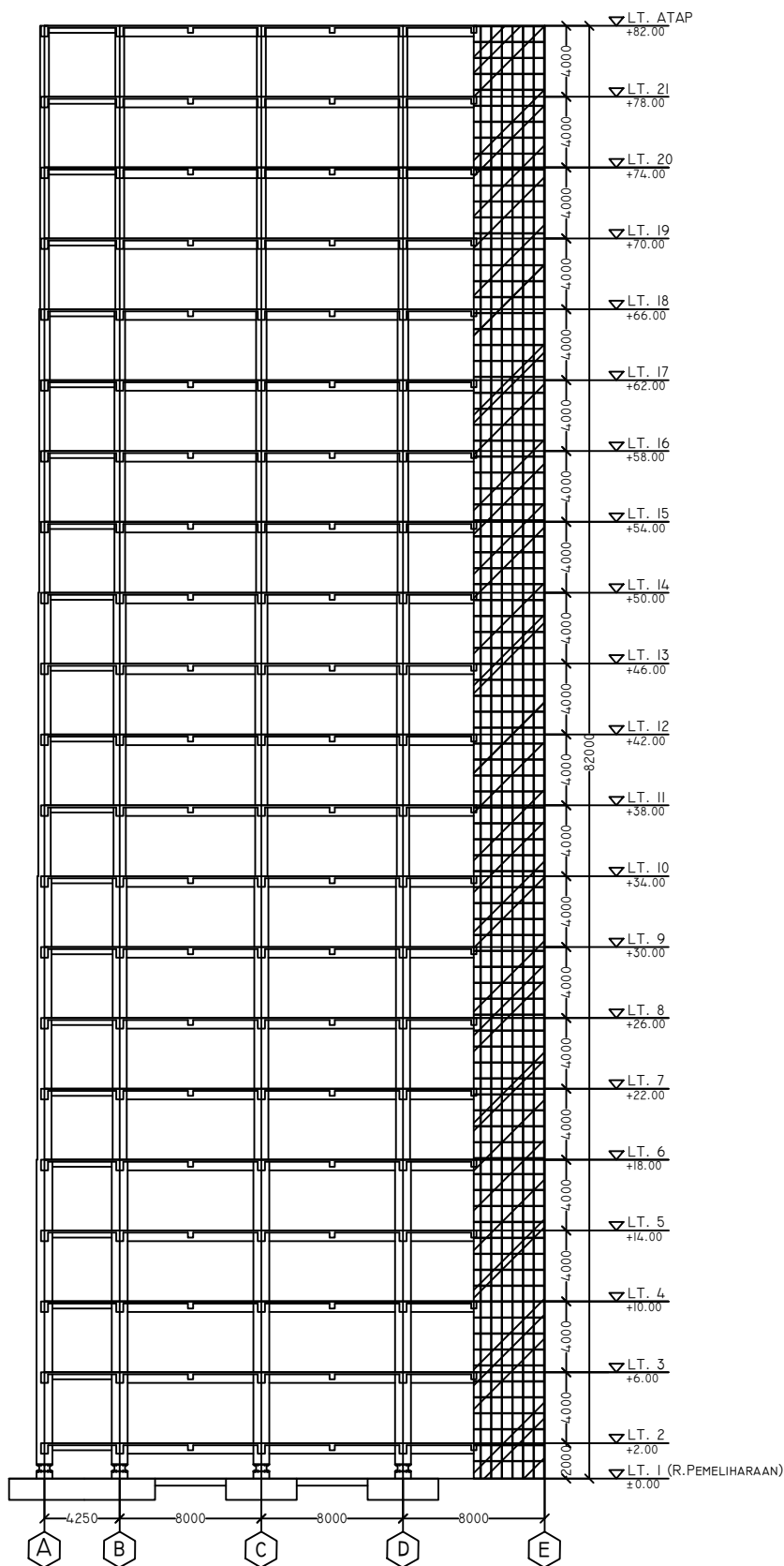
JUDUL GAMBAR  
POTONGAN MEMANJANG  
A-A

SKALA  
1 : 400

NO. LEMBAR  
8  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007



POTONGAN MEMANJANG A-A

SKALA 1:400



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

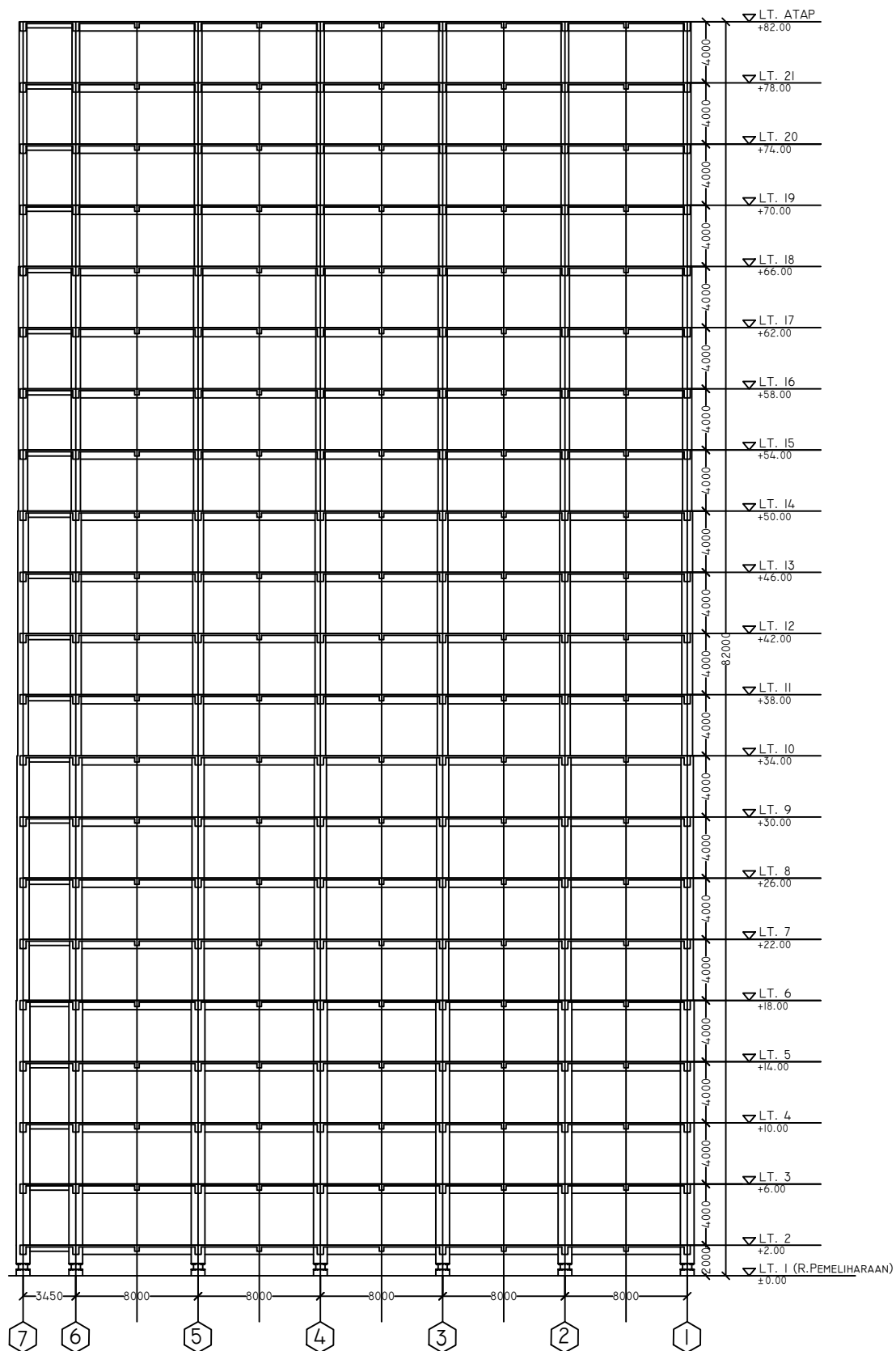
JUDUL GAMBAR  
POTONGAN MELINTANG  
B-B

SKALA  
1 : 400

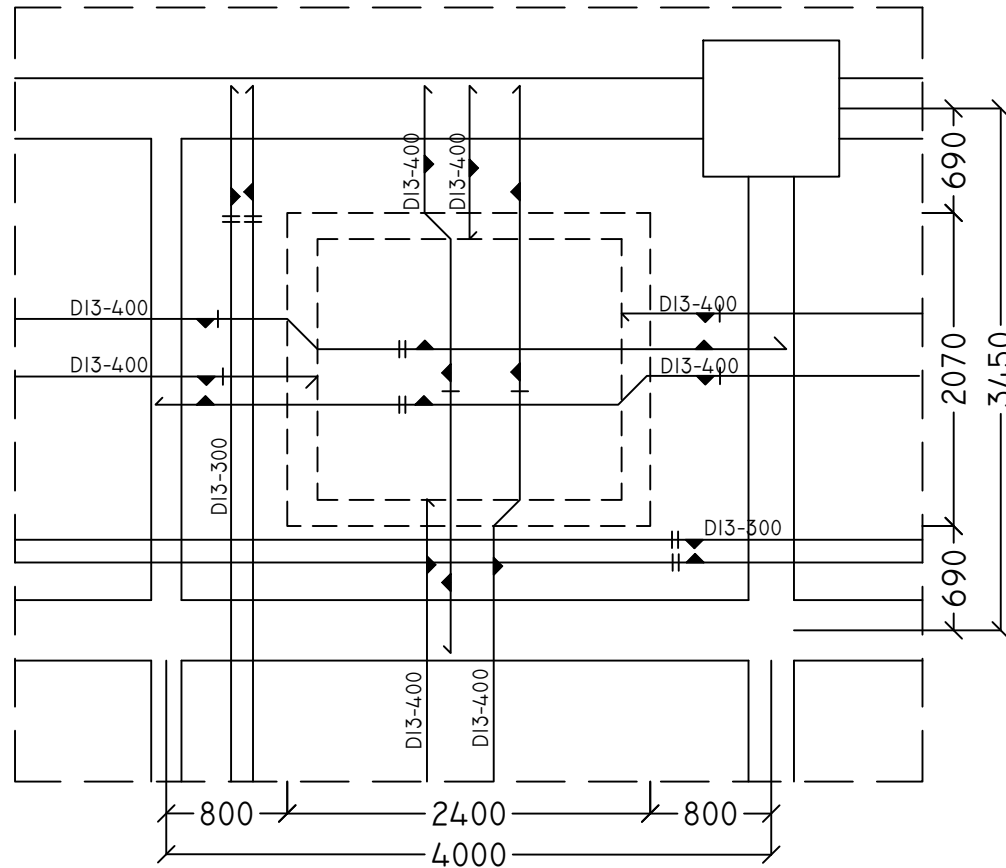
NO. LEMBAR  
9  
JUMLAH LEMBAR  
27


NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD


NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007

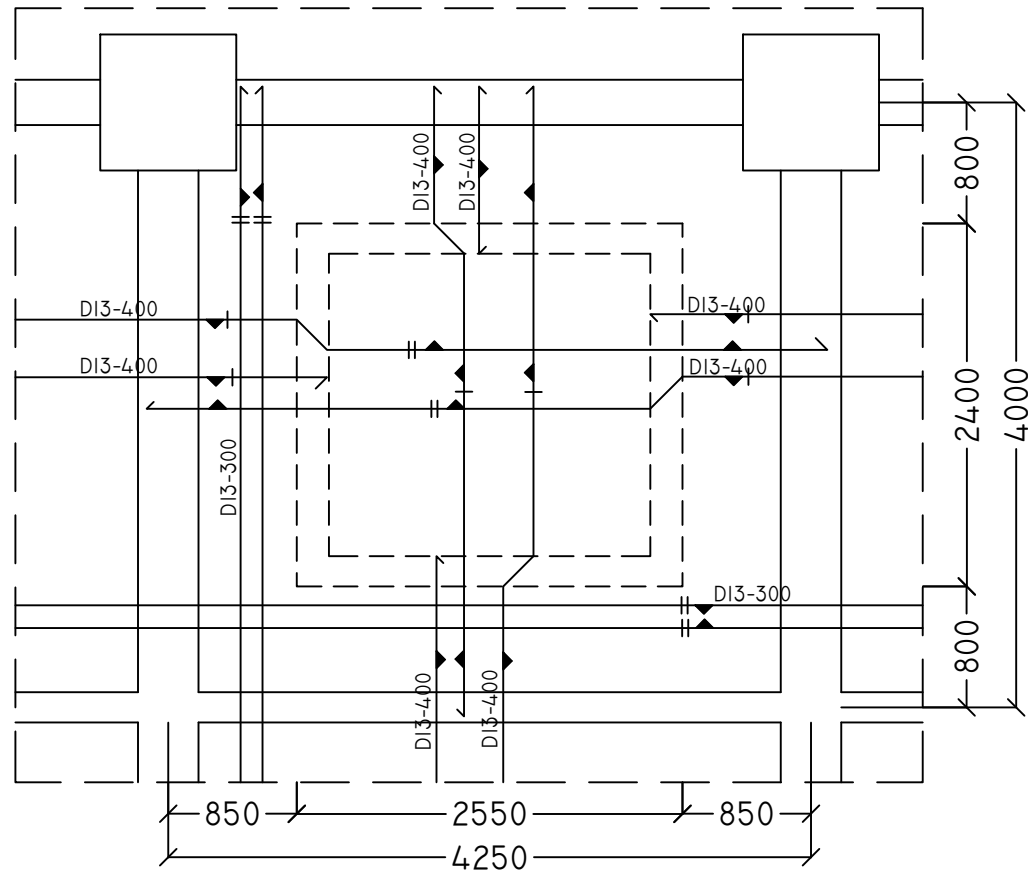



POTONGAN MELINTANG B-B  
SKALA 1:400




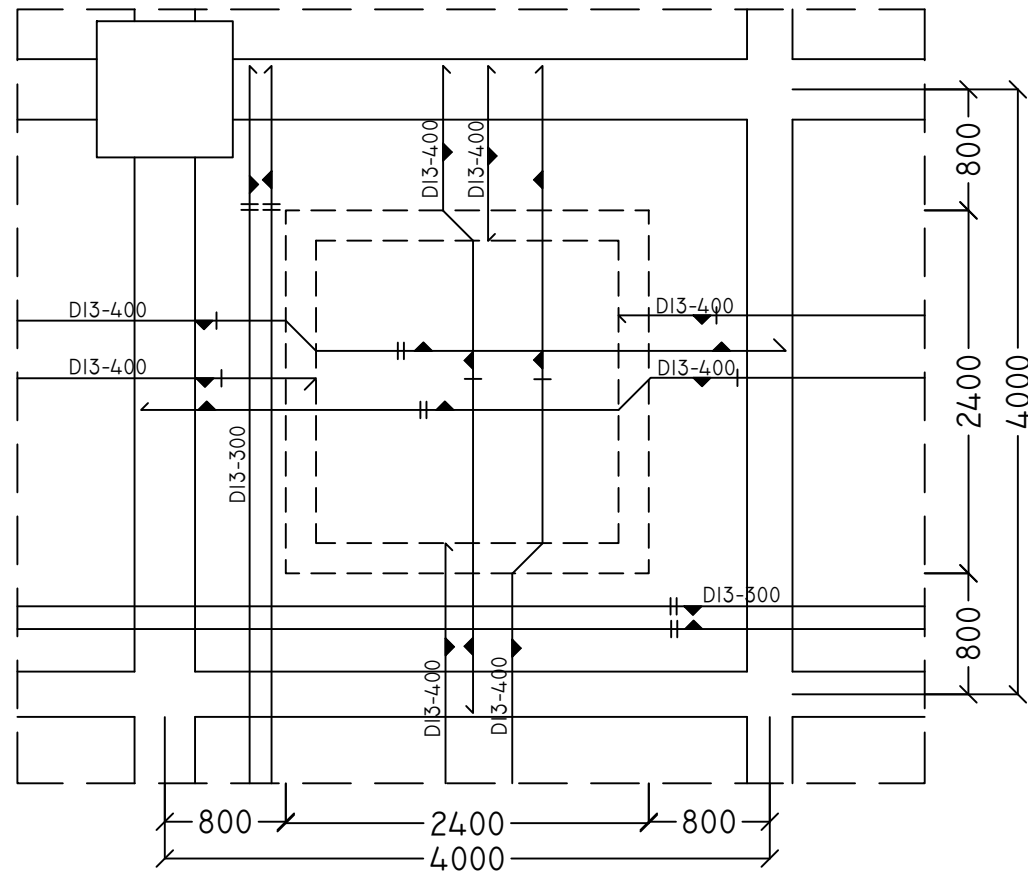

**DETAIL PENULANGAN PELAT A**  
 SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	JUDUL GAMBAR DETAIL PENULANGAN PELAT A	SKALA 1 : 50	NO. LEMBAR 10 JUMLAH LEMBAR 27	NAMA DOSEN PEMBIMBING HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	NAMA/NRP MAHASISWA DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
---	--	---	-----------------	---	--	--




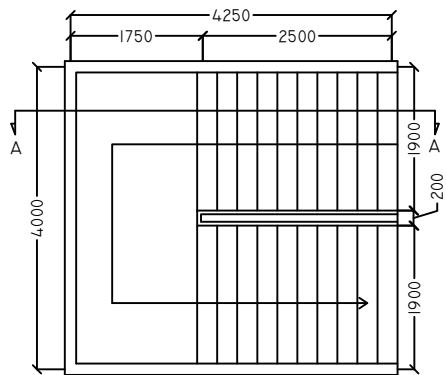

**DETAIL PENULANGAN PELAT B**  
 SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	JUDUL GAMBAR DETAIL PENULANGAN PELAT B	SKALA 1 : 50	NO. LEMBAR II JUMLAH LEMBAR 27	NAMA DOSEN PEMBIMBING HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	NAMA/NRP MAHASISWA DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
---	---	--	-----------------	---	--	--

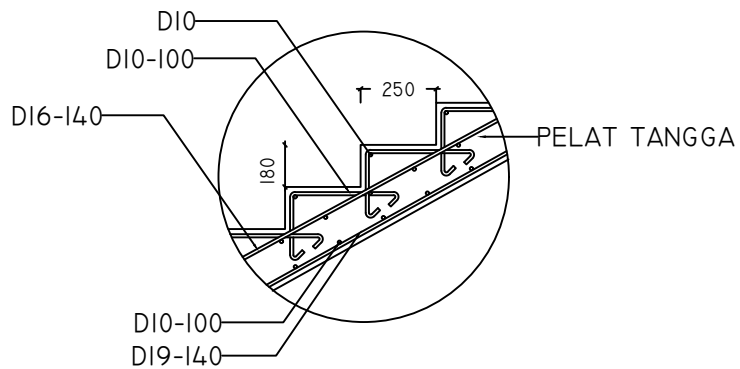


DETAIL PENULANGAN PELAT C  
SKALA 1:50

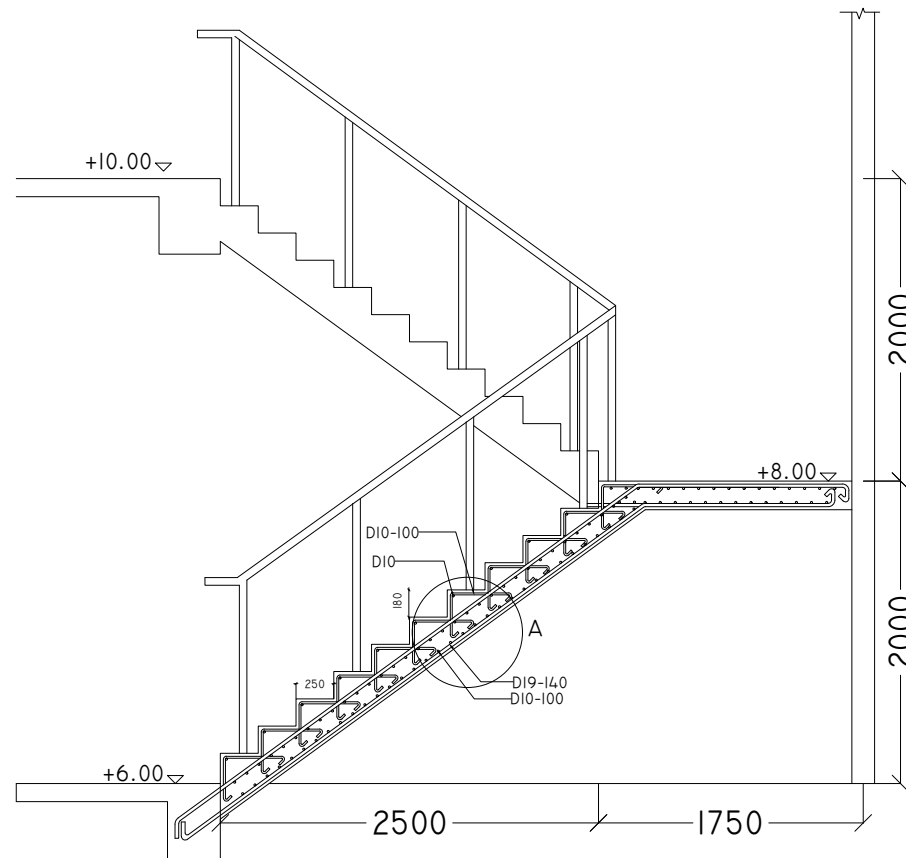
	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA
	MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	DETAIL PENULANGAN PELAT C	1 : 50	12	HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
				JUMLAH LEMBAR		
				27		



DENAH TANGGA  
SKALA 1:100



DETAIL A  
SKALA 1:30



POTONGAN A-A  
SKALA 1:50



JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR

DENAH DAN POTONGAN TANGGA

SKALA

1 : 50

NO. LEMBAR

13

JUMLAH LEMBAR

27


NAMA DOSEN PEMBIMBING

HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA

DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007

TIPE	BALOK ANAK BA 1			TIPE	BALOK ANAK BA 2		
LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
PENAMPANG				PENAMPANG			
DIMENSI	300 x 400			DIMENSI	300 x 400		
ATAS	5 D16	2 D16	5 D16	ATAS	5 D16	2 D16	5 D16
BAWAH	3 D16	3 D16	3 D16	BAWAH	3 D16	3 D16	3 D16
SENGKANG	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	SENGKANG	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150
TIPE	BALOK ANAK BA 3			TIPE	BALOK ANAK BA 4		
LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
PENAMPANG				PENAMPANG			
DIMENSI	200 x 250			DIMENSI	200 x 250		
ATAS	2 D16	2 D16	2 D16	ATAS	2 D16	2 D16	2 D16
BAWAH	2 D16	2 D16	2 D16	BAWAH	2 D16	2 D16	2 D16
SENGKANG	D10 - 90	D10 - 90	D10 - 90	SENGKANG	D10 - 90	D10 - 90	D10 - 90
TIPE	BALOK ANAK BA 5			TIPE	BALOK LIFT		
LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
PENAMPANG				PENAMPANG			
DIMENSI	200 x 250			DIMENSI	200 x 250		
ATAS	2 D16	2 D16	2 D16	ATAS	3 D19	2 D19	3 D19
BAWAH	2 D16	2 D16	2 D16	BAWAH	2 D19	3 D19	2 D19
SENGKANG	D10 - 90	D10 - 90	D10 - 90	SENGKANG	D10 - 140	D10 - 140	D10 - 140

 DETAIL BALOK ANAK DAN LIFT  
SKALA 1:40



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR  
DETAIL BALOK ANAK DAN  
BALOK LIFT


SKALA  
1 : 40

NO. LEMBAR  
14  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007

TIPE	BALOK INDUK BI 1			TIPE	BALOK INDUK BI 2		
LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
PENAMPANG				PENAMPANG			
DIMENSI	400 x 600			DIMENSI	300 x 400		
ATAS	10 D22	4 D22	10 D22	ATAS	5 D22	2 D22	5 D22
BAWAH	6 D22	4 D22	6 D22	BAWAH	4 D22	2 D22	4 D22
SENGKANG	DI3 - 150	DI3 - 150	DI3 - 150	SENGKANG	DI3 - 150	DI3 - 150	DI3 - 150
SAMPING	2 D25			SAMPING	2 DI3		
TIPE	BALOK INDUK BI 3			TIPE	BALOK INDUK BI 4		
LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN	LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
PENAMPANG				PENAMPANG			
DIMENSI	400 x 600			DIMENSI	300 x 400		
ATAS	10 D22	4 D22	10 D22	ATAS	5 D22	2 D22	5 D22
BAWAH	5 D22	5 D22	5 D22	BAWAH	3 D22	2 D22	3 D22
SENGKANG	DI3 - 150	DI3 - 150	DI3 - 150	SENGKANG	DI3 - 150	DI3 - 150	DI3 - 150
SAMPING	2 D25			SAMPING	2 DI3		
TIPE	BALOK INDUK BI 5						
LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN				
PENAMPANG							
DIMENSI	400 x 600						
ATAS	7 D22	3 D22	3 D22				
BAWAH	4 D22	4 D22	4 D22				
SENGKANG	DI3 - 150	DI3 - 150	DI3 - 150				
SAMPING	2 D22						

 DETAIL BALOK INDUK  
SKALA 1:40



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR  
DETAIL BALOK INDUK

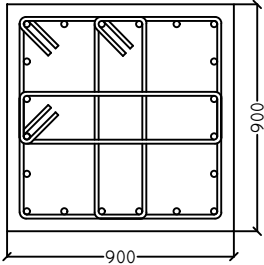
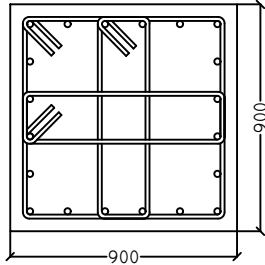
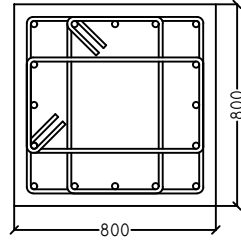
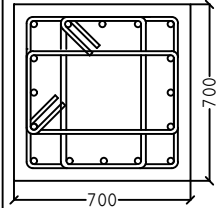
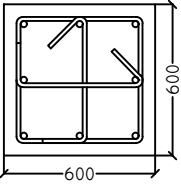
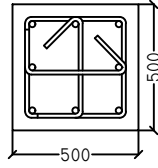
SKALA  
1 : 40

NO. LEMBAR  
15  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007



TIPE	PEDESTAL	KOLOM K1	KOLOM K2	KOLOM K3	KOLOM K4	KOLOM K5
PENAMPANG						
DIMENSI	900 x 900	900 x 900	800 x 800	700 x 700	600 x 600	500 x 500
TUL. UTAMA	20 D25	20 D25	16 D25	12 D25	8 D25	8 D25
SENGKANG	4 DI6 - 100	4 DI6 - 100	4 DI6 - 100	4 DI6 - 100	3 DI6 - 90	3 DI6 - 90



DETAIL KOLOM  
SKALA 1:30



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

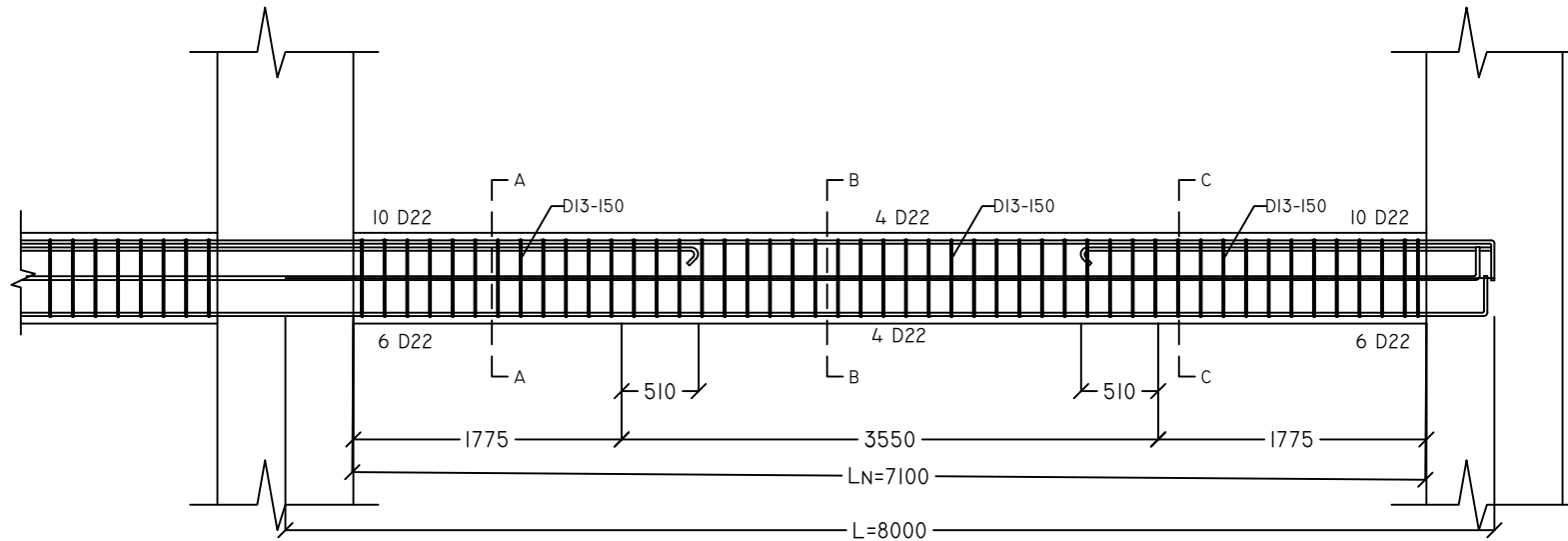
JUDUL GAMBAR  
DETAIL KOLOM

SKALA  
1 : 30

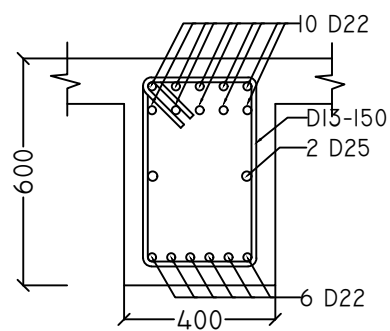
NO. LEMBAR  
16  
JUMLAH LEMBAR  
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

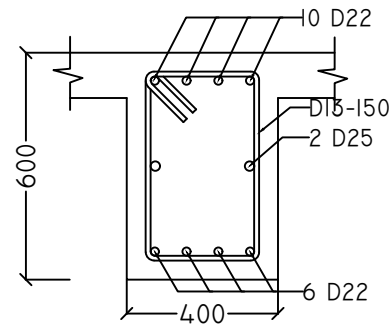
NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007



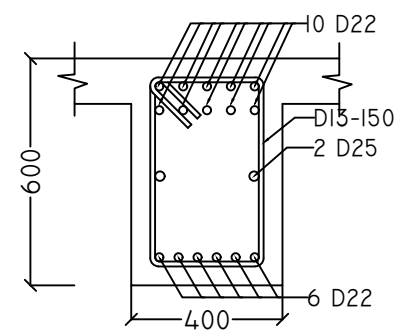

**DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK BI I**  
 SKALA 1:50




**POTONGAN A-A**  
 SKALA 1:20




**POTONGAN B-B**  
 SKALA 1:20




**POTONGAN C-C**  
 SKALA 1:20



**JUDUL TUGAS AKHIR**  
 MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
 SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
 DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
 GEMPA TAHUN 2017

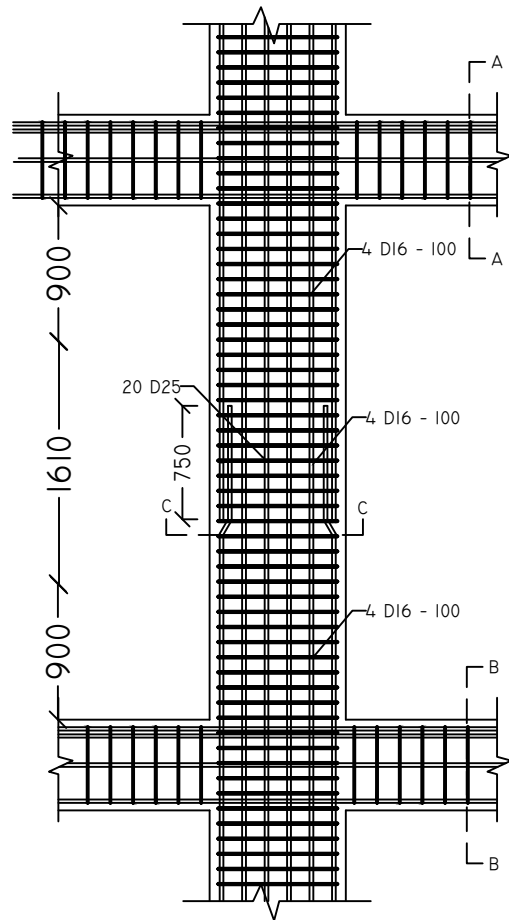
**JUDUL GAMBAR**  
 DETAIL PENULANGAN  
 BALOK INDUK

**SKALA**  
 1 : 40

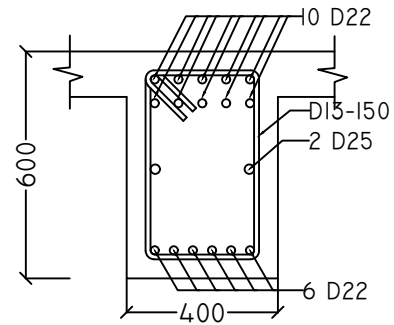
**NO. LEMBAR**  
 17  
**JUMLAH LEMBAR**  
 27

**NAMA DOSEN PEMBIMBING**  
 HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
 DATA IRANATA, ST. MT. PHD

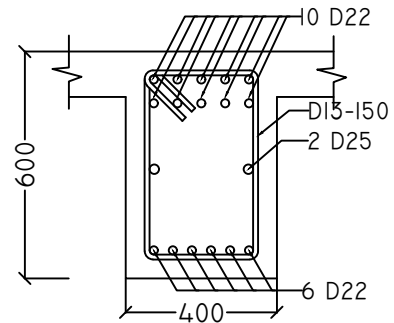
**NAMA/NRP MAHASISWA**  
 DIANANDA ESKA PRATIWI  
 0311154000007



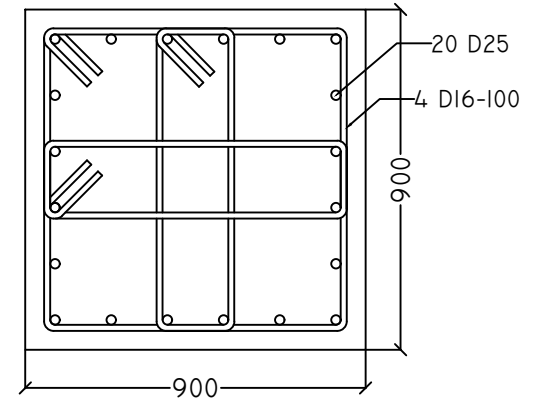
DETAIL PENULANGAN KOLOM KI  
SKALA 1:50



POTONGAN A-A  
SKALA 1:20



POTONGAN B-B  
SKALA 1:20



POTONGAN C-C  
SKALA 1:20



JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM

SKALA

1 : 50

NO. LEMBAR

18

JUMLAH LEMBAR

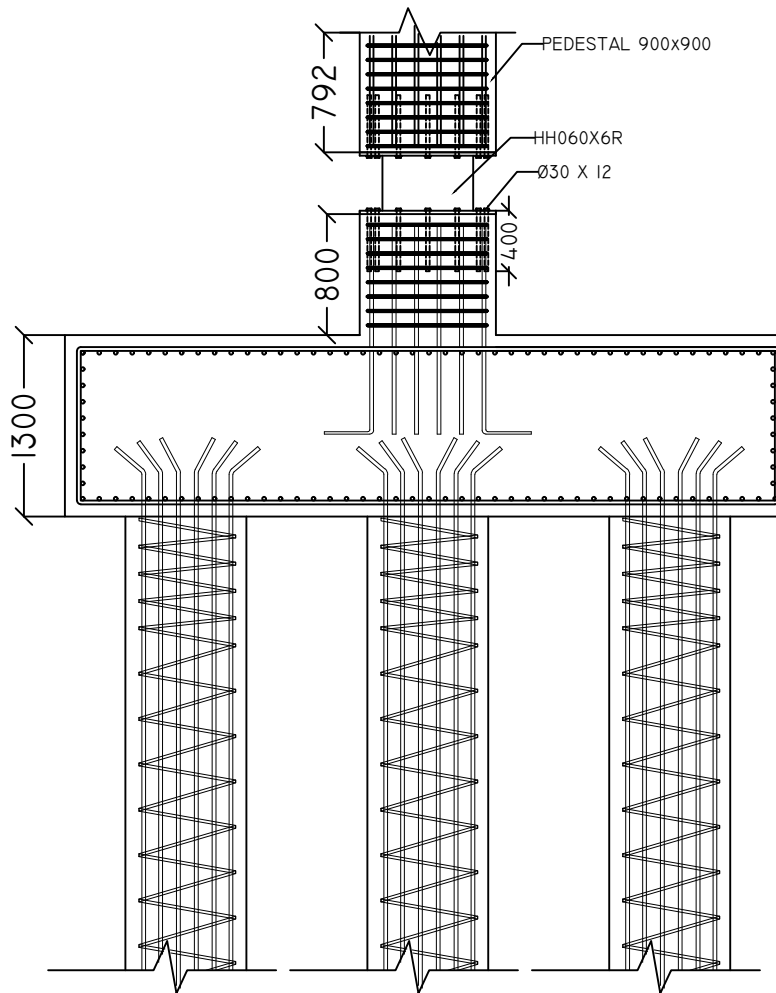
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING


HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

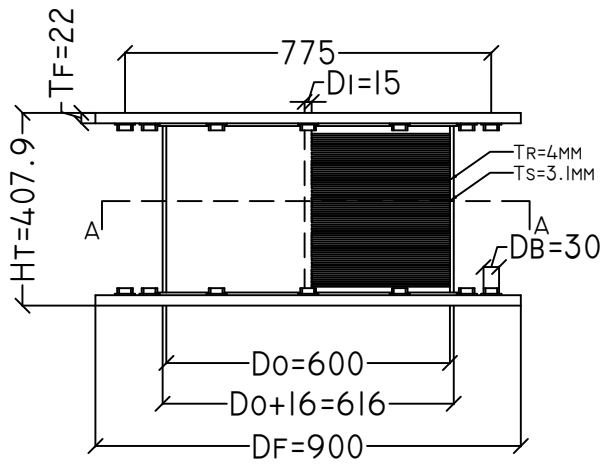
NAMA/NRP MAHASISWA

DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007

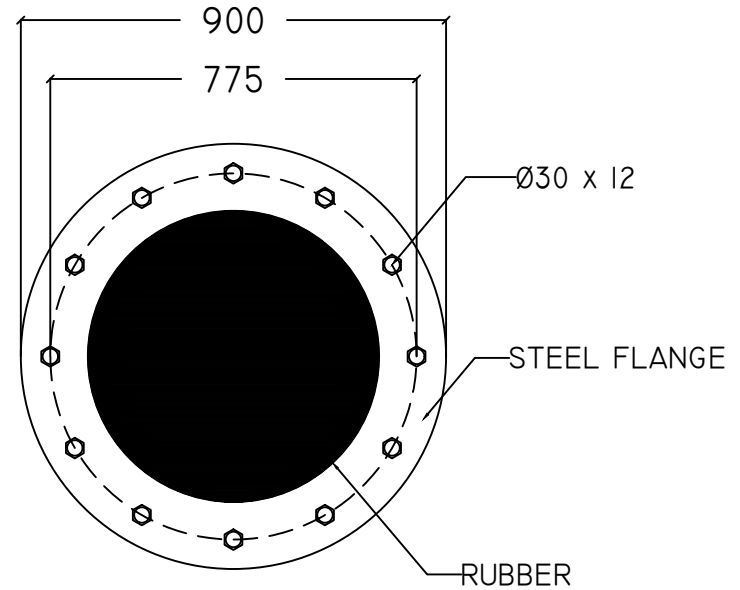


DETAIL HDRB  
SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	JUDUL GAMBAR DETAIL HDRB	SKALA 1 : 50	NO. LEMBAR 19 JUMLAH LEMBAR 22	NAMA DOSEN PEMBIMBING HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	NAMA/NRP MAHASISWA DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
---	--	-----------------------------	-----------------	---	--	--



DETAIL HDRB  
SKALA 1:16



POTONGAN A-A  
SKALA 1:16



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

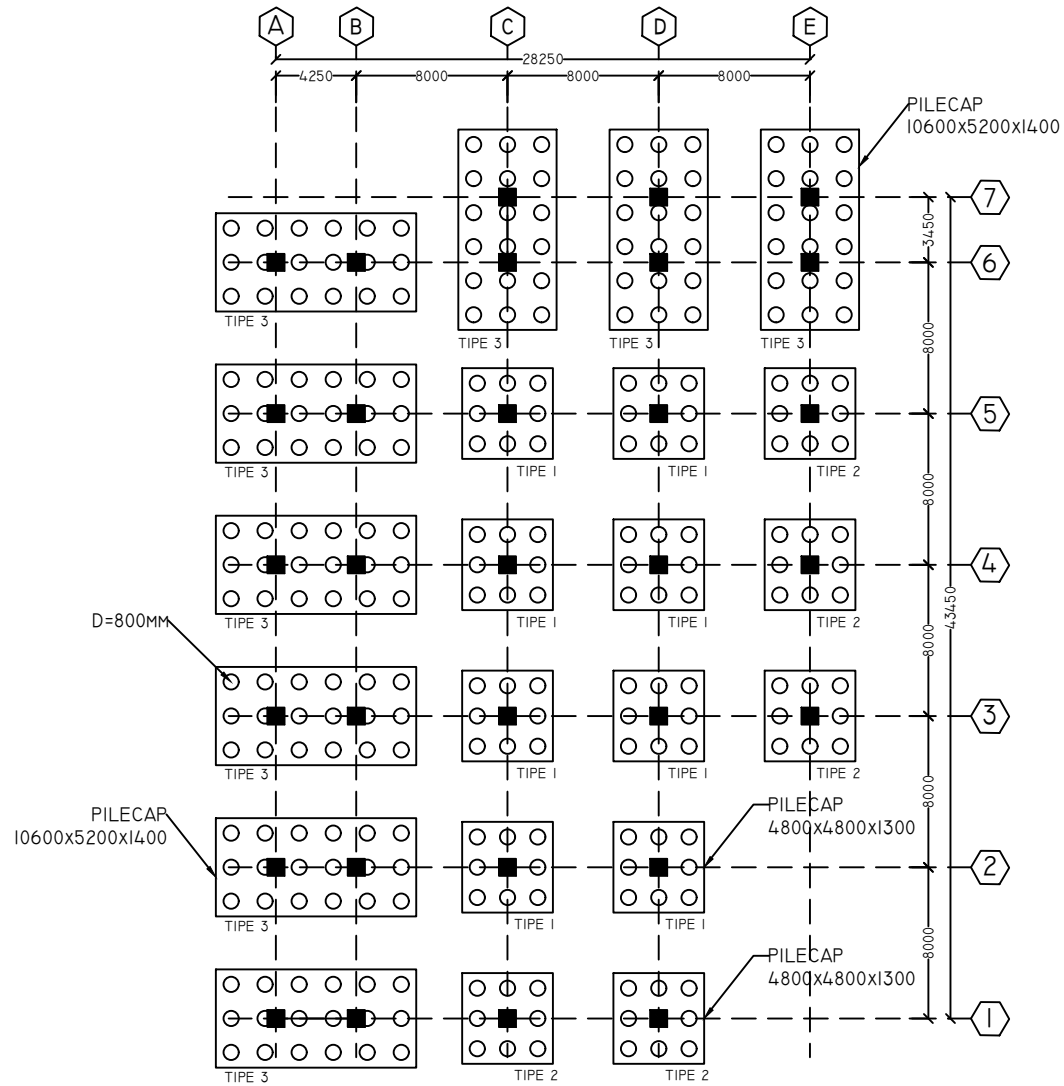
JUDUL GAMBAR  
DETAIL HDRB

SKALA  
1 : 16

NO. LEMBAR  
20  
JUMLAH LEMBAR  
27

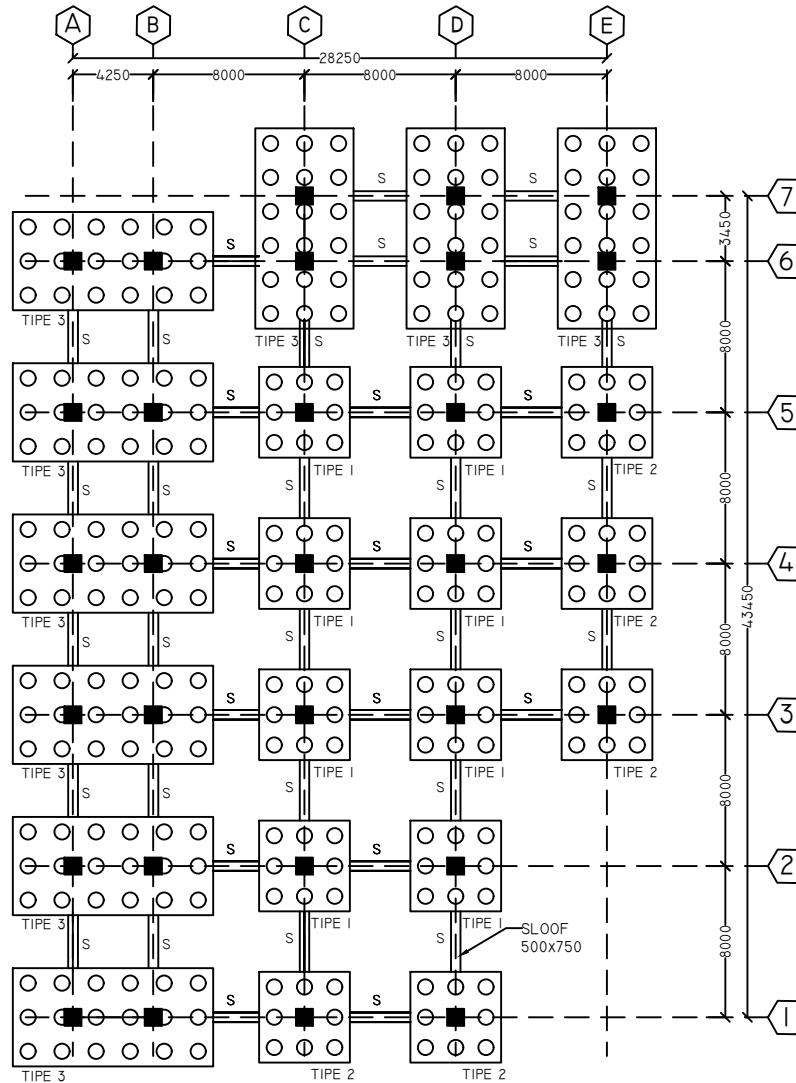
NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007




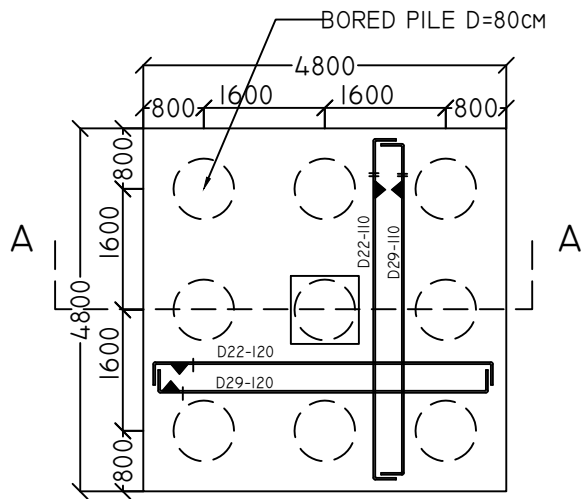
DENAH PONDASI  
SKALA 1:400


	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA
	MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	DENAH PONDASI	1 : 400	21	HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
				JUMLAH LEMBAR		
			27			

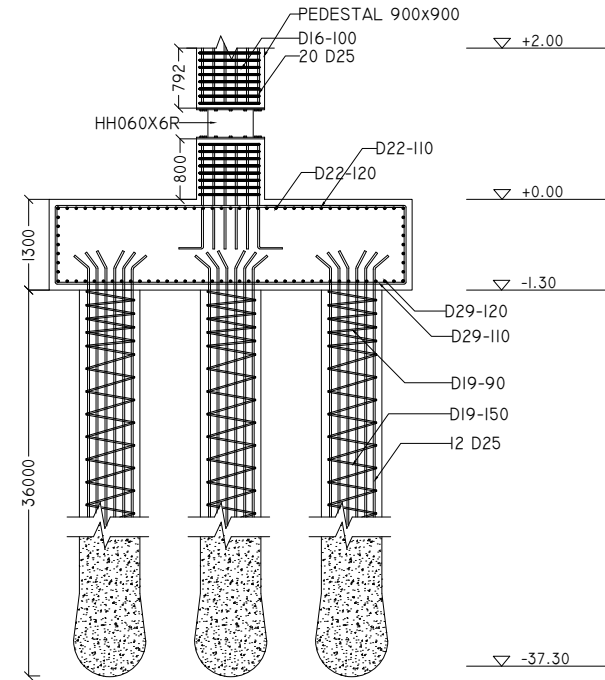



**DENAH SLOOF**  
 SKALA 1:400

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA
	MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	DENAH SLOOF	1 : 400	22	HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
				JUMLAH LEMBAR		
			27			



 PENULANGAN PILECAP TIPE I  
SKALA 1:100



 POTONGAN A-A  
SKALA 1:100



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR  
DETAIL PILECAP  
TIPE I

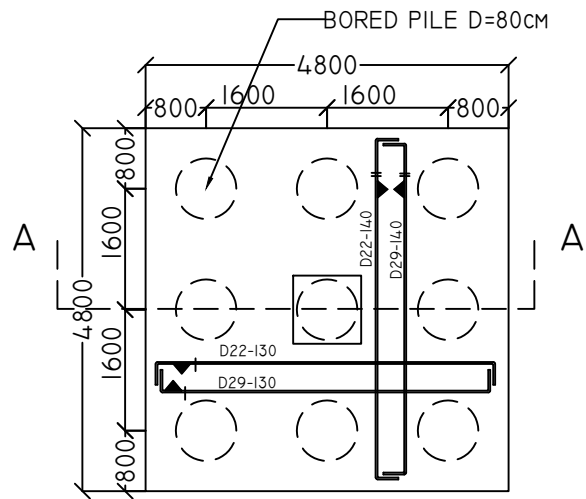
SKALA  
1 : 100


NO. LEMBAR  
23  
JUMLAH LEMBAR  
27

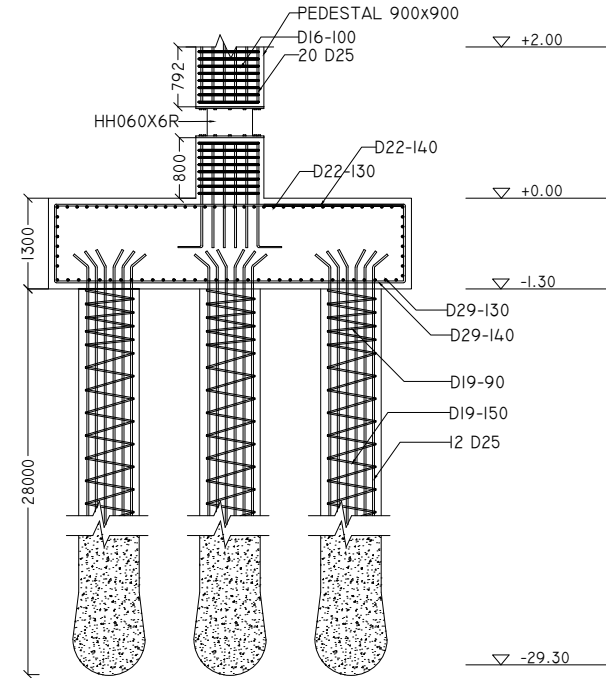
NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007





 PENULANGAN PILECAP TIPE 2  
SKALA 1:100



 POTONGAN A-A  
SKALA 1:100



JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

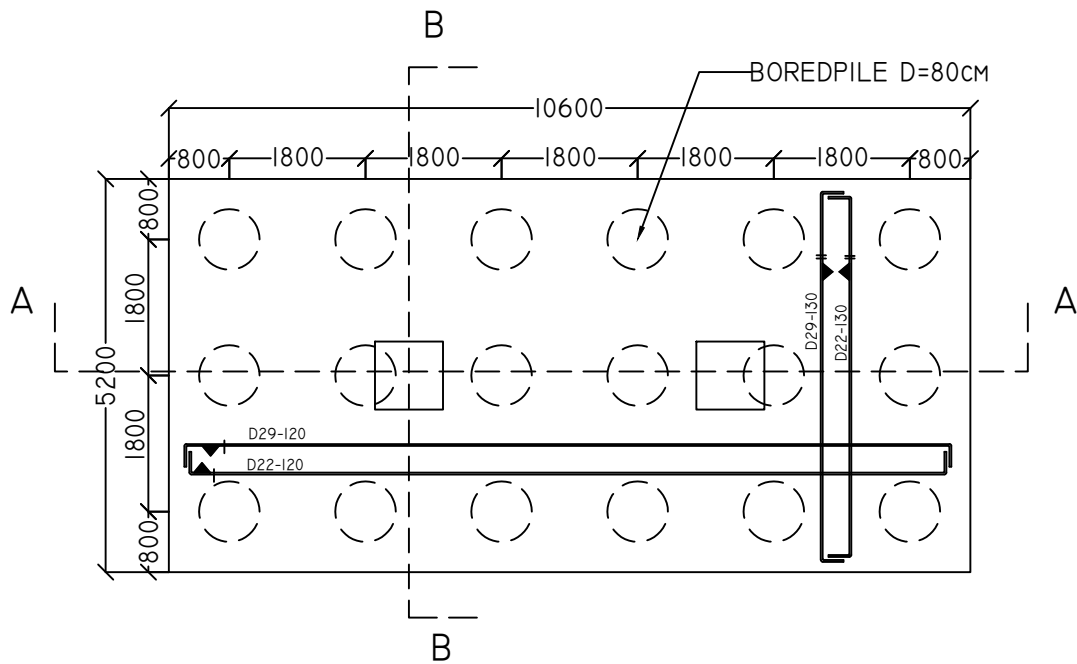
JUDUL GAMBAR  
DETAIL PILECAP  
TIPE 2


SKALA  
1 : 100

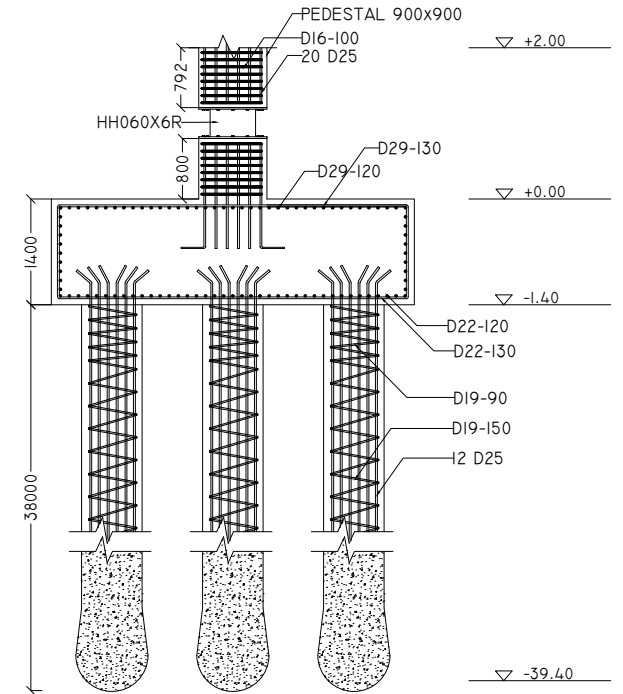
NO. LEMBAR  
24  
JUMLAH LEMBAR  
27


NAMA DOSEN PEMBIMBING  
HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007



 PENULANGAN PILECAP TIPE 3  
SKALA 1:100



 POTONGAN B-B  
SKALA 1:100



JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR

DETAIL PILECAP  
TIPE 3

SKALA

1 : 100

NO. LEMBAR

25

JUMLAH LEMBAR

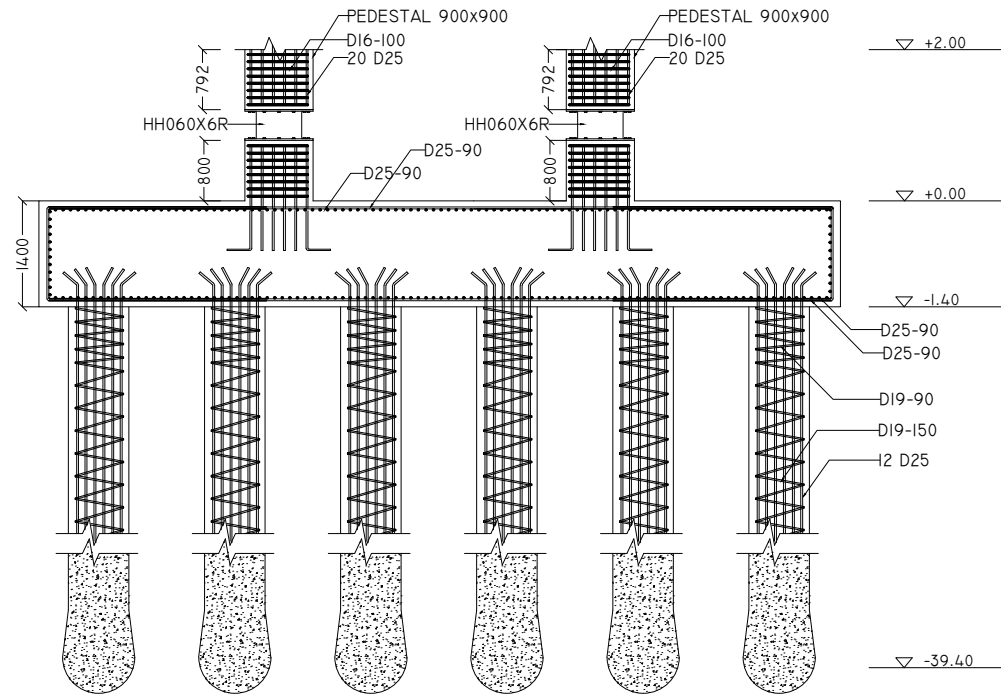
27

NAMA DOSEN PEMBIMBING


HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
DATA IRANATA, ST. MT. PHD

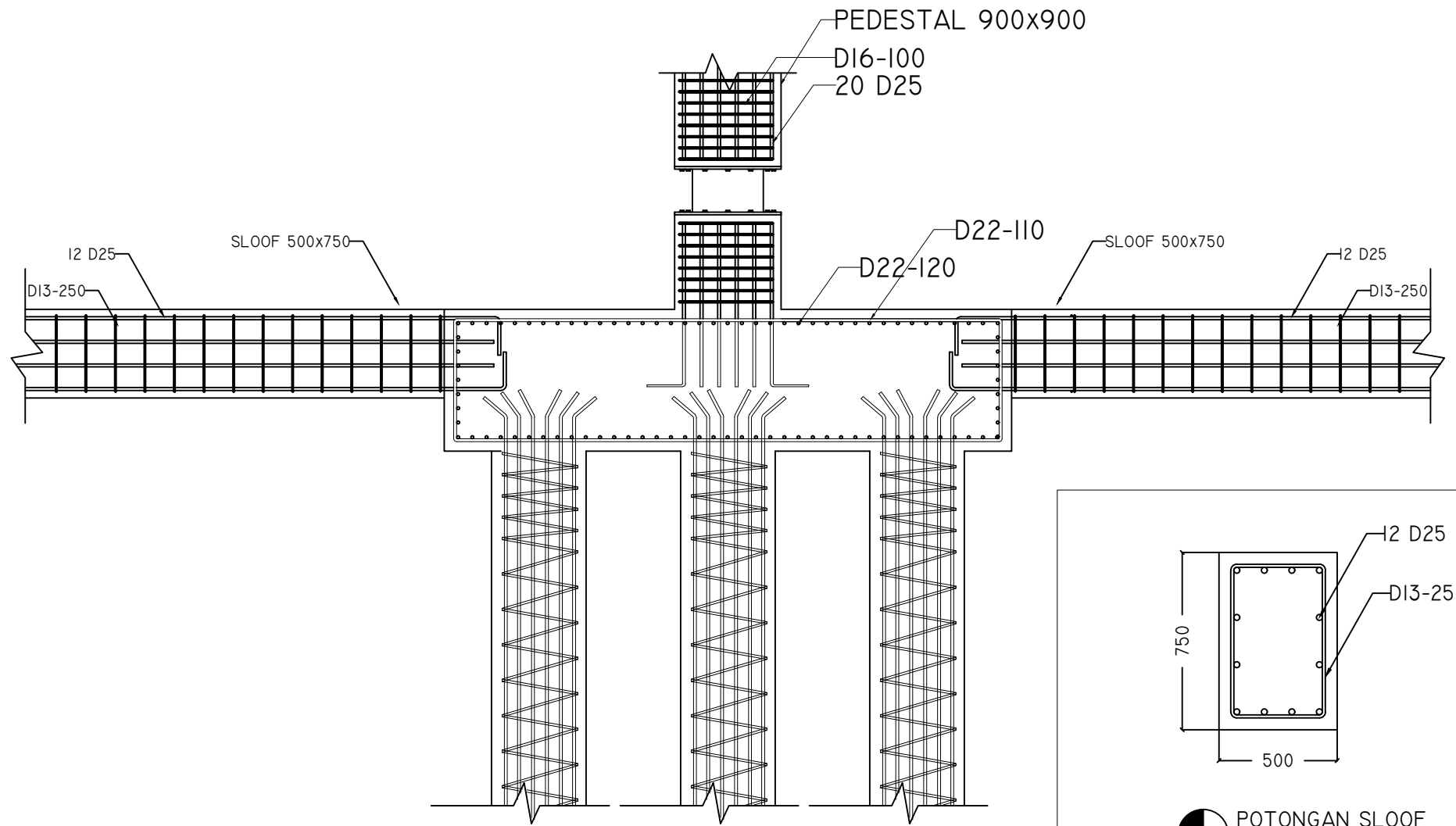
NAMA/NRP MAHASISWA

DIANANDA ESKA PRATIWI  
0311154000007





**POTONGAN A-A**  
 SKALA 1:100

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA
	MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA GEMPA TAHUN 2017	DETAIL PILECAP TIPE 3	1 : 100	26	HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD DATA IRANATA, ST. MT. PHD	DIANANDA ESKA PRATIWI 0311154000007
				JUMLAH LEMBAR		
				27		




**DETAIL SLOOF**  
 SKALA 1:50


**POTONGAN SLOOF**  
 SKALA 1:25



JUDUL TUGAS AKHIR  
 MODIFIKASI PERANCANGAN GEDUNG SKYSUITES  
 SOHO SURABAYA DENGAN BASE ISOLATOR : HIGH  
 DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN PETA  
 GEMPA TAHUN 2017

JUDUL GAMBAR  
 DETAIL SLOOF

SKALA  
 1 : 50

NO. LEMBAR  
 27  
 JUMLAH LEMBAR  
 27

NAMA DOSEN PEMBIMBING  
 HARUN AL RASYID, ST. MT. PHD  
 DATA IRANATA, ST. MT. PHD

NAMA/NRP MAHASISWA  
 DIANANDA ESKA PRATIWI  
 0311154000007



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Harun Al Rasyid, ST., MT., PhD
NAMA MAHASISWA	: Diananda Eka Pratiwi
NRP	: 03111540000007
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perancangan Gedung Skysuites Soho Surabaya dengan Base Isolator : High Damping Rubber Bearing (HDRB) dan Peta Gempa 2017
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	14-01-2019	Preliminary design balok, pelat, kolom		<i>HR</i>
2.	26-2-2019	Pemodelan struktur fixed base		<i>HR</i>
3.	8-3-2019	Perencanaan tangga dan balok lengkung		<i>HR</i>
4.	23-4-2019	- Perencanaan pelat, balok anak - Perencanaan dimensi HDRB		<i>HR</i>
5.	7-5-2019	- Pemodelan base isolator - kontrol		<i>HR</i>
6.	17-5-2019	- Penulangan balok induk		<i>HR</i>
7.	22-5-2019	- Penulangan kolom		<i>HR</i>

*HR*



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 601111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Data Iranata, ST., MT., PhD
NAMA MAHASISWA	: DIANANDA ESFA PRATIWI
NRP	: 03111540000007
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perancangan Gedung Skysuites Soho Surabaya dengan Base Isolator : High Damping Rubber Bearing (HDRB) dan Peta Gempa Tahun 2017
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	7-01-2019	Preliminary design balok, pelat, dan kolom		
2.	25-02-2019	Pemodelan struktur fixed base		
3.	8-03-2019	Perencanaan tangga dan balok lift		
4.	20-03-2019	Perencanaan dimensi HDRB		
5.	2-05-2019	Pemodelan base isolator Kontrol pemodelan		
6.	16-05-2019	Penulangan balok induk		