

# TUGAS AKHIR FINAL\_ALFIYAH DIAH SALSABILA\_19110026

*by Julia Putri*

---

**Submission date:** 31-Jul-2023 08:18AM (UTC-0700)

**Submission ID:** 2139563454

**File name:** TUGAS\_AKHIR\_FINAL\_ALFIYAH\_DIAH\_SALSABILA\_19110026\_1.pdf (5.05M)

**Word count:** 53661

**Character count:** 255554

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG  
HOTEL "DAME" 10 LANTAI TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)  
DI KOTA PADANG**



ALFIYAH DIAH SALSABILA

19.11.0026

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS WIJAYA KUSUMA SURABAYA  
SURABAYA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST.)  
Di Universitas Wijaya Kusuma Surabaya**

**Oleh:**

**ALFIYAH DIAH SALSABILA  
19110026**

Tanggal Ujian: 13 Juli 2023

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing,

**Dr. Ir. H. Soerjandani PM, MT**

NIK: 94245-ET

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,

Ketua Program Studi Teknik Sipil,

**Johan Paing Heru Waskito, ST., MT.**

NIK: 196903102005011002

**Dr. Ir. Utari Khatulistiani, MT.**

NIK: 93190-ET

**LEMBAR PENGESAHAN REVISI**

Judul Magang Kerja : Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel Dame 10 Lantai  
Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus  
(SRPMK) di Kota Padang

Nama Mahasiswa : Alfiyah Diah Salsabila

NPM : 19110026

Tanggal Ujian: 13 Juli 2023

Disetujui oleh:

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

**Andaryati, ST., MT**

NIK: 197411032005012002

**Danang Setiya Raharja, ST., MT**

NIK: 22866-ET

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing,

**Dr. Ir. H. Soerjandani PM, MT**

NIK: 94245-ET

**PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG HOTEL "DAME"  
10 LANTAI TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
KHUSUS (SRPMK) DI KOTA PADANG**

Nama Mahasiswa : Alfiyah Diah Salsabila  
NPM : 19110026  
Jurusan : Teknik Sipil  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. Soerjandani PM, MT

**Abstrak**

Gedung Hotel DAME 10 lantai di Padang direncanakan pada daerah yang memiliki resiko gempa tinggi dengan kategori desain seismik D, sehingga perlu memperhitungkan beban lateral akibat gempa. Perencanaan struktur gedung hotel didesain menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang mempunyai daktilitas tinggi atau penuh, sehingga dapat memikul gaya oleh beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. Metode ini direncanakan mengacu pada konsep *strong column weak beam* yang sesuai dengan peraturan. Peraturan yang digunakan dalam merencanakan struktur gedung ini yaitu SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019, untuk perhitungan beban mati dan beban hidup menggunakan PPPURG 1987. Setelah analisa dilakukan, didapatkan bahwa nilai simpangan antar lanta terpenuhi dengan tidak melebihi batas simpangan izin ( $\Delta a$  ijin). Sedangkan untuk *detailing* struktur gedung hotel sesuai dengan SNI 2847:2019 telah terpenuhi, serta kontrol kuat geser untuk hubungan balok kolom sesuai dengan SNI 2847:2019 telah terpenuhi. Disimpulkan bahwa struktur gedung yang direncanakan mampu menahan keruntuhan saat gempa terjadi.

**Kata Kunci:** *Hotel Dame, Beton Bertulang, SRPMK, Kota Padang, strong column weak beam*

**REINFORCED CONCRETE STRUCTURE DESIGN OF 10 FLOOR “DAME” HOTEL BUILDING WITH SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM IN PADANG CITY**

**Student name** : Alfiyah Diah Salsabila  
**NPM** : 19110026  
**Major** : Civil Engineering  
**Advisor** : Dr. Ir. H. Soerjandani PM, MT

**Abstract**

The 10-floor DAME Hotel building in Padang is planned in an area that has a high seismic risk with seismic design category D, so it is necessary to take into account the lateral load due to the earthquake. The design of hotel building structure is designed using the Special Moment Resisting Frame System method which has high or full ductility so that it can withstand the forces caused by earthquake loads and is planned to withstand bending. This method is planned to refer to the concept of strong column weak beam by regulations. The regulations used in planning the structure of this building are SNI 2847:2019 and SNI 1726:2019, for the calculation of dead loads and live loads using PPPURG 1987. After the analysis is carried out, it is found that the drift values between floors are fulfilled by not exceeding the permit deviation limits ( $\Delta a$  permission). The details of the hotel building structure that are by SNI 2847:2019 have been fulfilled, as well as strong shear controls so that the beam-column relationships that are by SNI 2847:2019 have been fulfilled. It was concluded that the structure of the planned building is able to withstand collapse when an earthquake occurs.

**Keywords:** Dame Hotel, Reinforced Concrete, SRPMK, Padang City, strong column weak beam

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyusun Tugas Akhir **”Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel Dame 10 Lantai Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di Kota Padang”** ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Dalam prosesnya, Tugas Akhir ini dibuat dengan beberapa bantuan dari berbagai pihak untuk membantu menyelesaikan tantangan dan hambatan selama mengerjakan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dengan penuh hormat penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya dan mendo’akan semoga karunia Tuhan Yang Maha Esa dilimpahkan dan diberikan kepada :

1. Bapak Johan Paing Heru Waskito, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Wijaya Kusuma Surabaya serta dosen wali penulis
2. Ibu Dr.Ir. Utari Khatulistiani, MT. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
3. Bapak Dr. Ir. H. Soerjandani Priantoro Machmoed, MT, selaku dosen pembimbing penulis
4. Orang tua tercinta yang selalu hadir dengan cinta dan do’a dan merupakan kekuatan terbesar bagi penulis untuk terus belajar dan tetap kuat ketika melewati situasi tersulit sekalipun
5. Novita Sari Anggreini dan Dimas Irawan yang senantiasa membantu dan menemani disaat waktu pengerjaan Tugas Akhir
6. Semua teman – teman angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan satu sama lain sejak awal penyusunan proposal hingga Tugas Akhir ini selesai
7. Kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu ada untuk menghibur dikala pusing mengerjakan Tugas Akhir ini
8. Kepada Choi Hyunsuk yang telah memberikan motivasi, menghibur, dan penyemangat secara tidak langsung dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini
9. *Last but not least, I wanna thank me, for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for just being me at all times*

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang mendasar pada Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengundang pembaca untuk memberikan saran serta kritik yang dapat membangun. Kritik konstruktif dari pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan

laporan magang kerja selanjutnya. Penulis juga berharap <sup>14</sup> apa yang telah ditulis disini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2023

**Alfiah Diah Salsabila**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN REVISI.....	ii
Abstrak.....	iii
Abstract.....	iv
<b>1</b> KATA PENGANTAR.....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Identifikasi Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Maksud dan Tujuan</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat</b> .....	4
<b>1.6 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Umum</b> .....	6
<b>2.2 Perencanaan Konstruksi</b> .....	6
<b>2.2.1 Dasar Perencanaan</b> .....	6
<b>2.2.2 Peraturan dan Standar yang Digunakan</b> .....	6
<b>2.3 Beton: Persyaratan Desain (SNI 2847:2019, Pasal 19.2)</b> .....	7
<b>2.3.1 Persyaratan Kekuatan Tekan</b> .....	7
<b>2.3.2 Modulus Elastisitas</b> .....	8
<b>2.4 Analisis Beban Seismik SNI Gempa 1726:2019</b> .....	8
<b>2.4.1 Gempa Rencana</b> .....	8
<b>2.4.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan</b> .....	9
<b>2.4.3 Pembebanan Struktur</b> .....	11
<b>2.4.4 Prosedur Klasifikasi Situs untuk Desain Seismik</b> .....	11
<b>2.4.5 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral</b> .....	12
<b>2.4.6 Parameter Percepatan Spektral Desain</b> .....	13
<b>2.4.7 Respons Spektrum Desain</b> .....	13

2.4.8	Kategori Desain Seismik.....	15
2.4.9	Periode Fundamental Pendekatan .....	15
2.4.10	Distribusi Vertikal Gaya Seismik .....	16
2.4.11	Distribusi Horizontal Gaya Seismik .....	16
2.4.12	Batas Simpangan Antar Lantai .....	17
2.5	Persyaratan untuk Perencanaan Pelat (SNI 2847:2019, pasal 7 – 8).....	17
2.5.1	Pelat Satu Arah .....	17
2.5.2	Pelat Dua Arah .....	19
2.6	Perencanaan Balok.....	21
2.7	Perencanaan Kolom .....	23
2.8	Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	25
2.8.1	Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019, pasal 18.6) ...	25
2.8.2	Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019).....	28
2.8.3	Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019).....	32
2.9	Perencanaan Tiang Pancang .....	35
2.10	Persyaratan Pondasi Dalam (SNI 2847:2019, pasal 13.4) .....	37
<b>BAB III METODOLOGI PERENCANAAN.....</b>		<b>38</b>
3.1	Data Perencanaan.....	38
3.2	Diagram Alir Rencana ( <i>Flowchart</i> ) .....	38
3.3	Penjelasan Diagram Alir.....	39
<b>BAB IV PRELIMINARY DESIGN.....</b>		<b>43</b>
4.1	Umum .....	43
4.2	Perhitungan Dimensi Balok .....	43
4.2.1	Dimensi Balok Induk .....	43
4.2.2	Dimensi Balok Anak .....	44
4.3	Perhitungan Dimensi Pelat .....	45
4.3.1	Dimensi Pelat Atap .....	45
4.3.2	Dimensi Pelat Lantai.....	48
4.4	Dimensi Kolom .....	51
4.4.1	Distribusi Pembebanan Kolom .....	52
4.4.2	Menentukan Dimensi Kolom .....	53
<b>BAB V PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER.....</b>		<b>54</b>
5.1	Umum .....	54
5.2	Perencanaan Pelat .....	54
5.2.1	Perencanaan Pelat Atap .....	54

5.2.2	Perencanaan Pelat Lantai .....	61
5.3	Perencanaan Tangga .....	67
5.3.1	Pembebanan Tangga .....	68
5.3.2	Analisa Statistika Tangga .....	69
5.3.3	Perhitungan Penulangan Pelat Tangga .....	72
5.3.4	Perhitungan Penulangan Pelat Bordes .....	73
5.3.5	Perencanaan Balok Bordes .....	75
5.4	Perencanaan Balok <i>Lift</i> .....	79
5.4.1	Beban Hidup Koefisien Kejut yang Diakibatkan oleh Keran .....	80
5.4.2	Pembebanan Balok Penggantung <i>Lift</i> .....	80
5.4.3	Analisa Statistika Balok <i>Lift</i> .....	81
5.4.4	Perhitungan Penulangan Balok <i>Lift</i> .....	83
5.5	Perencanaan Balok Anak .....	88
5.5.1	Perencanaan Balok Anak Atap .....	88
5.5.2	Perencanaan Balok Anak Lantai .....	96
5.6	Rekapitulasi Struktur Sekunder .....	104
<b>BAB VI</b>	<b>PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER .....</b>	<b>105</b>
6.1	Umum .....	105
6.1.1	Data Perencanaan Struktur Primer .....	105
6.1.2	Pembebanan Struktur .....	106
6.2	Perencanaan Balok Induk .....	115
6.2.1	Syarat Batas Penulangan Balok Induk .....	115
6.2.2	Penulangan Lentur Balok Induk .....	116
6.2.3	Persyaratan Detail Komponen Lentur .....	120
6.2.4	Penulangan Geser Balok Induk .....	122
6.2.5	Syarat Detail Komponen Lentur .....	124
6.2.6	Penulangan Torsi Balok Induk .....	126
6.2.7	Penyaluran dan Sambungan Lewatan Tulangan Balok Induk .....	131
6.2.8	Pemutusan Tulangan Balok Induk .....	132
6.2.9	Rekapitulasi Penulangan Balok Induk .....	133
6.3	Perencanaan Kolom .....	133
6.3.1	Data Perencanaan .....	133
6.3.2	Analisa Gaya Dalam .....	134
6.3.3	Perencanaan Tulangan Longitudinal .....	135
6.3.4	Kuat Maksimal Tekan Rencana pada Kolom .....	139
6.3.5	Cek Persyaratan Kolom SRPMK .....	139

6.3.6	Cek Persyaratan Strong Column Weak Beam	139
6.3.7	Perhitungan Tulangan <i>Confinement</i>	143
6.3.8	Perhitungan Tulangan Geser	145
6.3.9	Perhitungan Sambungan Lewatan	147
6.3.10	Rekapitulasi Penulangan Kolom	148
6.4	Desain Hubungan Balok Kolom	148
6.4.1	Cek Persyaratan Dimensi Kolom	148
6.4.2	Luas Efektif <i>Joint</i>	148
6.4.3	Cek Persyaratan Tulangan Transversal	149
6.4.4	Desain HBK Terkekang 4 Balok	150
6.4.5	Desain HBK Terkekang 3 atau 2 Balok	151
<b>BAB VII PERENCANAAN PONDASI</b>		153
7.1	Umum	153
7.2	Beban Aksial Pondasi	153
7.3	Perencanaan Pondasi Tiang Pancang	154
7.3.1	Spesifikasi Tiang Pancang	155
7.3.2	Daya Dukung 1 Tiang	155
7.3.3	Rencana Kebutuhan Tiang	157
7.3.4	Daya Dukung Tiang Kelompok	159
7.3.5	Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang Pancang	161
7.4	Perencanaan <i>Pile Cap</i>	163
7.4.1	Perhitungan Penulangan <i>Pile Cap</i> 1	163
7.4.2	Perhitungan Penulangan <i>Pile Cap</i> 2	168
7.4.3	Perhitungan Penulangan <i>Pile Cap</i> 3	173
7.4.4	Rekapitulasi Penulangan <i>Pile Cap</i>	178
7.5	Perencanaan <i>Sloof</i>	178
7.5.1	Data Perencanaan	178
7.5.2	Analisa Gaya Dalam	179
7.5.3	Tulangan Longitudinal	179
7.5.4	Perhitungan Tulangan Geser	181
7.5.5	Rekapitulasi Penulangan <i>Sloof</i>	181
<b>BAB VIII KESIMPULAN</b>		182
8.1	Kesimpulan	182
8.2	Saran	182
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		184

<b>LAMPIRAN</b> .....	185
-----------------------	-----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Peta Geologi Padang dan Sekitarnya (Sumber: Andiani, 2011) .....	1
<b>Gambar 1. 2</b> Peta Persebaran Gempa Bumi di Indonesia (Sumber: SNI 1726-2019) .....	3
<b>Gambar 2. 1</b> Peta Gerak Tanah Seismik Indonesia 2019 .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Respons Spektrum Desain .....	14
<b>Gambar 2. 3</b> Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (Wide Beam) dan Persyaratan Tulangan Transversal (Sumber: SNI 2847:2019) .....	26
<b>Gambar 2. 4</b> Contoh Sengkang Tertutup (Hoop) yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal (Sumber: SNI 2847:2019) .....	27
<b>Gambar 2. 5</b> Contoh Penulangan Transversal pada Kolom .....	30
<b>Gambar 2. 6</b> Contoh Penulangan Transversal pada Kolom dengan $P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$ .....	30
<b>Gambar 2. 7</b> Luas Joint Efektif .....	35
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir (Flowchart) .....	39
<b>Gambar 4. 1</b> Perencanaan Pelat Atap .....	45
<b>Gambar 4. 2</b> Penampang Balok Induk Plat Atap .....	46
<b>Gambar 4. 3</b> Perencanaan Pelat Lantai .....	48
<b>Gambar 4. 4</b> Penampang Balok Induk Plat Lantai .....	49
<b>Gambar 4. 5</b> Perhitungan Pembebanan pada Kolom .....	51
<b>Gambar 5. 1</b> Denah Pelat Atap .....	54
<b>Gambar 5. 2</b> Pelat Atap .....	55
<b>Gambar 5. 3</b> Sket Tipe Pelat Atap .....	56
<b>Gambar 5. 4</b> Denah Pelat Lantai .....	61
<b>Gambar 5. 5</b> Pelat Lantai .....	61
<b>Gambar 5. 6</b> Sket Tipe Pelat Lantai .....	62
<b>Gambar 5. 7</b> Perencanaan Tangga .....	67
<b>Gambar 5. 8</b> Input Beban Mati pada Tangga .....	69
<b>Gambar 5. 9</b> Input Beban Hidup pada Tangga .....	70
<b>Gambar 5. 10</b> Gaya Momen pada Tangga .....	70
<b>Gambar 5. 11</b> Gaya Geser pada Tangga .....	70
<b>Gambar 5. 12</b> Gaya Dalam Bordes .....	71

<b>Gambar 5. 13</b> Gaya Dalam Tangga Miring .....	71
<b>Gambar 5. 14</b> Input Beban Mati Balok Lift .....	81
<b>Gambar 5. 15</b> Input Beban Hidup Balok Lift.....	81
<b>Gambar 5. 16</b> Gaya Momen pada Balok Lift.....	81
<b>Gambar 5. 17</b> Gaya Geser pada Balok Lift.....	82
<b>Gambar 5. 18</b> Momen Tumpuan pada Balok Lift.....	82
<b>Gambar 5. 19</b> Momen Lapangan pada Balok Lift .....	83
<b>Gambar 6. 1</b> Respon Spektrum Kota Padang.....	109
<b>Gambar 6. 2</b> Bentuk 3D Gedung Hotel Dame .....	113
<b>Gambar 6. 3</b> Penulangan Balok Induk .....	116
<b>Gambar 6. 4</b> Diagram Geser (Bergoyang ke Kanan) .....	123
<b>Gambar 6. 5</b> Diagram Geser (Bergoyang ke Kiri) .....	123
<b>Gambar 6. 6</b> Pemutusan Tulangan Balok .....	132
<b>Gambar 6. 7</b> Kolom yang Ditinjau.....	133
<b>Gambar 6. 8</b> Diagram Geser dan Momen Sumbu Y .....	134
<b>Gambar 6. 9</b> Diagram Aksial dan Torsi .....	134
<b>Gambar 6. 10</b> Diagram Geser dan Momen Sumbu X .....	135
<b>Gambar 6. 11</b> Nomogram Faktor Kekakuan Kolom.....	137
<b>Gambar 6. 12</b> Konfigurasi Penulangan .....	138
<b>Gambar 6. 13</b> Diagram Interaksi Arah X .....	138
<b>Gambar 6. 14</b> Diagram Interaksi Arah Y .....	138
<b>Gambar 6. 15</b> Gaya Aksial pada Lantai Atas Kolom.....	140
<b>Gambar 6. 16</b> Gaya Aksial pada Lantai Bawah Kolom.....	140
<b>Gambar 6. 17</b> Diagram Interaksi Arah X.....	140
<b>Gambar 6. 18</b> Lebar Efektif Balok T .....	142
<b>Gambar 6. 19</b> Pemasangan Tulangan Kolom .....	147
<b>Gambar 6. 20</b> Hubungan Balok Kolom yang Ditinjau .....	148
<b>Gambar 6. 21</b> Luas Joint Efektif .....	149
<b>Gambar 6. 22</b> HBK Terkekang 4 Balok.....	150
<b>Gambar 6. 23</b> HBK Terkekang 3 atau 2 Balok .....	152
<b>Gambar 7. 2</b> Konfigurasi Pondasi 9 Tiang.....	162
<b>Gambar 7. 3</b> Pile Cap 1 .....	163
<b>Gambar 7. 4</b> Statika Pile Cap 1 .....	165

<b>Gambar 7. 5</b> Pile Cap 2 .....	168
<b>Gambar 7. 6</b> Statika Pile Cap 2 .....	170
<b>Gambar 7. 7</b> Pile Cap 3 .....	173
<b>Gambar 7. 8</b> Statika Pile Cap 3 .....	175
<b>Gambar 7. 9</b> Denah Sloof.....	178
<b>Gambar 7. 10</b> Konfigurasi Penulangan Sloof .....	180
<b>Gambar 7. 11</b> Diagram Interaksi.....	180



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batasan Nilai $f_c'$ .....	7
Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa .....	9
Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa .....	10
Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs .....	11
Tabel 2. 5 Koefisien Situs, $F_a$ .....	12
Tabel 2. 6 Koefisien Situs $F_v$ .....	13
Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek .....	15
Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik .....	15
Tabel 2. 9 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	16
Tabel 2. 10 Simpangan Izin Antar Lantai .....	17
Tabel 2. 11 Ketebalan Minimum Peat Solid Satu Arah Nonprategang .....	18
Tabel 2. 12 $A_s, min$ untuk Pelat Satu Arah Nonprategang .....	18
Tabel 2. 13 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior .....	20
Tabel 2. 14 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya .....	20
Tabel 2. 15 $A_s, min$ untuk Pelat Dua Arah Nonprategang .....	21
Tabel 2. 16 Tinggi Minimum Balok Nonprategang .....	21
Tabel 2. 17 Kasus Dimana $A_v, min$ tidak diperlukan jika $0,5\phi V_c > V_c > \phi V_c$ .....	22
Tabel 2. 18 Spasi Maksimum Tulangan Geser .....	23
Tabel 2. 19 Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser .....	25
Tabel 2. 20 Tulangan Transversal untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	31
Tabel 2. 21 Kekuatan Geser Nominal Joint $V_n$ .....	33
Tabel 5. 1 Perhitungan Momen Pelat Atap .....	57
Tabel 5. 2 Perhitungan Momen Pelat Lantai .....	63
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Gaya Dalam dari Balok Anak Atap .....	93
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Gaya Dalam dari Balok Anak Atap .....	101
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Penulangan Struktur Sekunder .....	104
Tabel 6. 1 Rekapitulasi Perhitungan Pembebanan Gravitasi .....	107
Tabel 6. 2 Rekapitulasi Data Tanah Kota Padang .....	108

<b>Tabel 6.3</b> Perhitungan Beban Gempa Tiap Lantai .....	111
<b>Tabel 6.4</b> Kombinasi Pembebanan .....	111
<b>Tabel 6.5</b> Nilai Simpangan Tiap Lantai .....	113
<b>Tabel 6.6</b> Tabel T-Rayleigh dalam Sumbu X .....	114
<b>Tabel 6.7</b> Tabel T-Rayleigh dalam Sumbu Y .....	114
<b>Tabel 6.8</b> Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Induk .....	116
<b>Tabel 6.9</b> Rekapitulasi Penulangan Balok Induk .....	133
<b>Tabel 6.10</b> Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom .....	135
<b>Tabel 6.11</b> Beban dan Momen Terfaktor dengan Kapasitas yang Sesuai .....	141
<b>Tabel 6.12</b> Rekapitulasi Penulangan Kolom .....	148
<b>Tabel 7.1</b> Nilai Beban Aksial (P) .....	154
<b>Tabel 7.2</b> Rencana Jumlah Tiang .....	157
<b>Tabel 7.3</b> Kontrol Efisiensi untuk Daya Dukung Tanah .....	160
<b>Tabel 7.4</b> Hasil Kontrol 1 Tiang Pancang pada 1 Kelompok Tiang .....	162
<b>Tabel 7.5</b> Rekapitulasi Hasil Penulangan Pile Cap .....	178
<b>Tabel 7.6</b> Rekapitulasi Penulangan Sloof .....	181

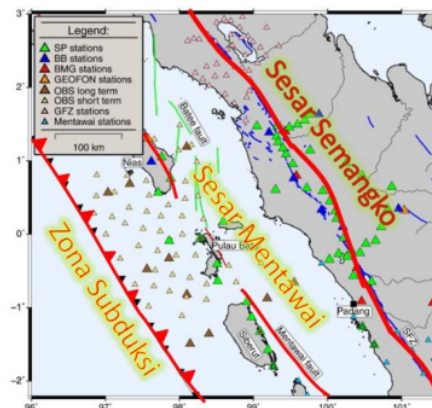
## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Kota Padang melalui Bandara Internasional Minangkabau (BIM) merupakan pintu masuk utama wisata mancanegara (Cahaya, 2022). Pada data tahun 2021, wisatawan mancanegara yang datang ke Sumatera Barat melalui Bandara Internasional Minangkabau (BIM) mengalami penurunan yang awalnya 21.660 orang pada tahun 2020 menjadi 1.538 orang pada tahun 2021. Hal ini dikarenakan efek dari pandemi yang mengharuskan akses keluar masuk bandara dibatasi. Namun, tingkat penghuni kamar hotel berbintang di Sumatera Barat pada tahun 2021 mencapai rata – rata 42,04% mengalami kenaikan dibandingkan dengan tahun 2020 yang mencapai rata – rata 34% (Badan Pusat Statistik, 2022). Dari meningkatnya jumlah tingkat penghuni kamar tersebut kebutuhan untuk jasa penginapan juga akan mengalami peningkatan, sehingga diperlukan pembenahan dan peningkatan terhadap berbagai kajian pembangunan hotel – hotel baru di kota Padang. Maka dari itu, penyusun merencanakan pembangunan gedung Hotel Dame 10 lantai di kota Padang untuk meningkatkan pembangunan hotel baru di kota Padang yang sesuai dengan syarat pembangunan.

Kota Padang merupakan daerah rawan gempa. Hal ini dipengaruhi adanya pertemuan dua lempeng benua besar (lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia) dan patahan (sesar) Semangko serta pada pertemuan lempeng terdapat patahan (sesar) Mentawai pada Provinsi Sumatera Barat (Andiani, 2011).

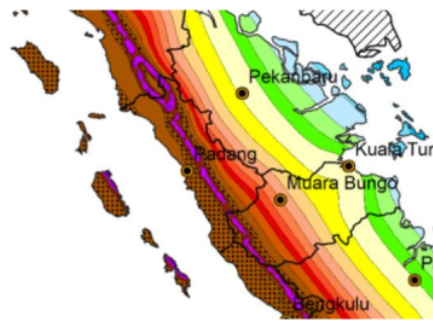


**Gambar 1. 1** Peta Geologi Padang dan Sekitarnya (Sumber: Andiani, 2011)

Konsep terpenting dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi adalah bangunan yang memiliki struktur tahan gempa yang dapat melindungi penghuni di dalamnya. Hal ini disebabkan karena Indonesia yang berada pada wilayah gempa dengan intensitas moderat tinggi. Maka bangunan – bangunan di kota Padang terutama bangunan infrastruktur dan bangunan penting lainnya dituntut memiliki perencanaan dan pengawasan pembangunan yang sesuai dengan syarat – syarat bangunan tahan gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).

Indonesia memiliki 3 (tiga) macam sistem struktur yang direncanakan cocok untuk menahan beban gempa desain, seperti Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk perencanaan bangunan di daerah gempa rendah hingga menengah. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk perencanaan bangunan di daerah gempa sedang. Terakhir yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang digunakan untuk perencanaan bangunan di daerah dengan intensitas gempa tinggi.

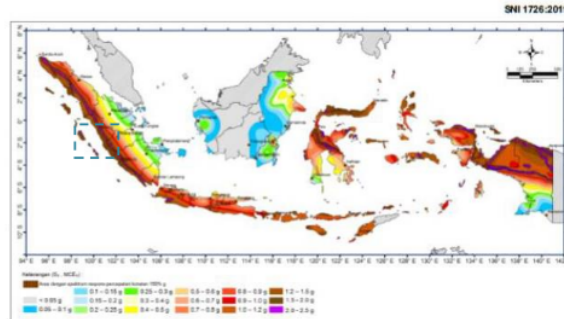
Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada kompone strukturalnya. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya akan tetapi komponen strukturalnya tidak oleh mengalami kerusakan. Apabila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun strukturalnya akan tetapi penghuni bangunan masi dapat menyelamatkan diri. (Napolea dalam Abdul, 2020)



**Gambar 1. 2** Peta Gempa Lokasi Kota Padang

Letak geografis daerah kota Padang berada pada wilayah gempa intensitas gempa kuat dengan parameter gerak tanah ( $S_g$ ) 1,2 – 1,5 g berwarna coklat tua yang dapat dilihat pada peta persebaran wilayah gempa di Indonesia seperti pada **Gambar 1.2**. SRPMK merupakan desain struktur beton bertulang dengan *detailing* yang didesain agar mempunyai daktilitas tinggi atau penuh. Daktilitas merupakan kemampuan struktur mengalami simpangan pasca

elastik berulang kali dalam skala besar, dengan demikian struktur tersebut akan mengalami deformasi akan tetapi tetap mampu mempertahankan kekuatannya agar struktur tersebut tetap mampu untuk berdiri tidak akan runtuh meski diguncang oleh skala gempa magnitudo tinggi. Sehingga jumlah korban jiwa dan kerugian materi karena gempa dapat diminimalisir, dengan demikian struktur bangunan akan lebih kuat daripada sistem rangka lainnya (Mahendrayu, 2019).



**Gambar 1.3** Peta Persebaran Gempa Bumi di Indonesia (Sumber: SNI 1726-2019)

Perencanaan gedung hotel ini direncanakan dengan konsep *strong coloumn weak beam* yaitu kemampuan kolom harus lebih besar 20% dari balok, agar kolom tidak mengalami kondisi leleh terlebih dahulu sebelum balok. Diharapkan dengan permodelan struktur ini dapat menghasilkan struktur bangunan yang stabil (kokoh tidak goyah) seklaipun ada beberapa komponen mengalami kerusakan akibat gempa.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Struktur gedung hotel yang direncanakan ini akan dibangun di daerah dengan intensitas gempa tinggi, maka permasalahan yang akan diidentifikasi yaitu menganalisa perhitungan dan pendetailan peraturan yang berlaku yaitu SNI 2847-2019 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1726-2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, serta merencanakan dimensi setiap komponen struktur menggunakan beton bertulang menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sehingga dapat gedung dapat menahan beban gempa lateral dan beban gravitasi.

14

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang perencanaan gedung Hotel Dame 10 lantai dengan struktur beton bertulang di kota Padang, maka permasalahan yang ditinjau adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil analisa dari perencanaan gedung menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)? Apakah simpangan horizontal setiap lantai telah memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa sesuai dengan SNI 1726-2019?
2. Bagaimana pendetailan struktur beton bertulang pada gedung Hotel Dame dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang sesuai dengan persyaratan SNI 2847-2019?
3. Bagaimana merencanakan gedung struktur beton bertulang tahan gempa dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk memperoleh berapa dimensi komponen struktur yang diperlukan tiap komponen struktur, sehingga struktur mampu menahan gaya gempa lateral dan beban gravitasi?

### 1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan tugas akhir ini adalah merencanakan gedung dengan struktur beton bertulang di kota Padang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu:

1. Menghasilkan nilai simpangan horisontal (*drift*) pada perencanaan sesuai metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
2. Menghasilkan analisa perhitungan struktur gedung beton bertulang serta desain suatu bangunan tahan gempa di daerah dengan intensitas gempa tinggi menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
3. Menghasilkan dimensi struktur pada elemen kolom, balok, dan sambungan yang mampu menahan gaya gempa tinggi.

### 1.5 Manfaat

Perencana diharapkan mampu merencanakan serta menganalisa struktur, sehingga didapatkan dimensi dari setiap elemen struktur gedung yang mampu menahan gaya lateral gempa yang terjadi. Sehingga dapat menambah wawasan serta memberi referensi dalam merencanakan struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

## 1.6 Batasan Masalah

Pembahasan perencanaan struktur gedung Hotel Dame ini dibatasi pada :

1. Merencanakan struktur atas dan struktur bawah.
2. Tidak melihat analisis rencana anggaran biaya, sistem utilitas bangunan, desain saluran air bersih dan kotor, instalasi sistem kelistrikan, sentuhan akhir, arsitektur, manajemen konstruksi, dan implentasi lapangan.

## 1 BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Merencanakan struktur bangunan bertingkat tahan gempa di zona gempa dengan gempa bumi intensitas tinggi yang sering terjadi mengharuskan memastikan bahwa struktur bangunan dapat menahan gempa dan tidak mudah runtuh, dengan itu memberikan waktu yang cukup bagi penghuni bangunan untuk menyelamatkan diri. Oleh karena itu, saat merencanakan suatu bangunan perlu mempertimbangkan beban gempa yang terjadi.

Untuk merencanakan struktur bangunan bertingkat memerlukan suatu sistem yang sesuai agar bisa digunakan lebih maksimal. Salah satu sistem untuk merencanakan struktur bangunan bertingkat tahan gempa yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus merupakan sistem rangka dalam yang dimana komponen – komponen struktur dan join – join tersebut mampu menahan gaya – gaya dalam dan lentur yang bekerja pada struktur, oleh karena itu perhitungan SRPMK ini menggunakan konsep *Strong Column Weak Beam*. (Tiasmoro, 2021)

### 2.2 Perencanaan Konstruksi

#### 2.2.1 Dasar Perencanaan

Sebagai dasar perencanaan gedung ini adalah segi keamanan yang paling utama, baik terhadap beban tetap maupun sementara. Digunakannya Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan konsep *Strong Column Weak Beam* agar kolom tidak mengalami kondisi leleh terlebih dahulu sebelum balok, dengan permodelan struktur ini dapat menghasilkan struktur bangunan yang stabil sekalipun ada beberapa komponen mengalami kerusakan akibat gempa.

#### 1 2.2.2 Peraturan dan Standar yang Digunakan

Pedoman dari perencanaan gedung ini menggunakan beberapa peraturan, yaitu:

1. SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
2. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.



### 2.3 Beton: Persyaratan Desain (SNI 2847:2019, Pasal 19.2)

Beton merupakan campuran dari material semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Beton terdiri dari  $\pm 15\%$  semen,  $\pm 8\%$  air,  $\pm 3\%$  udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda – beda tergantung pada cara pembuatannya, perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat – sifat beton (Wuryati dalam Brawijaya, 2022).

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja yang bekerja secara bersama – sama untuk memikul beban yang ada. Pada beton bertulang, unsur beton mempunyai kekuatan tekan yang besar tetapi lemah untuk menerima tegangan tarik, sehingga tulangan baja yang ditanam dalam beton menjadi unsur kekuatan yang memikul tegangan tarik. Peranan tulangan baja dalam menahan tarik sangat berguna karena baja mempunyai tegangan tarik dan regangan tarik yang sangat tinggi serta bersifat duktail. (Agus Setiawan dalam Ali, 2018).

#### 2.3.1 Persyaratan Kekuatan Tekan

Nilai dari  $f'_c$  harus sesuai dengan persyaratan:

1. Batasan nilai
2. Persyaratan durabilitas
3. Persyaratan kekuatan struktur

Tabel 2.1 Batasan Nilai  $f'_c$

Kegunaan	Jenis Beton	Nilai $f'_c$ Minimum (MPa)	Nilai $f'_c$ Maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35

(Sumber: SNI 2837:2019 Pasal 19.2.1)

53

### 2.3.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , diizinkan untuk dihitung berdasarkan:

1. Untuk beton normal

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots\text{(Pers. 2.1)}$$

Dimana:

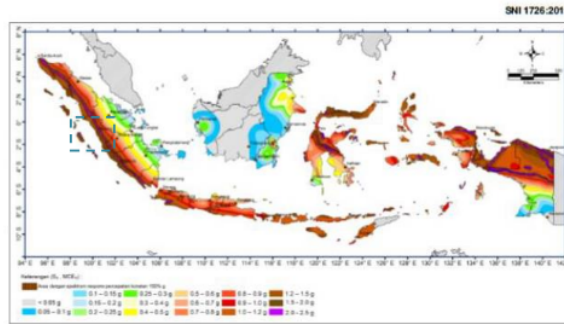
$$E_c = \text{Modulus Elastisitas Beton (MPa)}$$

$$f'_c = \text{Kuat Tekan Beton (MPa)}$$

## 2.4 Analisis Beban Seismik SNI Gempa 1726:2019

### 2.4.1 Gempa Rencana

Pengaruh gempa rencana harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Untuk menerapkannya perlu adanya melihat peta – peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum.



Gambar 15 – Parameter gerak tanah  $S_5$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0.2-detik (redaman krBts 5%)

Gambar 2.1 Peta Gerak Tanah Seismik Indonesia 2019

Pada gambar 2.1 menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) parameter – parameter gerak tanah  $S_5$  dan  $S_1$ .  $S_5$  merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-tertarget pada periode pendek, teredam 5%, sedangkan  $S_1$  merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-tertarget pada periode 1 detik, teredam 5%.

#### 2.4.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan gempa merupakan tingkatan keutamaan dan keamanan bangunan dalam menerima beban gempa. Faktor keutamaan gempa ditentukan dengan kategori risiko suatu bangunan, yaitu kategori I, II, III, dan IV. Kategori risiko merupakan prioritas fungsi bangunan dalam menghadapi risiko gempa. Kategori risiko ditentukan berdasarkan manfaat bangunan dalam kehidupan sehari – hari.

**Tabel 2. 2** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia apabila saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkab dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari – hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III

<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan – bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV
<p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

(Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa,  $I_e$ .

**Tabel 2.3** Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

### 2.4.3 Pembebanan Struktur

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen – elemen pondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor dengan kombinasi – kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban – beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan.

- a.  $1,4D$
- b.  $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- c.  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- d.  $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- e.  $0,9D + 1,0W$

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi – kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

- f.  $1,2D + E_v + E_h + L$
- g.  $0,9D - E_v + E_h$

### 2.4.4 Prosedur Klasifikasi Situs untuk Desain Seismik

Klasifikasi situs bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor – faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

**Tabel 2. 4** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
<b>SA</b> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<b>SB</b> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<b>SC</b> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
<b>SD</b> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<b>SE</b> (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		

	a. Indeks plastisitas, $PI > 20$ b. Kadar air, $w \geq 40\%$ c. Kuat geser niralir, $\bar{S}_u < 25$ kPa
<b>SF</b> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah bersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> </ul>

17  
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 5.3)

13  
**2.4.5 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral**

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 2,0 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor implifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor implifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.3)}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.4)}$$

Dimana:

23  
 $S_s$  = parameter respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek

$S_1$  = parameter respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik

**Tabel 2.5** Koefisien Situs,  $F_a$

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

CATATAN:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.2)

**Tabel 2. 6** Koefisien Situs  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS <sup>(a)</sup>					

CATATAN:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.2)

**2.4.6 Parameter Percepatan Spektral Desain**

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.5)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.6)}$$

**2.4.7 Respons Spektrum Desain**

Bila respons spektrum desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.7)}$$

- 9
- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.8})$$

- d. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.9})$$

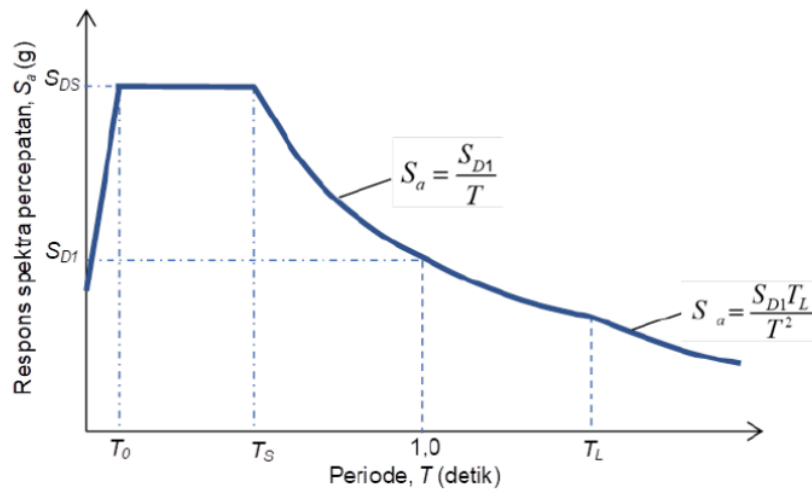
Dimana:

- 28
- $S_{DS}$  = parameter respons spektrum percepatan desain pada periode pendek
- $S_{D1}$  = parameter respons spektrum percepatan desain pada periode 1 detik
- $T$  = parameter getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.10})$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.11})$$

$T_L$  = peta transisi periode panjang



**Gambar 2.2** Respons Spektrum Desain



<sup>17</sup>  
**2.4.8 Kategori Desain Seismik**

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektrum percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risikop IV yang berlokasi di mana parameter respons spektrum percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

<sup>45</sup>  
 Apabila  $S_1$ , lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai tabel.

<sup>1</sup>  
**Tabel 2. 7** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

**Tabel 2. 8** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

<sup>2</sup>  
**2.4.9 Periode Fundamental Pendekatan**

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.12)}$$

Dimana:

$h_n$  = ketinggian struktur (m)

$C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel 2.9.

**Tabel 2.9** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $\alpha$

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

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.8.2.1)

**2.4.10 Distribusi Vertikal Gaya Seismik**

Gaya seismik lateral,  $F_x$ , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx}V \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.13})$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.14})$$

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 periode struktur dengan nilai:

Untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$

Untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$

Untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 atau 2

**2.4.11 Distribusi Horizontal Gaya Seismik**

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat,  $V_x$  (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.15})$$

Dimana:

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke-i (kN)

#### 2.4.12 Batas Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan izin antar lantai ( $\Delta_\delta$ ) seperti didapatkan dari tabel untuk semua tingkat.

Tabel 2. 10 Simpangan Izin Antar Lantai

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai	0,025 $h_{sx}$	0,02 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_{sx}$	0,01 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.12.1)

Defleksi pusat massa tingkat x ( $\delta_x$ ) (mm) ditentukan sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots \text{(Pers. 2.16)}$$

Dimana:

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi struktur

$I_e$  = faktor keutamaan gedung

### 2.5 Persyaratan untuk Perencanaan Pelat (SNI 2847:2019, pasal 7 – 8)

#### 2.5.1 Pelat Satu Arah

##### 1. Batasan Desain

- Ketebalan minimum  
Ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum.

**Tabel 2. 11** Ketebalan Minimum Peat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

- Batasan lendutan  
Untuk pelat nonprategang  $\epsilon_t$  sekurang – kurangnya 0,0004

**2. Kekuatan Perlu**

- Momen terfaktor  
Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan,  $M_u$  di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.

- Geser terfaktor  
Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan,  $V_u$  di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan. Penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis yang terletak sejauh  $d$  dari permukaan tumpuan untuk pelat nonprategng atau  $h/2$  dari muka tumpuan.

**3. Kekuatan Desain**

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipaka, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi:

- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$

**4. Batasan Tulangan**

**Tabel 2. 12**  $A_{s,min}$  untuk Pelat Satu Arah Nonprategang

Tipe Tulangan	$f_y$ (MPa)	$A_{s,min}$
Batang ulir	$< 420$	$0,0020A_g$
Batang ulir atau kawat las	$\geq 420$	Terbesar dari:
		$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
		$0,0014A_g$

(Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 7.6.1.1)

Luas minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$ , harus disediakan pada semua penampang dimana:

$$V_u > \phi V_c$$

### 5. Detail Penulangan

- Spasi maksimum  $s$  untuk tulangan ulir harus kurang dari  $3h$  dan  $450$  mm.
- Tulangan tarik lentur tidak boleh diputus di daerah tarik kecuali:
  - $V_u \leq \frac{2}{3} \phi V_n$  pada titik putus
  - Untuk tulangan **D36** atau yang lebih kecil, luas tulangan yang diteruskan dua kali lipat dari luas yang dibutuhkan untuk lentur pada titik putus dan  $V_u \leq \frac{3}{4} \phi V_n$
  - Luas sengkang berlebih yang diperlukan untuk geser disediakan di sepanjang pemutusan tulangan atau kawat sejarak  $\frac{3}{4}d$  dari titik pemutusan tulangan.

### 6. Pemutusan Tulangan

Pada tumpuan sederhana dan titik balik,  $d_b$  untuk tulangan tarik momen positif harus dibatasi sedemikian rupa sehingga  $l_d$  dapat memenuhi:

- $l_d \leq \left(1, 3M_n/V_u + l_a\right)$  .....(Pers. 2.17)  
jika ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan
- $l_d \leq \left(M_n/V_u + l_a\right)$  .....(Pers. 2.18)  
jika ujung tulangan tidak dikekang oleh reaksi tekan

## 2.5.2 Pelat Dua Arah

### 1. Batasan Desain

- Ketebalan minimum pelat  
Untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan  $h$  tidak boleh kurang dari batasan **Tabel 2.13**.

**Tabel 2. 13** Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

$f_y$ (MPa)	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

(Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 8.3.1.1)

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan  $h$  harus memenuhi batasan pada tabel 2.14.

**Tabel 2. 14** Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya

$\alpha_{fm}$	h minimum, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	2.13 berlaku	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$
		125
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

(Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 8.3.1.1)

- Batas Lentutan

Untuk pelat nonprategang  $\epsilon_t$  sekurang – kurangnya 0,0004

## 2. Kekuatan Desain

Untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus mencakup:

- $\phi M_n \geq M_u$  di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah

- $\phi M_n \geq \gamma_f M_u$  dalam  $b_{pelat}$
- $\phi V_n \geq V_u$  di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah
- $\phi v_n \geq v_u$  pada penampang kritis untuk geser dua arah

### 3. Batasan Tulangan

Tabel 2. 15  $A_{s,min}$  untuk Pelat Dua Arah Nonprategang

Type Tulangan	$f_y$ (MPa)	$A_{s,min}$	
Batang ulir	< 420	$0,0020A_g$	
Batang ulir atau kawat las	$\geq 420$	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014A_g$

### 4. Pendetailan Tulangan

Untuk pelat solid nonprategang, spasi maksimum s tulangan ulir longitudinal harus yang terkecil dari  $2h$  dan 450 mm pada penampang kritis, dan yang terkecil dari  $3h$  dan 450 mm pada penampang lainnya.

## 2.6 Perencanaan Balok

### 1. Batas Desain

- Tinggi balok minimum
- Untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat  $h$  tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 Pasal 9.3.1.1)

Untuk  $f_y$  lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.16 harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisar antara 1440 hingga 1840  $kg/cm^3$ , persamaan pada Tabel 2.16 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:

- $1,65 - 0,0003w_c$
- $1,09$

Untuk balok nonprategang dengan  $P_u < 0,10f'_cA_g$ ,  $\epsilon_t$  sekurang-kurangnya 0,004.

## 2. Kekuatan Rencana

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$  meliputi keempat persyaratan di bawah. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

- $\phi P_n \geq P_u$
- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$
- $\phi T_n \geq T_u$

## 3. Batasan Tulangan

$A_{s,min}$  harus lebih besar dari:

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Luas minimum tulangan geser  $A_{v,min}$  harus disediakan pada semua penampang dimana,  $V_u > 0,5\phi V_c$  kecuali untuk kasus  $A_{v,min}$  tidak diperlukan jika  $0,5\phi V_c > V_c > \phi V_c$ . Untuk kasus ini, sekurang – kurangnya  $A_{v,min}$  harus dipasang dimana  $V_u > \phi V_c$ .

**Tabel 2. 17** Kasus Dimana  $A_{v,min}$  tidak diperlukan jika  $0,5\phi V_c > V_c > \phi V_c$

Tipe Balok	Kondisi
Balok tipis	$h \leq 250 \text{ mm}$
Menyatu dengan pelat	$h \leq$ terbesar dari $2,5t_f$ atau $0,5b_w$



	dan $h \leq 600 \text{ mm}$
Dibangun dengan beton bobot normal bertulang serat baja sesuai dengan $f'_c \leq 40 \text{ MPa}$	$h \leq 600 \text{ mm}$ dan $V_u \leq \phi 0,17\sqrt{f'_c}b_wd$
Sistem pelat berusuk satu – arah	Sesuai dengan pasal 9.8

(Sumber: SNI 2847:2019, pasal 9.6.3.1)

#### 4. Pendetailan Penulangan

- Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 2.18.

**Tabel 2. 18** Spasi Maksimum Tulangan Geser

$V_s$	Spasi maksimum, s, mm		
		Kolom non prategang	Kolom prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.7.6.2.2 Pasal 9.7.6.2.2)

- Tulangan torsi longitudinal harus diteruskan sekurang-kurangnya  $(b_t + d)$  melewati titik yang disyaratkan oleh analisis.
- Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi  $p_h/8$  dan 300 mm.
- Spasi tulangan transversal harus tidak melebihi sekurang-kurangnya ketiga persyaratan berikut:
  - $16d_b$  tulangan longitudinal
  - $48d_b$  tulangan transversal
  - Dimensi terkecil balok

## 2.7 Perencanaan Kolom

### 1. Batasan Dimensi

Untuk kolom dicor secara monolitik dengan dinding beton, batas luar penampang kolom efektif tidak boleh diambil lebih besar dari 40 mm di luar tulangan transversal.

## 2. Kekuatan desain

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$ , meliputi:

- $\phi P_n \geq P_u$
- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$
- $\phi T_n \geq T_u$

## 3. Batasan Tulangan

- Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata  $f_{pe} < 1,6 MPa$ , luas tulangan longitudinal harus sekurang – kurangnya  $0,01A_g$ , namun tidak boleh melebihi  $0,08A_g$ .
- Luas minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$  harus disediakan di semua wilayah dimana  $V_u > 0,5\phi V_c$
- Bila tulangan geser diperlukan  $A_{v,min}$  harus lebih besar dari:  
$$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$
$$0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

## 4. Pendetailan Tulangan

- Tulangan longitudinal  
Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata  $f_{pe} < 1,6 MPa$ , jumlah minimum tulangan longitudinal:
  - Tiga dalam sengkang ikat segitig
  - Empat dalam sengkang ikat segi empat atau lingkaran
  - Enam dalam sengkang spiral atau untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus dalam sengkang spiral melingkar

## 5. Geser

Jika diperlukan, tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengekang, atau sengkang spiral. Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai tabel.

**Tabel 2. 19** Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser

$V_s$	Spasi maksimum, $s$ , mm		
		Kolom non prategang	Kolom prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber: SNI 2847, tabel 10.7.6.5.2)

## 2.8 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

### 2.8.1 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019, pasal 18.6)

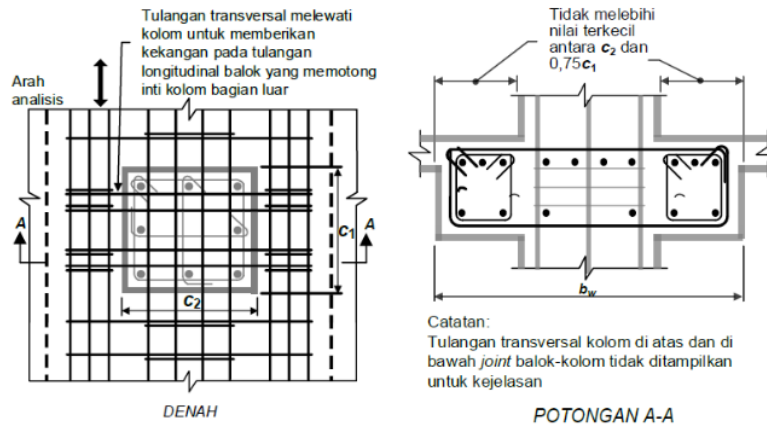
#### 1. Ruang Lingkup

Pasal ini berlaku untuk balok rangka momen khusus yang menahan beban lateral yang diinduksi oleh pergerakan gempa. Setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi  $(A_g f'_c / 10)$  akibat setiap kombinasi beban harus diproposionalkan dan didetailkan seperti yang dijelaskan dalam pasal 18.7. Standar ditulis berdasarkan asumsi bahwa sistem rangka pemikul momen khusus terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh *joint* balok-kolom. Diperkenankan balok dan kolom dipasang miring selama sistem yang dihasilkan berperilaku sebagai rangka, yaitu tahanan lateral disediakan terutama oleh transfer momen di antara balok dan kolom daripada aksi *strut* atau bresing. Pada sistem rangka pemikul momen khusus, diizinkan untuk mendesain balok untuk menahan kombinasi gaya momen dan aksial yang terjadi pada balok yang bekerja keduanya sebagai kantilever di luar kolom, tetapi kantilever seperti itu bukan bagian dari sistem rangka pemikul momen khusus yang membentuk sistem pemikul gaya seismik.

#### 2. Batasan Dimensi

Balok harus memenuhi:

- Bentang bersih,  $l_n$ , harus minimal  $4d$ .
- Lebar penampang  $b_w$ , harus sekurangnya nilai terkecil dari  $0,3h$  dan 250 mm.
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $c_2$  dan  $0,75c_1$  pada masing – masing sisi kolom.



**Gambar 2.3** Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (Wide Beam) dan Persyaratan Tulangan Transversal (Sumber: SNI 2847:2019)

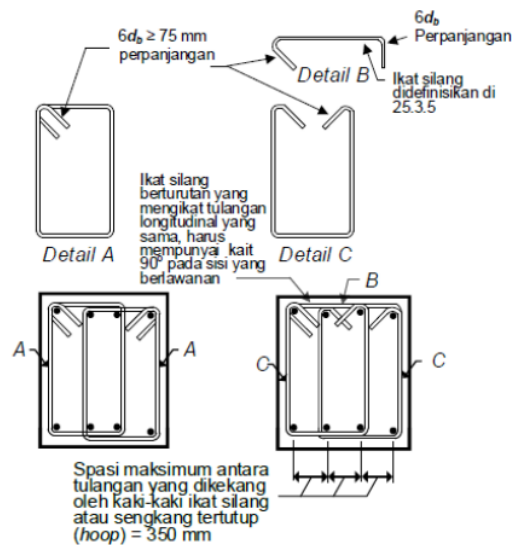
### 3. Tulangan Longitudinal

- a. Batasan rasio tulangan 0,025 didasarkan terutama pada pertimbangan kerapatan tulangan dan secara langsung membatasi tegangan geser balok dengan proporsi tipikal.
- b. Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika sengkang pengeang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $d/4$  dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi:
  - Dalam joint.
  - Dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka joint.
  - Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

### 4. Tulangan Transversal

- a. Sengkang pengeang harus dipasang pada balok daerah berikut:
  - Sepanjang jarak yang sama dengan dua kalitinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok.

- Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.
- b. Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm.
- c. Sengkang pengegang pada balok diizinkan terdiri dari dua batang tulangan, yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang – seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur.
- d. Sengkang pengegang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengegang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:
  - $d/4$
  - Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama.
  - 150 mm.



**Gambar 2. 4** Contoh Sengkang Tertutup (Hoop) yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

(Sumber: SNI 2847:2019)

- e. Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.

## 5. Kekuatan Geser

- a. Gaya desain – gaya geser desain  $V_e$  harus dihitung dari tinjauan gaya – gaya pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Momen – momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , harus diasumsikan bekerja pada muka – muka *joint* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.
- b. Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi harus didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan  $V_e = 0$  bilamana kedua terpenuhi:
- Gaya geser akibat beban gempa yang dihitung sesuai point a mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
  - Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$ .

### 2.8.2 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019)

#### 1. Ruang Lingkup

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

#### 2. Batasan Dimensi

Kolom – kolom harus memenuhi:

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

#### 3. Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1, 2) \Sigma M_{nb} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.19)}$$

$\Sigma M_{nc}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom – kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka – muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya – gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\Sigma M_{nb}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka – muka *joint*. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam kondisi tarik akibat momen – momen di muka *joint*, tulangan pelat dalam lebar efektif harus diasumsikan berkontribusi terhadap  $M_{nb}$  jika tulangan pelat tersebut terangkut dengan baik pada penampang kritisnya.

Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen – momen kolom berlawanan dengan momen – momen balok. Persamaan 2.1 harus dipenuhi untuk momen – momen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertikal rangka yang ditinjau.

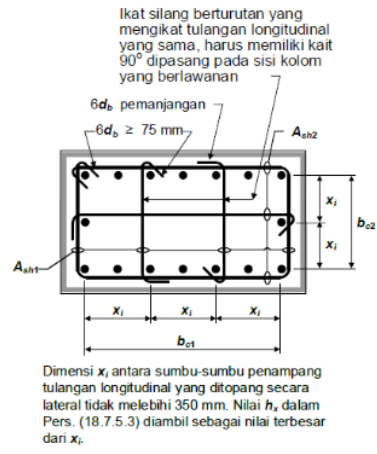
#### 4. Tulangan Longitudinal

- a. Luas tulangan longitudinal  $A_{st}$  tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  dan tidak lebih dari  $0,06A_g$ .
- b. Pada kolom – kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

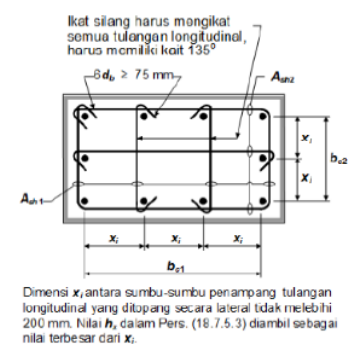
#### 5. Tulangan Transversal

- a. Tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_0$  dari masing – masing muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar:
  - Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi.
  - Seperenam tinggi bersih kolom.
  - 450 mm.
- b. Tulangan transversal harus sesuai dengan:
  - Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
  - Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.

- Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekok diizinkan sesuai batasan. Ikat silang yang berurutan harus diselang – selang ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- Jika digunakan sengkang pengekok persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal.
- Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan – tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki – kaki sengkang pengekok tidak boleh melebihi 350 mm.
- Ketika  $P_u > 0,3A_g f'_c$  atau  $f'_c > 70 \text{ MPa}$  pada kolom dengan sengkang pengekok, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekok ataupun oleh kait gempa, nilai  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $P_u$  harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk **E**.



**Gambar 2.5** Contoh Penulangan Transversal pada Kolom



**Gambar 2.6** Contoh Penulangan Transversal pada Kolom dengan  $P_u > 0,3A_g f'_c$  atau  $f'_c > 70 \text{ MPa}$



- c. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari:
- Seperempat dimensi terkecil penampang kolom.
  - Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
  - $S_0$ , yang dihitung dengan:
 
$$S_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.20)}$$
 Nilai  $S_0$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.
- d. Faktor kekuatan beton  $k_f$  dan faktor keefektifan pengeangan  $k_n$  dihitung berdasarkan
- $k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.21)}$
  - $k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.22)}$
- Dimana  $n_l$  adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengeang atau kait seismik.

**Tabel 2.20** Tulangan Transversal untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang Berlaku
$A_{sh}/s_{bc}$ Untuk sengkang pengeang persegi	$P_u > 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b), dan (c)
$\rho_s$ Untuk spiral ataupun sengkang pengeang lingkaran	$P_u > 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e), dan (f)

(Sumber: SNI 2847:2019, Tabel 18.7.5.4)

- e. Jika tebal selimut beton di luar tulangan tranversal pengeang yang ditetapkan dan melebihi 100 mm, maka harus disediakan tulangan transversal tambahan dengan tebal selimut beton tidak melebihi 100 mm dan spasi tidak melebihi 300 mm.

## 6. Kekuatan Geser

- a. Gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya – gaya maksimum yang dapat terjadi di muka – muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya – gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor,  $P_u$ , yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan  $M_{pr}$  balok yang merangka ke *joint*. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.
- b. Tulangan transversal sepanjang  $l_0$  harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_e = 0$  bila terjadi:
  - Gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang  $l_0$ .
  - Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$ .

### 2.8.3 *Joint* Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019)

#### 1. Ruang Lingkup

Pasal ini berlaku untuk *joint* balok-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

#### 2. Umum

- a. Gaya – gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .
- b. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
- c. Tinggi *joint*  $h$  tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok – balok yang merangka pada *joint* sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

### 3. Tulangan Transversal

- a. Bila pada keempat sisi *joint* terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pasal 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang diisyaratkan pasal 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok  $h$  yang terendah yang merangka pada *joint* tersebut.
- b. Tulangan longitudinal balok yang berada di luar inti kolom harus dikekang oleh tulangan transversal yang menembus kolom dengan spasi sesuai pasal 18.6.4.4, dan persyaratan pasal 18.6.4.2 dan 18.6.4.3, jika pengekangan tersebut tidak diberikan oleh balok yang merangka ke dalam *joint*.
- c. Bila tulangan momen negatif balok menggunakan tulangan berkepala (*headed deformed bar*) yang berhenti di dalam *joint*, maka ujung atas kolom harus diteruskan di atas *joint* setidaknya setinggi  $h$ . sebagai alternatif, tulangan balok harus dikekang pada muka atas *joint* oleh tulangan *joint* vertikal tambahan.

### 4. Kekuatan Geser

- a. Kekuatan geser  $V_n$  *joint* harus sesuai:

Tabel 2. 21 Kekuatan Geser Nominal Joint  $V_n$

Konfigurasi <i>Joint</i>	$V_n$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok – balok pada keempat sisinya. <sup>[1]</sup>	$1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ <sup>[2]</sup>
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok – balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan. <sup>[1]</sup>	$1,2\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ <sup>[2]</sup>
Untuk kasus – kasus lainnya.	$1,0\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ <sup>[2]</sup>

CATATAN:

<sup>[1]</sup>Mengacu pada pasal 18.8.4.2

<sup>[2]</sup> $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Nilai  $A_j$  berdasarkan pasal 18.8.4.3

(Sumber: SNI 2847:2019, Tabel 18.8.4.1)

- b. Pada tabel 2.2, suatu muka *joint* dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif *joint*.

- c. Luas penampang efektif dalam suatu *joint*,  $A_j$ , harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom,  $h$ . lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil:
- Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
  - Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

## 5. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

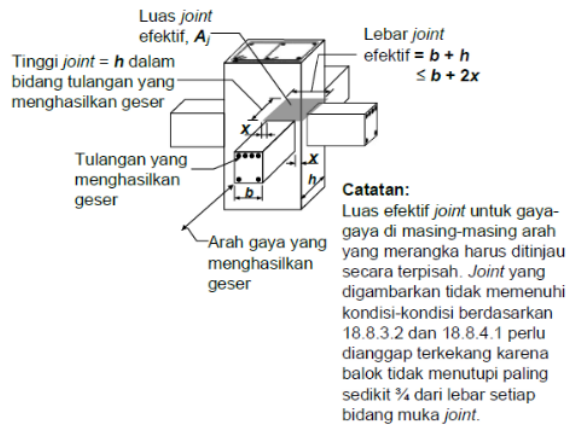
- a. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran  $l_{dh}$  harus dihitung berdasarkan persamaan 2.3. Untuk beton normal,  $l_{dh}$  yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara  $8d_b$  dan 150 mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara  $10d_b$  dan 190 mm.

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'_c}} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.23)}$$

Nilai  $\lambda$  adalah 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal.

Kait standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam *joint*.

- b. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik  $l_d$  untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar:
- 2,5 kali panjang sesuai pasal 18.8.5.1 bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm.
  - 3,25 kali panjang sesuai pasal 18.8.5.1 bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.
- c. Tulangan lurus yang berhenti pada *joint* harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian  $l_d$  yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.



Gambar 2. 7 Luas Joint Efektif

## 2.9 Perencanaan Tiang Pancang

Perencanaan tiang pancang dan poer harus mampu menahan struktur atas gedung. Daya dukung vertikal dihitung berdasarkan kombinasi tahanan gesekan dan tahanan ujung. Perumusan daya dukung ultimate untuk pondasi:

$$Q_{sp} = \frac{1}{FK} (f_b A_b + U \sum_{i=1}^n l_i f_{si}) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.24)}$$

Dimana:

$Q_{sp}$  = daya dukung vertikal yang diijinkan

$FK$  = faktor keamanan (1-3)

$f_b$  = tahanan ujung tiang ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

$A_b$  = luas penampang ujung tiang ( $\text{m}^3$ )

$U$  = keliling tiang (m)

$l_i$  = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)

$f_{si}$  = intensitas tahanan geser gempa ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

Langkah – langkah perhitungan daya dukung tiang pancang menurut hasil uji sondir sebagai berikut:

### 1. Panjang ekuivalen dari tahanan kerucut

Harga konus pada jarak 8D ke atas dari ujung konus

Harga konus pada jarak 4D ke bawah dari ujung konus

Konus rata – rata ujung  $C_n \text{ rata-rata ujung} = \frac{C_{.8D} + C_{.4D}}{2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.25)}$

2. Daya dukung ijin tiang pancang

Daya dukung ijin tiang tunggal berdasarkan data sondir (Meyerhof, 1956)

$$P_{tiang} = C_n \text{ rata-rata ujung} \times \frac{A}{n_1} + JHP \times \frac{k}{n_2}$$

Keterangan :

$P_{tiang}$  = daya dukung ijin tiang tunggal (kg)

$C_n \text{ rata-rata ujung}$  = tekanan jonus rata – rata ( $\frac{kg}{cm^2}$ )

$A$  = luas permukaan ujung tiang ( $cm^2$ )

$JHP$  = gesekan pada selimut tiang ( $\frac{kg}{cm}$ )

$K$  = keliling tiang pancang (cm)

$n_1$  = faktor keamanan (a. tetap: 3, b. sementara: 5)

$n_2$  = faktor keamanan (a. tetap: 5, b. sementara: 7)

3. Merencanakan tiang pancang kelompok

Menghitung jarak tiang berdasarkan dari Dirjen Bina Marga Departemen PU:

$$1,5D \leq S \leq 3,5D \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.26)}$$

Jarak tepi tiang pancang

$$D \leq S1 \leq 1,5 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.27)}$$

4. Kontrol kebutuhan tiang pancang

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{ijin}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.28)}$$

p tiang yang diizinkan:

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y_{maks}}{\Sigma y^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.29)}$$

$$P_{maks} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x y_{maks}}{\Sigma y^2} < P_{ijin} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.30)}$$

$$P_{min} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x y_{maks}}{\Sigma y^2} > 0 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.31)}$$

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre:

$$Q_{tiang} = \eta \times P_{ijin} \times P_{maks} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.32)}$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \left( \text{arc} \theta \left( \frac{D}{S} \right) \left( \frac{m(n-1) + n(m-1)}{m \times n \times 90} \right) \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.33)}$$

5. Cek kekuatan

$$P_{maks} < (P_{ijin} \times \eta) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.34)}$$

## 2.10 Persyaratan Pondasi Dalam (SNI 2847:2019, pasal 13.4)

### 2.10.1 Umum

Jumlah susunan tiang, tiang bor, maupun *caisson* harus ditentukan dari gaya dan momen tak terfaktor yang ditransmisikan ke komponen tiang izin berdasarkan prinsip – prinsip mekanikan tanah dan batuan.

### 2.10.2 Pile Cap

- a. Ketebalan total *pile cap* harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm.
- b. *Pile cap* harus didesain sedemikian rupa sehingga memenuhi:
  - $\phi V_n \geq V_u$  untuk pondasi satu arah
  - $\phi v_n \geq v_u$ , untuk pondasi dua arah
- c. Bila *pile cap* didesain sesuai dengan pemodelan *strut-and-tie*, kuat tekan beton efektif dari strut,  $f_{ce}$ , harus dihitung sesuai pasal 23.4.3, dimana  $\beta_s = 0,60\lambda$
- d. Kuat geser yang terjadi disumbangkan oleh beton dan diambil nilai terkecil dari:
  - $V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$  .....(Persamaan 2.37)
  - $V_c = 0,083 \left(\frac{A_{sd}}{b_0} + 2\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$  .....(Persamaan 2.38)
  - $V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$  .....(Persamaan 2.39)

## BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

### 3.1 Data Perencanaan

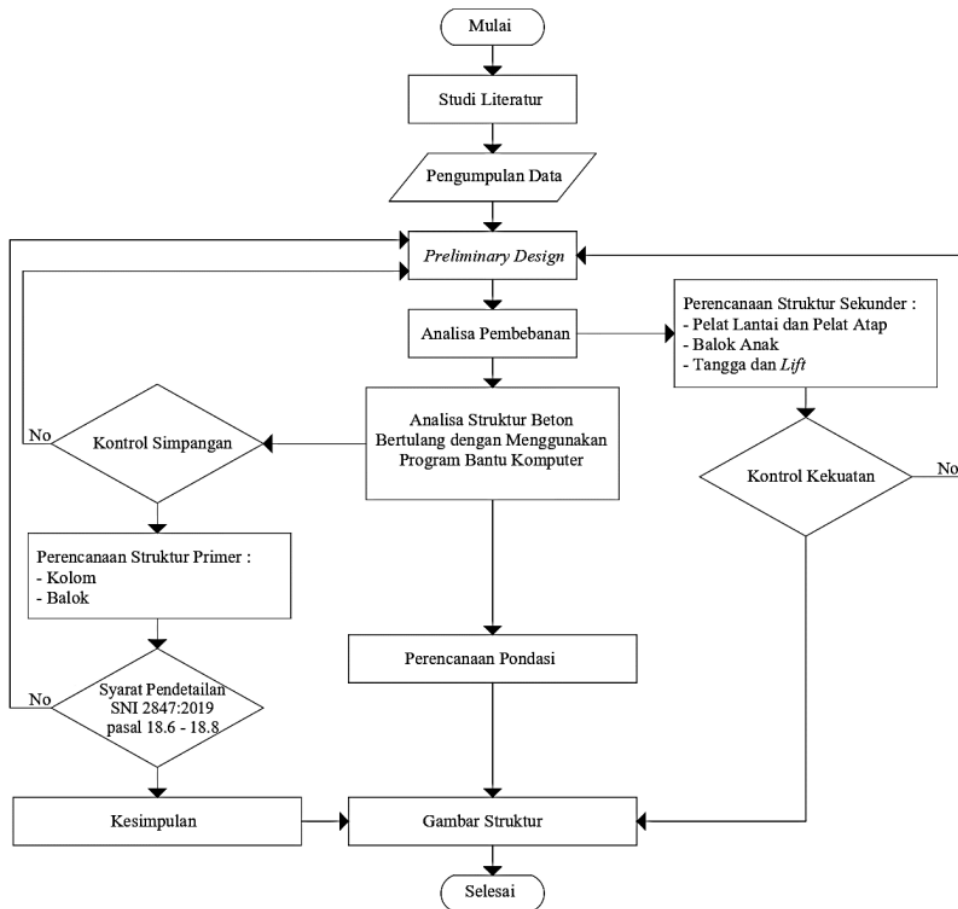
Berikut merupakan data gedung yang digunakan untuk perencanaan struktur gedung beton bertulang:

1. Nama gedung : Hotel Dame
2. Fungsi gedung : Hotel
3. Lokasi : Padang, Sumatera Barat
4. Tinggi gedung : 40 meter
5. Elevasi antar lantai : 4,00 meter
6. Jumlah lantai : 10 lantai dan atap
7. Lebar bangunan : 42 meter
8. Panjang bangunan : 49 meter
9. Struktur bangunan : Beton bertulang
10. Struktur pondasi : Pondasi tiang pancang beton

### 3.2 Diagram Alir Rencana (*Flowchart*)

Langkah – langkah yang diperlukan untuk menyelesaikan perencanaan struktur gedung Hotel “Dame” ini ditunjukkan dalam diagram alir rencana (*flowchart*) yaitu hubungan antara setiap tahapan. Proses penyelesaian perencanaan struktur gedung Hotel “Dame” digambarkan dalam *flowchart* mulai dari tahap awal hingga tahap akhir. Dengan adanya *flowchart* tersebut diharapkan dapat mempermudah penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.





**Gambar 3.1** Diagram Alir (Flowchart)

### 3.3 Penjelasan Diagram Alir

#### 1. Studi Literatur

Untuk merencanakan struktur beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Khusus (SRPMK), diperlukan studi literatur yang berupa: peraturan, buku pustaka, dan penelitian terdahulu.

##### a. Peraturan yang berkaitan

- 1) Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2019)
- 2) Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)

- 3) Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020)
- 4) Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2019)

## 2. Pengumpulan Data

Untuk mempersiapkan perencanaan struktur gedung Hotel “Dame” ini, diperlukan pengumpulan data sebagai berikut:

- Gambar perencanaan meliputi denah lantai gedung, tampak gedung, dan potongan gedung
- Data tanah lokasi perencanaan

## 3. Preliminary Design

Tahap awal perencanaan gedung adalah *preliminary design*, yang berfungsi untuk memperkirakan dimensi yang dibutuhkan untuk perencanaan struktur primer maupun struktur sekunder agar dimensi yang telah direncanakan dapat memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Preliminary design* pada proposal ini digunakan untuk menentukan dimensi perkiraan struktur primer seperti kolom dan balok induk, serta struktur sekunder seperti pelat atap, pelat lantai, lift, tangga, dan balok anak.

## 4. Pembebanan

Pembebanan merupakan proses perhitungan beban gravitasi suatu bangunan yang meliputi beban mati (D), beban hidup (L), beban angin (W), dan beban air hujan (R atau A) yang direncanakan berdasarkan peraturan PPIUG 1983, serta merencanakan beban gempa (E) yang mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 tentang Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Kombinasi pembebanan dilakukan untuk mendapatkan beban terbesar dari kombinasi beban – beban tersebut. Struktur bangunan gedung dirancang menggunakan kombinasi pembebanan untuk kuat perlu. Hal ini bertujuan guna mendesain komponen bangunan mengacu pada SNI 1726:2019

- $1,4D$
- $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
- $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,0E + 1,0L$

f.  $0,9D + 1,0W$

g.  $0,9D + 1,0E$

## 5. Perencanaan Struktur Sekunder

Berikut merupakan perencanaan struktur sekunder yang perlu untuk direncanakan, antara lain:

- a. Pelat atap dan pelat lantai
- b. Balok anak
- c. Balok *lift*
- d. Tangga

## 6. Kontrol Kekuatan

Kontrol kekuatan bertujuan untuk mengetahui apakah struktur gedung mampu menahan beban yang diterima, dimana momen yang dikeluarkan harus lebih besar daripada momen ultimate,  $M_n > M_u$ .

## 7. Perencanaan Struktur Keseluruhan

Prosedur perhitungan mekanika/analisis struktur untuk portal dilakukan secara 3 dimensi (3D) dengan bantuan program bantu komputer. Untuk analisis beban gempa menggunakan analisis dinamik struktur dengan Metode Analisis Ragam Spektrum Respon. Pendekatan yang digunakan akan menghasilkan berupa gaya – gaya dalam dan simpangan antar lantai yang terjadi.

## 8. Kontrol Simpangan

Dari hasil analisa gaya – gaya dalam yang didapat dari analisa struktur menggunakan program bantu komputer, akan diketahui nilai simpangan horizontal (*drift*) yang terjadi tidak boleh melebihi dari simpangan izin yang telah ditentukan ( $\Delta_s < \Delta$ ) yang mengacu pada SNI 1726:2019. Apabila kontrol simpangan horizontal tidak memenuhi persyaratan, maka kembali pada proses *preliminary design* dengan menentukan dimensi setiap elemen struktur yang lebih tepat sehingga dapat memenuhi persyaratan kontrol simpangan horizontal.

## 9. Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer merupakan komponen utama dari perencanaan struktur gedung yang memiliki pengaruh paling besar terhadap suatu bangunan yang fungsinya guna menahan pembebanan. Pemodelan struktur primer mengacu pada peraturan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

#### **10. Perencanaan Sambungan**

Untuk menyalurkan gaya dalam antara komponen struktur yang terhubung seperti gaya momen, gaya geser, dan gaya aksial, sambungan seperti sambungan balok-balok atau sambungan balok-kolom digunakan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat. Sambungan ini dibuat sesuai dengan perilaku komponen struktur yang direncanakan dengan mengacu pada SNI 2847:2019.

#### **11. Perencanaan Pondasi**

Pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang beton. Fungsi pondasi pada suatu bangunan adalah untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang dalam guna mencapai kedalaman tertentu sehingga didapatkan daya dukung tanah terhadap beban struktur bangunan. Perencanaan pondasi didapat dari analisa reaksi perletakan hasil program bantu komputer dengan perhitungan pondasi mengacu pada 2847:2019.

#### **12. Gambar Perencanaan**

Agar lebih memahami perhitungan perencanaan dan memiliki gambaran rencana saat ini berdasarkan analisis, hasil perhitungan perencanaan struktur bangunan hotel akan disajikan dalam bentuk gambar rencana dengan menggunakan program bantu komputer.

## BAB IV

### PRELIMINARY DESIGN

#### 4.1 Umum

*Preliminary design* digunakan untuk memperkirakan dimensi – dimensi struktur awal yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan dengan bantuan program bantu komputer untuk memperoleh dimensi yang efisien dan kuat. Dimensi – dimensi yang akan dilakukan *preliminary design* antara lain balok, pelat, dan kolom. Adapun data bahan sebagai pertimbangan perhitungan *preliminary design*, yaitu:

- Fungsi gedung : Hotel
- Tinggi gedung : 40 meter
- Terdiri dari : 10 lantai + atap
- Luas bangunan : 46 m x 42 m
- Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa

#### 4.2 Perhitungan Dimensi Balok

Sebagai penopang vertikal, balok berfungsi sebagai komponen struktural yang membawa beban dari pelat lantai ke kolom. Sesuai dengan perencanaannya, gedung hotel ini direncanakan pada daerah dengan intensitas gempa tinggi maka dari itu sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.2 balok harus memenuhi:

- a. Bentang bersih,  $l_n$ , harus minimal  $4d$ .
- b. Lebar penampang  $b_w$ , harus sekurang-kurangnya nilai terkecil dari  $0,3h$  dan 250 mm.
- c. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $c_2$  dan  $0,75c_1$  pada masing – masing sisi kolom.

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang:

1. Balok induk dianggap tertumpu sederhana sehingga menggunakan  $h = \frac{l}{16}$
2. Balok anak dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan  $h = \frac{l}{21}$

##### 4.2.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk dengan bentang  $l_n = 700 \text{ cm}$  dan  $f_y = 390 \text{ MPa}$  adalah

- **Balok Induk B1**

Balok induk dengan bentang 7 meter

$$h = \frac{l}{16} = \frac{700}{16} = 43,75 \text{ cm} \text{ maka dipakai } h = 60 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(60) = 18 \text{ cm} \text{ maka dipakai } b = 50 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok induk B1 yang digunakan adalah **50/60 cm**

- **Balok Induk B2**

Balok induk dengan bentang 4 meter

$$h = \frac{l}{16} = \frac{400}{16} = 25 \text{ cm} \text{ maka dipakai } h = 60 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(60) = 18 \text{ cm} \text{ maka dipakai } b = 50 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok induk B2 yang digunakan adalah **50/60 cm**

#### 4.2.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak akan direncanakan dengan bentang terpanjang  $l_n = 700 \text{ cm}$  dan  $f_y = 390 \text{ MPa}$  adalah

- **Balok Anak Lantai**

- Balok anak lantai dengan bentang 7 meter

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm} \text{ maka dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(40) = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } b = 45 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok anak lantai dengan bentang 7 meter yang digunakan adalah **45/50 cm**

- Balok anak lantai dengan bentang 4 meter

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm} \text{ maka dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(40) = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } b = 45 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok anak lantai dengan bentang 4 meter yang digunakan adalah **45/50 cm**

- **Balok Anak Atap**

- Balok anak atap dengan bentang 7 meter

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm} \text{ maka dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(40) = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } b = 35 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok anak atap dengan bentang 7 meter yang digunakan adalah **35/50 cm**

- Balok anak atap dengan bentang 4 meter

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm} \text{ maka dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(40) = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } b = 45 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok anak atap dengan bentang 4 meter yang digunakan adalah **35/50 cm**

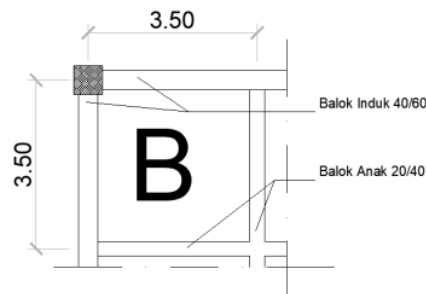
#### 4.3 Perhitungan Dimensi Pelat

Perencanaan pelat direncanakan berdasarkan SNI 2847-2019. Perencanaan dimensi pelat direncanakan sebagai berikut:

- Tebal pelat atap : 10 cm
- Tebal pelat lantai : 12 cm

##### 4.3.1 Dimensi Pelat Atap

Pelat direncanakan hanya menahan beban lentur. Berdasarkan SNI 2847-2019 pada tiap balok yang mengelilingi pelat, direncanakan sebagai balok – T mengikuti pasal 9.2.4 serta dalam memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum dari pelat harus memenuhi pasal 8.3.1, yaitu tebal pelat dikontrol dengan menghitung koefisien  $\alpha_{fm}$ . Perencanaan tebal pelat atap bentang terlebar seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Perencanaan Pelat Atap

Bentang melintang ( $L_y$ ) = 350 cm

Bentang memanjang ( $L_x$ ) = 350 cm

Bentang bersih sumbu Y

$$L_{yn} = L_y - \left( \frac{\text{lebar BI memanjang}}{2} \right) - \left( \frac{\text{lebar BA memanjang}}{2} \right)$$

$$L_{yn} = 350 - \left( \frac{50}{2} \right) - \left( \frac{35}{2} \right)$$

$$L_{yn} = 307,5 \text{ cm}$$

Bentang bersih sumbu X

$$L_{xn} = L_x - \left( \frac{\text{lebar BI melintang}}{2} \right) - \left( \frac{\text{lebar BA melintang}}{2} \right)$$

$$L_{xn} = 350 - \left(\frac{50}{2}\right) - \left(\frac{35}{2}\right)$$

$$L_{xn} = 307,5 \text{ cm}$$

Mencari nilai  $\beta = \frac{L_{yn}}{L_{xn}} = \frac{307,5}{307,5} = 1 \leq 2$  maka masuk klasifikasi pelat dua arah.

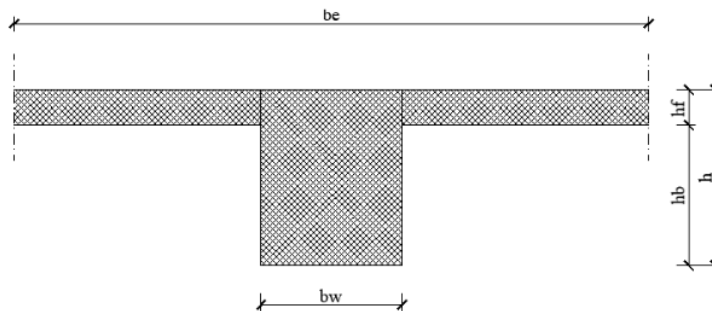
Tebal pelat atap karena tidak boleh kurang dari 125 mm jika  $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$  dan tidak boleh kurang dari 90 mm jika nilai  $\alpha_{fm} \geq 2$ , maka rencana tebal pelat atap yaitu  $h = 10 \text{ cm}$ .

- Mencari nilai  $\alpha_{fm}$  dengan balok induk 50 x 60 cm

Pada konstruksi balok monolit, suatu balok mencakup juga bagian pelat pada tiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat, sehingga menentukan lebar efektif balok ( $b_e$ ) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.2.4 yaitu:

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

Berikut merupakan konstruksi balok – T interior yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penampang Balok Induk Plat Atap

Dimana :

$b_e$  = lebar efektif, harga minimum (cm)

$b_w$  = lebar balok (cm)

$h_f$  = tebal rencana pelat (cm)

$h_b$  = tinggi bersih balok (cm)

$h$  = tinggi balok (cm)

- Menentukan lebar efektif balok ( $b_e$ )

Dalam menentukan lebar efektif flens balok induk 50 x 60 cm, digunakan rumus sebagai berikut:

$$b_e = b_w + 2h_b = 50 + 2(50) = 150 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 50 + 8(10) = 130 \text{ cm}$$



Diambil nilai  $b_e$  terkecil = 130 cm

- Faktor modifikasi k

Untuk momen inersia penampang bersayap dinyatakan sebagai momen inersia penampang segi empat yang dikalikan dengan faktor modifikasi k, yaitu:

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

(LinBurns, 1996)

Sehingga momen inersia penampang:

$$I_b = \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \times k$$

Sehingga momen inersia penampang pelat:

$$I_s = \frac{1}{12} \times h \times h_f^3$$

Maka, perhitungan faktor modifikasi k, yaitu:

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{130 - 1}{50 - 1}\right) \left(\frac{10}{60}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{10}{60}\right) + 4 \left(\frac{10}{60}\right)^2 + \left(\frac{130 - 1}{50 - 1}\right) \left(\frac{10}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{130 - 1}{50 - 1}\right) \left(\frac{10}{60}\right)}$$

$$k = 1,45$$

Momen inersia balok penampang T:

$$I_b = \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \times k$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 50 \times 60^3 \times 1,45$$

$$I_b = 1305000 \text{ cm}^4 = 1305000000 \text{ mm}^4$$

Momen inersia penampang pelat:

$$I_s = \frac{1}{12} \times L \times h_f^3$$

$$I_s = \frac{1}{12} \times 350 \times 10^3$$

$$I_s = 29166,67 \text{ cm}^4 = 291666666,7 \text{ mm}^4$$

Mutu beton yang digunakan  $f'_c = 35 \text{ MPa}$

- Modulus elastisitas beton

$$E_{cb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,58 \text{ MPa}$$

Sehingga rasio kekakuan terhadap pelat adalah

$$\alpha_{fm} = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cs} \times I_s} = \frac{27805,58 \times 1305000000}{27805,58 \times 291666666,7} = 4,47 > 2$$

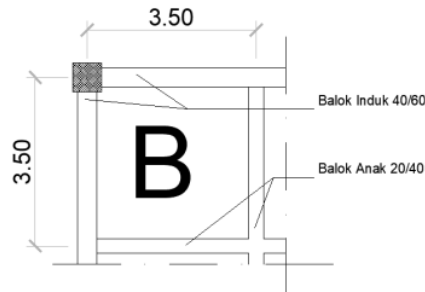
Karena  $\alpha_{fm} > 2$ , maka untuk menentukan ketebalan pelat digunakan persamaan seperti pada SNI 2847-2019 pasal 8.3.1 tabel 8.3.1.2.d dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{320 \left( 0,8 + \frac{390}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1} = 7,67 \text{ cm} < 9 \text{ cm}$$

Karena tebal minimum  $< 90 \text{ mm}$ , maka tebal pelat yang dipakai adalah tebal pelat atap yang direncanakan  $h_{min} = 100 \text{ mm} > h_{min} = 76,7 \text{ mm}$  (OK).

#### 4.3.2 Dimensi Pelat Lantai

Perencanaan tebal pelat lantai bentang terlebar seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perencanaan Pelat Lantai

$$\text{Bentang melintang (Ly)} = 350 \text{ cm}$$

$$\text{Bentang memanjang (Lx)} = 350 \text{ cm}$$

Bentang bersih sumbu Y

$$L_{yn} = L_y - \left( \frac{\text{lebar BI memanjang}}{2} \right) - \left( \frac{\text{lebar BA memanjang}}{2} \right)$$

$$L_{yn} = 350 - \left( \frac{50}{2} \right) - \left( \frac{45}{2} \right)$$

$$L_{yn} = 302,5 \text{ cm}$$

Bentang bersih sumbu X

$$L_{xn} = L_x - \left( \frac{\text{lebar BI melintang}}{2} \right) - \left( \frac{\text{lebar BA melintang}}{2} \right)$$

$$L_{xn} = 350 - \left( \frac{50}{2} \right) - \left( \frac{45}{2} \right)$$

$$L_{xn} = 302,5 \text{ cm}$$

Mencari nilai  $\beta = \frac{L_{yn}}{L_{xn}} = \frac{302,5}{302,5} = 1 \leq 2$  maka masuk klasifikasi pelat dua arah.

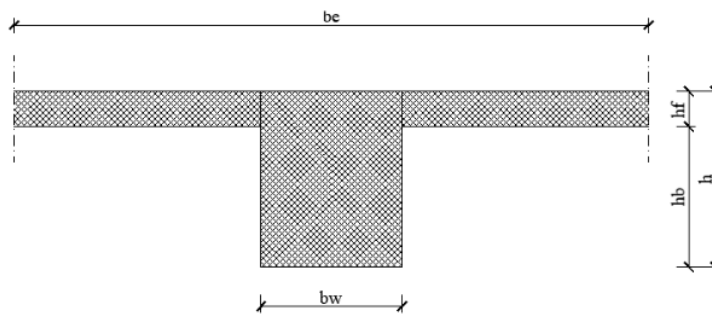
Tebal pelat lantai karena tidak boleh kurang dari 125 mm jika  $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$  dan tidak boleh kurang dari 90 mm jika nilai  $\alpha_{fm} \geq 2$ , maka rencana tebal pelat atap yaitu  $h = 12$  cm.

- Mencari nilai  $\alpha_{fm}$  dengan balok induk 50 x 60 cm

Pada konstruksi balok monolit, suatu balok mencakup juga bagian pelat pada tiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat, sehingga menentukan lebar efektif balok ( $b_e$ ) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.2.4 yaitu:

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

Berikut merupakan konstruksi balok – T interior yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Penampang Balok Induk Plat Lantai

Dimana :

$b_e$  = lebar efektif, harga minimum (cm)

$b_w$  = lebar balok (cm)

$h_f$  = tebal rencana pelat (cm)

$h_b$  = tinggi bersih balok (cm)

$h$  = tinggi balok (cm)

- Menentukan lebar efektif balok ( $b_e$ )

Dalam menentukan lebar efektif flens balok induk 50 x 60 cm, digunakan rumus sebagai berikut:

$$b_e = b_w + 2h_b = 50 + 2(50) = 150 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 50 + 8(10) = 130 \text{ cm}$$

Diambil nilai  $b_e$  terkecil = 130 cm

- Faktor modifikasi k

Untuk momen inersia penampang bersayap dinyatakan sebagai momen inersia penampang segi empat yang dikalikan dengan faktor modifikasi k, yaitu:

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

(LinBurns, 1996)

Sehingga momen inersia penampang:

$$I_b = \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \times k$$

Sehingga momen inersia penampang pelat:

$$I_s = \frac{1}{12} \times h \times h_f^3$$

Maka, perhitungan faktor modifikasi k, yaitu:

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{130}{50} - 1\right) \left(\frac{10}{60}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{10}{60}\right) + 4 \left(\frac{10}{60}\right)^2 + \left(\frac{130}{50} - 1\right) \left(\frac{10}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{130}{50} - 1\right) \left(\frac{10}{60}\right)}$$

$$k = 1,45$$

Momen inersia balok penampang T:

$$I_b = \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \times k$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 50 \times 60^3 \times 1,45$$

$$I_b = 1305000 \text{ cm}^4 = 1305000000 \text{ mm}^4$$

Momen inersia penampang pelat:

$$I_s = \frac{1}{12} \times L \times h_f^3$$

$$I_s = \frac{1}{12} \times 350 \times 10^3$$

$$I_s = 29166,67 \text{ cm}^4 = 291666666,7 \text{ mm}^4$$

Mutu beton yang digunakan  $f'_c = 35 \text{ MPa}$

- Modulus elastisitas beton

$$E_{cb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,58 \text{ MPa}$$

Sehingga rasio kekakuan terhadap pelat adalah

$$\alpha_{fm} = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cs} \times I_s} = \frac{27805,58 \times 1305000000}{27805,58 \times 291666666,7} = 4,47 > 2$$

Karena  $\alpha_{fm} > 2$ , maka untuk menentukan ketebalan pelat digunakan persamaan seperti pada SNI 2847-2019 pasal 8.3.1 tabel 8.3.1.2.d dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{320 \left( 0,8 + \frac{390}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1} = 7,67 \text{ cm} < 9 \text{ cm}$$

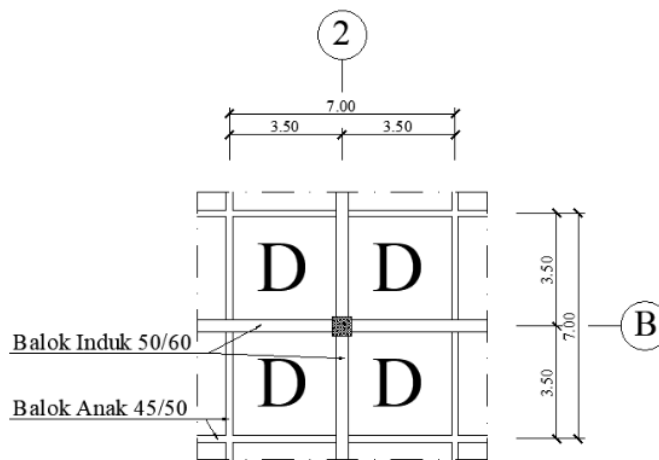
Karena tebal minimum  $< 90 \text{ mm}$ , maka tebal pelat yang dipakai adalah tebal pelat lantai yang direncanakan  $h_{min} = 120 \text{ mm} > h_{min} = 76,7 \text{ mm}$  (OK).

#### 4.4 Dimensi Kolom

Kolom merupakan penahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua atap atau lantai serta momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentang atap atau lantai bersebelahan yang ditinjau. Kolom akan menerima beban dari pelat dan balok yang kemudian akan diteruskan ke tanah melalui pondasi. Perencanaan dimensi kolom menggunakan metode sistem rangka pemikul momen khusus ini harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.2, yaitu:

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri,  $b_w < 300 \text{ mm}$ .
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya  $\frac{b_w}{h} > 0,4$ .

Pembebanan yang digunakan pada perencanaan kolom ini sesuai dengan SNI 1727-2020. Perencanaan kolom dihitung dengan cara beban yang dipikul dari pelat dan balok hanya setengah dari bentang dan mengambil area terluas, metode ini disebut dengan *triburary area*. Perhitungan pembebanan pada kolom dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perhitungan Pembebanan pada Kolom

#### 4.4.1 Distribusi Pembebanan Kolom

Beban pada perencanaan awal dimensi kolom yang dihitung meliputi beban mati (dead load) dan beban hidup (live load).

##### Beban Mati (Dead Load)

- Beban mati pada pelat atap

$$\begin{aligned} \text{Pelat} &= 7 \times 7 \times 0,10 \times 2400 &&= 11760 \text{ kg} \\ \text{Balok induk} &= 0,50 \times (0,60 - 0,10) \times 2400 \times 15 &&= 9000 \text{ kg} \\ \text{Balok anak} &= 0,30 \times (0,50 - 0,10) \times 2400 \times 18 &&= 5184 \text{ kg} \\ \text{Ducting AC} &= 7 \times 7 \times 20 &&= 980 \text{ kg} \\ \text{Plafond} &= 7 \times 7 \times 18 &&= 882 \text{ kg} \\ \text{Aspal} &= 7 \times 7 \times 14 &&= 686 \text{ kg} \\ \text{Spesi 2 cm} &= 7 \times 7 \times (21 \times 2) &&= 2058 \text{ kg} \\ \text{Plumbing} &= 7 \times 7 \times 10 &&= 490 \text{ kg} + \\ \text{Beban mati pelat atap} &&&= \mathbf{31040 \text{ kg}} \end{aligned}$$

- Beban mati pada pelat lantai 1 – 10

$$\begin{aligned} \text{Pelat} &= 7 \times 7 \times 0,12 \times 2400 &&= 14112 \text{ kg} \\ \text{Balok induk} &= 0,50 \times (0,60 - 0,12) \times 2400 \times 15 \times 10 &&= 86400 \text{ kg} \\ \text{Balok anak} &= 0,45 \times (0,50 - 0,12) \times 2400 \times 18 \times 10 &&= 73872 \text{ kg} \\ \text{Ducting AC} &= 7 \times 7 \times 20 &&= 980 \text{ kg} \\ \text{Plafond} &= 7 \times 7 \times 18 &&= 882 \text{ kg} \\ \text{Keramik} &= 7 \times 7 \times 24 &&= 1176 \text{ kg} \\ \text{Spesi 2 cm} &= 7 \times 7 \times (21 \times 2) &&= 2058 \text{ kg} \\ \text{Plumbing} &= 7 \times 7 \times 10 &&= 490 \text{ kg} + \\ \text{Beban mati pelat lantai} &&&= \mathbf{179970 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban mati (dead load)} &= \text{beban mati pelat atap} + \text{beban mati pelat lantai} \\ &= 31040 + 179970 \\ &= \mathbf{211010 \text{ kg}} \end{aligned}$$

##### Beban Hidup (Live Load)

$$\begin{aligned} \text{Pelat atap} &= 7 \times 7 \times 100 \times 1 &&= 4900 \text{ kg} \\ \text{Air hujan pada pelat atap} &= 7 \times 7 \times 50 &&= 2450 \text{ kg} \\ \text{Pelat lantai 1 – 10} &= 7 \times 7 \times 250 \times 10 &&= 122500 \text{ kg} + \\ \text{Total beban hidup (live load)} &&&= \mathbf{129850 \text{ kg}} \end{aligned}$$

#### **1** Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned}q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (211010) + 1,6 (129850) \\ &= 460972 \text{ kg} \\ &= 460972 \text{ N}\end{aligned}$$

#### **4.4.2 Menentukan Dimensi Kolom**

Faktor kekuatan reduksi ( $\Phi$ ) = 0,3

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 35 MPa

$$\text{Dimensi } A = \frac{q_u}{\Phi \times f'_c} = \frac{460972}{0,3 \times 35} = 439021 \text{ mm}^2$$

Kolom berbentuk segi empat maka  $A = b^2$

$$b^2 = 439021$$

$$b = 662,59 \text{ mm}$$

Maka untuk dimensi kolom sendiri menggunakan **1** 70 x 70 cm

**BAB V**  
**PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER**

**5.1 Umum**

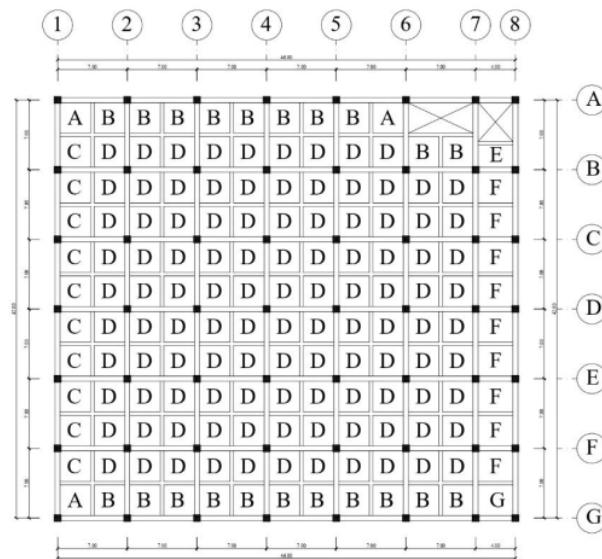
Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak direncanakan untuk menahan beban gempa akan tetapi tetap hanya menahan beban yang mengakibatkan lentur serta tetap membebani struktur primer sebuah gedung.

**5.2 Perencanaan Pelat**

Berdasarkan data preliminary design yang telah dibahas pada BAB IV maka diperoleh data perencanaan sebagai berikut:

1. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa
2. Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa
3. Tebal pelat atap ( $h_t$ ) : 10 cm
4. Tebal pelat lantai ( $h_l$ ) : 12 cm
5. Modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) :  $4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,58 \text{ MPa}$
6. Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) : 0,9 (SNI 2847-2019 tabel 21.2.1)

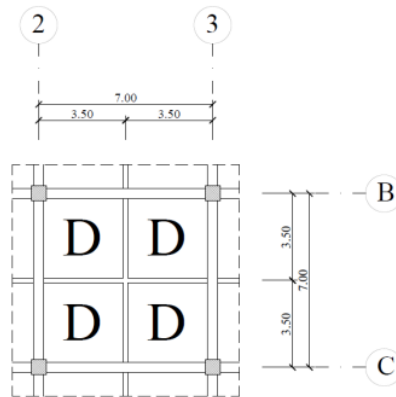
**5.2.1 Perencanaan Pelat Atap**



**Gambar 5. 1 Denah Pelat Atap**



Pelat atap memiliki beban yang mengakibatkan pelat atap sendiri mengalami lendutan yang menyebabkan adanya momen, sehingga jumlah tulangan yang akan dipakai dapat diketahui dari besarnya momen yang didapatkan.



Gambar 5.2 Pelat Atap

### 1 Pembebanan Pelat Atap

- **Beban mati**

Beban sendiri pelat =  $0,10 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$

Plumbing =  $10 \text{ kg/m}^2$

Plafond =  $18 \text{ kg/m}^2$

Ducting AC =  $20 \text{ kg/m}^2$

Aspal =  $14 \text{ kg/m}^2$

Spesi 2 cm =  $2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$

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

Total beban mati pelat atap (D) =  $365 \text{ kg/m}^2$

- **Beban hidup**

Beban hidup pelat atap (L) =  $100 \text{ kg/m}^2$

- **Beban air hujan (R) =  $50 \text{ kg/m}^2$**

### Beban *Ultimate*

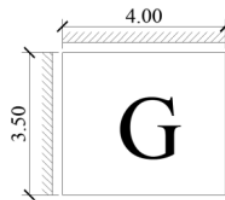
$$Q_u = 1,2D + 1,6L + 0,5R$$

$$Q_u = 1,2(365) + 1,6(100) + 0,5(50)$$

$$Q_u = 623 \text{ kg/m}^2$$

#### 5.2.1.1 Momen Pelat Atap

Pelat atap diasumsikan bahwa pelat yang akan didesain agar dapat melendut ketika terbebani akan tetapi penampang pelat di atas tumpuan tidak berotasi, maka didesain dengan perletakan jepit penuh. Perhitungan momen pada pelat atap digunakan pelat tipe A (**Gambar 5.2**) yang mempunyai nilai momen terbesar dibandingkan tipe pelat lainnya seperti diuraikan pada **Tabel 5.1**. Momen pelat atap dihitung berdasarkan PBI 1971. Langkah pertama dengan membagi bentang terpanjang ( $L_y$ ) dengan bentang terpendek ( $L_x$ ) untuk menentukan jenis pelat.



**Gambar 5.3** Sket Tipe Pelat Atap

Dari **Gambar 5.2** diketahui:

- 1) Pelat bentang panjang  $L_y = 4,00$  m
- 2) Pelat bentang pendek  $L_x = 3,50$  m

Maka,  $\frac{L_y}{L_x} = \frac{4,0}{3,5} = 1,14 < 2,5$  (*two way slab*)

Didapatkan koefisien C pada PBI 1971 tabel 13.3.1 jenis tipe pelat III:

Nilai koefisien C  $M_{lx} = 33$

Nilai koefisien C  $M_{ly} = 28$

Nilai koefisien C  $M_{tx} = 77$

Nilai koefisien C  $M_{ty} = 72$

Perhitungan momen yang terdapat pada pelat atap

$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 33 = 251,85 \text{ kgm}$$

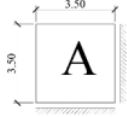
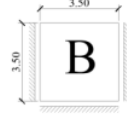
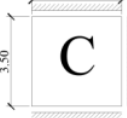


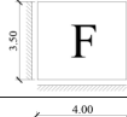

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 28 = 213,69 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times Q_u \times Lx^2 \times C = -0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 77 = -587,64 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times Q_u \times Lx^2 \times C = -0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 72 = -549,49 \text{ kgm}$$

Diambil momen terbesar arah X yaitu **Mtx = -587,64 kgm** dan momen terbesar arah Y yaitu **Mty = -549,49 kgm**.

Tabel 5. 1 Perhitungan Momen Pelat Atap

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	Ly/Lx	Keterangan	C	Momen	Mu (kgm)
 A	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	28	Mlx	213,69
				28	Mly	213,69
				68	Mtx	-518,96
				68	Mty	-518,96
 B	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	21	Mlx	160,27
				26	Mly	198,43
				55	Mtx	-419,75
				60	Mty	-457,91
 C	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	26	Mlx	198,43
				21	Mly	160,27
				60	Mtx	-457,91
				55	Mty	-419,75
 D	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	21	Mlx	160,27
				21	Mly	160,27
				52	Mtx	-396,85
				52	Mty	-396,85
 E	4,0 x 2,65	1,50	Two Way Slab	48	Mlx	210,00
				25	Mly	109,38
				103	Mtx	-450,63
				77	Mty	-336,88
 F	4,0 x 3,5	1,14	Two Way Slab	29	Mlx	221,32
				20	Mly	152,64
				66	Mtx	-503,70
				57	Mty	-435,01
 G	4,0 x 3,5	1,14	Two Way Slab	33	Mlx	251,85
				28	Mly	213,69
				77	Mtx	-587,64
				72	Mty	-549,49

### 5.2.1.2 Syarat Batas Penulangan Pelat Atap

Syarat batas penulangan pada pelat atap rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

#### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

#### 5.2.1.3 Penulangan pada Pelat Atap

Data perencanaan penulangan pada pelat atap arah X dan Y dapat dilihat sebagai berikut:

$$\text{Tebal pelat (h)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (s)} = 20 \text{ mm (SNI 2847-2019 Tabel 20.6.1.3.1)}$$

$$\text{Tulangan diameter } (\phi) = 10 \text{ mm}$$

#### Tulangan arah X

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan arah } x \\ &= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen } Mu = Mtx = 587,64 \text{ kgm} = 5876400 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5876400}{0,9} = 6529333,3 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{6529333,3}{1000 \times 75^2} = 1,16$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,16}{390}} \right) = 0,0030$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0030 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0030$$

#### Tulangan perlu X

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0030 \times 1000 \times 75 = 225 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ( $As = 393 \text{ mm}^2$ )

### Tulangan susut X

$$A_{s_{perlu}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 100 = 200 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D8 – 200 ( $A_s = 251 \text{ mm}^2$ )

### Tulangan arah Y

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan arah } x - \phi \text{ tulangan arah } y \\ &= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 - 10 \\ &= 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen } M_u = M_{ty} = 549,49 \text{ kgm} = 5494900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{5494900}{0,9} = 6105444,4 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{6105444,4}{1000 \times 65^2} = 1,45$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,45}{390}} \right) = 0,0038$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0038 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0038$$

### Tulangan perlu Y

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0038 \times 1000 \times 65 = 247 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ( $A_s = 393 \text{ mm}^2$ )

### Tulangan susut Y

$$A_{s_{perlu}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 100 = 200 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D8 – 200 ( $A_s = 251 \text{ mm}^2$ )

#### 5.2.1.4 Kontrol Kekuatan Pelat Atap

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat atap dapat dihitung sebagai berikut:

#### Kontrol tulangan arah X

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 75} = 0,0052$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left( 75 - \frac{5,15}{2} \right) = 11.100.580 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 11.100.580 \text{ Nmm} > M_n \text{ beban} = 6.529.333,3 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 200 \leq 3 \times 100 = 300 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

**Kontrol tulangan arah Y**

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 65} = 0,0061$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left( 65 - \frac{5,15}{2} \right) = 9.567.879,8 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 9.567.879,8 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 6.105.444,4 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 200 \leq 3 \times 100 = 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

### 5.2.2.5 Kontrol Retak

Kontrol retak pada pelat atap dapat diketahui sebagai berikut:

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{dc \times A} \leq 25 \text{ MN/m}$$

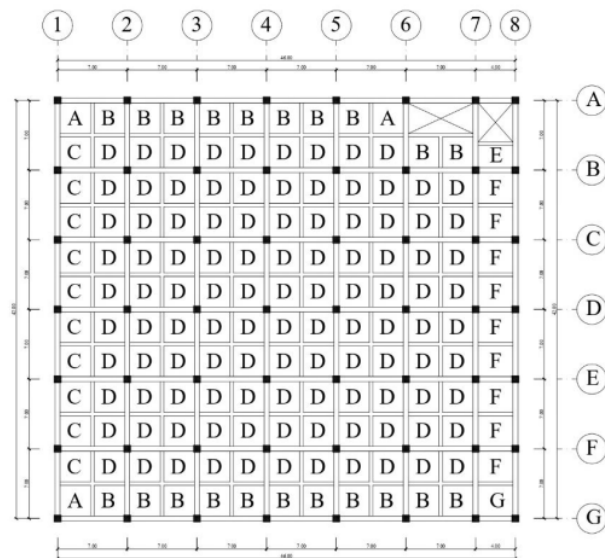
$$f_s = 60\% \times f_y = 60\% \times 390 = 234 \text{ MPa}$$

$$dc = s + \frac{1}{2} \times \phi = 20 + \frac{1}{2} \times 10 = 25 \text{ mm}$$

$$A = 2 \times dc \times h = 2 \times 25 \times 100 = 5000 \text{ mm}^2$$

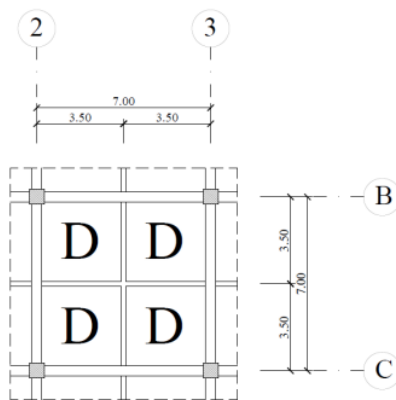
$$Z = 234 \times \sqrt[3]{25 \times 5000} = 11,7 \text{ MN/m} \leq 25 \text{ MN/m} \text{ (OK)}$$

### 5.2.2 Perencanaan Pelat Lantai



Gambar 5. 4 Denah Pelat Lantai

Pelat lantai memiliki beban yang mengakibatkan pelat lantai sendiri mengalami lendutan yang menyebabkan adanya momen, sehingga jumlah tulangan yang akan dipakai dapat diketahui dari besarnya momen yang didapatkan.



Gambar 5. 5 Pelat Lantai

### Pembebanan Pelat Lantai

- Beban mati

$$\text{Beban sendiri pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

Plumbing		= 10 $kg/m^2$
Plafond		= 18 $kg/m^2$
Ducting AC		= 20 $kg/m^2$
Keramik		= 24 $kg/m^2$
Spesi 2 cm	= 2 x 21	= 42 $kg/m^2$ +
<sup>18</sup> Total beban mati pelat lantai (D)		= <b>402 <math>kg/m^2</math></b>

- **Beban hidup**

Beban hidup pelat lantai (L)		= <b>250 <math>kg/m^2</math></b>
------------------------------	--	----------------------------------

**Beban Ultimate**

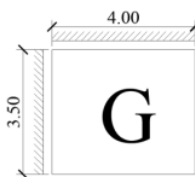
$$Q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$Q_u = 1,2(402) + 1,6(250)$$

$$Q_u = \mathbf{882,4 \text{ } kg/m^2}$$

**5.2.2.1 Momen Pelat Lantai**

Pelat atap diasumsikan bahwa pelat yang akan didesain agar dapat melendut ketika terbebani akan tetapi penampang pelat di atas tumpuan tidak berotasi, maka didesain dengan perletakan jepit penuh. Perhitungan momen pada pelat atap digunakan pelat tipe A (**Gambar 5.5**) yang mempunyai nilai momen terbesar dibandingkan tipe pelat lainnya seperti diuraikan pada **Tabel 5.2**. Momen pelat lantai dihitung berdasarkan PBI 1971. Langkah pertama dengan membagi bentang terpanjang ( $L_y$ ) dengan bentang terpendek ( $L_x$ ) untuk menentukan jenis pelat.



**Gambar 5.6** Sket Tipe Pelat Lantai

Dari **Gambar 5.6** diketahui:

- 1) Pelat bentang panjang  $L_y = 3,50$  m



2) Pelat bentang pendek  $L_x = 3,50$  m

Maka,  $\frac{L_y}{L_x} = \frac{3,5}{3,5} = 1 < 2,5$  (*two way slab*)

Didapatkan koefisien C pada PBI 1971 tabel 13.3.1 jenis tipe pelat III:

Nilai koefisien C  $M_{lx} = 28$

Nilai koefisien C  $M_{ly} = 28$

Nilai koefisien C  $M_{tx} = 68$

Nilai koefisien C  $M_{ty} = 68$

Perhitungan momen yang terdapat pada pelat atap

$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 33 = 356,71 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 28 = 302,66 \text{ kgm}$$

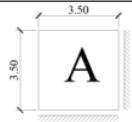
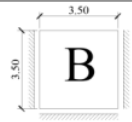
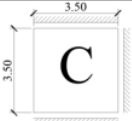
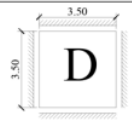
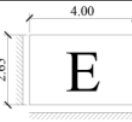
$$M_{tx} = -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = -0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 77 = -832,32 \text{ kgm}$$

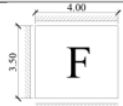
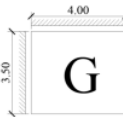
$$M_{ty} = -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = -0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 72 = -778,28 \text{ kgm}$$

Diambil momen terbesar arah X yaitu  $M_{tx} = 832,32 \text{ kgm}$  dan momen terbesar arah Y yaitu

$M_{ty} = 778,28 \text{ kgm}$ .

Tabel 5. 2 Perhitungan Momen Pelat Lantai

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	$L_y/L_x$	Keterangan	C	Momen	Mu (kgm)
 A	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	28	$M_{lx}$	302,66
				28	$M_{ly}$	302,66
				68	$M_{tx}$	-735,04
				68	$M_{ty}$	-735,04
 B	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	21	$M_{lx}$	227
				26	$M_{ly}$	281,04
				55	$M_{tx}$	-594,52
				60	$M_{ty}$	-648,56
 C	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	26	$M_{lx}$	281,04
				21	$M_{ly}$	227
				60	$M_{tx}$	-648,56
				55	$M_{ty}$	-594,52
 D	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	21	$M_{lx}$	227
				21	$M_{ly}$	227
				52	$M_{tx}$	-562,09
				52	$M_{ty}$	-562,09
 E	4,0 x 2,65	1,50	Two Way Slab	48	$M_{lx}$	297,44
				25	$M_{ly}$	154,92
				103	$M_{tx}$	-638,26
				77	$M_{ty}$	-477,14
	4,0 x 3,5	1,14	Two Way	29	$M_{lx}$	313,47

 F			Slab	20	Mly	216,19
				66	Mtx	-713,42
				57	Mty	-616,14
 G	4,0 x 3,5	1,14	Two Way Slab	33	Mlx	356,71
				28	Mly	302,66
				77	Mtx	-832,32
				72	Mty	-778,28

### 5.2.2.2 Syarat Batas Penulangan Pelat Lantai

Syarat batas penulangan pada pelat atap rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

#### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

### 5.2.2.3 Penulangan pada Pelat Lantai

Data perencanaan penulangan pada pelat lantai arah X dan Y dapat dilihat sebagai berikut:

Tebal pelat (h) = 120 mm

Selimit beton (s) = 20 mm (SNI 2847-2019 Tabel 20.6.1.3.1)

Tulangan diameter ( $\phi$ ) = 10 mm

#### Tulangan arah X

Mencari tinggi efektif (dx) =  $h - s - \frac{1}{2} \times \phi$  tulangan arah x

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 10$$

$$= 95 \text{ mm}$$

Momen Mu = Mtx = 832,32 kgm = 8323200 Nmm

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{8323200}{0,9} = 9248000 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{9248000}{1000 \times 95^2} = 1,03$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,03}{390}} \right) = 0,0027$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0034 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0034$$

#### **Tulangan perlu X**

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0027 \times 1000 \times 95 = 256,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ( $As = 393 \text{ mm}^2$ )

#### **Tulangan susut X**

$$Ass_{perlu} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D8 – 200 ( $Ass = 251 \text{ mm}^2$ )

#### **Tulangan arah Y**

$$\text{Mencari tinggi efektif (dx)} = h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan arah } x - \phi \text{ tulangan arah } y$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 - 10$$

$$= 85 \text{ mm}$$

$$\text{Momen } Mu = Mty = 778,28 \text{ kgm} = 7782800 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{7782800}{0,9} = 8647555,6 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{8647555,6}{1000 \times 85^2} = 1,20$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,2}{390}} \right) = 0,0031$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0031 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0031$$

#### **Tulangan perlu Y**

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0031 \times 1000 \times 85 = 263,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ( $As = 393 \text{ mm}^2$ )

#### **Tulangan susut Y**

$$Ass_{perlu} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D8 – 200 ( $Ass = 251 \text{ mm}^2$ )

#### 5.2.2.4 Kontrol Kekuatan Pelat Lantai

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat lantai dapat dihitung sebagai berikut:

##### Kontrol tulangan arah X

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 95} = 0,0041$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left( 95 - \frac{5,15}{2} \right) = 14.165.980 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 14.165.980 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 9.248.000 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 200 \leq 3 \times 120 = 360 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

##### Kontrol tulangan arah Y

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 85} = 0,0046$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left( 85 - \frac{3,29}{2} \right) = 12.633.280 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 12.633.280 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 8.647.555,6 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 200 \leq 3 \times 120 = 360 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

#### 5.2.2.5 Kontrol Retak

Kontrol retak pada pelat lantai dapat diketahui sebagai berikut:

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{dc \times A} \leq 25 \text{ MN/m}$$

$$f_s = 60\% \times f_y = 60\% \times 390 = 234 \text{ MPa}$$

$$dc = s + \frac{1}{2} \times \phi = 20 + \frac{1}{2} \times 10 = 25 \text{ mm}$$

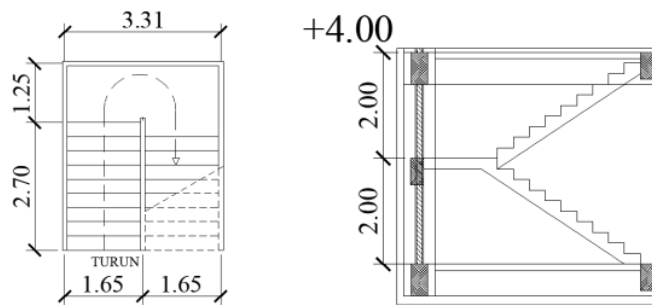
$$A = 2 \times d_c \times h = 2 \times 25 \times 120 = 5000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 234 \times \sqrt[3]{25 \times 5000} = 11,7 \text{ MN/m} \leq 25 \text{ MN/m (OK)}$$

### 5.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga digunakan untuk menghubungkan antar lantai gedung yang memiliki perbedaan elevasi. Adapun data untuk perencanaan tangga pada gedung hotel sebagai berikut:

Beda tinggi lantai	: 400 cm
Elevasi bordes	: 200 cm
Panjang bordes	: 400 cm
Lebar bordes	: 138 cm
Mutu baja ( $f_y$ )	: 390 MPa
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 35 MPa
Tinggi injakan	: 20 cm
Lebar injakan	: 30 cm
Jumlah injakan tangga	: $\frac{\text{elevasi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200}{20} = 10$ buah
Jumlah injakan (n)	: $10 - 1 = 9$ buah
Kemiringan pada tangga	: $\arctan\left(\frac{\text{tinggi injakan}}{\text{lebar injakan}}\right) = \arctan\left(\frac{20}{30}\right) = 33,69$
Lebar tangga	: 200 cm
Panjang miring	: $\sqrt{400^2 + 200^2} = 447,21 \text{ cm}$
R	: $\frac{1}{2} \times h \times \cos \alpha = \frac{1}{2} \times 20 \times \cos 33,69 = 8,32 \text{ cm}$



Gambar 5.7 Perencanaan Tangga

### Tebal pelat tangga

Tebal selimut beton 20 cm

Tebal pelat tangga  $h_{min}$

$$h_{min} = \frac{H}{27} = \frac{\frac{200}{\sin 33,69}}{27} = 13,35 \text{ cm}$$

Digunakan  $h = 15 \text{ cm}$

$$h' = h + \frac{t}{2} \times \cos \alpha = 15 + \frac{20}{2} \times \cos 33,69 = 23,32 \text{ cm}$$

$$E_k = 23,32 - 15 = 8,32 \text{ cm}$$

### 5.3.1 Pembebanan Tangga

#### • Beban pelat tangga

$$\text{Beban merata anak tangga} = \frac{0,3 \times 0,2}{2} \times 1,65 \times 2400 = 118,8 \text{ kg}$$

$$1 \text{ m ada} = \frac{100}{30} = 3,33 \text{ anak tangga}$$

$$\text{Jadi, } q \text{ anak tangga} = 118,8 \times 3,33 = 396 \text{ kg/m}$$

#### Beban mati

$$\text{Beban sendiri pelat} = 0,0832 \times 2400 \times 2,00 = 399,36 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi (2 cm)} = 2 \times 21 \times 2,00 = 84 \text{ kg/m}$$

$$\text{Keramik (1 cm)} = 1 \times 24 \times 2,00 = 48 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban sandaran} = 30 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban anak tangga} = 396 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total Qd} = 957,36 \text{ kg/m}$$

#### Beban hidup

$$\text{Beban hidup pelat tangga} = 2,00 \times 300 = 600 \text{ kg/m}$$

#### Beban ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(957,36) + 1,6(600) \\ &= 2108,83 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

#### • Beban pelat bordes

##### Beban mati

$$\text{Beban sendiri pelat} = 0,15 \times 2400 \times 2,00 = 450 \text{ kg/m}$$

Spesi (2 cm)	= 2 x 21 x 2,00	= 52,5 $kg/m$
Keramik (1 cm)	= 1 x 24 x 2,00	= 30 $kg/m$
Berat sandaran		= 30 $kg/m$ +
<b>Total Qd</b>		<b>= 732,9 <math>kg/m</math></b>

### Beban hidup

Beban hidup pelat bordes	= 1,65 x 300	= 495 $kg/m$
--------------------------	--------------	--------------

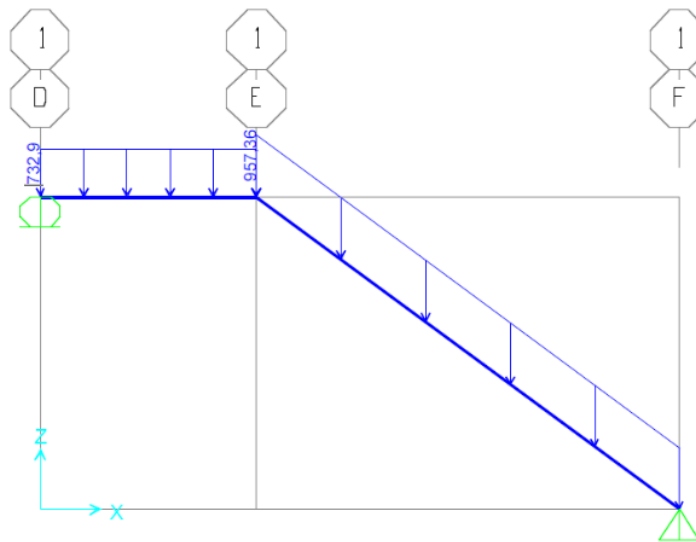
### Beban ultimate

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2D + 1,6L \\
 &= 1,2(732,9) + 1,6(375) \\
 &= 1671,48 \text{  $kg/m$ }
 \end{aligned}$$

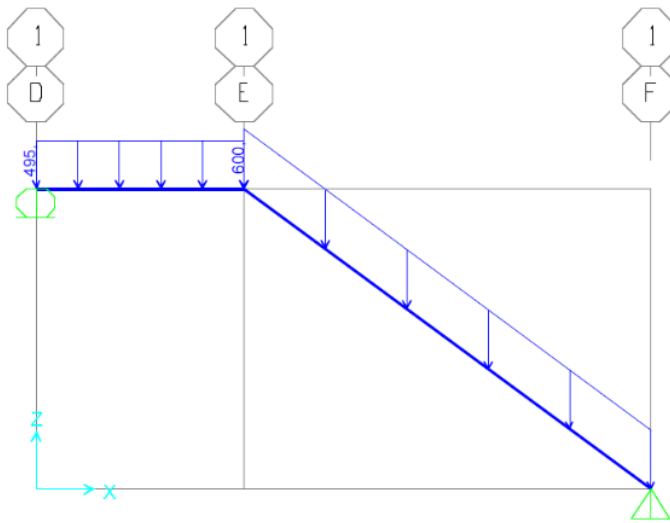
### 5.3.2 Analisa Statistika Tangga

Setelah pembebanan dilakukan, maka perhitungan untuk mencari momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer sehingga perhitungan statistiknya sebagai berikut:

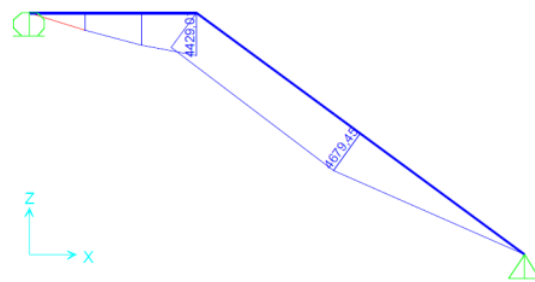
#### Perhitungan momen – momen yang bekerja:



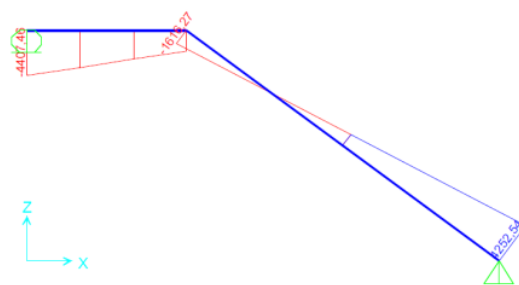
Gambar 5.8 Input Beban Mati pada Tangga



**Gambar 5. 9** Input Beban Hidup pada Tangga

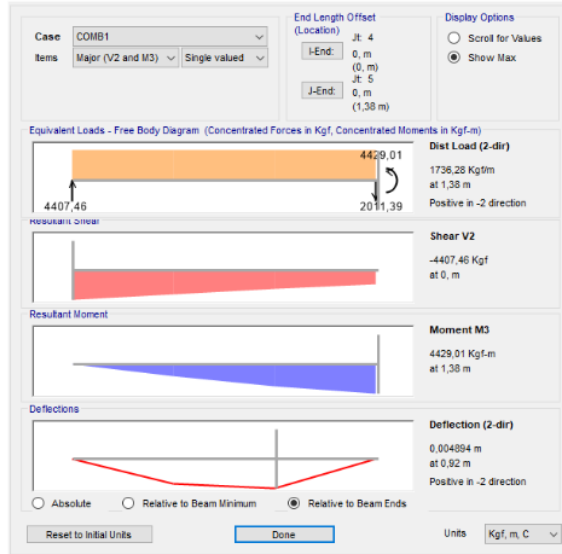


**Gambar 5. 10** Gaya Momen pada Tangga

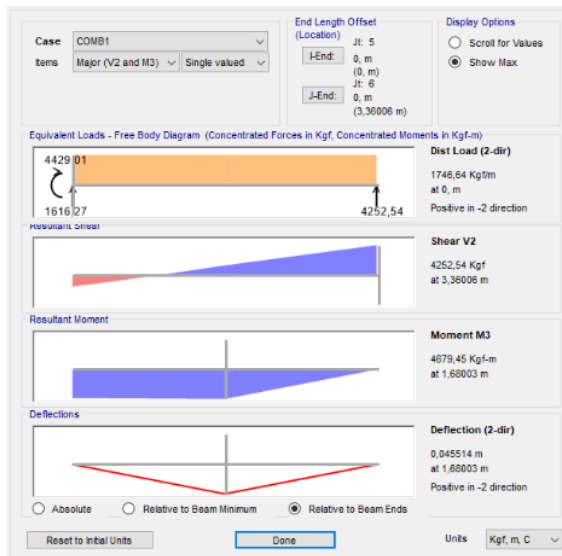


**Gambar 5. 11** Gaya Geser pada Tangga





**Gambar 5.12** Gaya Dalam Bordes



**Gambar 5.13** Gaya Dalam Tangga Miring

1  
 Dari hasil perhitungan gaya – gaya dalam di atas menggunakan program bantu

komputer, maka didapatkan:

$$M_{u\ tangga} = 4679,45\ kgm$$

$$M_{u\ bordes} = 4429,01\ kgm$$

a) **Gaya Dalam pada Tangga**

Momen yang terjadi:  $M_u = 4679,45 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4679,45}{0,9} = 5199,39 \text{ kgm} = 51993900 \text{ Nmm}$$

b) **Gaya Dalam pada Tangga Bagian Bordes**

Momen yang terjadi:  $M_u = 4429,01 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4429,01}{0,9} = 4921,12 \text{ kgm} = 49211200 \text{ Nmm}$$

**5.3.3 Perhitungan Penulangan Pelat Tangga**

Data perencanaan:

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa

Selimut beton (s) : 20 mm

$\phi$  tulangan : D12

$M_n$  : 51993900 Nmm

• **Syarat Batas Penulangan**

Syarat batas penulangan pada pelat tangga rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

**Faktor bentuk distribusi**

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

**Rasio tulangan pada kondisi balance**

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8 \left( \frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan} \\ &= 150 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{51993900}{1000 \times 124^2} = 3,38$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 3,38}{390}} \right) = 0,0092$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0098 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0098$$

#### Tulangan perlu

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0098 \times 1000 \times 124 = 1215,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D12 – 75 ( $A_s = 1508 \text{ mm}^2$ )

#### Tulangan susut

$$A_{s_{perlu}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 250 ( $A_s = 314 \text{ mm}^2$ )

#### • Kontrol Kekuatan

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat tangga dapat dihitung sebagai berikut:

#### Kontrol tulangan arah

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{1508}{1000 \times 124} = 0,012$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1508 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 19,77$$

$$Mn = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1508 \times 390 \left( 124 - \frac{19,77}{2} \right) = 67.113.314 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 67.113.314 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 51.993.900 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 75 \leq 3 \times 150 = 450 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{250} \\ &= 314 \text{ mm}^2 \geq A_{s \text{ perlu}} = 314 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

### 5.3.4 Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

Data perencanaan:

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa

Selimut beton (s) : 20 mm

Ø tulangan : D12

$$M_n \quad : 49211200 \text{ Nmm}$$

- **Syarat Batas Penulangan**

Syarat batas penulangan pada pelat tangga rencana <sup>1</sup> dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

- **Faktor bentuk distribusi**

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

- **Rasio tulangan pada kondisi *balance***

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan} \\ &= 150 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{49211200}{1000 \times 124^2} = 3,2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 3,2}{390}} \right) = 0,0087$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0087 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0087$$

- **Tulangan perlu**

$$A_{S_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0087 \times 1000 \times 124 = 1078,8 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D12 – 100 ( $A_s = 1131 \text{ mm}^2$ )

- **Tulangan susut**

$$A_{S_{perlu}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 250 ( $A_s = 314 \text{ mm}^2$ )

- **Kontrol Kekuatan**

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat tangga dapat dihitung sebagai berikut:

### Kontrol tulangan

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{1131}{1000 \times 124} = 0,0091$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1131 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 14,83$$

$$Mn = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1131 \times 390 \left( 124 - \frac{14,83}{2} \right) = 51.424.478 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 51.424.478 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 49.211.200 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 100 \leq 3 \times 150 = 450 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{250} \\ &= 314 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 314 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

### 5.3.5 Perencanaan Balok Bordes

Data perencanaan:

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa

Selimut beton (s) : 40 mm

$\emptyset$  tulangan utama : D14

$\emptyset$  tulangan sengkang : D10

#### • Menentukan Dimensi Balok Bordes

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang balok bordes

dianggap tertumpu sederhana sehingga menggunakan:  $h = \frac{l}{16}$

$$h = \frac{l}{16} = \frac{400}{16} = 25 \text{ cm} \text{ maka pakai } h = 30 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(30) = 9 \text{ cm} \text{ maka pakai } b = 20 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok bordes yang digunakan adalah 20/30 cm

#### • Pembebanan Balok Bordes

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,2 \times 0,2 \times 2400 = 96 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat akibat beban kerja pada pelat bordes} = 1671,48 \text{ kg/m}$$

#### Beban ultimate

$$Qu = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2(96) + 1,6(1671,48)$$

$$= 2789,57 \text{ kg/m}$$

- **Perhitungan Momen yang Bekerja**

$$M_{tumpuan} = \frac{1}{11} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{11} \times 2789,57 \times 4^2 = 4057,55 \text{ kgm}$$

$$M_{lapangan} = \frac{1}{16} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{16} \times 2789,57 \times 4^2 = 2789,57 \text{ kgm}$$

$$V1 = V2 = \frac{1}{2} \times Q_u \times l = \frac{1}{2} \times 2789,57 \times 4 = 5579,14 \text{ kg}$$

- **Syarat Batas Penulangan Balok Bordes**

Syarat batas penulangan pada balok bordes rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

**Faktor bentuk distribusi**

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

**Rasio tulangan pada kondisi *balance***

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

- **Penulangan Lentur Balok Bordes**

- **Daerah Tumpuan**

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 300 - 40 - \frac{1}{2} \times 14 - 10 \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{tumpuan} = 4057,55 \text{ kgm} = 40575500 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{40575500}{200 \times 243^2} = 3,44$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 3,44}{390}} \right) = 0,0094$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0094 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0093$$

**Luas tulangan tarik**

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0094 \times 200 \times 243 = 456,84 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø14 ( $A_s = 462 \text{ mm}^2$ )

**Luas tulangan tekan**

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 462 = 231 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø14 ( $A_s = 308 \text{ mm}^2$ )

**- Daerah Lapangan**

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{\text{tulangan utama}} - \phi_{\text{tulangan sengkang}} \\ &= 300 - 40 - \frac{1}{2} \times 14 - 10 \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 2789,57 \text{ kgm} = 27895700 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{27895700}{200 \times 243^2} = 2,36$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,36}{390}} \right) = 0,0063$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0020 < 0,0063 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0063$$

**Luas tulangan tarik**

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0063 \times 200 \times 243 = 306,18 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø14 ( $A_s = 308 \text{ mm}^2$ )

**Luas tulangan tekan**

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 308 = 154 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø14 ( $A_s = 308 \text{ mm}^2$ )

**• Penulangan Geser Balok Bordes**

$$\text{Beban geser } V_u = 5579,14 \text{ kg} = 55791,4 \text{ N}$$

**- Kekuatan Geser Beton**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 200 \times 243 = 47920,25 \text{ N}$$

**- Periksa Kategori Desain**

$$\phi V_c = 0,75 \times 47920,25 = 35940,19 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 35940,19 = 17970,09 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b \times d = \frac{1}{3} \times 200 \times 243 = 16200 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
\phi V_s &= 0,75 \times 16200 &= 12150 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi V_s &= 35940,19 + 12150 &= 48090,19 \text{ N} \\
\min \phi V_s &= 0,6 \times 12150 &= 9720 \text{ N} \\
\phi V_c + \min \phi V_s &= 35940,19 + 9720 &= 45660,19 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d &= 35940,19 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 243 &= 93444,48 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d &= 35940,19 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 243 &= 150948,78 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u \left( \frac{1}{2} \times L_n - d \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{55791,4 \left( \frac{1}{2} \times 330 - 24,3 \right)}{\frac{1}{2} \times 330} = 47574,8 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u1} = 47574,8 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke - 4

$$\phi V_c + \min \phi V_s < \phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 35940,19 \text{ N} < 47574,8 \text{ N} \leq 93444,48 \text{ N}$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

Kuat geser nominal tulangan:

$$\phi V_s = V_{u1} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_{u1}}{\phi} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{47574,8}{0,75} - 35940,19$$

$$V_s = 27492,9 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 27492,9 \text{ N} < \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 246 = 27492,9 \text{ N} < 57504,3 \text{ N}$$

**(OK)**

$$\begin{aligned}
\text{Syarat spasi sengkang} &= S_{max} = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \\
&= S_{max} = \frac{243}{2} \leq 600 \text{ mm} \\
&= S_{max} = 121,5 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dipakai sengkang  $s = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas } = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 390} = 17,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki  $\phi 10 \text{ mm}$ :  $A_V = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 17,09 \text{ mm}^2$  **(OK)**

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{A_V \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 243}{100} = 148788,9 \text{ N}$$

Cek kondisi  $V_n$

$$\text{Syarat kondisi } V_n = \phi V_n \geq V_u$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ perlu}}) \geq V_u$$



$$0,75(35940,19 + 148788,9) \geq 47574,8 N$$

$$138547 N \geq 47574,8 N \text{ (OK)}$$

Untuk jarak 80 cm dari muka (daerah lapangan):

$$V_{u2} = \frac{V_u(\frac{1}{2} \times Ln - 80)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{55791,4 (\frac{1}{2} \times 330 - 80)}{\frac{1}{2} \times 330} = 28741,024 N$$

Untuk  $V_{u2} = 28741,024 N$ , termasuk dalam kategori desain ke - 2

$$\frac{1}{2} \phi V_c < V_{u2} \leq \phi V_c = 17970,09 N < 28741,024 N \leq 35940,19 N$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Syarat spasi sengkang} &= S_{max} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= S_{max} \leq \frac{243}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= S_{max} \leq 121,5 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai sengkang  $s = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas } = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 390} = 17,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki  $\phi 10 \text{ mm}$ :  $A_v = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 17,09 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_s \text{ perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 243}{100} = 148788,9 N$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 148788,9 = 111592 N > \min \phi V_s = 9720 N \text{ (OK)}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang  $\phi 10 - 100 - 100 \text{ mm}$

## 5.4 Perencanaan Balok Lift

Balok lift berfungsi memikul beban lift baik itu akibat bandul lift (R1) maupun ruang lift (R2). Balok lift terletak pada core wall dan memiliki 2 jenis. Yang pertama berfungsi sebagai pemikul bandul lift, yang kedua berfungsi memikul ruang lift. Adapun spesifikasi lift pada perencanaan penampang lift yang digunakan adalah sebagai berikut:

### Spesifikasi lift

Merk	= LUXEN – HYUNDAI
Kecepatan	= 1,0 – 1,5 m/sec
Kapasitas	= 13 orang
Lebar pintu (open width)	= 1100 mm
Dimensi sangkar (carsize)	= 2100 x 1100 mm <sup>2</sup>
Dimensi ruang luncur (hoistway)	= 2550 x 1750 mm <sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Dimensi ruang mesin (machine)} &= 2900 \times 3550 \text{ mm}^2 \\ \text{Beban reaksi pada ruang mesin} &= R1 = 5450 \text{ kg} \\ &= R2 = 4300 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 5.4.1 Beban Hidup Koefisien Kejut yang Diakibatkan oleh Keran

Balok penggantung *lift* memikul beban keran yang ditambah dengan berat pada muatan yang diangkat. Perhitungan beban rencana balok penggantung *lift* perlu ditambahkan beban keran dengan koefisien seperti rumus di bawah:

$$\begin{aligned} \Psi &= (1 + k_1 \times k_2 \times V) \geq 1,15 \\ \Psi &= (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \geq 1,15 \\ \Psi &= 1,78 \geq 1,15 \end{aligned}$$

Dimana:

- $\Psi$  = koefisien kejut yang diakibatkan oleh keran
- $k_1$  = koefisien oleh kekuatan keran induk, umumnya diambil 0,6 untuk struktur rangka
- $k_2$  = koefisien pada sifat – sifat mesin angkat pada keran angkat, umumnya diambil 1,3
- $V$  = kecepatan angkat maksimum yang nilainya tidak perlu lebih dari 1  $m/sec$

Beban yang bekerja pada balok penggantung *lift*:

$$\begin{aligned} p_{u1} &= R1 \times \Psi = 5450 \times 1,78 = 9701 \text{ kg} \\ p_{u2} &= R2 \times \Psi = 4300 \times 1,78 = 7654 \text{ kg} \\ p &= p_{u1} + p_{u2} = 9701 + 7654 = 17355 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 5.4.2 Pembebanan Balok Penggantung Lift

##### 1) Beban terpusat

$$\begin{aligned} \text{Beban terpusat lift} &= 17355 \text{ kg} \\ \text{Beban kapasitas elevator} &= 1000 \text{ kg} + \\ \text{Total} &= 18355 \text{ kg} \end{aligned}$$

##### 2) Beban merata

Beban mati

$$\text{Beban sendiri balok} = 0,2 \times 0,15 \times 2400 = 72 \text{ kg/m}$$

Beban hidup

$$\text{Beban pekerja} = 100 \text{ kg/m}$$

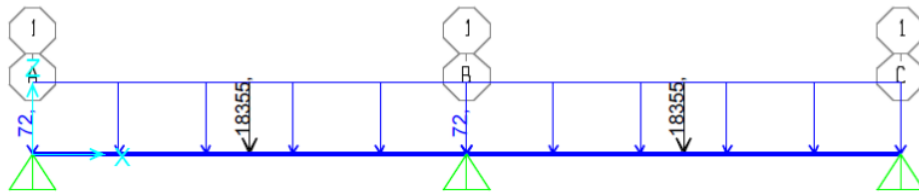
Beban ultimate

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2D + 1,6L \\
 &= 1,2(72) + 1,6(100) \\
 &= 246,4 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

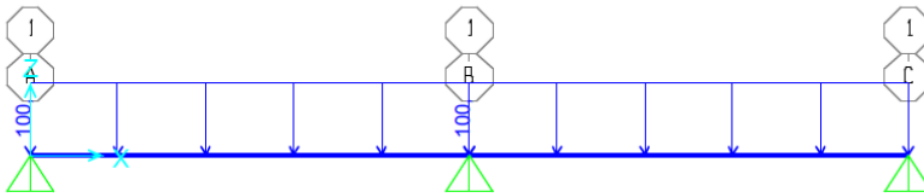
### 5.4.3 Analisa Statistika Balok Lift

Setelah pembebanan dilakukan, maka perhitungan untuk mencari momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer sehingga perhitungan statistiknya sebagai berikut:

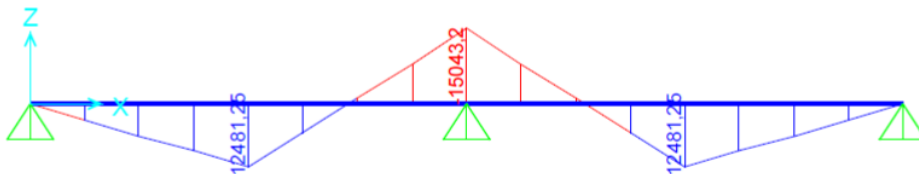
**Perhitungan momen – momen yang bekerja:**



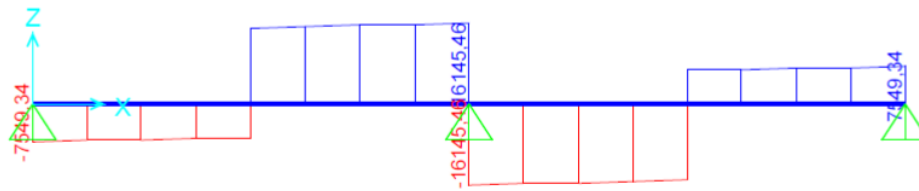
**Gambar 5. 14** Input Beban Mati Balok Lift



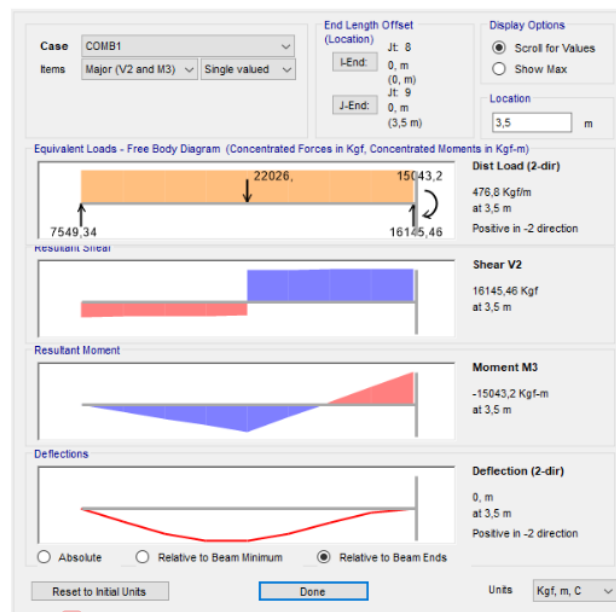
**Gambar 5. 15** Input Beban Hidup Balok Lift



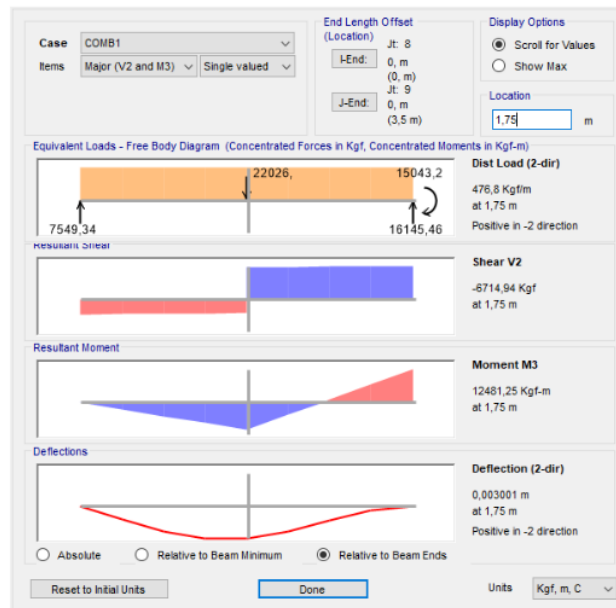
**Gambar 5. 16** Gaya Momen pada Balok Lift



**Gambar 5.17** Gaya Geser pada Balok Lift



**Gambar 5.18** Momen Tumpuan pada Balok Lift



**Gambar 5.19** Momen Lapangan pada Balok Lift

Dari hasil perhitungan gaya – gaya dalam di atas menggunakan program bantu komputer, maka didapatkan:

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 15043,2 \text{ kgm}$$

$$M_{u \text{ lapangan}} = 12481,25 \text{ kgm}$$

$$V_u = 16145,46 \text{ kg}$$

**a) Momen Tumpuan**

Momen yang terjadi:  $M_{u \text{ tumpuan}} = 15043,2 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{15043,2}{0,9} = 16714,67 \text{ kgm} = 167146700 \text{ Nmm}$$

**b) Momen Lapangan**

Momen yang terjadi:  $M_{u \text{ lapangan}} = 12481,25 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{12481,25}{0,9} = 13868,06 \text{ kgm} = 138680600 \text{ Nmm}$$

**5.4.4 Perhitungan Penulangan Balok Lift**

**Data perencanaan**

Bentang balok = 3500 mm

1  
Dimensi balok lift = 25/40 cm

Ø tulangan utama = D19

Ø tulangan sengkang = D10

Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 390 MPa

1  
Selimut beton (s) = 40 mm

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 35 MPa

- **Syarat Batas Penulangan Balok Lift**

Syarat batas penulangan pada pelat balok *lift* rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

**Faktor bentuk distribusi**

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

**Rasio tulangan pada kondisi *balance***

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

- **Penulangan Lentur Balok Lift**

- **Daerah Lapangan**

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 400 - 40 - \frac{1}{2} \times 19 - 10 \\ &= 340,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{lapangan} = 13868,06 \text{ kgm} = 138680600 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{138680600}{250 \times 340,5^2} = 4,78$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,78}{390}} \right) = 0,0134$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0134 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0134$$

**Luas tulangan tarik**

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0134 \times 250 \times 340,5 = 1140,7 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5Ø19 ( $A_s = 1418 \text{ mm}^2$ )

**Luas tulangan tekan**

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1418 = 709 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø19 ( $A_s = 851 \text{ mm}^2$ )

**Kontrol kekuatan pada balok penggantung lift**

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1418 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 74,356$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1418 \times 390 \left( 340,5 - \frac{74,356}{2} \right) = 167.743.234,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 167.743.234,7 = 142.581.749,5 \text{ Nmm} > M_{t\text{apangan}} = 138.680.600 \text{ Nmm (OK)}$$

**- Daerah Tumpuan**

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{\text{tulangan utama}} - \phi_{\text{tulangan sengkang}} \\ &= 400 - 40 - \frac{1}{2} \times 19 - 10 \\ &= 340,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{tumpuan}} = 14240,82 \text{ kgm} = 142408200 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{142408200}{250 \times 340,5^2} = 4,19$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,19}{390}} \right) = 0,0116$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0020 < 0,0116 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0116$$

**Luas tulangan tarik**

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0116 \times 250 \times 340,5 = 987,45 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5Ø19 ( $A_s = 1418 \text{ mm}^2$ )

**Luas tulangan tekan**

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1418 = 709 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø19 ( $A_s = 851 \text{ mm}^2$ )

**Kontrol kekuatan pada balok penggantung lift**

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1418 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 74,356$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1418 \times 390 \left( 340,5 - \frac{74,356}{2} \right) = 167.743.234,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 0,85 \times 167.743.234,7 = 142.581.749,5 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 142.408.200 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

• **Penulangan Geser Balok Penggantung Lift**

Beban geser  $V_u = 16145,46 \text{ kg} = 161454,6 \text{ N}$

- **Kekuatan Geser Beton**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 67147,51 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\phi V_c = 0,75 \times 67147,51 = 50360,63 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 50360,63 = 25180,31 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b \times d = \frac{1}{3} \times 200 \times 340,5 = 22700 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 22700 = 17025 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 50360,63 + 17025 = 67385,63 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = 0,6 \times 17025 = 13620 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \min \phi V_s = 50360,63 + 13620 = 63980,63 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 130937,6 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 211514,6 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u \left( \frac{1}{2} \times Ln - d \right)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{161454,6 \left( \frac{1}{2} \times 320 - 34,05 \right)}{\frac{1}{2} \times 320} = 127095,04 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u1} = 127095,04 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke – 4

$$\phi V_c + \min \phi V_s < V_{u1} \leq \phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 \text{ N} < 127095,04 \text{ N} \leq 130937,6 \text{ N}$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

Kuat geser nominal tulangan:

$$\phi V_s = V_{u1} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_{u1}}{\phi} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{127095,04}{0,75} - 50360,63$$

$$V_s = 119099 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 119099 \text{ N} < \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 119099 \text{ N} < 268590 \text{ N}$$

(OK)

$$\text{Syarat spasi sengkang} = S_{max} = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$



$$= S_{max} = \frac{340,5}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= S_{max} = 170,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang  $s = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas } = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 390} = 17,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki  $\emptyset 10 \text{ mm}$ :  $A_V = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 17,09 \text{ mm}^2$  (**OK**)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_s \text{ perlu} = \frac{A_V \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 340,5}{100} = 208488,15 \text{ N}$$

Cek kondisi  $V_n$

Syarat kondisi  $V_n = \emptyset V_n \geq V_u$

$$\emptyset(V_c + V_s \text{ perlu}) \geq V_u$$

$$0,75(67147,51 + 208488,15) \geq 109093,4 \text{ N}$$

$$206726,75 \text{ N} \geq 127095,04 \text{ N} \text{ (**OK**)}$$

Untuk jarak 80 cm dari muka (daerah lapangan):

$$V_{u2} = \frac{V_u \left( \frac{1}{2} \times L_n - 80 \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{161454,6 \left( \frac{1}{2} \times 320 - 80 \right)}{\frac{1}{2} \times 320} = 80727,3 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u2} = 80727,3 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke - 4

$$\emptyset V_c + \min \emptyset V_s < V_{u1} \leq \emptyset V_c + \emptyset \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 \text{ N} < 127095,04 \text{ N} \leq 130937,6 \text{ N}$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

Kuat geser nominal tulangan:

$$\emptyset V_s = V_{u2} - \emptyset V_c$$

$$V_s = \frac{V_{u2}}{\emptyset} - \emptyset V_c$$

$$V_s = \frac{80727,3}{0,75} - 50360,63$$

$$V_s = 57275,77 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 57275,77 \text{ N} < \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 57275,77 \text{ N} < 268590 \text{ N} \text{ (**OK**)}$$

$$\text{Syarat spasi sengkang } = S_{max} = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= S_{max} = \frac{340,5}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= S_{max} = 170,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang  $s = 150 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas } = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 150}{3 \times 390} = 25,64 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki  $\emptyset 10$  mm:  $A_v = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 25,64 \text{ mm}^2$  (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_{s \text{ pertu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 340,5}{150} = 138992,1 \text{ N}$$

Cek kondisi  $V_n$

Syarat kondisi  $V_n = \emptyset V_n \geq V_u$

$$\emptyset(V_c + V_{s \text{ pertu}}) \geq V_u$$

$$0,75(67147,51 + 138992,1) \geq 109093,4 \text{ N}$$

$$154604,71 \text{ N} \geq 127095,04 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang  $\emptyset 10 - 100 - 150$  mm

## 5.5 Perencanaan Balok Anak

### 5.5.1 Perencanaan Balok Anak Atap

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang balok anak atap dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan:

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm}$$

Tinggi balok rencana yang dipakai  **$h = 40$  cm**

Untuk lebar balok minimal:

$$b = 0,3h = 0,3(40) = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } \mathbf{b = 30 \text{ cm}}$$

$$\text{Syarat: } b = \frac{h}{b} \leq 2$$

$$b = \frac{40}{30} = 1,33 \leq 2 \text{ (OK)}$$

Diameter tulangan utama = D12

Diameter tulangan sengkang = D10

Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 390 MPa

Selimit beton (s) = 40 mm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 35 MPa

#### 5.5.1.1 Pembebanan Balok Anak Atap

**Beban mati**

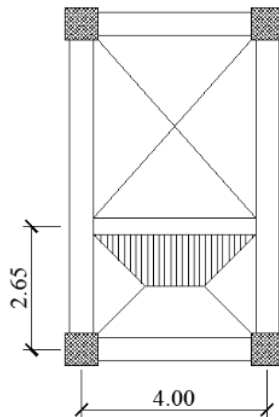
$$\text{Berat pelat} = 0,10 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

Aspal 1 cm	= 14	= 14 $kg/m^2$
Ducting AC	= 20	= 20 $kg/m^2$
Plumbing	= 10	= 10 $kg/m^2$
Plafond	= 18	= 18 $kg/m^2$
Spesi 2 cm	= 21 x 2	= 42 $kg/m^2$
Finishing	= 21	= 21 $kg/m^2$ +
		<b>qD = 365 <math>kg/m^2</math></b>

**Beban hidup (qL) = 100  $kg/m^2$**

**Beban air untuk atap (R) = 0,05 x 1000 = 50  $kg/m^2$**

- **Pembebanan Trapesium 1 pada Balok Anak Atap**



### **Beban Mati**

Berat sendiri balok = 0,35 x 0,4 x 2400 = 336  $kg/m$

Beban ekuivalen =  $\frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right)$   
=  $\frac{1}{2} \times 365 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right)$  = 412,87  $kg/m$  +

Total beban mati = 748,87  $kg/m$

### Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \times 100 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right) = 113,12 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

### Beban Air Hujan

$$\begin{aligned}\text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times R \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \times 50 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right) = 56,56 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

### Beban Ultimate

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2D + 1,6L + 0,5R \\ &= 1,2 (748,87) + 1,6 (113,12) + 0,5 (56,56) \\ &= 1107,916 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

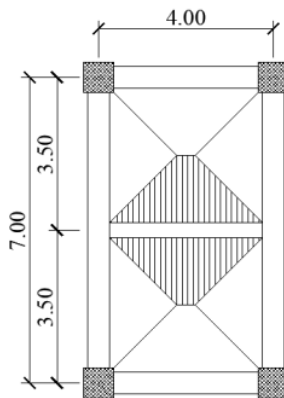
### Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{1107,916 \times 3,5^2}{11} = 1233,82 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{1107,916 \times 3,5^2}{16} = 848,25 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 748,87 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 113,12 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 1889,36 \text{ kg}\end{aligned}$$

### • Pembebanan Trapesium 2 pada Balok Anak Atap



### Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,35 \times 0,4 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 365 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 951,47 \text{ kg/m} + \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 1287,47 \text{ kg/m}$$

### **Beban Hidup**

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 100 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 260,68 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### **Beban Air Hujan**

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times R \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 50 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 130,34 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### **Beban Ultimate**

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L + 0,5R \\ &= 1,2 (1287,47) + 1,6 (260,68) + 0,5 (130,34) \\ &= 2027,222 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

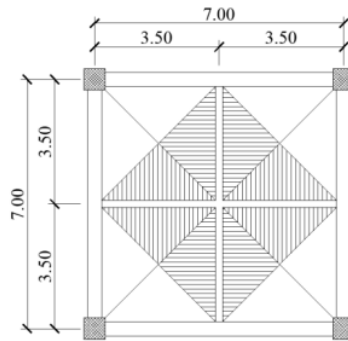
### **Perhitungan Gaya Dalam**

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{2027,222 \times 3,5^2}{11} = 2257,59 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{2027,222 \times 3,5^2}{16} = 1552,09 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 1287,47 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 260,68 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 3433,59 \text{ kg} \end{aligned}$$

1  
 • **Pembebanan Segitiga 1 pada Balok Anak Atap**



**Beban Mati**

Berat sendiri balok =  $0,35 \times 0,40 \times 2400$  =  $336 \text{ kg/m}$

Beban ekuivalen =  $\frac{1}{3} \times qD \times Lx \times 2$   
 =  $\frac{1}{3} \times 365 \times 3,5 \times 2$  =  $851,6 \text{ kg/m} +$

Total beban mati =  $1187,6 \text{ kg/m}$

**Beban Hidup**

Beban ekuivalen =  $\frac{1}{3} \times qL \times Lx \times 2$   
 =  $\frac{1}{3} \times 100 \times 3,5 \times 2$  =  $233,33 \text{ kg/m}$

**Beban Air Hujan**

Beban ekuivalen =  $\frac{1}{3} \times R \times Lx \times 2$   
 =  $\frac{1}{3} \times 50 \times 3,5 \times 2$  =  $116,67 \text{ kg/m}$

**Beban Ultimate**

Qu =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$   
 =  $1,2 (1187,6) + 1,6 (233,33) + 0,5 (116,67)$   
 =  $1856,78 \text{ kg/m}$

**Perhitungan Gaya Dalam**

$M_{Tumpuan} = \frac{Qu \times ln^2}{11} = \frac{1856,78 \times 3,08^2}{11} = 1601,29 \text{ kgm}$

$M_{Lapangan} = \frac{Qu \times ln^2}{16} = \frac{1856,78 \times 3,08^2}{16} = 1100,89 \text{ kgm}$

$V_u = \left(1,2 \times qD \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{ln}{2}\right)$

$$= \left(1,2 \times 1187,6 \times \frac{3,08}{2}\right) + \left(1,6 \times 233,33 \times \frac{3,08}{2}\right)$$

$$= 2769,61 \text{ kg}$$

### 5.5.1.2 Syarat Batas Penulangan Balok Anak Atap

Syarat batas penulangan pada balok anak atap rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

#### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

### 5.5.1.3 Penulangan Lentur Balok Anak Atap

**Tabel 5. 3** Rekapitulasi Gaya Dalam dari Balok Anak Atap

	Momen		$V_u$ (kg)
	Tumpuan (kgm)	Lapangan (kgm)	
Trapesium 1	1233,82	848,25	1889,36
Trapesium 2	2257,59	1552,09	3433,59
Segitiga 1	1601,29	1100,89	2769,61

Digunakan gaya dalam balok anak atap dari pembebanan segitiga 3 yaitu:

$$M_{Tumpuan} = 2257,59 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = 1552,09 \text{ kgm}$$

$$V_u = 3433,59 \text{ kg}$$

#### Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 8 \\ &= 446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Tumpuan} = 2257,59 \text{ kgm} = 22575900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{22575900}{0,9} = 25084333,33 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{25084333,33}{350 \times 446^2} = 0,36$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,36}{390}} \right) = 0,0009 < \rho_{min}$$

Pakai  $\rho_{min} = 0,0020$

#### Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 350 \times 446 = 312,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø12 ( $A_s = 339 \text{ mm}^2$ )

#### Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø12 ( $A_s = 226 \text{ mm}^2$ )

#### Kontrol kekuatan pada balok anak atap

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{452 \times 390}{0,85 \times 35 \times 350} = 16,93$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 452 \times 390 \left( 446 - \frac{16,93}{2} \right) = 77128700,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 77.128.700,5 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 25.084.333,33 \text{ Nmm (OK)}$$

#### - Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan \text{ utama}} - \phi_{tulangan \text{ sengkang}} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 8 \\ &= 446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Lapangan} = 1552,09 \text{ kgm} = 15520900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{15520900}{0,9} = 17245444,44 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{17245444,44}{350 \times 446^2} = 0,25$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,25}{390}} \right) = 0,0006 > \rho_{min}$$

Pakai  $\rho_{min} = 0,0020$



**Luas tulangan tarik**

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 350 \times 446 = 312,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø12 ( $A_s = 339 \text{ mm}^2$ )

**Luas tulangan tekan**

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø12 ( $A_s = 226 \text{ mm}^2$ )

**Kontrol kekuatan pada balok anak atap**

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{339 \times 390}{0,85 \times 35 \times 350} = 12,7$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 339 \times 390 \left( 446 - \frac{12,7}{2} \right) = 58126309 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 58.126.309 \text{ Nmm} > M_{\text{lapangan}} = 17.245.444,44 \text{ Nmm (OK)}$$

- Penulangan Geser Balok Bordes**

Beban geser  $V_u = 3433,59 \text{ kg} = 34335,9 \text{ N}$

- **Kekuatan Geser Beton**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 350 \times 446 = 153916,68 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\phi V_c = 0,75 \times 153916,68 = 115437,51 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 115437,51 = 57718,75 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b \times d = \frac{1}{3} \times 350 \times 446 = 52033,33 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 52033,33 = 39025 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 115437,51 + 39025 = 154462,51 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = 0,6 \times 39025 = 31220 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \min \phi V_s = 115437,51 + 31220 = 146657,51 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b \times d = 115437,51 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 350 \times 446 = 333119,66 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b \times d = 115437,51 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 350 \times 446 = 517819,67 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u \left( \frac{1}{2} \times L_n - d \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{34335,9 \left( \frac{1}{2} \times 308 - 44,6 \right)}{\frac{1}{2} \times 308} = 24391,9 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u1} = 24391,9 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke - 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u1} \leq \frac{1}{2} \phi V_c = 24391,9 \text{ N} < 57718,75 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan Ø8 – 100 mm

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3f_y} = \frac{350 \times 100}{3 \times 390} = 29,91 \text{ mm}^2$$

Senggang 2 kaki  $\emptyset 8 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 29,91 \text{ mm}^2$  (OK)

Gaya geser perlawanan senggang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{29,91 \times 390 \times 444}{100} = 51792,156 \text{ N}$$

$\emptyset V_s = 0,75 \times 51792,156 = 38844,117 > \min \emptyset V_s = 31220 \text{ N}$  (OK)

Untuk jarak 100 cm dari muka (daerah lapangan)

$$V_{u2} = \frac{V_u \left( \frac{1}{2} \times L_n - 100 \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{34335,9 \left( \frac{1}{2} \times 308 - 100 \right)}{\frac{1}{2} \times 308} = 12039,9 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u2} = 12039,9 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke - 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u2} \leq \frac{1}{2} \emptyset V_c = 12039,9 \text{ N} < 57459,92 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan  $\emptyset 8 - 150 \text{ mm}$

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3f_y} = \frac{350 \times 150}{3 \times 390} = 44,87 \text{ mm}^2$$

Senggang 2 kaki  $\emptyset 10 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 44,87 \text{ mm}^2$  (OK)

Gaya geser perlawanan senggang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{44,87 \times 390 \times 444}{150} = 51800 \text{ N}$$

$\emptyset V_s = 0,75 \times 51800 = 38850 > \min \emptyset V_s = 31220 \text{ N}$  (OK)

Maka, dipakai tulangan senggang  $\emptyset 8 - 100 - 150 \text{ mm}$

### 5.5.2 Perencanaan Balok Anak Lantai

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang balok anak lantai dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan:

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm}$$

Tinggi balok rencana yang dipakai  **$h = 50 \text{ cm}$**

Untuk lebar balok minimal:

$$b = 0,3h = 0,3(50) = 15 \text{ cm} \text{ maka dipakai } \mathbf{b = 45 \text{ cm}}$$

$$\text{Syarat: } b = \frac{h}{b} \leq 2$$

$$b = \frac{50}{45} = 1,11 \leq 2 \text{ (OK)}$$

Diameter tulangan utama = D12

Diameter tulangan senggang = D10

Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 390 MPa

Selimut beton (s)	= 40 mm
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 35 MPa

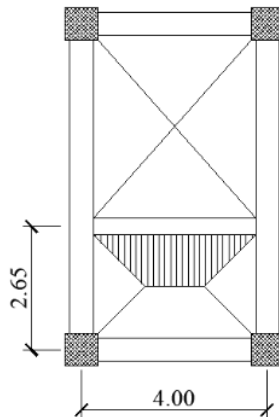
### 5.5.2.1 Pembebanan Balok Anak Lantai

#### Beban mati

Berat pelat	= 0,12 x 2400	= 288 $kg/m^2$
Ducting AC	= 20	= 20 $kg/m^2$
Plumbing	= 10	= 10 $kg/m^2$
Plafond	= 18	= 18 $kg/m^2$
Spesi 2 cm	= 21 x 2	= 42 $kg/m^2$
Keramik	= 24	= 24 $kg/m^2$ +
		<b>qD = 402 <math>kg/m^2</math></b>
		<b>= 250 <math>kg/m^2</math></b>

#### Beban hidup (qL)

- Pembebanan Trapesium 1 pada Balok Anak Lantai



#### Beban Mati

Berat sendiri balok	= 0,45 x 0,40 x 2400	= 432 $kg/m$
Beban ekuivalen	= $\frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right)$	
	= $\frac{1}{2} \times 402 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right)$	= 454,72 $kg/m$ +

$$\text{Total beban mati} = 886,72 \text{ kg/m}$$

### Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \times 250 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right) = 282,79 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (886,72) + 1,6 (282,79) \\ &= 1516,528 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

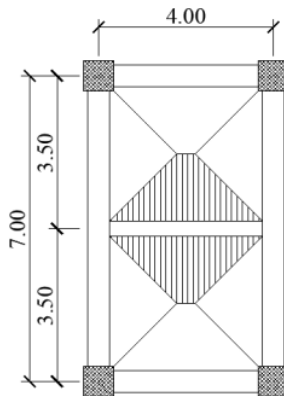
### Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{1516,528 \times 3,5^2}{11} = 1688,86 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{1516,528 \times 3,5^2}{16} = 1161,09 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 886,72 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 282,79 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 2653,92 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Pembebanan Trapesium 2 pada Balok Anak Lantai**



### Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,45 \times 0,40 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 402 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 1047,92 \text{ kg/m} + \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 1479,92 \text{ kg/m}$$

### Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 250 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 651,69 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (1479,92) + 1,6 (651,69) \\ &= 2818,608 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

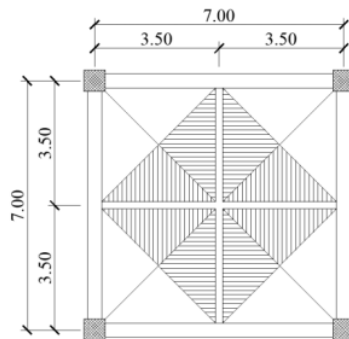
### Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{2818,608 \times 3,5^2}{11} = 3138,9 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{2818,608 \times 3,5^2}{16} = 2158 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 1479,92 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 651,69 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 4932,56 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Pembebanan Segitiga 1 pada Balok Anak Lantai**



### Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,45 \times 0,40 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times qD \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 402 \times 3,5 \times 2 \\ &= 938 \text{ kg/m} + \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 1370 \text{ kg/m}$$

### Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times qL \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 250 \times 3,5 \times 2 \\ &= 583,3 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

### Beban Ultimate

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (1370) + 1,6 (583,3) \\ &= 2577,28 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

### Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{2577,28 \times 3,08^2}{11} = 2222,65 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{2577,28 \times 3,08^2}{16} = 1528,07 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 1370 \times \frac{3,08}{2}\right) + \left(1,6 \times 583,3 \times \frac{3,08}{2}\right) \\ &= 3969,01 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### 5.5.2.2 Syarat Batas Penulangan Balok Anak Lantai

Syarat batas penulangan pada balok anak lantai rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

#### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

### 5.5.2.3 Penulangan Lentur Balok Anak Lantai

**Tabel 5.4** Rekapitulasi Gaya Dalam dari Balok Anak Atap

	Momen		$V_u$ (kg)
	Tumpuan (kgm)	Lapangan (kgm)	
Trapesium 1	1688,86	1161,09	2653,92
Trapesium 2	3138,9	2158	4932,56
Segitiga 1	2222,65	1528,07	3969,01

Digunakan gaya dalam balok anak atap dari pembebanan segitiga 3 yaitu:

$$M_{Tumpuan} = 3138,9 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = 2158 \text{ kgm}$$

$$V_u = 4932,56 \text{ kg}$$

#### - Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 10 \\ &= 444 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Tumpuan} = 3138,9 \text{ kgm} = 31389000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{31389000}{0,9} = 34876666,67 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{34876666,67}{450 \times 444^2} = 0,39$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,39}{390}} \right) = 0,001 < \rho_{min}$$

Pakai  $\rho_{min} = 0,0020$

#### Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 450 \times 446 = 401,4 \text{ mm}^2$$

Digunakan 4Ø12 ( $A_s = 452 \text{ mm}^2$ )

#### Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø12 ( $A_s = 339 \text{ mm}^2$ )

#### Kontrol kekuatan pada balok anak atap

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{452 \times 390}{0,85 \times 35 \times 450} = 13,17$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 452 \times 390 \left( 446 - \frac{13,17}{2} \right) = 77460295,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 77.460.295,9 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 34.876.666,67 \text{ Nmm (OK)}$$

**- Daerah Lapangan**

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 8 \\ &= 446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Lapangan} = 2158 \text{ kgm} = 21580000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{21580000}{0,9} = 23977777,78 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{23977777,78}{450 \times 446^2} = 0,27$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,27}{390}} \right) = 0,0007 < \rho_{min}$$

$$\text{Pakai } \rho_{min} = 0,0020$$

**Luas tulangan tarik**

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 450 \times 446 = 401,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } 4\emptyset 12 \text{ (} A_s = 452 \text{ mm}^2 \text{)}$$

**Luas tulangan tekan**

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } 3\emptyset 12 \text{ (} A_s = 339 \text{ mm}^2 \text{)}$$

**Kontrol kekuatan pada balok anak atap**

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{452 \times 390}{0,85 \times 35 \times 450} = 13,17$$

$$M_n = A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 452 \times 390 \left( 446 - \frac{13,17}{2} \right) = 77460295,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 77.460.295,9 \text{ Nmm} > M_{lapangan} = 23.977.777,78 \text{ Nmm (OK)}$$

**• Penulangan Geser Balok Anak Lantai**

$$\text{Beban geser } V_u = 4932,56 \text{ kg} = 49325,6 \text{ N}$$

**- Kekuatan Geser Beton**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 450 \times 446 = 197892,87 \text{ N}$$

**- Periksa Kategori Desain**

$$\phi V_c = 0,75 \times 197892,87 = 148419,65 \text{ N}$$



$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\phi V_c &= \frac{1}{2} \times 148419,65 &= 74209,83 \text{ N} \\ V_s &= \frac{1}{3} \times b \times d &= \frac{1}{3} \times 450 \times 446 &= 66900 \text{ N} \\ \phi V_s &= 0,75 \times 66900 &= 50175 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi V_s &= 148419,65 + 50175 &= 198594,65 \text{ N} \\ \min \phi V_s &= 0,6 \times 50175 &= 40140 \text{ N} \\ \phi V_c + \min \phi V_s &= 148419,65 + 40140 &= 188559,65 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} \times b \times d &= 148419,65 + 0,6 \times \frac{1}{3}\sqrt{35} \times 450 \times 446 &= 385891,1 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \frac{2}{3}\sqrt{f'_c} \times b \times d &= 148419,65 + 0,6 \times \frac{2}{3}\sqrt{35} \times 450 \times 446 &= 623362,54 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u(\frac{1}{2} \times Ln - d)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{49325,6(\frac{1}{2} \times 308 - 44,6)}{\frac{1}{2} \times 308} = 35040,4 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u1} = 35040,4 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke - 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u1} \leq \frac{1}{2}\phi V_c = 35040,4 \text{ N} < 74209,83 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan  $\phi 8 - 100 \text{ mm}$

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3f_y} = \frac{450 \times 100}{3 \times 390} = 38,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sengkang 2 kaki } \phi 8 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 38,46 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{38,46 \times 390 \times 446}{100} = 66897,3 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 66897,3 = 50173 \text{ N} > \min \phi V_s = 40140 \text{ N (OK)}$$

Untuk jarak 100 cm dari muka (daerah lapangan)

$$V_{u2} = \frac{V_u(\frac{1}{2} \times Ln - 100)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{49325,6(\frac{1}{2} \times 308 - 100)}{\frac{1}{2} \times 308} = 17296 \text{ N}$$

Untuk  $V_{u2} = 17296 \text{ N}$ , termasuk dalam kategori desain ke - 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u2} \leq \frac{1}{2}\phi V_c = 17296 \text{ N} < 74209,83 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan  $\phi 8 - 100 \text{ mm}$

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3f_y} = \frac{450 \times 100}{3 \times 390} = 38,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sengkang 2 kaki } \phi 8 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 38,46 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{38,46 \times 390 \times 446}{100} = 66897,3 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 66897,3 = 50173 \text{ N} > \min \phi V_s = 40140 \text{ N (OK)}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang  $\varnothing 8 - 100 - 100$  mm

## 5.6 Rekapitulasi Struktur Sekunder

**Tabel 5. 5** Rekapitulasi Penulangan Struktur Sekunder

Type	Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Anak Atap	350/500	Atas	3D12	2D12
		Bawah	2D12	3D12
		Sengkang	D8 – 100	D8 – 150
Balok Anak Lantai	450/500	Atas	4D12	3D12
		Bawah	3D12	4D12
		Sengkang	D8 – 100	D8 – 100
Balok Bordes	200/300	Atas	3D14	2D14
		Bawah	2D14	2D14
		Sengkang	D10 – 100	D10 – 100
Balok Penggantung <i>Lift</i>	200/400	Atas	6D19	3D19
		Bawah	3D19	6D19
		Sengkang	D10 – 100	D10 – 150

## BAB VI

### PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

#### 6.1 Umum

Struktur primer merupakan struktur utama dari suatu gedung yang kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama terdiri dari balok induk dan kolom. Struktur primer pada perencanaan ini didesain tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen khusus agar memperkecil terjadinya keruntuhan saat adanya gempa. Analisa struktur primer gedung ini dimodelkan dengan program bantu komputer berdasarkan SNI 1726:2019 dan 2847:2019 untuk persyaratan gedung tahan gempa serta SNI 1727:2020 untuk pembebanan bangunan gedung.

##### 6.1.1 Data Perencanaan Struktur Primer

Adapun data yang digunakan untuk menghitung perencanaan struktur primer pada gedung Hotel Dame, sebagai berikut:

7. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa
8. Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa
9. Jumlah lantai : 10 lantai + atap
10. Tinggi bangunan : 40 m
11. Tinggi antar lantai : 4 m
12. Panjang bangunan : 49 m
13. Lebar bangunan : 42 m
14. Dimensi balok induk : 50/60 cm
15. Dimensi balok anak atap : 35/50 cm
16. Dimensi balok anak lantai : 45/50 cm
17. Dimensi kolom : 70/70 cm
18. R : 8
19.  $C_d$  : 5,5

Data perencanaan gedung dengan struktur beton bertulang harus sesuai dengan SNI 2847-2019, terutama pada mutu beton dan mutu tulangan yang dipakai. Untuk nilai R dan  $C_d$  didapat dari tabel 12 dengan jenis struktur bangunan nongedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sedangkan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  didapat dari situs gempa Indonesia yang digunakan pada SNI 1726-2019.

## 6.1.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur perlu diperhitungkan untuk mengidentifikasi beban yang bekerja pada struktur. Beban yang diterima struktur yaitu beban gravitasi dan beban gempa.

### 6.1.2.1 Perhitungan Beban Gravitasi

Beban gravitasi yang terjadi pada suatu struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang bekerja pada setiap lantai, dengan beban setiap lantai sebagai berikut:

- **Berat struktur lantai 10 (Atap)**

- **Beban mati**

Pelat sendiri	$= (46 \times 42) \times 0,10 \times 2400$	$= 463680 \text{ kg}$
Beban tambahan	$= (46 \times 42) \times 104$	$= 200938 \text{ kg}$
Balok induk (x1)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok induk (x2)	$= (0,5 \times 0,6 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 11520 \text{ kg}$
Balok induk (y)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok anak (x1)	$= (0,35 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 123480 \text{ kg}$
Balok anak (x2)	$= (0,35 \times 0,5 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 6720 \text{ kg}$
Balok anak (y)	$= (0,35 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 123480 \text{ kg}$
Balok lift	$= (0,2 \times 0,4 \times 7) \times 1 \times 2400$	$= 1344 \text{ kg}$
Berat kolom	$= (0,7 \times 0,7 \times 2) \times 56 \times 2400$	$= 131712 \text{ kg}$
Dinding	$= (761 \times 250)$	$= 190250 \text{ kg} +$
Beban mati total atap		$= 1676474 \text{ kg}$

- **Beban hidup**

Beban hidup atap = lantai atap x koef. reduksi		
	$= (46 \times 42 \times 100) \times 0,3$	$= 57960 \text{ kg}$

- **Berat struktur lantai 2 – 9 (Lantai)**

Pelat sendiri	$= (46 \times 42) \times 0,10 \times 2400$	$= 463680 \text{ kg}$
Beban tambahan	$= (46 \times 42) \times 104$	$= 200938 \text{ kg}$
Balok induk (x1)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok induk (x2)	$= (0,5 \times 0,6 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 11520 \text{ kg}$
Balok induk (y)	$= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 211680 \text{ kg}$
Balok anak (x1)	$= (0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 158760 \text{ kg}$
Balok anak (x2)	$= (0,45 \times 0,5 \times 4) \times 4 \times 2400$	$= 8640 \text{ kg}$
Balok anak (y)	$= (0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400$	$= 158760 \text{ kg}$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat kolom} &= (0,7 \times 0,7 \times 2) \times 56 \times 2400 &= 131712 \text{ kg} \\
 \text{Dinding} &= (761 \times 250) &= 190250 \text{ kg} \\
 \text{Beban mati total atap} & &= 1747610 \text{ kg} \\
 - \text{ **Beban hidup**} & & \\
 \text{Beban hidup lantai} &= (42 \times 46 \times 250) \times 0,3 &= 144900 \text{ kg} \\
 \bullet \text{ **Berat struktur lantai 1 (Lantai)**} & & \\
 \text{Pelat sendiri} &= (46 \times 42) \times 0,10 \times 2400 &= 463680 \text{ kg} \\
 \text{Beban tambahan} &= (46 \times 42) \times 104 &= 200938 \text{ kg} \\
 \text{Balok induk (x1)} &= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400 &= 211680 \text{ kg} \\
 \text{Balok induk (x2)} &= (0,5 \times 0,6 \times 4) \times 4 \times 2400 &= 11520 \text{ kg} \\
 \text{Balok induk (y)} &= (0,5 \times 0,6 \times 7) \times 42 \times 2400 &= 211680 \text{ kg} \\
 \text{Balok anak (x1)} &= (0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400 &= 158760 \text{ kg} \\
 \text{Balok anak (x2)} &= (0,45 \times 0,5 \times 4) \times 4 \times 2400 &= 8640 \text{ kg} \\
 \text{Balok anak (y)} &= (0,45 \times 0,5 \times 7) \times 42 \times 2400 &= 158760 \text{ kg} \\
 \text{Berat kolom} &= (0,7 \times 0,7 \times 2) \times 56 \times 2400 &= 131712 \text{ kg} \\
 \text{Dinding} &= (340,5 \times 250) &= 85125 \text{ kg} \\
 \text{Beban mati total atap} & &= 1642485 \text{ kg} \\
 - \text{ **Beban hidup**} & & \\
 \text{Beban hidup lantai} &= (42 \times 46 \times 250) \times 0,3 &= 144900 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**Tabel 6. 1** Rekapitulasi Perhitungan Pembebanan Gravitasi

Lantai	Tinggi (h) (m)	Beban (kg)		Berat Perlantai (W) (kg)
		Mati	Hidup	
10	40	1676474	57960	1734434
9	36	1747610	144900	1892510
8	32	1747610	144900	1892510
7	28	1747610	144900	1892510
6	24	1747610	144900	1892510
5	20	1747610	144900	1892510
4	16	1747610	144900	1892510
3	12	1747610	144900	1892510
2	8	1747610	144900	1892510
1	4	1642485	144900	1787385
<b>Total</b>				<b>18661899</b>

### 6.1.2.2 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan pembebanan gempa pada struktur ini menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dan dihitung sesuai dengan SNI 1726 – 2019.

#### 1. Respon Spektrum

Menentukan respon spektrum harus mengetahui jenis tanah setempat dengan data tanah SPT yang terlampir pada lampiran, setelah mengetahui jenis tanah dapat menentukan respon spektrum melalui <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Berikut merupakan rekapitulasi data tanah setempat dapat dilihat pada Tabel 6.2.

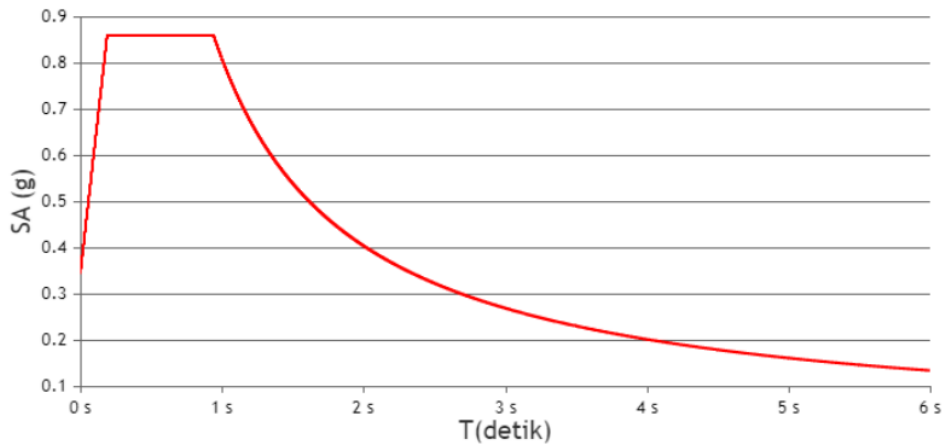
**Tabel 6. 2** Rekapitulasi Data Tanah Kota Padang

No.	Kedalaman (m)	Deskripsi Tanah	T (m)	N (SPT)	Value SPT
1.	2,1	Lempung kelanauan (abu – abu kekuningan dan hitam)	2,1	7	0,3
2.	4,2	Lanau kepasiran (abu – abu dan hitam bitnik putih)	2,1	28	0,08
3.	5,50	Pasir kasar (hitam bintik putih)	1,3	40	0,03
4.	7,00	Lanau kelepungan (abu – abu kecoklatan campur kuning)	1,5	21	0,07
5.	8,50	lanau kelepungan (coklat kekuningan campur abu – abu)	1,5	7	0,21
6.	10,30	Lanau kelepungan (abu – abu kekuningan bintik hitam coklat)	1,8	23	0,08
7.	12,00	Lanau kelepungan (coklat gelap)	1,7	11	0,15
8.	13,40	Lanau kelepungan (abu – abu kehitaman)	1,4	12	0,12
9.	14,60	Pasir kasar (hitam bintik abu – abu dan kuning)	1,2	37	0,03
10.	17,80	Pasir halus (hitam)	3,2	79 51	0,04 0,06
11.	19,50	Lanau kelepungan (abu – abu kekuningan campur hitam)	1,7	38	0,04
12.	22,00	Lanau kelepungan (abu – abu gelap campur coklat dan kuning)	2,5	16 18	0,16 0,14
13	23,60	Lanau kelepungan (coklat gelap)	1,6	15	0,11
14.	25,20	Lanau kelepungan (abu – abu kekuningan dan hitam)	1,6	26	0,06
15.	28,40	Lanau kelepungan (abu – abu gelap campur coklat dan kuning)	3,2	23 26	0,14 0,12
16.	30,45	Lanau kelepungan (coklat kekuningan dan hitam)	2	24 27	0,08 0,07
<b>Total</b>					<b>2,11</b>

Diambil kedalaman 30 meter untuk mengetahui jenis tanah dengan rumus:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{2,11} = 14,24$$

Sesuai dengan klasifikasi situs tanah pada SNI 1736 – 2019 Tabel 5 dapat dikategorikan kedalam jenis tanah lunak (SE), dikarenakan  $\bar{N} = 14,24 < 15$ . Dapat ditentukan respon spektrum Kota Padang sesuai dengan **Gambar 6.1**.



**Gambar 6.1** Respon Spektrum Kota Padang

Diperoleh data dari hasil respon spektrum, yaitu:

Kelas situs = SE (tanah lunak)

PGA (g) = 0,7695 g

$S_S$  (g) = 1,6171 g

$S_1$  (g) = 0,6082 g

$F_A$  = 0,8 g (SNI 1726 – 2019 Tabel 6)

$F_V$  = 2,0 g (SNI 1726 – 2019 Tabel 7)

$S_{MS}$  = 1,2937 g

$S_{M1}$  = 1,2164 g

$S_{DS}$  = 0,86

$S_{D1}$  = 0,81

$T_0$  = 0,19

$T_1$  = 0,94

## 2. Periode Fundamental

Penentuan periode fundamental struktur T, diizinkan menggunakan periode pendekatan ( $T_a$ ) yang dapat dihitung sesuai dengan SNI 1726 – 2019 pasal 7.8.2.1 dimana ( $T_a$ ) tidak boleh melebihi hasil koefisien batas atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ), dengan rumusan:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Dimana perencanaan gedung rangka beton menggunakan sistem rangka pemikul momen dilihat dari SNI 1726 – 2019 Tabel 18, maka:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$h_n = 40 \text{ meter}$$

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 40^{0,9} = 1,29 \text{ detik}$$

$S_{D1} = 0,81$  didapat koefisien  $C_u = 1,4$  (didapat dari SNI 1726 – 2019 Tabel 17)

$$T_a < C_u = 1,29 < 1,4 \text{ (OK)}$$

## 3. Distribusi Beban Gempa

Perhitungan distribusi beban gempa ini perlu diketahui beban geser dasar seismik  $S_{DS} = 0,86$ , dengan nilai  $R = 8$  (SNI 1726 – 2019 Tabel 12) dan faktor keutamaan gedung untuk Hotel Dame ini  $II = 1,0$  (SNI 1726 – 2019 Tabel 4) dengan itu nilai  $C_S$ :

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,86}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,1075$$

Sehingga didapat nilai beban gaya geser dasar seismik dengan rumusan:

$$V = C_S \times W = 0,1075 \times 18.661.899 = 2.006.154,143 \text{ kg}$$

Ditribusi gaya gempa  $F_i$  dihitung sesuai SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.3 dengan rumusan:

$$F_i = C_{vx} V$$

$$\text{Dengan } C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Maka:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V$$

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 periode struktur dengan nilai:  
 Untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$   
 Untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$   
 Untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 atau 2

Nilai  $k$  hasil interpolasi:

$$k = 1 - \frac{1,29 - 0,5}{2,5 - 0,5} \times (2 - 1) = 1,632$$

Sehingga nilai  $F_i$  pada lantai 1 dapat dihitung:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V = \frac{1787385 \times 4^{1,632}}{17170384,27} \times 2006154,143 = 25657,25 \text{ kg}$$

**Tabel 6.3** Perhitungan Beban Gempa Tiap Lantai

Lantai	Beban Geser (kg)	Tinggi Lantai (m)	Berat (kg)	Faktor (k)	$w_x h_x^k$	$F_x$ (kg)
10	2006154,143	40	1734434	1,632	714035302,6	1066964
9	2006154,143	36	1892510	1,632	656030248,2	980288,7
8	2006154,143	32	1892510	1,632	541306132,9	808859,5
7	2006154,143	28	1892510	1,632	435311449,6	650474,4
6	2006154,143	24	1892510	1,632	338487729,3	505793,3
5	2006154,143	20	1892510	1,632	251373293,8	375620,5
4	2006154,143	16	1892510	1,632	174647347,7	260970,9
3	2006154,143	12	1892510	1,632	109209891,7	163189,5
2	2006154,143	8	1892510	1,632	56348329,01	84199,82
1	2006154,143	4	1787385	1,632	17170384,27	25657,25
$\sum_{i=1}^n w_i h_i^k$					3293920109	

### 6.1.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan yang akan dimasukkan ke dalam program bantu komputer harus sesuai dengan SNI 1727 – 2020 seperti pada Tabel 6.4.

**Tabel 6.4** Kombinasi Pembebanan

Type	Kombinasi Beban
COMBO 1	1,4D
COMBO 2	1,2D + 1,6L
COMBO 3	1,2D + L + GX + 0,3 GY

COMBO 4	1,2D + L + GX - 0,3 GY
COMBO 5	1,2D + L - GX + 0,3 GY
COMBO 6	1,2D + L - GX - 0,3 GY
COMBO 7	0,9D + GX + 0,3GY
COMBO 8	0,9D + GX - 0,3GY
COMBO 9	0,9D - GX + 0,3GY
COMBO 10	0,9D - GX - 0,3GY
COMBO 11	1,2D + L + 0,3GX + GY
COMBO 12	1,2D + L + 0,3GX - GY
COMBO 13	1,2D + L - 0,3GX + GY
COMBO 14	1,2D + L - 0,3GX - GY
COMBO 15	0,9D + 0,3GX + GY
COMBO 16	0,9D + 0,3GX - GY
COMBO 17	0,9D - 0,3GX + GY
COMBO 18	0,9D - 0,3GX - GY

Kombinasi pembebanan diinput melalui program bantu komputer, kemudian *run analyze* sehingga diketahui nilai gaya – gaya dalam yang terjadi pada struktur. Selanjutnya dilakukan *check of structure* maka pada gambar struktur akan diketahui notasi warna yang menunjukkan kekuatan struktur. Apabila notasi warna pada struktur tersebut berwarna merah, menunjukkan bahwa komponen dari struktur terjadi *failure* (kegagalan). Artinya struktur tidak mampu untuk menahan beban yang bekerja, maka harus dilakukan *redesign* pada perencanaan awal struktur (*preliminary design*). Bila warna sudah menunjukkan warna biru, hijau, kuning, dan oranye maka struktur tersebut mampu menahan beban yang bekerja.

#### 6.1.2.4 Batas Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai didesain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin ( $\Delta a$ ) agar membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa dan benturan antar Gedung. Oleh karena itu simpangan antar lantai dapat diitung dengan rumusan:

$$\delta_{xy} = \frac{Cd \times \delta_{xe}}{I_e} \text{ (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6)}$$

$$\delta_{xy} < \Delta a \text{ (SNI 1726:2019 Tabel 20)}$$

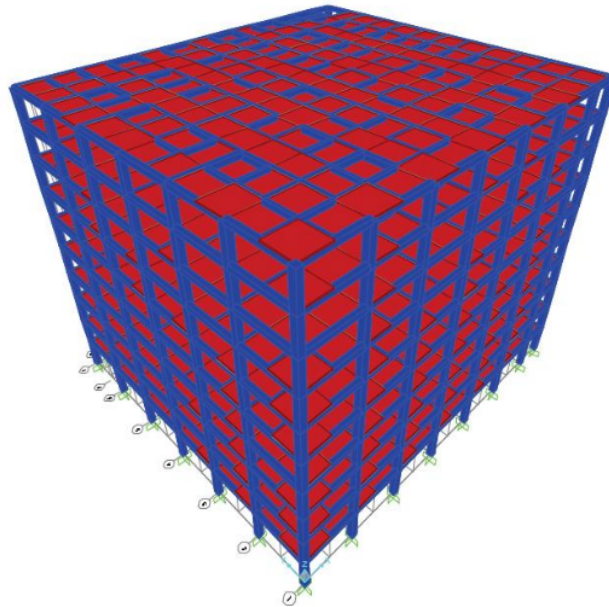
Dimana:

$Cd$  = faktor pembesaran defleksi (SNI 1726:2019 Tabel 12)

$\delta_{xy}$  = defleksi pada lokasi lantai yang diakibatkan gaya gempa lateral

$\Delta a$  = 0,025h = 0,025 × 4000 = 100 mm (SNI 1726:2019 Tabel 20)

$I_e$  = faktor keutamaan gedung



**Gambar 6. 2** Bentuk 3D Gedung Hotel Dame

Sehingga nilai  $\delta_{xy}$  lantai 2 dapat dihitung:

$$\delta_x = \frac{Cd \times \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5,5 \times (7,62 - 0,00)}{1,0} = 41,91 \text{ mm}$$

$$\delta_y = \frac{Cd \times \delta_{ye}}{I_e} = \frac{5,5 \times (10,27 - 0,00)}{1,0} = 56,49 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan nilai simpangan struktur pada lantai 2 hingga lantai atap arah X dan Y dapat dilihat pada **Tabel 6.5**.

**Tabel 6. 5** Nilai Simpangan Tiap Lantai

Lantai	Hsx (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta a$ ijin (mm)	Keterangan
Atap	4000	89,86	119,85	16,72	19,84	100,00	aman
10	4000	86,82	116,24	26,94	33,86	100,00	aman
9	4000	81,92	110,08	37,19	48,14	100,00	aman
8	4000	75,16	101,33	46,47	61,19	100,00	aman
7	4000	66,71	90,21	54,69	72,85	100,00	aman
6	4000	56,77	76,96	61,85	83,17	100,00	aman
5	4000	45,52	61,84	67,76	91,82	100,00	aman
4	4000	33,20	45,14	71,51	97,46	100,00	aman
3	4000	20,20	27,42	69,17	94,34	100,00	aman

2	4000	7,62	10,27	41,91	56,49	100,00	aman
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	aman

Dari hasil pada tabel di atas dapat disimpulkan bahwa simpangan yang terjadi pada lantai 2 hingga lantai atap arah X dan Y tidak melebihi simpangan izin struktur sehingga struktur gedung dikatakan aman dari beban gempa.

### 6.1.2.5 Kontrol Periode Getar Waktu

Kontrol periode getar waktu struktur gedung dapat dihitung pada Tabel 6.6 untuk sumbu X dan Tabel 6.6 untuk arah Y.

**Tabel 6.6** Tabel T-Rayleigh dalam Sumbu X

Lantai	$W_i$ (kg)	$\delta_x$ (cm)	$\delta_x^2$ (cm <sup>2</sup> )	$F_i$	$W_i \times \delta_x^2$	$F_i \times \delta_x$
Atap	1734434	8,99	80,74	810057,90	140045583,93	7279002,72
10	1892510	8,68	75,37	768569,90	142646476,40	6672595,60
9	1892510	8,19	67,11	634165,30	127005625,63	5195111,37
8	1892510	7,52	56,49	509987,6	106905302,00	3833011,72
7	1892510	6,67	44,50	396554,10	84219037,34	2645382,58
6	1892510	5,68	32,22	294495,50	60982604,75	1671716,22
5	1892510	4,55	20,72	204607,50	39212454,51	931353,33
4	1892510	3,32	11,02	127944,50	20857662,45	424751,92
3	1892510	2,02	4,08	66014,68	7719339,33	133324,97
2	1787385	0,76	0,58	18922,74	1037804,68	14418,92
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>					<b>730631891,02</b>	<b>28800669,36</b>

$$T_{rx} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times \delta_x^2}{g \times \sum F_i \times \delta_x}} = 6,3 \sqrt{\frac{730631891,02}{980 \times 28800669,36}} = 1,01$$

Didapat  $T_a = 1,29$  detik  $< 3,5T_{rx} = 1,29 < 3,55$  detik, dengan itu bisa dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

**Tabel 6.7** Tabel T-Rayleigh dalam Sumbu Y

Lantai	$W_i$ (kg)	$\delta_y$ (cm)	$\delta_y^2$ (cm <sup>2</sup> )	$F_i$	$W_i \times \delta_y^2$	$F_i \times \delta_y$
Atap	1734434	11,98	143,63	810057,90	249117004,13	9708203,22
10	1892510	11,62	135,11	768569,90	255702185,91	8933702,80
9	1892510	11,01	121,18	634165,30	229334296,07	6981004,00

8	1892510	10,13	102,68	509987,6	194317720,94	5167693,28
7	1892510	9,02	81,37	396554,10	153993039,02	3577123,20
6	1892510	7,70	59,23	294495,50	112087267,29	2266406,00
5	1892510	6,18	38,24	204607,50	72367851,92	1265246,95
4	1892510	4,51	20,38	127944,50	38566508,22	577574,07
3	1892510	2,74	7,52	66014,68	14232602,73	181035,44
2	1787385	1,03	1,05	18922,74	1885635,99	19435,87
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>					<b>1321604112,22</b>	<b>38677424,83</b>

$$T_{ry} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times \delta_y^2}{g \times \sum F_i \times \delta_y}} = 6,3 \sqrt{\frac{1321604112,22}{980 \times 38677424,83}} = 1,18$$

Didapat  $T_a = 1,29$  detik  $< 3,5T_{ry} = 1,29 < 4,12$  detik, dengan itu bisa dihitung dengan analisis gaya lateral ekuivalen.

## 6.2 Perencanaan Balok Induk

Perencanaan balok induk pada struktur gedung ini direncanakan dengan memeriksa momen yang bekerja di setiap balok induk yang direncanakan dengan menggunakan bantuan program bantu komputer dan mengambil momen terbesar yang terjadi pada balok induk.

### 6.2.1 Syarat Batas Penulangan Balok Induk

Syarat batas penulangan pada balok induk rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

#### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

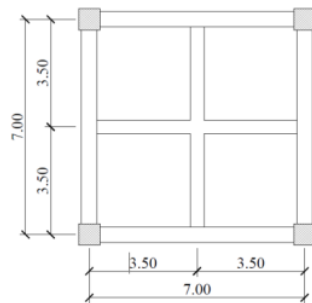
$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

## 6.2.2 <sup>1</sup> Penulangan Lentur Balok Induk



**Gambar 6. 3** Penulangan Balok Induk

<sup>23</sup> Bentang balok (L) : 7000 mm

Lebar balok (b) : 500 mm

Tinggi balok (h) : 600 mm

Selimut beton (s) : 40 mm

Diameter tulangan utama : D22

Diameter tulangan sengkang : D12

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa

Mutu baja tulangan ( $f_y$ ) : 390 MPa

Mutu baja sengkang ( $f_{ys}$ ) : 390 MPa

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{\text{tulangan utama}} - \phi_{\text{tulangan sengkang}} \\ &= 600 - 40 - \frac{1}{2} \times 22 - 12 \\ &= 537 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Tabel 6. 8** Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Induk

Gaya Dalam	Besar	Satuan
Momen tumpuan (-)	580666700	Nmm
Momen tumpuan (+)	382987977	Nmm
Momen lapangan (+)	182834436,8	Nmm
Torsi	30595350,4	Nmm
Geser	223259,6	N
Geser (1,2D + 1L)	168522,55	N
Aksial	3517,87	N

### Daerah Tumpuan (Momen Negatif)

$$M_{Tumpuan} = 580666700 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{580666700}{0,9} = 645185222,2 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = \frac{645185222,2}{500 \times 537^2} = 4,45$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,45}{390}} \right) = 0,0124 < \rho_{min}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0124 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0124$$

#### Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0124 \times 500 \times 537 = 3329,4 \text{ mm}^2$$

Digunakan 9Ø22 ( $A_s = 3421 \text{ mm}^2$ )

#### Luas tulangan tarik pakai

$$A_{s_{pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 9 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 3419,46 \text{ mm}^2$$

#### Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2t_s - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n - 1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 9(22)}{9 - 1}$$

$$s = 24,75 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1 spasi bersih tulangan yang sejajar pada satu lapisan horizontal harus tidak kurang dari:

$$s > 25 \geq D_{lentur}$$

$$24,75 < 25 \geq 22 \text{ (TIDAK OK)}$$

Maka tulangan disusun 2 lapis:

$$\text{Lapis 1} = 6D22$$

$$\text{Lapis 2} = 3D22$$

Kontrol:

Lapis 1:

$$s = \frac{b - 2t_s - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n - 1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 6(22)}{6 - 1}$$

$$s = 52,8 \text{ mm}$$

$$52,8 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Jarak vertikal :

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.2 tulangan yang dipasang dua lapis atau lebih, tulangan atas harus tepat di atas tulangan bawah dengan spasi bersih minimal 25 mm. Oleh karena itu, direncanakan spasi vertikal antar tulangan  $s = 25$  mm

Maka, tinggi efektif balok:

$$d' = \frac{6(ts + D_{geser} + 0,5D_{lentur}) + 3(ts + D_{geser} + D_{lentur} + 25 + 0,5D_{lentur})}{6+3}$$

$$d' = \frac{6(40+12+0,5(22)) + 3(40+12+22+25+0,5(22))}{6+3}$$

$$d' = 78,67 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 600 - 78,67 = 521,33 \text{ mm}$$

**Kontrol kekuatan tulangan tumpuan (momen negatif)**

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{3419,46 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 89,65$$

$$M_n = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 3419,46 \times 390 \left( 521,33 - \frac{89,65}{2} \right) = 651771815,4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 651.771.815,4 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 645.185.222,2 \text{ Nmm (OK)}$$

**Daerah Tumpuan (Momen Positif)**

$$M_{Tumpuan} = 382987977 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{382987977}{0,9} = 425542188,9 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = \frac{425542188,9}{500 \times 537^2} = 2,95$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,45}{390}} \right) = 0,008 < \rho_{min}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,008 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,008$$

**Luas tulangan tarik**

$$As = \rho \times b \times d = 0,008 \times 500 \times 537 = 2148 \text{ mm}^2$$

Digunakan 6Ø22 ( $As = 2281 \text{ mm}^2$ )

**Luas tulangan tarik pakai**

$$As_{pakai} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 6 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 2279,64 \text{ mm}^2$$

**Jarak antar tulangan**

$$s = \frac{b - 2ts - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n-1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 6(22)}{6-1}$$



$$s = 52,8 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1 spasi bersih tulangan yang sejajar pada satu lapisan horizontal harus tidak kurang dari:

$$s > 25 \geq D_{lentur}$$

$$52,8 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun 1 lapis

#### Kontrol kekuatan tulangan tumpuan (momen positif)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 59,77$$

$$M_n = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 3419,46 \times 390 \left( 537 - \frac{59,77}{2} \right) = 450856031,3 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 450.856.031,3 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 425.542.188,9 \text{ Nmm (OK)}$$

#### Daerah Lapangan (Momen Positif)

$$M_{Tumpuan} = 182834436,8 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{182834436,8}{0,9} = 203149374,2 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d^2} = \frac{203149374,2}{500 \times 537^2} = 1,41$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,41}{390}} \right) = 0,0037 < \rho_{min}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0037 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0037$$

#### Tulangan Perlu

##### - Tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0037 \times 500 \times 537 = 993,45 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5Ø22 ( $A_s = 1901 \text{ mm}^2$ )

##### - Tekan

$$A_{s'_{perlu}} = 0,5 A_{s_{perlu}} = 0,5(1901) = 950,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan 4Ø22 ( $A_s = 1521 \text{ mm}^2$ )

#### Luas tulangan pakai

##### - Tarik

$$A_{s_{pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 5 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 1900,66 \text{ mm}^2$$

##### - Tekan

$$A_{s'_{pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 4 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

### Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b - 2t_s - 2D_{geser} - nD_{lentur}}{n - 1}$$

$$s = \frac{500 - 2(40) - 2(12) - 5(22)}{5 - 1}$$

$$s = 71,5 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1 spasi bersih tulangan yang sejajar pada satu lapisan horizontal harus tidak kurang dari:

$$s > 25 \geq D_{lentur}$$

$$71,5 > 25 \geq 22 \text{ (OK)}$$

Maka tulangan disusun 1 lapis

### Kontrol kekuatan tulangan tumpuan (momen negatif)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1900,66 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 49,83$$

$$M_n = As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1900,66 \times 390 \left( 537 - \frac{49,83}{2} \right) = 379585895 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 379.585.895 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 203.149.374,2 \text{ Nmm (OK)}$$

### 6.2.3 Persyaratan Detail Komponen Lentur

Balok induk pada gedung ini diharuskan memenuhi persyaratan kompone lentur yang sesuai dengan persyaratan SRPMK sesuai dengan SNI 2847:2019.

#### SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1

- Bentang bersih balok ( $l_n$ ) harus minimala 4 kali tinggi efektif (d)

$$l_n > 4d$$

$$6300 \text{ mm} > 4(537)$$

$$6300 \text{ mm} > 2148 \text{ mm (OK)}$$

- Lebar penampang (b) harus sekurangnya nilai terkecil dari 0,3h dan 250 mm

- $b \geq 0,3h$

$$500 \text{ mm} \geq 0,3(600)$$

$$500 \text{ mm} \geq 180 \text{ mm (OK)}$$

- $b \geq 250 \text{ mm}$

$$500 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm (OK)}$$

- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $0,75c_1$  (dimensi kolom dalam arah bentang balok) dan  $c_2$  (dimensi kolom tegak lurus  $c_1$ ) pada masing – masing sisi kolom

- $b \leq 0,75c_1$

$$500 \text{ mm} \leq 0,75(700)$$

$$500 \text{ mm} \leq 525 \text{ mm (OK)}$$

- $b \leq c_2$

$$500 \text{ mm} \leq 750 \text{ mm (OK)}$$

#### SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1

- Luas tulangan  $A_{s_{min}}$  tidak boleh kurang dari (SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2):

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d = \frac{0,25\sqrt{35}}{390} \times 500 \times 537 = 1018,25 \text{ mm}^2$$

Tidak boleh kurang dari:

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{390} \times 500 \times 537 = 963,85 \text{ mm}^2$$

As tulangan lentur terkecil yang terpasang:

$$A_{s_{terpasang}} = 1139,82 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Syarat batas rasio penulangan  $\rho = 0,025$   
Syarat ini telah terpenuhi karena  $\rho$  yang dipakai tidak lebih kecil dari  $\rho_{min}$  dan tidak lebih besar dari  $\rho_{max} = 0,025$ . (OK)
- Harus disediakan paling sedikit 2 tulangan menerus pada sisi atas dan bawah  
Syarat ini telah terpenuhi dengan jumlah tulangan pada daerah lapangan dan tumpuan sesuai dan melebihi dari syarat minimal. (OK)

#### SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.2

- Momen positif pada muka joint harus lebih besar atau sama dengan  $\frac{1}{2}$  momen negatif  
 $425542188,9 \text{ Nmm} \geq 0,5(-645185222,2)$   
 $425542188,9 \text{ Nmm} \geq -322592611,1 \text{ Nmm (OK)}$
- Momen positif atau negatif  $\geq \frac{1}{4}$  momen maksimum pada joint. Pada syarat ini diambil momen terkecil pada tengah bentang  
 $203149374,2 \text{ Nmm} \geq \frac{1}{4} \times (-645185222,2)$   
 $203149374,2 \text{ Nmm} \geq 161296305,6 \text{ Nmm (OK)}$

### SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3

- Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui koint balok – kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

Tinggi efektif balok induk > 20 tulangan longitudinal terbesar balok

$$537 \text{ mm} > 20 (22)$$

$$537 \text{ mm} > 440 \text{ mm (OK)}$$

### 6.2.4 Penulangan Geser Balok Induk

- *Procable Moment Capacities (Mpr)*

Kapasitas momen – momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kanan

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1,25 \times 2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 112,07 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left( 537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr+} = 555267234,8 \text{ Nmm}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1,25 \times 3419,46 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 74,71 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1,25 \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left( 537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr-} = 801765336 \text{ Nmm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} = \frac{555267234,8 + 801765336}{6300} = 215402 \text{ N}$$

Kapasitas momen – momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kiri

$$a_{pr+} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1,25 \times 3419,46 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 74,71 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left( 537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr+} = 801765336 \text{ Nmm}$$

$$a_{pr-} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1,25 \times 2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 112,07 \text{ mm}$$

$$M_{pr-} = 1,25 \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) = 1,25 \times 2279,64 \times 390 \left( 537 - \frac{74,71}{2} \right)$$

$$M_{pr-} = 555267234,8 \text{ Nmm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} = \frac{801765336 + 555267234,8}{6300} = 215402 \text{ N}$$

- Diagram geser

Reaksi geser pada balok akibat gaya gravitasi dengan kombinasi 1,2D +1L didapatkan dari program bantu komputer yaitu 168522,55 N

$$V_u = 168522,55 \text{ N} = 16852,255 \text{ kg}$$

$$q_u = \frac{V_u \times 2}{l_n} = \frac{16852,255 \times 2}{6,3} = 5349,92 \text{ kg/m}$$

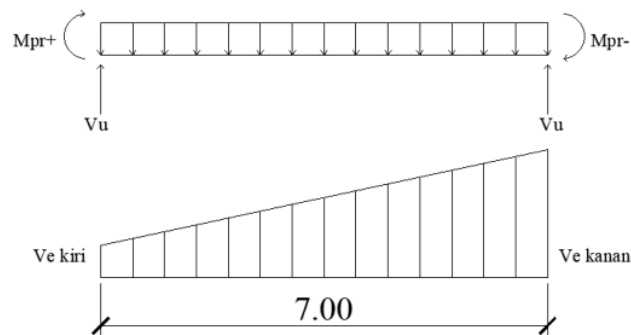
Struktur bergoyang ke kanan

- Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{sway} - V_u = 215402 - 168522,55 = 46879,45 \text{ N} = 4687,945 \text{ kg}$$

- Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$V_{e \text{ kanan}} = V_{sway} + V_u = 215402 + 168522,55 = 383924,55 \text{ N} = 38392,455 \text{ kg}$$



**Gambar 6.4** Diagram Geser (Bergoyang ke Kanan)

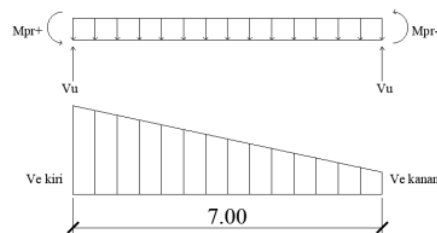
Struktur bergoyang ke kiri

- Reaksi geser pada ujung kiri balok

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{sway} + V_u = 215402 + 168522,55 = 383924,55 \text{ N} = 38392,455 \text{ kg}$$

- Reaksi geser pada ujung kanan balok

$$V_{e \text{ kanan}} = V_{sway} - V_u = 215402 - 168522,55 = 46879,45 \text{ N} = 4687,945 \text{ kg}$$



**Gambar 6.5** Diagram Geser (Bergoyang ke Kiri)

- Cek syarat geser SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa  $V_{sway}$  mewakili setengah kekuatan geser perlu maksimum  $V_e$  dalam bentang tersebut

$$V_{sway} \geq 0,5V_e$$

$$215402 \text{ N} \geq 0,5(383924,55)$$

$$215402 \text{ N} \geq 191962,275 \text{ N (OK)}$$

Pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 juga disyaratkan gaya tekan aksial terfaktor.  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari nilai berikut:

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}$$

$$3517,87 \text{ N} < \frac{(500 \times 600) \times 35}{20}$$

$$3517,87 \text{ N} < 525000 \text{ N (OK)}$$

### 6.2.5 Syarat Detail Komponen Lentur

- Tulangan geser pada daerah sendi plastis

Dikarenakan kedua syarat dari SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 terpenuhi, maka kekuatan geser balok didesain dengan mengasumsikan  $V_c = 0$ . Maka tulangan geser di daerah sendi plastis dihitung sebagai berikut:

$$V_{S \text{ maks}} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_{S \text{ maks}} = \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 500 \times 537$$

$$V_{S \text{ maks}} = 529489,14 \text{ N}$$

$$V_S = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{168522,55}{0,75} - 0 = 224686,73 \text{ N}$$

$$V_S \leq V_{S \text{ maks}}$$

$$224686,73 \text{ N} \leq 529489,14 \text{ N (OK)}$$

Direncanakan spasi tulangan geser,  $s = 100 \text{ mm}$ , maka luas tulangan geser perlu adalah

$$A_{V \text{ perlu}} = \frac{V_S \times s}{f_y \times d} = \frac{224686,73 \times 100}{390 \times 537} = 107,29 \text{ mm}^2$$

Direncanakan spasi tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D12:

$$A_{V \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2 = 226,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{V \text{ pakai}} \geq A_{V \text{ perlu}}$$

$$226,08 \text{ mm}^2 \geq 107,29 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Cek syarat geser SRPMK pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.2 dan 18.6.4.4  
 Pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi balok diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih 50 mm dari perletakan. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga c):

$$a) \frac{d}{4} = \frac{537}{4} = 268,5 \text{ mm}$$

$$b) 6 \times D_{longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$c) 150 \text{ mm}$$

Cek persyaratan:

$$S_{pakai} < 132 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 132 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, digunakan tulangan geser (sengkang) 2Ø12 – 100 mm pada daerah tumpuan kiri dan kanan dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

- Tulangan geser pada daerah ujung sendi plastis (lapangan)  
 Jarak ujung sendi plastis dari muka kolom yaitu  $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$ . Pada daerah ini nilai geser beton ( $V_c$ ) diperhitungkan

$$V_c = 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17\sqrt{35} \times 500 \times 537$$

$$V_c = 270039,46 \text{ N}$$

Gaya geser yang terjadi pada daerah ujung sendi plastis adalah

$$V_u = V_e - (q_u \times 2h) = 383924,55 - (53499,2 \times 1,2) = 377504,64 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{377504,64}{0,75} - 270039,46 = 233300,06 \text{ N}$$

Direncanakan spasi tulangan geser,  $s = 150 \text{ mm}$ , maka luas tulangan geser perlu adalah

$$A_{V \text{ perlu}} = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{233300,06 \times 150}{390 \times 537} = 111,40 \text{ mm}^2$$

Direncanakan spasi tulangan geser 2 kaki dengan tulangan D12:

$$A_{V \text{ pakai}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2 = 226,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{V \text{ pakai}} \geq A_{V \text{ perlu}}$$

$$226,08 \text{ mm}^2 \geq 111,40 \text{ mm}^2$$

- Cek syarat geser SRPMK SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.6

Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang harus dipasang sepanjang bentang balok dengan spasi tidak boleh melebihi  $\frac{d}{2}$ .

Cek persyaratan

$$S_{pakai} < \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} < \frac{537}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 268,5 \text{ mm}$$

- Maka, digunakan tulangan geser (sengkang)  $\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$  pada daerah lapangan balok.

### 6.2.6 Penulangan Torsi Balok Induk

- Periksa kecukupan penampang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.7.1 dimensi penampang harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bd}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_u}{bd} + 0,66\sqrt{f'_c}\right)$$

Dari hasil analisa program bantu komputer, diperoleh nilai torsi maksimum dan geser maksimum sebagai berikut:

$$T_u = 30595350,4 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 223259,6 \text{ N}$$

Dimana:

$$- V_c = 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17\sqrt{35} \times 500 \times 537$$

$$V_c = 270039,46 \text{ N}$$

$$- b_h = b - 2ts - D_{geser}$$

$$b_h = 500 - 2(40) - 12$$

$$b_h = 408 \text{ mm}$$

$$- h_h = h - 2ts - D_{geser}$$

$$h_h = 600 - 2(40) - 12$$

$$h_h = 508 \text{ mm}$$

$$- A_{oh} = b_h \times h_h$$

$$A_{oh} = 408 \times 508$$



$$A_{oh} = 207264 \text{ mm}^2$$

$$- P_h = 2(b_h + h_h)$$

$$P_h = 2(408 + 508)$$

$$P_h = 1832 \text{ mm}$$

Maka:

$$\sqrt{\left(\frac{223259,6}{500 \times 537}\right)^2 + \left(\frac{30595350,4 \times 1832}{1,7(207264)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{223259,6}{500 \times 537} + 0,66\sqrt{35}\right)$$

$$1,13 \text{ MPa} \leq 3,55 \text{ MPa} \text{ (OK)}$$

Karena nilai  $1,13 \text{ MPa} \leq 3,55 \text{ MPa}$ , maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

- Periksa persyaratan pengaruh puntir

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.7.4.1(a) tulangan torsi dapat diabaikan jika memenuhi persyaratan berikut:

$$T_u < 0,083\lambda\sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

Dimana:

$$- A_{cp} = b \times h = 500 \times 600 = 300000 \text{ mm}^2$$

$$- P_{cp} = 2(b + h) = 2(500 + 600) = 2200 \text{ mm}$$

Maka:

$$30595350,4 < 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left(\frac{300000^2}{2200}\right)$$

$30595350,4 \text{ Nmm} > 20087780 \text{ Nmm}$  maka memerlukan tulangan torsi

- Kebutuhan tulangan torsi geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6 kebutuhan tulangan torsi geser dihitung sesuai dengan persamaan:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$\phi \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \geq T_u$$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{T_u}{\phi 2A_o f_{yt} \cot \theta}$$

Dengan nilai  $A_o$  berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1.1 boleh diambil sama dengan  $0,85A_{oh}$  dan nilai  $\theta$  berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1.2 boleh diambil sama dengan  $45^\circ$ .

$$A_o = 0,85A_{oh} = 0,85(207264) = 176174,4 \text{ mm}^2$$

Maka kebutuhan tulangan torsi dapat dihitung:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{30595350,4}{0,75 \times 2 \times 176174,4 \times 390 \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,90 \text{ mm}^2$$

- Tulangan longitudinal penahan torsi

Distribusi tulangan longitudinal (Al) torsi dihitung sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1

$$Al = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$Al = 0,48 \times 1832 \left( \frac{390}{390} \right) \cot^2 45$$

$$Al = 335,16 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.3 luas tebal maksimum tulangan torsi longitudinal,  $Al_{min}$ , dihitung dengan:

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175b}{f_{yt}}$$

$$0,90 \geq \frac{0,175 \times 500}{390}$$

$$0,90 \geq 0,22$$

Maka diambil nilai  $\frac{A_t}{s} = 0,48$

$$Al_{min} = 0,42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right)$$

$$Al_{min} = 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{300000}{390} - (0,90) \times 1832 \times \left( \frac{390}{390} \right)$$

$$Al_{min} = 262,55 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$Al \geq Al_{min}$$

$$335,16 \text{ mm}^2 \geq 262,55 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{335,16}{4} = 83,79 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya:

- Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing – masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $83,79 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{335,16}{4} = 167,58 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D16 pada tulangan puntir pada dua sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan:

$$A_{s_{pasang}} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi (16)^2 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} \geq A_{s_{perlu}}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 167,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan geser tumpuan setelah torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{224686,73}{390 \times 537} = 1,07 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \left( \frac{A_t}{s} \right) = 1,07 + 2(0,90) = 2,87 \text{ mm}^2$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D12 – 100 mm

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 2,26 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$2,26 \text{ mm}^2 < 2,87 \text{ mm}^2 \text{ (TIDAK OK)}$$

Tulangan sengkang terpasang belum mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi, maka dicoba menggunakan sengkang 3 kaki D12 – 100 mm.

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{3 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 3,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$3,39 \text{ mm}^2 \geq 2,87 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan geser lapangan setelah torsi

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{233300,06}{390 \times 537} = 1,11 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \left( \frac{A_t}{s} \right) = 1,11 + 2(0,90) = 2,91 \text{ mm}^2$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D12 – 100 mm

$$\frac{A_{v\text{ pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 2,26 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v\text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$2,26 \text{ mm}^2 < 2,91 \text{ mm}^2 \text{ (TIDAK OK)}$$

Tulangan sengkang terpasang belum mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi, maka dicoba menggunakan sengkang 3 kaki D12 – 100 mm.

$$\frac{A_{v\text{ pakai}}}{s} = \frac{n \times \frac{1}{4} \pi D^2}{s} = \frac{3 \times \frac{1}{4} \pi (12)^2}{100} = 3,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{v\text{ pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$$

$$3,39 \text{ mm}^2 \geq 2,91 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi sudah mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi.

- Penambahan luas tulangan perlu

- Tumpuan atas (9D22)

$$A_{s\text{ perlu}} = 3329,4 + 83,79 = 3413,19 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ perlu}} \leq A_{s\text{ pakai}}$$

$$3413,19 \text{ mm}^2 \leq 3419,46 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tumpuan bawah (6D22)

$$A_{s\text{ perlu}} = 2148 + 83,79 = 2231,79 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ perlu}} \leq A_{s\text{ pakai}}$$

$$2231,79 \text{ mm}^2 \leq 2279,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Lapangan atas (4D22)

$$A_{s\text{ perlu}} = 950,5 + 83,79 = 1034,29 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ perlu}} \leq A_{s\text{ pakai}}$$

$$1034,29 \text{ mm}^2 \leq 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Lapangan bawah (5D22)

$$A_{s\text{ perlu}} = 993,45 + 83,79 = 1077,24 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ perlu}} \leq A_{s\text{ pakai}}$$

$$1077,24 \text{ mm}^2 \leq 1900,66 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

## 6.2.7 Penyaluran dan Sambungan Lewatan Tulangan Balok Induk

### 1. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.1, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik harus diambil nilai yang terbesar dari:

$$ld = 300 \text{ mm}$$

$$ld = \left( \frac{f_y \Psi_1 \Psi_2}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) db \text{ untuk } D \geq D19$$

$$ld = \left( \frac{390 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$ld = 853,11 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang digunakan adalah sebesar 900 mm

### 2. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.4.9.1, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tekan harus diambil nilai yang terbesar dari:

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

$$ldc = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_\gamma}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

$$ldc = \left( \frac{0,24 \times 390 \times 1}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$ldc = 348,07 \text{ mm}$$

$$ldc = 0,043 f_y \Psi_\gamma db = 0,043 \times 390 \times 1 \times 22 = 368,94 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang digunakan adalah sebesar 400 mm

### 3. Panjang Penyaluran Kait Tulangan Lentur

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.4.3.1, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan suatu kait harus diambil nilai yang terbesar dari:

$$ld = 8db = 8(22) = 176 \text{ mm}$$

$$ld = 150 \text{ mm}$$

$$ld = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_\gamma}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

$$ld = \left( \frac{0,24 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$ld = 348,07 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran yang digunakan adalah sebesar 400 mm

#### 4. Sambungan Lewatan Tulangan Tarik

Panjang sambungan lewatan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 25.5.2.1 yaitu sebesar:

$$l_{st} = 1,3 \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

$$l_{st} = 1,3 \left( \frac{390 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 22$$

$$l_{st} = 897,80 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$$

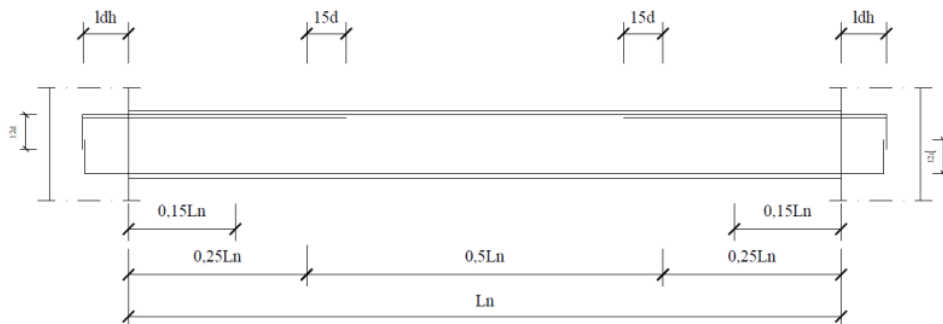
#### 5. Sambungan Lewatan Tulangan Tekan

Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tekan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 25.5.5.1 yaitu sebesar:

$$l_{sc} = 300 \text{ mm}$$

$$l_{sc} = 0,071 f_y db = 0,071 \times 390 \times 22 = 609,18 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

### 6.2.8 Pemutusan Tulangan Balok Induk



**Gambar 6. 6** Pemutusan Tulangan Balok

$$l_{dh} = 400 \text{ mm}$$

$$12d = 12 \times 22 = 264 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

$$15d = 15 \times 22 = 330 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

$$l_n = 7000 - (350 + 350) = 6300 \text{ mm}$$

$$0,25l_n = 0,25 \times 6300 = 1575 \text{ mm}$$

$$0,50l_n = 0,50 \times 6300 = 3150 \text{ mm}$$

$$0,15l_n = 0,15 \times 6300 = 945 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tumpuan dari penjangkaran:

$$ldh + 0,25ln + 15d = 400 + 1575 + 350 = 2325 \text{ mm}$$

Panjang tulangan tarik lapangan:

$$6300 - (2 \times 0,15ln) = 6300 - (2 \times 945) = 4410 \text{ mm}$$

### 6.2.9 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

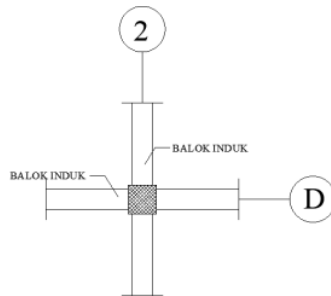
Tabel 6.9 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan	Lapangan
500/600	Atas	9D22	4D22
	Tengah	2D16	2D16
	Bawah	6D22	5D22
	Sengkang	2D12 – 100	2D12 – 100

### 6.3 Perencanaan Kolom

Perencanaan kolom pada Gedung Hotel Dame ini akan dibahas mengenai desain penulangan kolom, kontrol kekuatan kolom menggunakan program bantu komputer dan juga pendetailan kolom sesuai dengan peraturan.

#### 6.3.1 Data Perencanaan



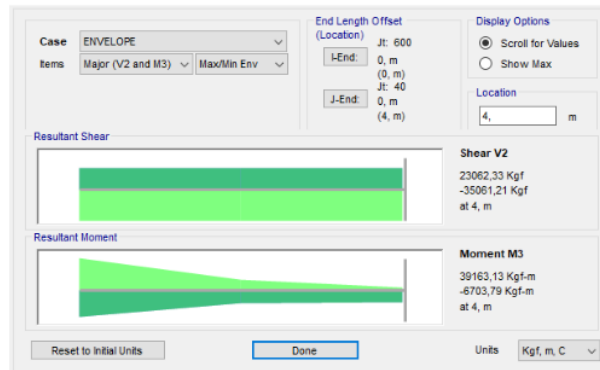
Gambar 6.7 Kolom yang Ditinjau

- Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa
- Mutu tulangan ( $f_y$ ) : 390 MPa
- Panjang (L) : 4000 mm
- Tinggi (h) : 700 mm
- Lebar (b) : 700 mm
- Tulangan lentur : D29

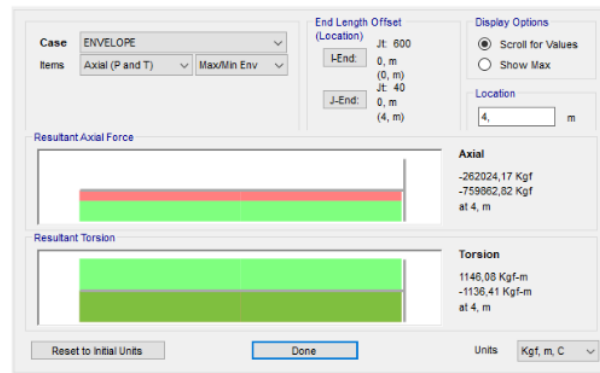
- Tulangan geser : D13
- Tebal selimut (ts) : 40 mm

### 6.3.2 Analisa Gaya Dalam

Setelah pembebanan dilakukan, maka perhitungan untuk mencari momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer sehingga perhitungan statistiknya sebagai berikut:

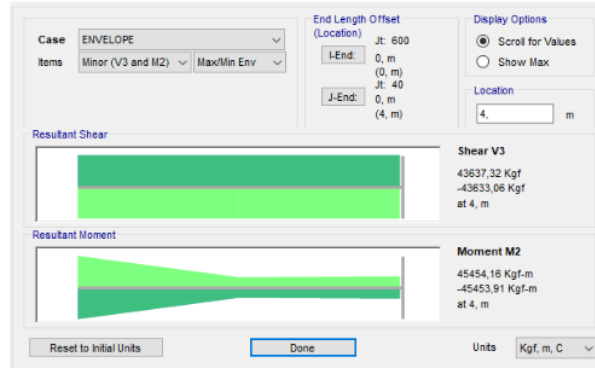


**Gambar 6.8** Diagram Geser dan Momen Sumbu Y



**Gambar 6.9** Diagram Aksial dan Torsi





**Gambar 6. 10** Diagram Geser dan Momen Sumbu X

**Tabel 6. 10** Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom

Gaya Dalam	Besar	Satuan
$M_{1ns}$ Arah X (M3)	39163,13	kgm
$M_{2ns}$ Arah X (M3)	85661,64	kgm
$M_{1ns}$ Arah Y (M2)	45454,16	kgm
$M_{2ns}$ Arah Y (M2)	129148,45	kgm
Aksial	759862,82	kg
Torsi	1146,08	kgm
Geser	35061,21	kg
$\Delta_0$	7,9	mm

### 6.3.3 Perencanaan Tulangan Longitudinal

#### 6.3.3.1 Menentukan Kolom Sway atau Non Sway

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.6.4.3 kolom dan tingkat pada struktur boleh dianggap tak bergoyang jika memenuhi persyaratan berikut:

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} L_c} = \frac{759862,82 \times 7,9}{35061,21 \times 4000} \leq 0,05$$

$$Q = 0,043 \leq 0,05$$

Maka termasuk kolom *non sway*.

#### 6.3.3.2 Kontrol Kelangsingan Kolom

Kolom 700 x 700 mm<sup>2</sup>:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 700 \times 700^3$$

$$I_g = 14005833333 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,6 \times 14005833333 = 3,89 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Balok induk 500 x 600 mm<sup>2</sup> (Arah X):

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 600^3$$

$$I_g = 6300000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,6 \times 6300000000 = 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Balok induk 500 x 600 mm<sup>2</sup> (Arah Y):

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 600^3$$

$$I_g = 6300000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c \times I_g = 27805,6 \times 6300000000 = 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Selanjutnya, menghitung faktor panjang tekuk kolom (k) dengan persamaan sebagai berikut:

Kekakuan kolom atas

$$\Psi_A = \frac{\frac{E_c I_{kolom}}{l_{bawah}} + \frac{E_c I_{kolom}}{l_{atas}}}{\frac{E_c I_{balok x}}{l_{bawah}} + \frac{E_c I_{balok x}}{l_{atas}} + \frac{E_c I_{balok y}}{l_{bawah}} + \frac{E_c I_{balok y}}{l_{atas}}}$$

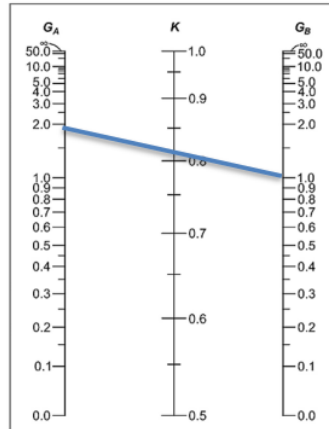
$$\Psi_A = \frac{\frac{3,89 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,89 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000}}$$

$$\Psi_A = 1,9$$

Kekakuan kolom bawah

$$\Psi_B = 1,00 \text{ (karena terjepit penuh)}$$

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k):



**Gambar 6. 11** Nomogram Faktor Kekakuan Kolom

Dari nomogram di atas didapatkan nilai  $k = 0,81$

Jari – jari inersia (r)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.2.5.1 Radius girasi (r), diizinkan untuk dihitung dengan persamaan berikut:

$$r = 0,3b = 0,3 \times 0,7 = 0,21 \text{ m}$$

Kontrol kelangsingan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.2.5 pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan jika memenuhi persamaan sebagai berikut:

Untuk struktur kolom tidak bergoyang

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

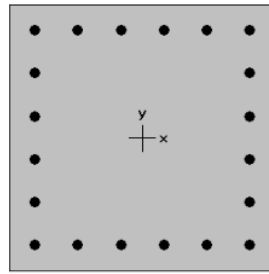
$$\frac{0,81 \times 4}{0,21} \leq 34 - 12 \left( \frac{39163,13}{85661,64} \right) \leq 40$$

$$15,43 \leq 28,51 \leq 40 \text{ (OK)}$$

Maka, kelangsingan kolom diabaikan

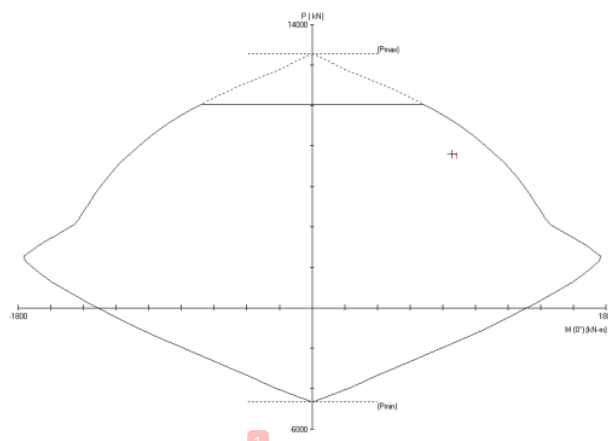
### 6.3.3.3 Desain Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  dan tidak boleh lebih dari  $0,060A_g$ . Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan, digunakan program bantu komputer.

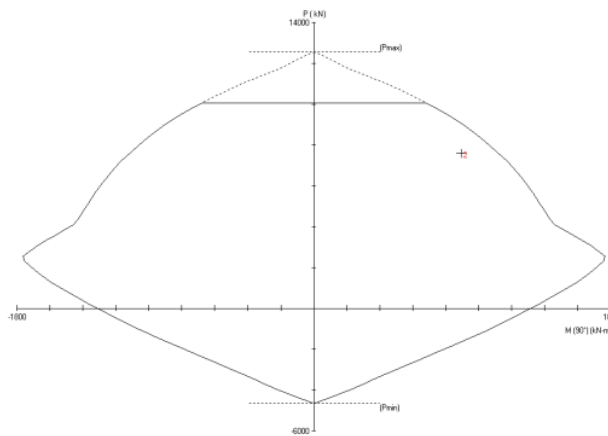


700 x 700 mm  
2.70% reinf.

**Gambar 6. 12** Konfigurasi Penulangan



**Gambar 6. 13** Diagram Interaksi Arah X



**Gambar 6. 14** Diagram Interaksi Arah Y

Dari hasil desain menggunakan program bantu komputer berdasarkan gaya dalam dengan dimensi kolom yang digunakan yaitu 700 x 700 mm, didapatkan konfigurasi penulangan 20D29. Berdasarkan konfigurasi tersebut didapatkan rasio tulangan  $\rho = 2,70\% = 0,027$ , sehingga nilai  $0,01 < \rho < 0,06 = 0,01 < 0,027 < 0,06$  terpenuhi.

#### 6.3.4 Kuat Maksimal Tekan Rencana pada Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2.2 untuk komponen nonprategang dan komponen komposit baja – beton, nilai  $P_n$  max dihitung dengan persamaan berikut:

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

$$\phi P_{n \max} = 0,75 \times 0,85 (0,85 \times 35 (490000 - 13203,7)) + 390 \times 13203,7$$

$$\phi P_{n \max} = 9051405,81 \text{ N}$$

$$\phi P_{n \max} > P_u = 9051405,81 \text{ N} > 759862 \text{ N (OK)}$$

#### 6.3.5 Cek Persyaratan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2 kolom – kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan – persyaratan berikut:

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

$$700 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (OK)}$$

- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4

$$\frac{h}{b} \geq 0,4$$

$$\frac{700}{700} \geq 0,4$$

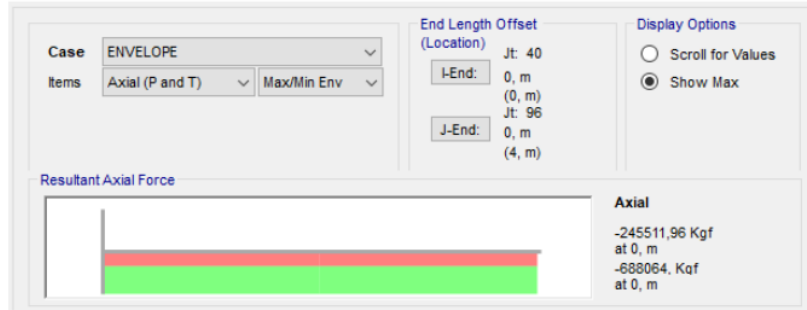
$$1 \geq 0,4 \text{ (OK)}$$

#### 6.3.6 Cek Persyaratan Strong Column Weak Beam

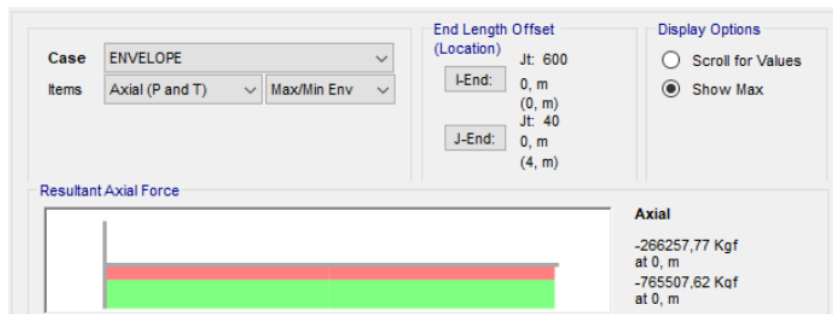
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

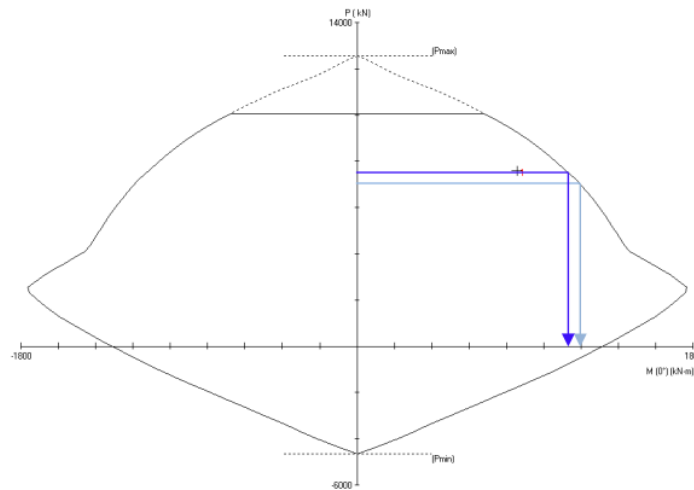
Nilai  $M_{nc}$  didapatkan dari diagram interaksi dengan menyesuaikan dengan gaya aksial terfaktor. Dimana nilai gaya aksial terfaktor didapatkan dari program bantu komputer.



**Gambar 6. 15** Gaya Aksial pada Lantai Atas Kolom



**Gambar 6. 16** Gaya Aksial pada Lantai Bawah Kolom



**Gambar 6. 17** Diagram Interaksi Arah X

Gaya aksial yang didapatkan dari program bantu computer disesuaikan dengan nilai Mnc dengan menggunakan program bantu komputer, sehingga didapatkan nilai Mnc:

**Tabel 6. 11** Beban dan Momen Terfaktor dengan Kapasitas yang Sesuai

Pu (kN)	$\phi Mnc$ (kNm)
6880,64	1185
7655,08	1104

$$Mnc_{atas} = \frac{1185}{0,65} = 1823,08 \text{ kNm}$$

$$Mnc_{bawah} = \frac{1104}{0,65} = 1698,46 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mnc = Mnc_{atas} + Mnc_{bawah}$$

$$\Sigma Mnc = 1823,08 + 1698,46$$

$$\Sigma Mnc = 3521,54 \text{ kNm}$$

Mnb adalah momen balok yang berad pada sumbu lemah kolom. Balok yang berada pada sumbu lemah kolom yaitu balok induk dengan tulangan lentur sebagai berikut:

$$\text{Tulangan atas (9D22)} : As = 3419,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah (6D22)} : As = 2231,79 \text{ mm}^2$$

Pada kolom terdapat balok dan pelat lantai yang menyatu juga sehingga dalam menghitung Mnb mengikutsertakan luas tulangan pelat selebar lebar efektif pelat. Pusat berat tulangan balok:

$$d' = \frac{6(ts + D_{geser} + 0,5D_{lentur}) + 3(ts + D_{geser} + D_{lentur} + 25 + 0,5D_{lentur})}{6 + 3}$$

$$d' = \frac{6(40 + 12 + 0,5(22)) + 3(40 + 12 + 22 + 25 + 0,5(22))}{6 + 3}$$

$$d' = 78,67 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan pada balok dan pelat (atas):

$$d^1 = d' - s_{pelat} - 0,5D_{pelat}$$

$$d^1 = 78,67 - 20 - 0,5(10)$$

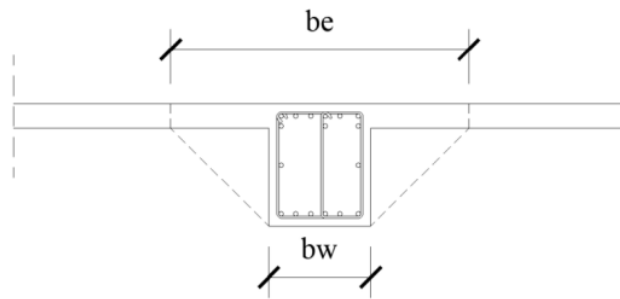
$$d^1 = 53,67 \text{ mm}$$

Jarak antar As tulangan pada balok dan pelat (bawah):

$$d^2 = t_{pelat} - d^1 - s_{pelat} - 0,5D_{pelat}$$

$$d^2 = 120 - 53,67 - 20 - 0,5(10)$$

$$d^2 = 41,33 \text{ mm}$$



**Gambar 6.18** Lebar Efektif Balok T

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.3.2.1 untuk lebar balok T diambil nilai yang terkecil (a), (b), (c):

$$a) \quad bw + 8h = 500 + 8 \times 120 = 1460 \text{ mm}$$

$$b) \quad bw + \frac{S_w}{2} = 500 + \frac{6300}{2} = 3650 \text{ mm}$$

$$c) \quad bw + \frac{l_n}{2} = 500 + \frac{6300}{2} = 3650 \text{ mm}$$

Maka diambil  $be$  adalah 1460 mm

#### Luas tulangan atas

$$A_{s_{atas}} = A_{s_{balok}} + \left( \frac{be}{\text{jarak tul.pelat}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right)$$

$$A_{s_{atas}} = 3419,46 + \left( \frac{1460}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right)$$

$$A_{s_{atas}} = 3992,51 \text{ mm}^2$$

#### Luas tulangan bawah

$$A_{s_{bawah}} = 2279,64 \text{ mm}^2$$

#### Tinggi efektif balok T

$$d_{atas} = d - \left[ \left( \frac{A_{s_{pelat}}}{A_{s_{atas}}} \times d^1 \right) + \left( \frac{A_{s_{pelat}}}{A_{s_{atas}}} \times d^2 \right) \right]$$

$$d_{atas} = 521,33 - \left[ \left( \frac{393}{3992,51} \times 53,67 \right) + \left( \frac{393}{3992,51} \times 41,33 \right) \right]$$

$$d_{atas} = 511,979 \text{ mm}$$

$$d_{bawah} = 537 \text{ mm}$$

$$a^- = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{3992,51 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 104,678 \text{ mm}$$

$$Mnb^- = A_s \times f_y \left( d - \frac{a^-}{2} \right) = 3992,51 \times 390 \left( 511,979 - \frac{104,678}{2} \right)$$

$$Mnb^- = 715695672,7 \text{ Nmm} = 715,70 \text{ kNm}$$



$$a^+ = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2279,64 \times 390}{0,85 \times 35 \times 500} = 59,77 \text{ mm}$$

$$Mnb^+ = As \times f_y \left( d - \frac{a^+}{2} \right) = 2279,64 \times 390 \left( 537 - \frac{59,77}{2} \right)$$

$$Mnb^+ = 450856031,3 \text{ Nmm} = 450,86 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mnb = Mnb^- + Mnb^+$$

$$\Sigma Mnb = 715,70 + 450,86$$

$$\Sigma Mnb = 1166,56 \text{ kNm}$$

Setelah didapatkan  $\Sigma Mnc$  dan  $\Sigma Mnb$  maka dilakukan pengecekan persyaratan berikut:

$$\Sigma Mnc \geq 1,2 \Sigma Mnb$$

$$3521,54 \text{ kNm} \geq (1,2)1166,56 \text{ kNm}$$

$$3521,54 \text{ kNm} \geq 1399,872 \text{ kNm}$$

Untuk persyaratan *strong column weak beam* terpenuhi.

### 6.3.7 Perhitungan Tulangan Confinement

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_0$  dari masing – masing muka *joint* kolom. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar persamaan berikut:

- Tinggi komponen struktur pada muka *joint*:

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

- Seperenam tinggi bersih kolom

$$\frac{1}{6} l_n = \frac{1}{6} \times 3400 = 566,67 \text{ mm}$$

- 450 mm

Maka diambil pengegang terpanjang  $l_0 = 600 \text{ mm}$  dari muka tumpuan

$$P_u \leq 0,3Agf'_c$$

$$7598628,2 \text{ N} \leq 0,3 \times 700 \times 700 \times 35$$

$$7598628,2 \text{ N} \leq 7720000 \text{ N}$$

Karena nilai  $P_u \leq 0,3Agf'_c$ , maka berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4 total luas penampang hoops diambil terbesar dari:

$$a) \frac{Ash}{s} = 0,3 \left( \frac{Ag}{Ach} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} bc$$

$$b) \frac{Ash}{s} = 0,09 \frac{f'_c}{f_y} bc$$

Dimana:

- Luas penampang beton

$$A_g = b \times h = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang sampai luar tulangan

$$A_{ch} = (b - 2t_s)(h - 2t_s) = (700 - 2(40))(700 - 2(40)) = 384400 \text{ mm}^2$$

- Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal

$$bc = b - 2t_s = 700 - 2(40) = 620 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$a) \frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} bc$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \left( \frac{490000}{384400} - 1 \right) \times \frac{35}{390} \times 620$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 4,59 \text{ mm}$$

$$b) \frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{f'_c}{f_y} bc$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \times \frac{35}{390} \times 620$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 5,01 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terbesar yaitu  $\frac{A_{sh}}{s} = 5,01 \text{ mm}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal dari muka tumpuan kolom tidak boleh melebihi nilai dari:

- Seperempat dimensi terkecil penampang kolom

$$S_0 = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$$

- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_0 = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

- $S_0$  yang dihitung dengan:

$$S_0 = 100 + \left( \frac{350 - hx}{3} \right)$$

Dengan  $hx$  merupakan nilai terbesar dari spasi pusat ke pusat antara tulangan dengan tulangan yang bersebelahan

$$hx = \frac{(700 - 2(40) - 2(13) - 29)}{4} = 141,25 \text{ mm}$$

$$S_0 = 100 + \left( \frac{350 - 141,25}{3} \right) = 169,583 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3 juga disebutkan bahwa nilai  $S_0$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm. Maka direncanakan spasi tulangan sebesar 100 mm.

$$\frac{Ash}{s} = 5,01 \text{ mm}$$

$$Ash = 5,01 \times 100$$

$$Ash = 501 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan sengkang 5 kaki D13 – 100 mm

$$Ash_{pakai} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$Ash_{pakai} = 5 \times \frac{1}{4} \pi (13)^2$$

$$Ash_{pakai} = 663,93 \text{ mm}^2$$

$$Ash_{pakai} \geq Ash_{perlu} = 663,93 \text{ mm}^2 \geq 501 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5 untuk daerah di luar  $l_0$  harus diberi tulangan transversal dengan spasi minimum tidak kurang dari :

- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_0 = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

- $S_0 = 150 \text{ mm}$

Maka direncanakan spasi tulangan di luar daerah  $l_0$  sebesar  $174 \text{ mm} \approx 180 \text{ mm}$

### 6.3.8 Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1 gaya geser desain,  $V_e$  tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan Mpr balok yang merangka ke *joint*. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

- Gaya geser Mpr kolom

$$V_e = \frac{M_{prc\text{atas}} + M_{prc\text{bawah}}}{l_u}$$

Dimana nilai Mpr kolom dihitung seperti berikut:

Tulangan terpasang pada kolom 20D29 ( $A_s = 13203,7 \text{ mm}^2$ )

$$a_{prc} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 13203,7 \times 390}{0,85 \times 35 \times 700} = 309,09 \text{ mm}$$

$$M_{prc} = 1,25 \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a_{prc}}{2} \right) = 1,25 \times 13203,7 \times 390 \left( 632,5 - \frac{309,09}{2} \right)$$

$$M_{prc} = 3076501841 \text{ Nmm}$$

Gaya geser Mpr kolom adalah:

$$V_e = \frac{3076501841+3076501841}{3400} = 1809706,97 \text{ N}$$

Gaya geser Mpr kolom tidak perlu melebihi nilai gaya geser Mpr balok yang dihitung seperti berikut:

- Gaya geser Mpr balok

$$V_e = \frac{M_{prb\ atas} DF_{atas} + M_{prb\ bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

DF adalah faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah elemen yang didesain, karena kekakuan kolom di lantai atas dan bawah sama maka  $DF_{atas} = DF_{bawah} = 0,5$

$$V_e = \frac{(1357032571 \times 0,5) + (1357032571 \times 0,5)}{3400} = 399127,227 \text{ N}$$

- Gaya geser hasil analisis

$$V_e = 350612,1 \text{ N}$$

- Gaya geser yang dipakai

$$V_{e\ analisis} \leq V_{e\ kolom} \leq V_{e\ balok}$$

$$350612,1 \text{ N} \leq 1809707 \text{ N} \geq 399127,227 \text{ N}$$

Maka digunakan  $V_e = 399127,227 \text{ N}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.2.1 tulangan transversal didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  apabila:

$$V_e \geq 0,5V_u$$

$$399127,227 \text{ N} \geq 0,5(1809706,97)$$

$$399127,227 \text{ N} \leq 904853,483 \text{ N} \text{ (TIDAK OK)}$$

$$P_u < \frac{A_g f'_c}{20}$$

$$7598628,2 \text{ N} < \frac{490000 \times 35}{20}$$

$$7598628,2 \text{ N} > 857500 \text{ N} \text{ (TIDAK OK)}$$

Karena kedua syarat tidak dipenuhi maka tidak dapat diasumsikan  $V_c = 0$ , maka nilai  $V_c$  harus dihitung sebagai berikut:

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

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{7598628,2}{14 \times 490000} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 700 \times 632,5$$

$$V_c = 938522,066 \text{ N}$$

Pada kolom digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, sehingga:

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s}$$

Karena sebelumnya dipasang tulangan *confinement* 5 kaki D13 – 100 mm, maka

$$V_s = \frac{663,93 \times 390 \times 632,5}{100} = 1637749,33 \text{ N}$$

Sehingga:

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_{e_{kolom}}$$

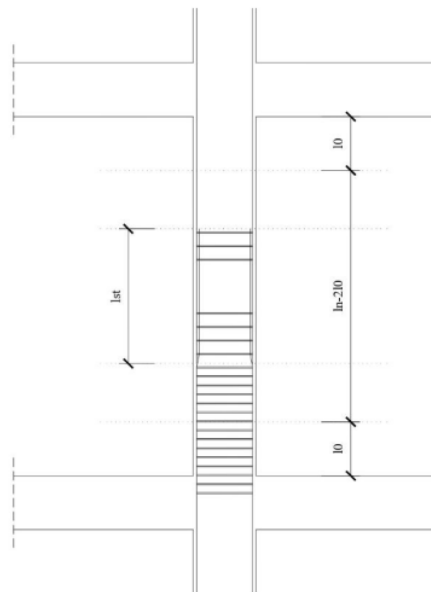
$$0,75(938522,066 + 1637749,33) \geq 1809707 \text{ N}$$

$$1932203,54 \text{ N} \geq 1809707 \text{ N}$$

### 6.3.9 Perhitungan Sambungan Lewatan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.3 sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal. Panjang sambutan lewatan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 25.5.2.1 yaitu sebesar:

$$l_{st} = 1,3 \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b = 1,3 \left( \frac{390 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 29 = 1461,92 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$$



Gambar 6. 19 Pemasangan Tulangan Kolom

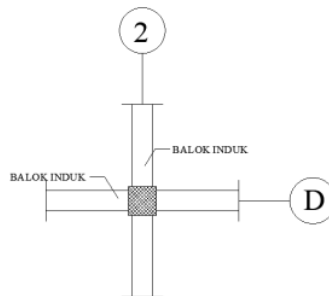
### 6.3.10 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tabel 6. 12 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe	Dimensi (mm)	Longitudinal	Transversal	
			Sambungan	5D13 – 100
K1	700/700	20D29	Tengah	5D13 – 150
			Ujung	5D13 – 100

### 6.4 Desain Hubungan Balok Kolom

Pertemuan antara balok dengan kolom untuk sistem rangka pemikul momen khusus diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.8. Contoh perhitungan hubungan balok kolom dilakukan pada salah satu *joint* di lantai 1 sebagaimana ditunjukkan denah berikut:



Gambar 6. 20 Hubungan Balok Kolom yang Ditinjau

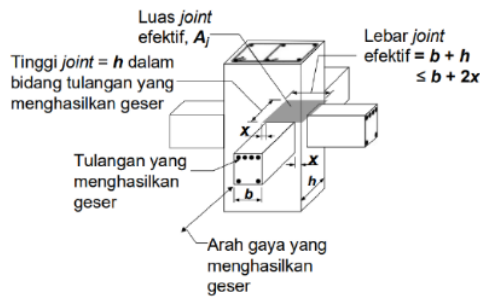
#### 6.4.1 Cek Persyaratan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3 bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok – kolom, maka dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar dari balok tersebut.

$$20D_{balok} = 20 \times 29 = 580 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm (OK)}$$

#### 6.4.2 Luas Efektif *Joint*

Luas efektif *joint*,  $A_j$  berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.3 dihitung dari perkalian antara tinggi dengan lebar efektif *joint*.



**Gambar 6. 21** Luas Joint Efektif

$$A_j = h \times b_{\text{efektif}}$$

Tinggi joint harus diambil sebesar lebar kolom,  $h$ , sedangkan lebar efektif joint diambil dari nilai terkecil dari lebar balok ditambah tinggi joint dan dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom sebagaimana ditunjukkan persamaan berikut:

$$b_{\text{efektif}} = b + h \leq b + 2x$$

$$b_{\text{efektif}} = 500 + 700 \leq 500 + 2 \times \left(\frac{700-500}{2}\right)$$

$$b_{\text{efektif}} = 1200 \text{ mm} \geq 700 \text{ mm}$$

$$b_{\text{efektif}} = 700 \text{ mm}$$

$$A_j = h \times b_{\text{efektif}} = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

#### 6.4.3 Cek Persyaratan Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.2 bila keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan lebar balok tidak kurang dari  $\frac{3}{4}$  lebar kolom, maka jumlah tulangan *confinement* dapat direduksi setengahnya. Berdasarkan pasal tersebut juga, spasi tulangan *confinement* dapat diperbesar hingga 150 mm.

$$b_{\text{balok}} \geq \frac{3}{4} b_{\text{kolom}}$$

$$500 \text{ mm} \geq \frac{3}{4} \times 700$$

$$500 \text{ mm} < 525 \text{ mm}$$

Maka jumlah tulangan *confinement* tidak perlu direduksi setengahnya dan spasi tulangan *confinement* tidak perlu diperbesar hingga 150 mm.

#### 6.4.4 Desain HBK Terkekang 4 Balok

##### 6.4.4.1 Cek Gaya Geser pada Joint

Geser pada *joint* dihitung menggunakan momen probabilitas ( $M_{pr}$ ) tulangan atas dan tulangan bawah balok dengan nilai DF adalah 0,5.

$$M_c = DF(M_{pr+} + M_{pr-})$$

$$M_c = 0,5(801765336 + 555267234,8)$$

$$M_c = 678516285,4 \text{ Nmm}$$

Dari nilai  $M_c$  tersebut, dapat ditentukan  $V_{sway}$  yang merupakan hasil dari penjumlahan  $M_c$  atas dan bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom.

$$V_{sway} = \frac{M_{catas} + M_{cbawah}}{l_u} = \frac{678516285,4 + 678516285,4}{3400} = 399127,23 \text{ N}$$

Selain akibat  $V_{sway}$ , geser pada *joint* juga dapat disebabkan oleh gaya tekan dan tarik pada tulangan longitudinal balok.

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kiri *joint*

$$T_1 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 3419,46 \times 390 = 1666986,75 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri *joint*

$$C_1 = T_1 = 1666986,75 \text{ N}$$

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kanan *joint*

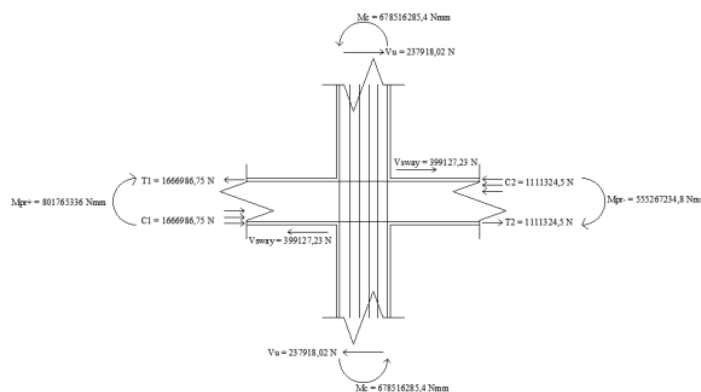
$$T_2 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 2279,64 \times 390 = 1111324,5 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kanan *joint*

$$C_2 = T_2 = 1111324,5 \text{ N}$$

Sehingga total gaya geser yang bekerja pada *joint* adalah:

$$V_u = T_1 + C_2 - V_{sway} = 1666986,75 + 1111324,5 - 399127,23 = 2379184,02 \text{ N}$$



Gambar 6. 22 HBK Terkekang 4 Balok



#### 6.4.4.2 Kapasitas Kuat Geser Joint

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kapasitas kekuatan geser nominal pada joint,  $V_n$  dengan joint yang terkekang balok pada keempat sisinya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = 1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j = 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 490000 = 4928094,46 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 4928094,46 \geq 2379184,02 \text{ N}$$

$$3696070,84 \text{ N} \geq 2379184,02 \text{ N (OK)}$$

#### 6.4.5 Desain HBK Terkekang 3 atau 2 Balok

##### 6.4.5.1 Cek Gaya Geser pada Joint

Geser pada joint dihitung menggunakan momen probabilitas ( $M_{pr}$ ) tulangan atas dan tulangan bawah balok dengan nilai DF adalah 0,5.

$$M_c = DF(M_{pr+})$$

$$M_c = 0,5(801765336)$$

$$M_c = 400882668 \text{ Nmm}$$

Dari nilai  $M_c$  tersebut, dapat ditentukan  $V_{sway}$  yang merupakan hasil dari penjumlahan  $M_c$  atas dan bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom.

$$V_{sway} = \frac{M_{catas} + M_{cbawah}}{l_u} = \frac{400882668 + 400882668}{3400} = 235813,33 \text{ N}$$

Selain akibat  $V_{sway}$ , geser pada joint juga dapat disebabkan oleh gaya tekan dan tarik pada tulangan longitudinal balok.

- Gaya tarik yang bekerja pada tulangan balok di bagian kiri joint

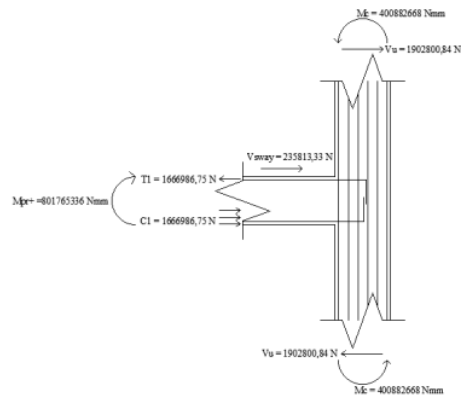
$$T_1 = 1,25A_s f_y = 1,25 \times 3419,46 \times 390 = 1666986,75 \text{ N}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada bagian kiri joint

$$C_1 = T_1 = 1666986,75 \text{ N}$$

Sehingga total gaya geser yang bekerja pada joint adalah:

$$V_u = T_1 - V_{sway} = 1666986,75 - 235813,33 = 1902800,84 \text{ N}$$



Gambar 6. 23 HBK Terkekang 3 atau 2 Balok

### 6.4.5.2 Kapasitas Kuat Geser Joint

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kapasitas kekuatan geser nominal pada joint,  $V_n$  dengan joint yang terkekang balok pada keempat sisinya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = 1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j = 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 490000 = 4928094,46 \text{ N}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 4928094,46 \geq 1902800,84 \text{ N}$$

$$3696070,84 \text{ N} \geq 1902800,84 \text{ N (OK)}$$

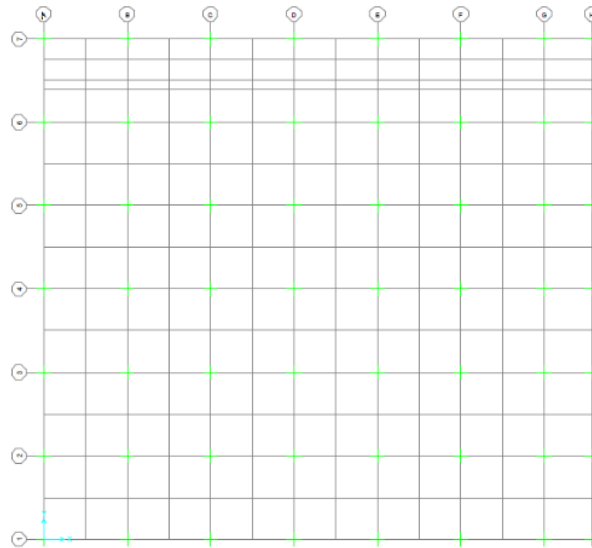
## 1 BAB VII PERENCANAAN PONDASI

### 7.1 Umum

Perencanaan struktur bawah Gedung Hotel Dame pada tugas akhir ini menggunakan pondasi tiang pancang dari bahan beton bertulang. Demi keselamatan dari penghuni Hotel ini sendiri maka struktur bawah harus direncanakan dengan baik agar saat terjadi keruntuhan struktur bawah tidak mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum struktur atas.

### 7.2 Beban Aksial Pondasi

Permodelan analisa struktur pada BAB VI dengan bantuan program bantu komputer digunakan untuk mendapatkan reaksi perletakan yang nantinya akan digunakan sebagai beban bagi pondasi. Pemetaan titik perletakan dapat dilihat pada Gambar 7.1 sedangkan untuk hasil reaksi perletakan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.1 reaksi yang diambil adalah reaksi beban terbesar.



**Gambar 7.1** Pemetaan Titik Perletakan

**Tabel 7.1** Nilai Beban Aksial (P)

Titik	Beban P (Ton)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	537,63	772,48	775,69	766	750,94	621,83	394,03	431,29
2	756,72	1172,76	1197,15	1196,51	1193,71	1144,53	807,32	633,66
3	766,51	1194,44	1221,65	1220,91	1221,31	1203,92	860,96	661,01
4	765,507	1193,69	1220,84	1220,09	1220,79	1204,41	861,39	661,20
5	770	1194,44	1221,64	1220,89	1221,55	1205,09	864,99	668,89
6	762,67	1172,78	1197,14	1196,42	1197,03	1182,69	857,12	667,40
7	533,55	772,41	775,53	765,84	757,32	741,94	581,21	527,31

### 7.3 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Perencanaan struktur bawah pada tugas akhir ini menggunakan pondasi tiang pancang. Subbab ini membahas tentang persamaan yang meliputi perhitungan daya dukung tiang pancang, kebutuhan tiang pancang, kontrol maksimum pada pancang kelompok. Pemilihan bentuk tiang pancang dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi, luasan, tegangan yang diijinkan dan juga pengurangan tegangan yang terjadi. Sebagai pertimbangan, digunakan contoh tiang pancang lingkaran tipe A dan tiang pancang persegi tipe A dengan dimensi yang digunakan yaitu 50 cm dan 50 x 50 cm. Dengan ukuran dimensi yang sama didapatkan bahwa data sebagai berikut seperti pada Tabel 7.2.

**Tabel 7.2** Perbandingan Nilai Perbandingan untuk Pondasi Tiang Pancang

	Lingkaran	Persegi
<b>Dimensi</b>	50 cm	50 x 50 cm
<b>Luasan</b>	1.159,25 cm <sup>2</sup>	2.500 cm <sup>2</sup>
<b>Allowable compression</b>	(A1) 185,30 ton (A2) 181,70 ton	335,12 ton
<b>Decompression tension</b>	(A1) 54,56 ton (A2) 68,49 ton	77,30 ton

(Sumber: Brosur Produk PT. Wijaya Karya Beton, 2017)

Dengan demikian, tiang pancang dengan penampang persegi dimensi 50 x 50 cm dipilih karena didapat dengan dimensi yang sama akan tetapi luasan serta tegangan ijin yang lebih besar daripada penampang lingkaran. Hal ini berpengaruh pula pada jumlah tiang pancang yang digunakan nantinya. Apabila menggunakan tiang pancang penampang

lingkaran dengan dimensi yang sama, maka jumlah tiang pancang yang dihasilkan akan semakin banyak. Maka dari itu, penggunaan tiang pancang dengan penampang persegi ini dinilai lebih efisien.

### 7.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung hotel ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *prestressed concrete square piles* produk dari PT. Wijaya Karya Beton. Digunakan pondasi tiang pancang karena spesifikasi tiang pancang yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Outside diameter* = 50 x 50 cm
- *Class* = A
- *Concrete cross section* = 2500 cm<sup>2</sup>
- *Unit weight* = 625 kg/m
- *Bending moment crack* = 15,16 ton.m
- *Bending moment ultimate* = 18,68 ton.m
- *Allowable axial load* = 335,12 ton

Produk dari PT. Wijaya Karya Beton ini mempunyai  $P_{bahan}$  beton *precast* sebesar 335,12 ton. Panjang tiang pancang yang direncanakan adalah 15 meter dengan besar daya dukung tanah pada kedalaman tersebut, kemudian dikontrol harus lebih kecil dari  $P_{bahan}$  beton *precast*.

### 7.3.2 Daya Dukung 1 Tiang

Daya dukung pada 1 tiang dapat dilihat berdasarkan kekuatan tiang pancang dan kekuatan pada tempat tiang pancang ditanam. Kekuatan daya dukung tanah harus dihitung dengan memberikan angka keamanan dan efisiensi pada kelompok tiang. Berikut perhitungan daya dukung tiang berdasarkan pada data CPT.

#### • Berdasarkan Data Penyelidikan Tanah CPT

Pada perhitungan daya dukung tanah berdasarkan kekuatan tanah direncanakan berdasarkan data hasil tes sondir (CPT) dengan memperhitungkan daerah tanah yang mengalami keruntuhan yang diakibatkan geser penetrasi konus atau tiang pancang. Pada perencanaan gedung Hotel Debams digunakan data tanah Kota Mataram.

5 Penentuan harga konus yang digunakan dalam perencanaan tidak mengambil dari harga konus pada ujung tiang, tetapi harga konus rata-rata sepanjang daerah keruntuhan 8D di atas ujung tiang dan 4D di bawah ujung tiang yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_n \text{ rata-rata ujung} = \frac{C.8D + C.4D}{2}$$

Keterangan :

C.8D = harga rata-rata konus, dihitung mulai dari ujung tiang sampai 8D keatas.

C.4D = harga rata-rata konus minimum, dihitung mulai dari ujung tiang sampai 4D ke bawah.

Dari data sondir yang ada, didapat harga konus sebagai berikut :

Untuk 8D = 400 cm ke atas dari ujung konus

$$C_1 = \frac{70+83+83+98+104+104+104+105+33+2533+48+68+62+60+85+155+180+205+250+250}{21}$$

$$C_1 = 222,857 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk 4D = 200 cm kebawah dari ujung konus

$$C_2 = \frac{250+250+250+250+250+250+250+250+250+250+250}{11}$$

$$C_2 = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka, } C_n \text{ rata-rata ujung} = \frac{C.8D + C.4D}{2} = \frac{222,857 + 250}{2} = 236,429 \text{ kg/cm}^2$$

5 Dari hasil penyelidikan tanah CPT (*Conus Penetration Test*) diperoleh nilai Jumlah Hambatan Pelekat (JHP) dan Konus (Cn). Perhitungan daya dukung tanah berdasarkan pada jumlah hambatan pelekat (JHP) dan konus diambil nilai pada kedalaman 15 m, dengan data sebagai berikut :

$$\text{JHP} = 996 \text{ kg/cm}$$

$$C_n = 236,429 \text{ kg/cm}^2$$

5 Dari hasil penyelidikan tanah tersebut, dapat ditentukan daya dukung tiang sebagai berikut :

$$P_{\text{tiang}} = C_n \times \frac{A}{n_1} + \text{JHP} \times \frac{k}{n_2}$$

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = 236,429 \times \frac{50 \times 50}{3} + 996 \times \frac{4 \times 50}{5} = 236864,17 \text{ kg} \sim 236,864 \text{ ton}$$

Dimana :

$P_{\text{tiang}}$  = daya dukung tanah untuk satu tiang (kg)

A = luas penampang tiang pancang ( $\text{cm}^2$ )

$K$  = keliling tiang pancang (cm)

$C_n$  = tekanan konus rata-rata, akibat keruntuhan ( $kg/cm^2$ )

JHP = jumlah hambatan pelekat ( $kg/cm$ )

$n_1$  = angka keamanan = 3

$n_2$  = angka keamanan = 5

### Berat Tiang Pancang

Berat sendiri tiang =  $625 \times 15 = 9375 \text{ kg} = 9,375 \text{ ton}$

Beban ijin netto yang diperkenankan pada tiang tersebut

$P_{ijin \text{ tiang bersih}} = 236,864 - 9,375 = 227,489 \text{ ton}$

Diperoleh daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan kekuatan bahan beton lebih besar dibandingkan dengan daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan kekuatan tanah sebesar  $P_{ijin \text{ tiang bersih}} = 227,489 \text{ ton} \leq P_{bahan} = 335,12 \text{ ton}$ , memenuhi.

### 7.3.3 Rencana Kebutuhan Tiang

Untuk mengetahui jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dalam satu kolom adalah dengan membagi beban aksial dan daya dukung ijin satu tiang. Hasil dari perhitungan jumlah tiang pancang sementara dapat dilihat pada **Tabel 7.2**.

**Tabel 7.3** Rencana Jumlah Tiang

Titik	Beban (P)	$P_{ijin \text{ tiang}}$ (Ton)	Jumlah Tiang	
	(Ton)		Hitungan	Rencana
	(a)		(a)/0,5(b)	
A1	537,63	227,489	4,727	6
A2	756,72	227,489	6,653	6
A3	766,51	227,489	6,739	6
A4	765,507	227,489	6,730	6
A5	770	227,489	6,770	6
A6	762,67	227,489	6,705	6
A7	533,55	227,489	4,691	6
B1	772,48	227,489	6,791	6
B2	1172,76	227,489	10,310	9
B3	1194,44	227,489	10,501	9
B4	1193,69	227,489	10,494	9
B5	1194,44	227,489	10,501	9

<b>B6</b>	1172,78	227,489	10,311	9
<b>B7</b>	772,41	227,489	6,791	6
<b>C1</b>	775,69	227,489	6,820	6
<b>C2</b>	1197,15	227,489	10,525	9
<b>C3</b>	1221,65	227,489	10,740	9
<b>C4</b>	1220,84	227,489	10,733	9
<b>C5</b>	1221,64	227,489	10,740	9
<b>C6</b>	1197,14	227,489	10,525	9
<b>C7</b>	775,53	227,489	6,818	6
<b>D1</b>	766	227,489	6,734	6
<b>D2</b>	1196,51	227,489	10,519	9
<b>D3</b>	1220,91	227,489	10,734	9
<b>D4</b>	1220,09	227,489	10,727	9
<b>D5</b>	1220,89	227,489	10,734	9
<b>D6</b>	1196,42	227,489	10,518	9
<b>D7</b>	765,84	227,489	6,733	6
<b>E1</b>	750,94	227,489	6,602	6
<b>E2</b>	1193,71	227,489	10,495	9
<b>E3</b>	1221,31	227,489	10,737	9
<b>E4</b>	1220,79	227,489	10,733	9
<b>E5</b>	1221,55	227,489	10,739	9
<b>E6</b>	1197,03	227,489	10,524	9
<b>E7</b>	757,32	227,489	6,658	6
<b>F1</b>	621,83	227,489	5,467	6
<b>F2</b>	1144,53	227,489	10,062	9
<b>F3</b>	1203,92	227,489	10,584	9
<b>F4</b>	1204,41	227,489	10,589	9
<b>F5</b>	1205,09	227,489	10,595	9
<b>F6</b>	1182,69	227,489	10,398	9
<b>F7</b>	741,94	227,489	6,523	6
<b>G1</b>	394,03	227,489	3,464	6
<b>G2</b>	807,32	227,489	7,098	6
<b>G3</b>	860,96	227,489	7,569	6
<b>G4</b>	861,39	227,489	7,573	6
<b>G5</b>	864,99	227,489	7,605	6
<b>G6</b>	857,12	227,489	7,535	6
<b>G7</b>	581,21	227,489	5,110	6
<b>H1</b>	431,29	227,489	3,792	4
<b>H2</b>	633,66	227,489	5,571	4
<b>H3</b>	661,01	227,489	5,811	4



<b>H4</b>	661,2	227,489	5,813	4
<b>H5</b>	668,89	227,489	5,881	4
<b>H6</b>	667,4	227,489	5,868	4
<b>H7</b>	527,31	227,489	4,636	4

Terdapat beberapa tipe susunan tiang pancang berdasarkan satu berat kolom yang dipikulnya. Jumlah tiang pancang direncanakan jaraknya sesuai dengan yang diijinkan. Tebal pilecap yang rencana pada tiang pancang group sebesar 1 meter.

- Jarak antar tiang

$$2,5D \leq S \leq 3D$$

$$2,5(50) \leq S \leq 3(50)$$

$$125 \text{ cm} \leq S \leq 150 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 135 cm

- Jarak tepi tiang

$$1,5D \leq S \leq 2D$$

$$1,5(50) \leq S \leq 2(50)$$

$$75 \text{ cm} \leq S \leq 100 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tepi tiang = 80 cm

### 7.3.4 Daya Dukung Tiang Kelompok

Tiang pancang yang bekerja dalam kelompok kekuatannya akan terkoreksi sehingga tidak akan sebesar tiang pancang yang bekerja sendirian. Sehingga efisiensi bisa dihitung dengan rumusan:

$$efisiensi(E_s) = 1 - arc. tg \frac{D}{S} \times \frac{m(n-1)+n(m-1)}{90mn}$$

Contoh perhitungan nilai efisiensi pada titik B1, dimana:

$$\text{Jumlah baris tiang (m)} = 2 \text{ baris}$$

$$\text{Jumlah kolom tiang (n)} = 3 \text{ kolom}$$

Maka nilai efisiensi tiang kelompok pada titik B1 adalah:

$$efisiensi(E_s) = 1 - 20,32 \times \frac{2(3-1)+3(2-1)}{90 \times 2 \times 3} = 0,737$$

Sehingga besar daya dukung tiang kelompok adalah:

$$P_{ijin \text{ grup}} = P_{ijin \text{ tiang bersih}} \times E_s = 227,489 \times 0,737 = 167,659 \text{ ton}$$

$$\Sigma P_{ijin \text{ grup}} = 167,659 \times 6 \text{ tiang} = 1005,4 \text{ ton}$$

Hasil dari  $\sum P_{ijin\ grup}$  dilakukan kontrol terhadap beban yang bekerja di atas pondasi tiang, jika  $\sum P_{ijin\ grup} >$  beban (P) yang terjadi, maka pondasi mampu menerima beban yang diberikan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 7.3** berikut ini:

**Tabel 7.4** Kontrol Efisiensi untuk Daya Dukung Tanah

Titik	Konfigurasi Tiang		Jarak Tiang (m)	Efisiensi	Beban (P) (Ton)	$\sum P_{ijin\ grup}$ (Ton)	Kontrol
	m	n					
					(a)	(b)	$b > a$
A1	2	3	1,35	0,737	537,63	1005,400	OK
A2	2	3	1,35	0,737	756,72	1005,400	OK
A3	2	3	1,35	0,737	766,51	1005,400	OK
A4	2	3	1,35	0,737	765,507	1005,400	OK
A5	2	3	1,35	0,737	770	1005,400	OK
A6	2	3	1,35	0,737	762,67	1005,400	OK
A7	2	3	1,35	0,737	533,55	1005,400	OK
B1	2	3	1,35	0,737	772,48	1005,400	OK
B2	3	3	1,35	0,699	1172,76	1431,057	OK
B3	3	3	1,35	0,699	1194,44	1431,057	OK
B4	3	3	1,35	0,699	1193,69	1431,057	OK
B5	3	3	1,35	0,699	1194,44	1431,057	OK
B6	3	3	1,35	0,699	1172,78	1431,057	OK
B7	2	3	1,35	0,737	772,41	1005,400	OK
C1	2	3	1,35	0,737	775,69	1005,400	OK
C2	3	3	1,35	0,699	1197,15	1431,057	OK
C3	3	3	1,35	0,699	1221,65	1431,057	OK
C4	3	3	1,35	0,699	1220,84	1431,057	OK
C5	3	3	1,35	0,699	1221,64	1431,057	OK
C6	3	3	1,35	0,699	1197,14	1431,057	OK
C7	2	3	1,35	0,737	775,53	1005,400	OK
D1	2	3	1,35	0,737	766	1005,400	OK
D2	3	3	1,35	0,699	1196,51	1431,057	OK
D3	3	3	1,35	0,699	1220,91	1431,057	OK
D4	3	3	1,35	0,699	1220,09	1431,057	OK
D5	3	3	1,35	0,699	1220,89	1431,057	OK
D6	3	3	1,35	0,699	1196,42	1431,057	OK
D7	2	3	1,35	0,737	765,84	1005,400	OK
E1	2	3	1,35	0,737	750,94	1005,400	OK
E2	3	3	1,35	0,699	1193,71	1431,057	OK
E3	3	3	1,35	0,699	1221,31	1431,057	OK
E4	3	3	1,35	0,699	1220,79	1431,057	OK
E5	3	3	1,35	0,699	1221,55	1431,057	OK
E6	3	3	1,35	0,699	1197,03	1431,057	OK
E7	2	3	1,35	0,737	757,32	1005,400	OK
F1	2	3	1,35	0,737	621,83	1005,400	OK

<b>F2</b>	3	3	1,35	0,699	1144,53	1431,057	<b>OK</b>
<b>F3</b>	3	3	1,35	0,699	1203,92	1431,057	<b>OK</b>
<b>F4</b>	3	3	1,35	0,699	1204,41	1431,057	<b>OK</b>
<b>F5</b>	3	3	1,35	0,699	1205,09	1431,057	<b>OK</b>
<b>F6</b>	3	3	1,35	0,699	1182,69	1431,057	<b>OK</b>
<b>F7</b>	2	3	1,35	0,737	741,94	1005,400	<b>OK</b>
<b>G1</b>	2	3	1,35	0,737	394,03	1005,400	<b>OK</b>
<b>G2</b>	2	3	1,35	0,737	807,32	1005,400	<b>OK</b>
<b>G3</b>	2	3	1,35	0,737	860,96	1005,400	<b>OK</b>
<b>G4</b>	2	3	1,35	0,737	861,39	1005,400	<b>OK</b>
<b>G5</b>	2	3	1,35	0,737	864,99	1005,400	<b>OK</b>
<b>G6</b>	2	3	1,35	0,737	857,12	1005,400	<b>OK</b>
<b>G7</b>	2	3	1,35	0,737	581,21	1005,400	<b>OK</b>
<b>H1</b>	2	2	1,35	0,774	431,29	704,508	<b>OK</b>
<b>H2</b>	2	2	1,35	0,774	633,66	704,508	<b>OK</b>
<b>H3</b>	2	2	1,35	0,774	661,01	704,508	<b>OK</b>
<b>H4</b>	2	2	1,35	0,774	661,2	704,508	<b>OK</b>
<b>H5</b>	2	2	1,35	0,774	668,89	704,508	<b>OK</b>
<b>H6</b>	2	2	1,35	0,774	667,4	704,508	<b>OK</b>
<b>H7</b>	2	2	1,35	0,774	527,31	704,508	<b>OK</b>

### 7.3.5 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang Pancang

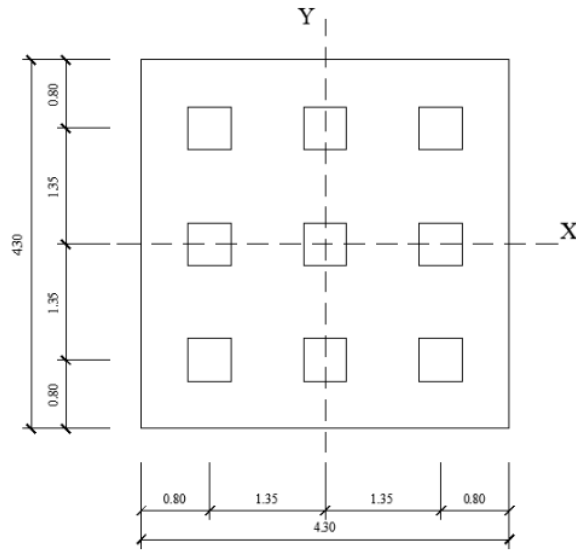
Dari perhitungan jumlah tiang pancang yang direncanakan sebelumnya masih berdasarkan beban aksial yang bekerja pada tiang, oleh sebab itu pada sub bab kali ini perlu adanya perhitungan kontrol momen yang bekerja pada tiang tersebut. Pondasi tiang pancang dengan dimensi 50 x 50 cm dengan konfigurasi tiang pancang 9 buah menghasilkan  $P_{ijin\ grup}$  sebesar 1431,057 ton. Nilai dari  $P_{max}$  harus lebih kecil dari  $P_{ijin\ grup}$  tiang pondasi. Sebagai contoh perhitungan adalah titik perencanaan nomor B2 sebagai berikut:

$$P = 1167,135\ ton$$

$$M_x = 42,471\ ton.m$$

$$M_y = 47,448\ ton.m$$

Dengan menggunakan konfigurasi 3 x 3 pancang seperti **Gambar 7.2** dengan menggunakan dimensi 50 x 50 cm dan jarak antar pancang sebesar 1,35 meter, maka dilakukan perhitungan  $P_{max}$  yaitu:



**Gambar 7. 2** Konfigurasi Pondasi 9 Tiang

$$X = 1,35 \text{ m}$$

$$Y = 1,35 \text{ m}$$

$$\sum X = 3 \times 3 \times 1,35^2 = 16,40 \text{ m}^2$$

$$\sum Y = 3 \times 3 \times 1,35^2 = 16,40 \text{ m}^2$$

Pada 1 tiang pancang kelompok beban yang bekerja berdasarkan jarak pancang ke sumbu netral:

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_y X}{\sum X^2} + \frac{M_x Y}{\sum Y^2} = \frac{1167,135}{9} + \frac{47,448 \times 1,35}{16,40} + \frac{42,471 \times 16,40}{16,40} = 135,33 \text{ ton}$$

$$P_{max} = 135,33 \text{ ton} \leq P_{ijin \text{ grup}} = 167,659 \text{ ton (OK)}$$

Hasil kontrol jumlah tiang pancang dengan cara mencari besarnya beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dengan mengambil salah satu contoh pada setiap tipe dilihat pada

**Tabel 7.5.**

**Tabel 7. 5** Hasil Kontrol 1 Tiang Pancang pada 1 Kelompok Tiang

Titik	Jumlah Tiang	P	$M_x$	$M_y$	$P_{max}$	$P_{ijin \text{ grup}}$	Kontrol
		(Ton)	(Ton.m)	(Ton.m)	(Ton)	(Ton)	
					(a)	(b)	(a) < (b)
<b>A1</b>	6	531,986	27,382	32,096	101,37	167,659	<b>OK</b>
<b>B2</b>	9	1167,135	42,471	47,448	135,33	167,659	<b>OK</b>
<b>H1</b>	4	425,649	27,890	14,805	118,02	167,659	<b>OK</b>

Didapatkan bahwa nilai hasil kontrol untuk 1 tiang pancang pada setiap tipe dapat memenuhi persyaratan yaitu  $P_{max} \leq P_{ijin\ grup}$ , maka pondasi tiang pancang dapat digunakan sebagai pondasi dalam perencanaan struktur gedung Hotel Dame di Kota Padang.

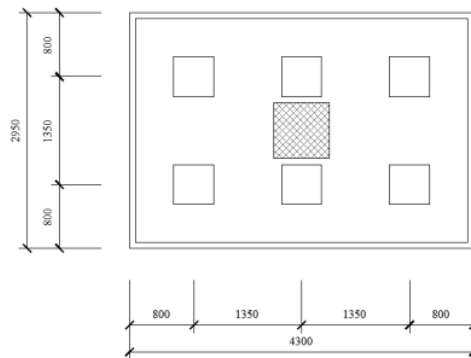
#### 7.4 Perencanaan *Pile Cap*

Perhitungan penulangan *pile cap* didasari dari besarnya momen yang bekerja pada tiap – tiap *pile cap* dari daerah kritis tepi kolom dan selebar pondasi.

##### 7.4.1 Perhitungan Penulangan *Pile Cap* 1

###### 7.4.1.1 Data Perencanaan

Berikut merupakan data – data perencanaan *pile cap* 1 antara lain:



**Gambar 7.3** *Pile Cap* 1

1. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 Mpa
2. Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 Mpa
3. Dimensi *pile cap* : 4300 mm x 2950 mm
4. Dimensi kolom : 700 mm x 700 mm
5. Tebal *pile cap* : 1000 mm
6. Diameter tulangan utama : D29
7. Selimut beton : 75 mm
8. Rasio sisi panjang dan sisi pendek kolom

$$\beta = \frac{700}{700} = 1$$

9. Tinggi efektif

$$dx = t - ts - 0,5D = 1000 - 75 - 0,5(29) = 910,5 \text{ mm}$$

$$dy = t - ts - D - 0,5D = 1000 - 75 - 29 - 0,5(29) = 881,5 \text{ mm}$$

#### 7.4.1.2 Kontrol Tebal Pile Cap

Untuk kontrol ketebalan *pile cap* digunakan cara *trial and error*, yaitu:

Beban aksial (P) = 531986 kg

Mutu beton = 35 MPa = 421,69 kg/cm<sup>2</sup>

Maka,

$$\sigma_{pons} = 0,65\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,65\sqrt{421,69} = 13,348 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{pons} \geq \frac{1,5P}{4,3 \times ((b+h)h)}$$

$$13,348 \geq \frac{1,5 \times 531986}{4,3 \times ((70+h)h)}$$

Dicoba h = 100 cm

$$13,348 \geq \frac{1,5 \times 531986}{4,3 \times ((70+100) \times 100)}$$

$$13,348 \text{ kg/cm}^2 \geq 10,916 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka, ketebalan *pile cap* yang digunakan yaitu 100 cm

#### 7.4.1.3 Kontrol Geser Pondasi

Perencanaan tebal *pile cap* harus memenuhi ketentuan bahwa kekuatan geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Penampang kritis adalah pada daerah di bawah kolom, keliling penampang kritis dihitung sebagai berikut:

$$bo = 4,3(b_{kolom} + dx) = 4,3(700 + 910,5) = 6925,15 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.6.5.2 untuk komponen dua arah nonprategang Vc diambil nilai terkecil dari persamaan berikut:

- $V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times bo \times d$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 6925,15 \times 910,5$$

$$V_c = 19024503,6 \text{ N}$$

- $V_c = 0,083 \left(\frac{as \times 2}{bo} + 2\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times bo \times d$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{40 \times 2}{6042} + 2\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 6925,15 \times 910,5$$

$$V_c = 6233284,36 \text{ N}$$

- $V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \times bo \times d$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 6925,15 \times 910,5$$

$$V_c = 12309972,9 \text{ N}$$

Diambil nilai terkecil yaitu  $V_c = 12309972,9 \text{ N} = 1231 \text{ ton}$

Besar beban kolom yang digunakan adalah beban terbesar yang terjadi pada perencanaan titik yang memiliki beban terbesar adalah titik A1 yaitu 531,986 ton. Maka untuk

$\sum P_{U \text{ tiang}}$  adalah:

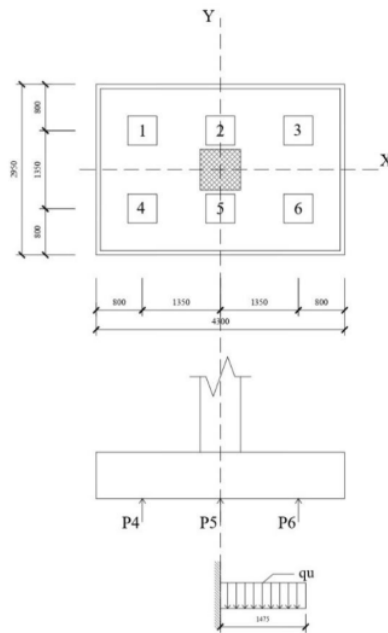
Berat pada tiang pancang sendiri	= 6,25 ton	
Beban axial pada kolom	= 531,986 ton	
Beban <i>pile cap</i>	= 30,444 ton	+
$\sum P_{U \text{ tiang}}$	= 468,68 ton	

$$\phi V_c \geq \sum P_{U \text{ tiang}}$$

$$0,75(1231) \geq 468,68 \text{ ton}$$

$$923,25 \text{ ton} \geq 468,68 \text{ ton (OK)}$$

#### 7.4.1.4 Penulangan *Pile Cap*



**Gambar 7.4** Statika *Pile Cap* 1

### 1) Syarat Batas Tulangan

Syarat batas penulangan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

#### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

### 2) Penulangan Arah X

#### Momen yang Terjadi

$$q_u = h \times t \times \gamma_{beton} = 4,3 \times 1 \times 2,4 = 10,32 \text{ ton/m}$$

$$P_{max} = 101,37 \text{ ton}$$

$$M_u = (3P_{max} \times 0,675) + \left( \frac{1}{2} q_u \times 1,475^2 \right)$$

$$M_u = (3 \times 101,37 \times 0,675) + \left( \frac{1}{2} \times 10,32 \times 1,475^2 \right)$$

$$M_u = 216,50 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{216,50}{0,9} = 240,55 \text{ ton.m} = 2405538889 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d} = \frac{2405538889}{4300 \times 910,5^2} = 0,67$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,67}{390}} \right) = 0,0018 < \rho_{min}$$

Pakai  $\rho_{min} = 0,0020$

#### Tulangan Perlu X

##### - Tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 4300 \times 910,5 = 7830,3 \text{ mm}^2$$

##### - Tekan

$$A_{s'_{perlu}} = 0,5 A_{s_{perlu}} = 0,5(7830,3) = 3915,15 \text{ mm}^2$$



### Tulangan Pakai X

#### - Tarik

$$A_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{4300}{200} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 14193,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 7830,3 \text{ mm}^2 < A_{s_{pakai}} = 14193,98 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

#### - Tekan

$$A_{s'_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{4300}{200} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 14193,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'_{perlu}} = 3915,15 \text{ mm}^2 < A_{s'_{pakai}} = 14193,98 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

### 3) Penulangan Arah Y

#### Momen yang Terjadi

$$q_u = h \times t \times \gamma_{beton} = 4,3 \times 1 \times 2,4 = 10,32 \text{ ton/m}$$

$$P_{max} = 101,37 \text{ ton}$$

$$M_u = (2P_{max} \times 1,35) + \left(\frac{1}{2} q_u \times 2,15^2\right)$$

$$M_u = (2 \times 101,37 \times 1,35) + \left(\frac{1}{2} \times 10,32 \times 2,15^2\right)$$

$$M_u = 297,55 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{297,55}{0,9} = 330,61 \text{ ton.m} = 3306094074 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d^2} = \frac{3306094074}{2950 \times 881,5^2} = 1,44$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,44}{390}} \right) = 0,0038$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0038 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0038$$

#### Tulangan Perlu Y

#### - Tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0038 \times 2950 \times 881,5 = 9881,615 \text{ mm}^2$$

#### - Tekan

$$A_{s'_{perlu}} = 0,5 A_{s_{perlu}} = 0,5(9881,615) = 4940,81 \text{ mm}^2$$

#### Tulangan Pakai Y

#### - Tarik

$$A_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{2950}{150} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 12983,64 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 9881,615 \text{ mm}^2 < A_{s_{pakai}} = 12983,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tekan

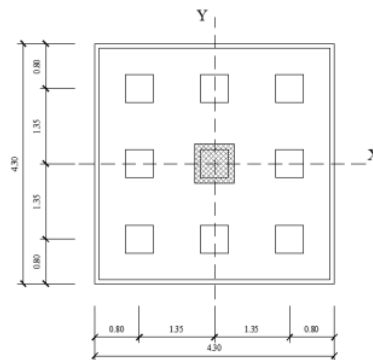
$$As'_{pakai} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{2950}{150} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 12983,64 \text{ mm}^2$$

$$As'_{perlu} = 4940,81 \text{ mm}^2 < As'_{pakai} = 12983,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

## 7.4.2 Perhitungan Penulangan Pile Cap 2

### 7.4.2.1 Data Perencanaan

Berikut merupakan data – data perencanaan pile cap 2 antara lain:



Gambar 7.5 Pile Cap 2

1. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 Mpa
2. Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 Mpa
3. Dimensi pile cap : 4300 mm x 4300 mm
4. Dimensi kolom : 700 mm x 700 mm
5. Tebal pile cap : 1600 mm
6. Diameter tulangan utama : D29
7. Selimut beton : 75 mm
8. Rasio sisi panjang dan sisi pendek kolom

$$\beta = \frac{700}{700} = 1$$

9. Tinggi efektif

$$dx = t - ts - 0,5D = 1600 - 75 - 0,5(29) = 1510,5 \text{ mm}$$

$$dy = t - ts - D - 0,5D = 1600 - 75 - 29 - 0,5(29) = 1481,5 \text{ mm}$$

#### 7.4.2.2 Kontrol Tebal Pile Cap

Untuk kontrol ketebalan *pile cap* digunakan cara *trial and error*, yaitu:

Beban aksial (P) = 1167135 kg

Mutu beton = 35 MPa = 421,69 kg/cm<sup>2</sup>

Maka,

$$\sigma_{pons} = 0,65\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,65\sqrt{421,69} = 13,348 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{pons} \geq \frac{1,5P}{4,3 \times ((b+h)h)}$$

$$13,348 \geq \frac{1,5 \times 1167135}{4,3 \times ((70+h)h)}$$

Dicoba h = 160 cm

$$13,348 \geq \frac{1,5 \times 1167135}{4,3 \times ((70+160) \times 160)}$$

$$13,348 \text{ kg/cm}^2 \geq 11,06 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka, ketebalan *pile cap* yang digunakan yaitu 160 cm

#### 7.4.2.3 Kontrol Geser Pondasi

Perencanaan tebal *pile cap* harus memenuhi ketentuan bahwa kekuatan geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Penampang kritis adalah pada daerah di bawah kolom, keliling penampang kritis dihitung sebagai berikut:

$$b_o = 4,3(b_{kolom} + dx) = 4,3(700 + 1410,5) = 9075,15 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.6.5.2 untuk komponen dua arah nonprategang  $V_c$  diambil nilai terkecil dari persamaan berikut:

- $V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 9075,15 \times 1510,5$$

$$V_c = 26112179,5 \text{ N}$$

- $V_c = 0,083 \left(\frac{a_s \times 2}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{40 \times 2}{6042} + 2\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 9075,15 \times 1510,5$$

$$V_c = 8555526,29 \text{ N}$$

- $V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 9075,15 \times 1510,5$$

$$V_c = 16896116,2 \text{ N}$$

Diambil nilai terkecil yaitu  $V_c = 16896116,2 N = 1689,61 ton$

Besar beban kolom yang digunakan adalah beban terbesar yang terjadi pada perencanaan titik yang memiliki beban terbesar adalah titik B2 yaitu 1167,135 ton. Maka untuk  $\sum P_{U \text{ tiang}}$  adalah:

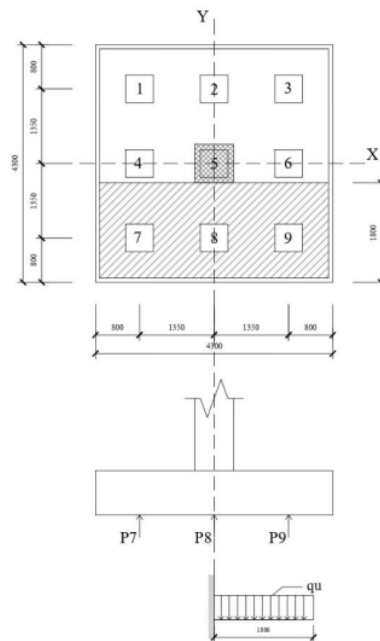
Berat pada tiang pancang sendiri	= 6,25 ton	
Beban axial pada kolom	= 1167,135 ton	
Beban <i>pile cap</i>	= 71 ton	+
$\sum P_{U \text{ tiang}}$	= 1244,39 ton	

$$\phi V_c \geq \sum P_{U \text{ tiang}}$$

$$0,75(1689,61) \geq 1244,39 ton$$

$$1267,21 ton \geq 1244,39 ton \text{ (OK)}$$

#### 7.4.2.4 Penulangan *Pile Cap*



**Gambar 7. 6** Statika *Pile Cap* 2

#### 1) Syarat Batas Tulangan

Syarat batas penulangan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

### Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

### Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

### 2) Penulangan Arah X

#### Momen yang Terjadi

$$q_u = h \times t \times \gamma_{beton} = 4,3 \times 1,6 \times 2,4 = 16,512 \text{ ton/m}$$

$$P_{max} = 140,58 \text{ ton}$$

$$M_u = (3P_{max} \times 1,35) + \left( \frac{1}{2} q_u \times 2,15^2 \right)$$

$$M_u = (3 \times 140,58 \times 1,35) + \left( \frac{1}{2} \times 16,512 \times 2,15^2 \right)$$

$$M_u = 607,50 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{607,50}{0,9} = 675,00 \text{ ton.m} = 6750045667 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = \frac{6750045667}{4300 \times 1510,5^2} = 0,68$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,68}{390}} \right) = 0,0018 < \rho_{min}$$

Pakai  $\rho_{max} = 0,0020$

#### Tulangan Perlu X

##### - Tarik

$$A_{S_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 4300 \times 1510,5 = 12990,3 \text{ mm}^2$$

##### - Tekan

$$A_{S'_{perlu}} = 0,5 A_{S_{perlu}} = 0,5(12990,3) = 6495,15 \text{ mm}^2$$

### Tulangan Pakai X

#### - Tarik

$$A_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{4300}{200} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 14193,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 12990,3 \text{ mm}^2 < A_{s_{pakai}} = 14193,98 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

#### - Tekan

$$A'_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{4300}{200} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 14193,98 \text{ mm}^2$$

$$A'_{s_{perlu}} = 6495,15 \text{ mm}^2 < A'_{s_{pakai}} = 14193,98 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

### 3) Penulangan Arah Y

#### Momen yang Terjadi

$$q_u = h \times t \times \gamma_{beton} = 4,3 \times 1,6 \times 2,4 = 16,512 \text{ ton/m}$$

$$P_{max} = 140,58 \text{ ton}$$

$$M_u = (3P_{max} \times 1,35) + \left(\frac{1}{2} q_u \times 2,15^2\right)$$

$$M_u = (3 \times 140,58 \times 1,35) + \left(\frac{1}{2} \times 16,512 \times 2,15^2\right)$$

$$M_u = 607,50 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{607,50}{0,9} = 675,00 \text{ ton.m} = 6750045667 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times 2} = \frac{6750045667}{4300 \times 1481,5^2} = 0,72$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,72}{390}} \right) = 0,0019 < \rho_{min}$$

$$\text{Pakai } \rho_{min} = 0,0020$$

#### Tulangan Perlu Y

#### - Tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 4300 \times 1481,5 = 12740,9 \text{ mm}^2$$

#### - Tekan

$$A'_{s_{perlu}} = 0,5 A_{s_{perlu}} = 0,5(12740,9) = 6370,45 \text{ mm}^2$$

#### Tulangan Pakai Y

#### - Tarik

$$A_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{4300}{200} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 14193,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 12740,9 \text{ mm}^2 < A_{s_{pakai}} = 14193,98 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tekan

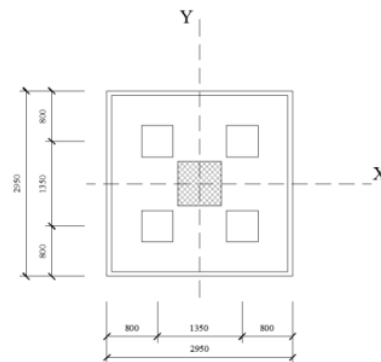
$$As'_{pakai} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{4300}{200} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 14193,98 \text{ mm}^2$$

$$As'_{perlu} = 6370,45 \text{ mm}^2 < As'_{pakai} = 14193,98 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

### 7.4.3 Perhitungan Penulangan Pile Cap 3

#### 7.4.3.1 Data Perencanaan

Berikut merupakan data – data perencanaan pile cap 3 antara lain:



Gambar 7. 7 Pile Cap 3

1. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 Mpa
2. Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 Mpa
3. Dimensi pile cap : 2950 mm x 2950 mm
4. Dimensi kolom : 700 mm x 700 mm
5. Tebal pile cap : 1000 mm
6. Diameter tulangan utama : D29
7. Selimut beton : 75 mm
8. Rasio sisi panjang dan sisi pendek kolom

$$\beta = \frac{700}{700} = 1$$

9. Tinggi efektif

$$dx = t - ts - 0,5D = 1000 - 75 - 0,5(29) = 910,5 \text{ mm}$$

$$dy = t - ts - D - 0,5D = 1000 - 75 - 29 - 0,5(29) = 881,5 \text{ mm}$$

#### 7.4.3.2 Kontrol Tebal Pile Cap

Untuk kontrol ketebalan pile cap digunakan cara *trial and error*, yaitu:

Beban aksial (P) = 425649 kg

Mutu beton = 35 MPa = 421,69  $kg/cm^2$

Maka,

$$\sigma_{pons} = 0,65\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,65\sqrt{421,69} = 13,348 \text{ } kg/cm^2$$

$$\sigma_{pons} \geq \frac{1,5P}{4,3 \times ((b+h)h)}$$

$$13,348 \geq \frac{1,5 \times 425649}{2,95 \times ((70+h)h)}$$

Dicoba h = 100 cm

$$13,348 \geq \frac{1,5 \times 425649}{2,95 \times ((70+100) \times 100)}$$

$$13,348 \text{ } kg/cm^2 \geq 12,73 \text{ } kg/cm^2 \text{ (OK)}$$

Maka, ketebalan *pile cap* yang digunakan yaitu 100 cm

### 7.4.3.3 Kontrol Geser Pondasi

Perencanaan tebal *pile cap* harus memenuhi ketentuan bahwa kekuatan geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Penampang kritis adalah pada daerah di bawah kolom, keliling penampang kritis dihitung sebagai berikut:

$$b_o = 2,95(b_{kolom} + dx) = 2,95(700 + 910,5) = 4750,975 \text{ } mm$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.6.5.2 untuk komponen dua arah nonprategang  $V_c$  diambil nilai terkecil dari persamaan berikut:

- $V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 4750,975 \times 910,5$$

$$V_c = 13051694,3 \text{ } N$$

- $V_c = 0,083 \left(\frac{a_s \times 2}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{40 \times 2}{6042} + 2\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 4750,975 \times 910,5$$

$$V_c = 4276322,99 \text{ } N$$

- $V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 4750,975 \times 910,5$$

$$V_c = 8445213,97 \text{ } N$$

Diambil nilai terkecil yaitu  $V_c = 8445213,97 \text{ } N = 844,52 \text{ } ton$



Besar beban kolom yang digunakan adalah beban terbesar yang terjadi pada perencanaan titik yang memiliki beban terbesar adalah titik H1 yaitu 425,649 ton. Maka untuk

$\sum P_{U \text{ tiang}}$  adalah:

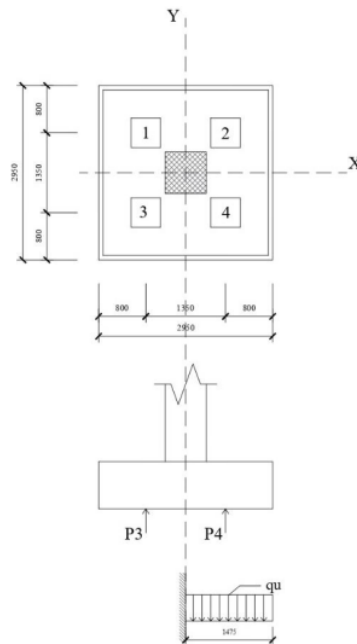
Berat pada tiang pancang sendiri	= 6,25 ton
Beban axial pada kolom	= 425,649 ton
Beban <i>pile cap</i>	= 20,886 ton +
$\sum P_{U \text{ tiang}}$	= 452,785 ton

$$\phi V_c \geq \sum P_{U \text{ tiang}}$$

$$0,75(844,52) \geq 452,785 \text{ ton}$$

$$633,39 \text{ ton} \geq 452,785 \text{ ton (OK)}$$

#### 7.4.3.4 Penulangan *Pile Cap*



**Gambar 7. 8** Statika *Pile Cap* 3

#### 1) Syarat Batas Tulangan

Syarat batas penulangan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

#### Faktor bentuk distribusi

4  
 Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  maka menggunakan rumus  $28 < f'_c < 55$  yaitu:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

**Rasio tulangan pada kondisi *balance***

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai  $f_y = 390$  maka menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = 0,0020$$

## 2) Penulangan Arah X

### Momen yang Terjadi

$$q_u = h \times t \times \gamma_{beton} = 2,95 \times 1 \times 2,4 = 7,08 \text{ ton/m}$$

$$P_{max} = 109,8 \text{ ton}$$

$$M_u = (2P_{max} \times 0,675) + \left( \frac{1}{2} q_u \times 1,475^2 \right)$$

$$M_u = (2 \times 109,8 \times 0,675) + \left( \frac{1}{2} \times 7,08 \times 1,475^2 \right)$$

$$M_u = 155,93 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{155,93}{0,9} = 173,26 \text{ ton.m} = 1732567361 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times 2} = \frac{1732567361}{2950 \times 910,5^2} = 0,71$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,71}{390}} \right) = 0,0019 < \rho_{min}$$

Pakai  $\rho_{max} = 0,0020$

### Tulangan Perlu X

#### - Tarik

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 2950 \times 910,5 = 5371,95 \text{ mm}^2$$

#### - Tekan

$$A_{s'_{perlu}} = 0,5 A_{s_{perlu}} = 0,5(5371,95) = 2685,975 \text{ mm}^2$$

### Tulangan Pakai X

#### - Tarik

$$A_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{2950}{300} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 6491,82 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 5371,95 \text{ mm}^2 < A_{s_{pakai}} = 6491,82 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- **Tekan**

$$A_{s'_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{2950}{300} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 6491,82 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'_{perlu}} = 2685,975 \text{ mm}^2 < A_{s'_{pakai}} = 6491,82 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

### 3) Penulangan Arah Y

#### Momen yang Terjadi

$$q_u = h \times t \times \gamma_{beton} = 2,95 \times 1 \times 2,4 = 7,08 \text{ ton/m}$$

$$P_{max} = 109,8 \text{ ton}$$

$$M_u = (2P_{max} \times 0,675) + \left(\frac{1}{2} q_u \times 1,475^2\right)$$

$$M_u = (2 \times 109,8 \times 0,675) + \left(\frac{1}{2} \times 7,08 \times 1,475^2\right)$$

$$M_u = 155,93 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{155,93}{0,9} = 173,26 \text{ ton.m} = 1732567361 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times d} = \frac{1732567361}{2950 \times 881,5^2} = 0,76$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,76}{390}}\right) = 0,0020$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0020 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0020$$

#### Tulangan Perlu Y

- **Tarik**

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 2950 \times 881,5 = 5200,85 \text{ mm}^2$$

- **Tekan**

$$A_{s'_{perlu}} = 0,5 A_{s_{perlu}} = 0,5(5200,85) = 2600,425 \text{ mm}^2$$

#### Tulangan Pakai Y

- **Tarik**

$$A_{s_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{2950}{300} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 6491,82 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 5200,85 \text{ mm}^2 < A_{s_{pakai}} = 6491,82 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- **Tekan**

$$A_{s'_{pakai}} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{2950}{300} \times \frac{1}{4} \pi 29^2 = 6491,82 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'_{perlu}} = 2600,425 \text{ mm}^2 < A_{s'_{pakai}} = 6491,82 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

25

#### 7.4.4 Rekapitulasi Penulangan *Pile Cap*

**Tabel 7.6** Rekapitulasi Hasil Penulangan *Pile Cap*

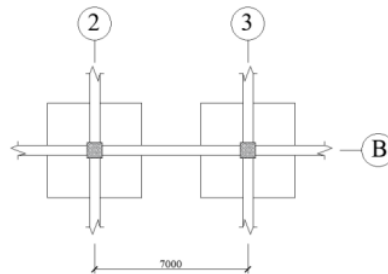
Tipe	Tebal (mm)		Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
PC-1	1000	Atas	D29 – 200	D29 – 150
		Tengah	4D16	4D16
		Bawah	D29 – 200	D29 – 150
PC-2	1600	Atas	D29 – 200	D29 – 200
		Tengah	4D16	4D16
		Bawah	D29 – 200	D29 – 200
PC-3	1000	Atas	D29 – 300	D29 – 300
		Tengah	4D16	4D16
		Bawah	D29 – 300	D29 – 300

#### 7.5 Perencanaan *Sloof*

Penulangan *sloof* pada kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga perilaku penampang hampir mirip dengan perilaku kolom. *Sloof* yang direncanakan terdiri dari beberapa yaitu S1, S2, dan S3. Contoh perhitungan *sloof* dilakukan pada *sloof* S1.

##### 7.5.1 Data Perencanaan

Contoh perhitungan *sloof* dilakukan pada *sloof* tipe S1 di lantai dasar sebagaimana ditunjukkan denah berikut:



**Gambar 7.9** Denah *Sloof*

1. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 Mpa
2. Mutu tulangan ( $f_y$ ) : 390 Mpa
3. Panjang (L) : 7000 mm
4. Panjang bersih ( $l_n$ ) : 6300 mm
5. Lebar (b) : 450 mm

6. Tinggi (h) : 500 mm
7. Tulangan lentur : D22
8. Tulangan geser : D10
9. Tebal selimut : 40 mm
10. Tinggi efektif

$$d = h - ts - D_{geser} - 0,5D_{lentur}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 0,5(22)$$

$$d = 439 \text{ mm}$$

### 7.5.2 Analisa Gaya Dalam

Beban yang ditimpakan ke sloof meliputi berat sendiri sloof, beban mati tambahan di atas sloof jika ada dan beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

#### Gaya Aksial Sloof

$$P_u = 10\% \times P_{ukolom} = 10\% \times 1172760 = 117276 \text{ kg} = 1172,76 \text{ kN}$$

#### Beban Mati Sloof

$$\text{Berat sendiri} = 0,45 \times 0,5 \times 2400 = 540 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 4 \times 250 = 1000 \text{ kg/m} +$$

$$qD = 1540 \text{ kg/m}$$

#### Beban Ultimate

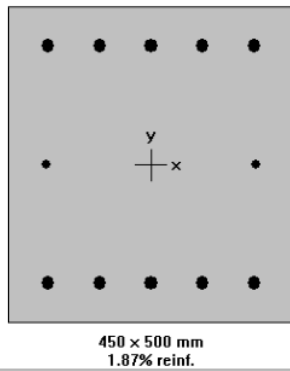
$$qU = 1,4D = 1,4(1540) = 2156 \text{ kg/m}$$

#### Momen Sloof

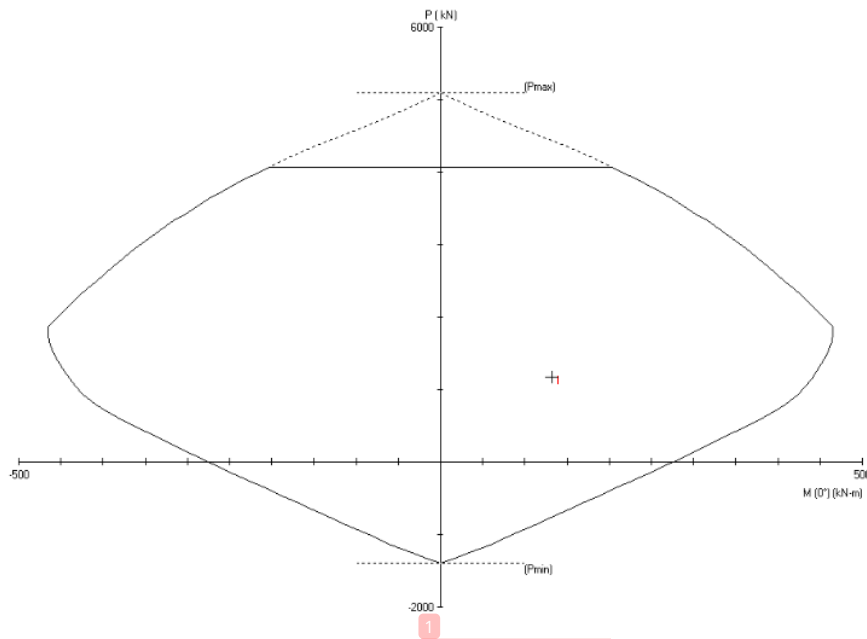
$$M_u = \frac{1}{8} qU \times l^2 = \frac{1}{8} \times 2156 \times 7^2 = 13205,5 \text{ kgm} = 132,05 \text{ kNm}$$

### 7.5.3 Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1 luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01Ag dan tidak boleh lebih dari 0,06Ag. Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan, digunakan program bantu komputer.



**Gambar 7. 10** Konfigurasi Penulangan Sloof



**Gambar 7. 11** Diagram Interaksi

Dari hasil desain menggunakan program bantu komputer berdasarkan gaya dalam dengan dimensi sloof yang digunakan adalah 450 mm x 500 mm, didapatkan konfigurasi penulangan 10D22 dan tulangan samping 2D16. Berdasarkan konfigurasi tersebut didapatkan rasio tulangan  $\rho = 1,87\% = 0,0187$ , sehingga nilai  $0,01 < 0,0187 < 0,06$  terpenuhi.

## 7.5.4 Perhitungan Tulangan Geser

### Kekuatan Geser Nominal Beton

Kekuatan geser nominal untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c} \times \left(1 + \frac{P_u}{14(A_g)}\right) \times bd$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times \left(1 + \frac{1172760}{14(450 \times 500)}\right) \times 450 \times 439$$

$$V_c = 272653,17 \text{ N}$$

### Tulangan Geser yang Diperlukan

$$V_u = \frac{1}{2} \times qU \times l = \frac{1}{2} \times 2156 \times 7 = 7546 \text{ kg} = 75460 \text{ N}$$

$$V_u < \phi V_c$$

$$75460 \text{ N} < 0,75 \times 272653,17$$

$$75460 \text{ N} < 204489,88 \text{ N (tidak perlu tulangan geser)}$$

Karena penampang tidak perlu tambahan tulangan geser, maka dipasang tulangan geser praktis. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.13.3.2 spasi tulangan geser sloof tidak boleh melebihi nilai terkecil dari nilai berikut:

$$S_{min} = \frac{h}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{ mm}$$

Maka direncanakan menggunakan tulangan geser D10 – 250 mm.

## 7.5.5 Rekapitulasi Penulangan Sloof

Tabel 7.7 Rekapitulasi Penulangan Sloof

Typ	Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan	Lapangan
S1	450/500	Atas	5D22	5D22
		Tengah	2D16	2D16
		Bawah	5D22	5D22
		Senggang	D10 – 250	D10 – 250
S2	450/500	Atas	5D22	5D22
		Tengah	2D16	2D16
		Bawah	5D22	5D22
		Senggang	D10 – 250	D10 – 250
S3	450/500	Atas	5D22	5D22
		Tengah	2D16	2D16
		Bawah	5D22	5D22
		Senggang	D10 – 250	D10 – 250

## BAB VIII KESIMPULAN

### 8.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari Tugas Akhir perencanaan gedung Hotel Dame di Kota Padang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yaitu:

1. Kontrol simpangan struktur gedung Hotel Dame telah memenuhi syarat simpangan ijin ( $\Delta a$ ) yaitu nilai simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin ( $\Delta a$  ijin = 100 mm). Maka dari itu gedung mampu digunakan sebagai perencanaan struktur gedung tahan gempa.
2. Kontrol pendetailan pada struktur gedung Hotel Dame sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.1 sampai Pasal 18.6.4.6 dan untuk kontrol *strong column weak beam*, dapat disimpulkan bahwa struktur gedung rusunawa ini mampu menahan beban gempa yang terjadi dimana  $\sum Mnc \geq 1,2 \sum Mnb = 3521,54 \text{ kNm} \geq 1399,872 \text{ kNm}$  telah terpenuhi. Kontrol kuat geser untuk hubungan balok kolom telah sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 dimana  $\phi Vn \geq Vu = 3696070,84 \text{ N} \geq 2379184,02 \text{ N}$  telah terpenuhi.
3. Berdasarkan hasil analisa gempa yang terjadi dengan menggunakan program bantu komputer, diketahui struktur sekunder dan struktur primer yang direncanakan mampu menahan gaya gravitasi dan gaya lateral akibat beban gempa, serta memenuhi persyaratan kontrol yang diijinkan. Berikut merupakan dimensi dari struktur beton yang digunakan dalam perencanaan gedung Hotel Dame, antara lain:

Dimensi balok anak atap	: 35/50 cm
Dimensi balok anak lantai	: 45/50 cm
Dimensi balok bordes	: 20/30 cm
Dimensi balok penggantung lift	: 20/40 cm
Dimensi balok induk	: 50/60 cm
Kolom	: 70/70 cm

### 8.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan pada studi lebih lanjut agar menjadi sebuah referensi yang lebih baik:



1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut dengan menggunakan sistem lain untuk mendapatkan hasil analisa yang lebih baik dengan mempertimbangkan aspek teknis, nilai ekonomis, dan nilai estetika, sehingga perencanaan yang digunakan lebih efisien.
2. Perlu dilakukan perencanaan yang lebih mendalam guna memperoleh hasil analisa struktur yang lebih memadai dari yang diharapkan sehingga dapat dilaksanakan dengan mempertimbangkan kondisi perencanaan yang sesungguhnya di lapangan dan hasil analisa yang diperoleh sesuai dengan tujuan perencanaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Fauzi dan Khatulistiani Utari. 2020. "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Apartemen Lyon di Kota Yogyakarta Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus". **Jurnal Axial**. Vol. 8. Surabaya: Universitas Wijaya Kusuma Surabaya.
- Andiani, Alwin Darmawan, *et. al.* 2011. "Peranan Geologi Tata Lingkungan dalam Penataan Ruang Kota Padang Pasca Gempa Bumi 30 September 2009". **Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi**. Vol. 2 No. 2 Agustus 2011 : 95 – 112.
- Badan Pusat Statistik. <URL:www.bps.go.id>
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. **SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung**. Badan Standardisasi, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. **SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung**. Badan Standardisasi, Jakarta.
- Brawijaya, Ganteng. 2022. **Perencanaan Gedung Rusunawa 10 Lantai di Kota Yogyakarta dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)**. Surabaya: Universitas Wijaya Kusuma Surabaya.
- Cahaya, Saputra, *et. al.* 2022. "Perencanaan Struktur Gedung Hotel di Kota Padang Sumatera Barat". **Repository Universitas Bung Hatta**. Diploma thesis, Universitas Bung Hatta.
- Maskhur, Ali. 2018. "Perancangan Struktur Gedung Perkantoran Pesantren Progresif Bumi Shalawat Sidoarjo Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)". **Undergraduate thesis**, UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945.
- Tiasmoro, Hendra dan Machmoed S.P. 2021. "Perencanaan Gedung Apartemen Soedono 10 Lantai dengan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan SRPMK". **Jurnal Axial**. Vol. 9. Surabaya: Universitas Wijaya Kusuma Surabaya.

# **LAMPIRAN**

## OUTPUT BALOK INDUK

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
59	0	ENVELOPE	Combination	Max	102,26	10590,53	24,32	13544,46	19,05	56525,5
59	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	102,26	11088,76	24,32	13544,46	9,59	52325,3
59	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	102,26	11586,98	24,32	13544,46	0,23	47939,18
59	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	102,26	12085,21	24,32	13544,46	9,32	43373,88
59	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	14,41	12070,92	4,31	12224,98	9,08	43327,04
59	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	14,41	12569,15	4,31	12224,98	9,34	38639,72
59	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	14,41	13067,37	4,31	12224,98	9,68	35417,23
59	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	14,41	13565,6	4,31	12224,98	10,31	31930,55
59	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	104,6	13936,46	26,73	11079,79	10,97	31886,22
59	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	104,6	14434,68	26,73	11079,79	0,61	27795,95
59	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	104,6	14932,91	26,73	11079,79	9,83	23407,46
59	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	104,6	15431,13	26,73	11079,79	20,22	18920,16
59	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	102,28	25832,22	27,31	2596,8	20,95	20708,9
59	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	102,28	26666,66	27,31	2596,8	10,33	18900,9
59	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	102,28	27501,1	27,31	2596,8	0,44	23446,02
59	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	102,28	28335,54	27,31	2596,8	10,92	27701,77
59	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	13,64	29733,48	4,77	2940,48	11,36	27749,9
59	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	13,64	30567,92	4,77	2940,48	10,43	31521,94
59	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	13,64	31402,36	4,77	2940,48	9,53	35066,32
59	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	13,64	32236,8	4,77	2940,48	8,81	40134,13
59	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	104,83	33492,27	25,43	3448,54	9,88	40183,56
59	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	104,83	34326,71	25,43	3448,54	0,13	45155,45
59	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	104,83	35161,15	25,43	3448,54	9,9	49943,1
59	7	ENVELOPE	Combination	Max	104,83	35995,59	25,43	3448,54	19,79	54541,7
59	0	ENVELOPE	Combination	Min	-102,26	-34972,9	-24,32	-3471,87	-19,05	-89696,06
59	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-102,26	-34138,47	-24,32	-3471,87	-9,59	-76272,96
59	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-102,26	-33304,03	-24,32	-3471,87	-0,23	-63182,19
59	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-102,26	-32469,59	-24,32	-3471,87	-9,32	-50430,5
59	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-14,41	-31224,17	-4,31	-3126,43	-9,08	-50273,13
59	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-14,41	-30389,73	-4,31	-3126,43	-9,34	-38396,46
59	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-14,41	-29555,29	-4,31	-3126,43	-9,68	-28502,86
59	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-14,41	-28720,86	-4,31	-3126,43	-10,31	-18863,35
59	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-104,6	-27433,85	-26,73	-2932,94	-10,97	-18743,66
59	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-104,6	-26599,41	-26,73	-2932,94	-0,61	-9663,53
59	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-104,6	-25764,97	-26,73	-2932,94	-9,83	-803,44
59	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-104,6	-24930,53	-26,73	-2932,94	-20,22	7637,21
59	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-102,28	-16036,07	-27,31	-9415,86	-20,95	6179,3
59	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-102,28	-15537,84	-27,31	-9415,86	-10,33	3918,56

59	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-102,28	-15039,62	-27,31	-9415,86	-0,44	-5213,56
59	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-102,28	-14541,39	-27,31	-9415,86	-10,92	-14574,58
59	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,64	-14384,17	-4,77	-10727,18	-11,36	-14701,37
59	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,64	-13885,95	-4,77	-10727,18	-10,43	-24701,71
59	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,64	-13387,72	-4,77	-10727,18	-9,53	-34992,66
59	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,64	-12889,5	-4,77	-10727,18	-8,81	-47325,29
59	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-104,83	-13092,72	-25,43	-12396,76	-9,88	-47493,89
59	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-104,83	-12594,5	-25,43	-12396,76	-0,13	-60658,07
59	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-104,83	-12096,27	-25,43	-12396,76	-9,9	-74156,26
59	7	ENVELOPE	Combination	Min	-104,83	-11598,05	-25,43	-12396,76	-19,79	-87983,67
60	0	ENVELOPE	Combination	Max	101,31	10117,37	24,67	12336,2	19,24	51301,51
60	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	101,31	10615,6	24,67	12336,2	9,65	47281,21
60	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	101,31	11113,82	24,67	12336,2	0,14	43073,15
60	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	101,31	11612,05	24,67	12336,2	9,54	38683,11
60	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	14,05	11432,45	4,34	10953,01	9,51	38643,52
60	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	14,05	11930,67	4,34	10953,01	9,48	34151,18
60	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	14,05	12428,9	4,34	10953,01	9,59	30810,03
60	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	14,05	12927,12	4,34	10953,01	10,24	27534,42
60	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	103,73	13171,58	26,14	9862,39	10,6	27493,89
60	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	103,73	13669,8	26,14	9862,39	0,49	23688,71
60	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	103,73	14168,03	26,14	9862,39	9,74	19585,86
60	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	103,73	14666,25	26,14	9862,39	19,9	17363,05
60	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	102,4	24155,3	26,37	2460,49	20,23	17468,65
60	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	102,4	24989,74	26,37	2460,49	9,98	19348,77
60	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	102,4	25824,18	26,37	2460,49	0,44	23560,54
60	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	102,4	26658,62	26,37	2460,49	10,54	27480,03
60	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	13,14	27973,5	4,67	2747,54	11,02	27523,81
60	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	13,14	28807,94	4,67	2747,54	10,09	30956,08
60	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	13,14	29642,38	4,67	2747,54	9,18	34414,83
60	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	13,14	30476,82	4,67	2747,54	8,71	39062,09
60	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	103,96	31693,36	24,52	3233,23	9,52	39105,68
60	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	103,96	32527,8	24,52	3233,23	0,14	43653,4
60	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	103,96	33362,24	24,52	3233,23	9,55	48016,88
60	7	ENVELOPE	Combination	Max	103,96	34196,68	24,52	3233,23	19,08	52191,37
60	0	ENVELOPE	Combination	Min	-101,31	-33919,27	-24,67	-3442,35	-19,24	-85084,14
60	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-101,31	-33084,83	-24,67	-3442,35	-9,65	-72066,68
60	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-101,31	-32250,39	-24,67	-3442,35	-0,14	-59379,71
60	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-101,31	-31415,95	-24,67	-3442,35	-9,54	-47029,02
60	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-14,05	-30211,6	-4,34	-3192,87	-9,51	-46873,47
60	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-14,05	-29377,16	-4,34	-3192,87	-9,48	-35337,26
60	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-14,05	-28542,72	-4,34	-3192,87	-9,59	-25470,49
60	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-14,05	-27708,29	-4,34	-3192,87	-10,24	-16187,52
60	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-103,73	-26464,51	-26,14	-3020,89	-10,6	-16071,95
60	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-103,73	-25630,07	-26,14	-3020,89	-0,49	-7356,42

60	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-103,73	-24795,63	-26,14	-3020,89	-9,74	1138,51
60	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-103,73	-23961,2	-26,14	-3020,89	-19,9	7235,15
60	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-102,4	-14970,57	-26,37	-9353,92	-20,23	7112,71
60	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-102,4	-14472,34	-26,37	-9353,92	-9,98	1401,63
60	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-102,4	-13974,12	-26,37	-9353,92	-0,44	-7159,37
60	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-102,4	-13475,89	-26,37	-9353,92	-10,54	-15946,35
60	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,14	-13302,37	-4,67	-10556,18	-11,02	-16064,6
60	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,14	-12804,15	-4,67	-10556,18	-10,09	-25461,42
60	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,14	-12305,92	-4,67	-10556,18	-9,18	-35403
60	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,14	-11807,7	-4,67	-10556,18	-8,71	-47051,34
60	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-103,96	-12002,8	-24,52	-12165,13	-9,52	-47210,24
60	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-103,96	-11504,57	-24,52	-12165,13	-0,14	-59674,53
60	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-103,96	-11006,35	-24,52	-12165,13	-9,55	-72472,84
60	7	ENVELOPE	Combination	Min	-103,96	-10508,12	-24,52	-12165,13	-19,08	-85600,43
61	0	ENVELOPE	Combination	Max	101,99	10268,32	23,76	12119,56	18,53	51781,03
61	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	101,99	10766,54	23,76	12119,56	9,29	47702
61	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	101,99	11264,77	23,76	12119,56	0,14	43435,15
61	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	101,99	11762,99	23,76	12119,56	9,19	38986,14
61	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	13,56	11583,6	4,42	10769,78	9,19	38945,12
61	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	13,56	12081,83	4,42	10769,78	9,14	34393,23
61	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	13,56	12580,05	4,42	10769,78	9,46	31023,04
61	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	13,56	13078,28	4,42	10769,78	10,32	27679,96
61	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	103,35	13307,69	25,18	9703,96	10,21	27638,15
61	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	103,35	13805,92	25,18	9703,96	0,46	23771,83
61	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	103,35	14304,14	25,18	9703,96	9,42	19607,97
61	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	103,35	14802,37	25,18	9703,96	19,19	17377,12
61	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	102,74	24188,7	25,43	2516,7	19,52	17463,1
61	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	102,74	25023,14	25,43	2516,7	9,63	19398,49
61	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	102,74	25857,58	25,43	2516,7	0,44	23592,97
61	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	102,74	26692,01	25,43	2516,7	10,15	27494,73
61	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	13,01	27988,36	4,57	2661,6	10,67	27537,86
61	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	13,01	28822,8	4,57	2661,6	9,75	30943,88
61	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	13,01	29657,24	4,57	2661,6	8,87	34397,19
61	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	13,01	30491,68	4,57	2661,6	8,79	39022,85
61	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	103,2	31705,33	23,66	3031,35	9,2	39065,68
61	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	103,2	32539,77	23,66	3031,35	0,14	43589,62
61	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	103,2	33374,21	23,66	3031,35	9,21	47929,26
61	7	ENVELOPE	Combination	Max	103,2	34208,65	23,66	3031,35	18,41	52079,91
61	0	ENVELOPE	Combination	Min	-101,99	-34011,44	-23,76	-3193,46	-18,53	-85327,32
61	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-101,99	-33177	-23,76	-3193,46	-9,29	-72273,99
61	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-101,99	-32342,57	-23,76	-3193,46	-0,14	-59551,09
61	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-101,99	-31508,13	-23,76	-3193,46	-9,19	-47164,29
61	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,56	-30304,52	-4,42	-2969,24	-9,19	-47007,72
61	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,56	-29470,08	-4,42	-2969,24	-9,14	-35434,6

61	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,56	-28635,64	-4,42	-2969,24	-9,46	-25561,44
61	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,56	-27801,2	-4,42	-2969,24	-10,32	-16233,66
61	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-103,35	-26539,84	-25,18	-2821,08	-10,21	-16117,1
61	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-103,35	-25705,4	-25,18	-2821,08	-0,46	-7364,08
61	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-103,35	-24870,96	-25,18	-2821,08	-9,42	1168,22
61	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-103,35	-24036,52	-25,18	-2821,08	-19,19	7249,26
61	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-102,74	-14935,25	-25,43	-9407,03	-19,52	7162,52
61	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-102,74	-14437,02	-25,43	-9407,03	-9,63	1369,44
61	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-102,74	-13938,8	-25,43	-9407,03	-0,44	-7200,99
61	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-102,74	-13440,57	-25,43	-9407,03	-10,15	-15996,97
61	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,01	-13246,15	-4,57	-10469,94	-10,67	-16114,94
61	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,01	-12747,93	-4,57	-10469,94	-9,75	-25513,17
61	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,01	-12249,7	-4,57	-10469,94	-8,87	-35476,95
61	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,01	-11751,48	-4,57	-10469,94	-8,79	-47131,33
61	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-103,2	-11941,51	-23,66	-11966,19	-9,2	-47289,84
61	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-103,2	-11443,29	-23,66	-11966,19	-0,14	-59758,83
61	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-103,2	-10945,06	-23,66	-11966,19	-9,21	-72561,8
61	7	ENVELOPE	Combination	Min	-103,2	-10446,84	-23,66	-11966,19	-18,41	-85694,02
62	0	ENVELOPE	Combination	Max	102,7	10363,93	23,35	11937,92	18,18	51925,08
62	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	102,7	10862,15	23,35	11937,92	9,1	47808,72
62	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	102,7	11360,38	23,35	11937,92	0,13	43504,42
62	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	102,7	11858,6	23,35	11937,92	9,08	39017,71
62	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	13,12	11673,27	4,51	10563,8	8,89	38975,79
62	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	13,12	12171,5	4,51	10563,8	8,86	34387,99
62	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	13,12	12669,72	4,51	10563,8	9,58	30976,12
62	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	13,12	13167,95	4,51	10563,8	10,47	27597,02
62	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	103	13376,51	25,01	9519,73	10,02	27554,38
62	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	103	13874,74	25,01	9519,73	0,44	23661,23
62	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	103	14372,96	25,01	9519,73	9,47	19471,12
62	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	103	14871,19	25,01	9519,73	19,19	17409,27
62	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	103,08	24103,43	24,9	2605,39	19,05	17398,49
62	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	103,08	24937,86	24,9	2605,39	9,38	19528,85
62	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	103,08	25772,3	24,9	2605,39	0,45	23698,91
62	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	103,08	26606,74	24,9	2605,39	10,04	27576,13
62	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	13,22	27881,02	4,48	2749,75	10,35	27618,5
62	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	13,22	28715,46	4,48	2749,75	9,46	30990,63
62	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	13,22	29549,9	4,48	2749,75	8,93	34402,15
62	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	13,22	30384,34	4,48	2749,75	8,94	38990,32
62	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	102,44	31592,33	23,35	2995,72	9,05	39032,2
62	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	102,44	32426,77	23,35	2995,72	0,14	43516,04
62	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	102,44	33261,2	23,35	2995,72	9,12	47815,6
62	7	ENVELOPE	Combination	Max	102,44	34095,64	23,35	2995,72	18,19	51926,19
62	0	ENVELOPE	Combination	Min	-102,7	-34119,57	-23,35	-3007,75	-18,18	-85515,4
62	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-102,7	-33285,13	-23,35	-3007,75	-9,1	-72419,86

62	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-102,7	-32450,69	-23,35	-3007,75	-0,13	-59654,64
62	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-102,7	-31616,26	-23,35	-3007,75	-9,08	-47225,27
62	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,12	-30407,27	-4,51	-2760,16	-8,89	-47067,71
62	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,12	-29572,83	-4,51	-2760,16	-8,86	-35453,6
62	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,12	-28738,39	-4,51	-2760,16	-9,58	-25533,67
62	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,12	-27903,95	-4,51	-2760,16	-10,47	-16164,77
62	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-103	-26621,84	-25,01	-2634,22	-10,02	-16047,33
62	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-103	-25787,4	-25,01	-2634,22	-0,44	-7262,35
62	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-103	-24952,96	-25,01	-2634,22	-9,47	1301,34
62	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-103	-24118,52	-25,01	-2634,22	-19,19	7218,5
62	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-103,08	-14861,46	-24,9	-9502,57	-19,05	7229,12
62	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-103,08	-14363,24	-24,9	-9502,57	-9,38	1245,54
62	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-103,08	-13865,01	-24,9	-9502,57	-0,45	-7296,01
62	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-103,08	-13366,79	-24,9	-9502,57	-10,04	-16062,98
62	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,22	-13149,71	-4,48	-10565,56	-10,35	-16180,13
62	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,22	-12651,49	-4,48	-10565,56	-9,46	-25540,23
62	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,22	-12153,26	-4,48	-10565,56	-8,93	-35457,99
62	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,22	-11655,04	-4,48	-10565,56	-8,94	-47070,64
62	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-102,44	-11838,72	-23,35	-11938,5	-9,05	-47228,12
62	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-102,44	-11340,5	-23,35	-11938,5	-0,14	-59653,05
62	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-102,44	-10842,27	-23,35	-11938,5	-9,12	-72411,96
62	7	ENVELOPE	Combination	Min	-102,44	-10344,05	-23,35	-11938,5	-18,19	-85500,15
63	0	ENVELOPE	Combination	Max	103,41	10418,16	23,78	12015,59	18,5	52027,24
63	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	103,41	10916,38	23,78	12015,59	9,25	47889,72
63	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	103,41	11414,61	23,78	12015,59	0,13	43564,18
63	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	103,41	11912,83	23,78	12015,59	9,24	39056,04
63	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	12,91	11722,85	4,6	10467,7	8,65	39013,43
63	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	12,91	12221,07	4,6	10467,7	8,92	34405,59
63	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	12,91	12719,3	4,6	10467,7	9,75	30988,29
63	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	12,91	13217,52	4,6	10467,7	10,64	27580,72
63	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	102,64	13406,99	25,49	9371,34	10,19	27537,37
63	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	102,64	13905,21	25,49	9371,34	0,42	23624,19
63	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	102,64	14403,44	25,49	9371,34	9,65	19414,99
63	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	102,64	14901,66	25,49	9371,34	19,56	17382,71
63	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	103,44	24024,83	25,22	2704,72	19,22	17352,07
63	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	103,44	24859,27	25,22	2704,72	9,42	19500,47
63	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	103,44	25693,71	25,22	2704,72	0,48	23611,41
63	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	103,44	26528,15	25,22	2704,72	10,22	27429,82
63	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	13,48	27783,5	4,39	2858,48	10,08	27470,96
63	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	13,48	28617,94	4,39	2858,48	9,35	30777,82
63	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	13,48	29452,38	4,39	2858,48	9,1	34160,28
63	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	13,48	30286,82	4,39	2858,48	9,1	38687,27
63	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	101,72	31495,26	23,71	3093,15	9,17	38727,66
63	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	101,72	32329,7	23,71	3093,15	0,14	43150,08



63	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	101,72	33164,14	23,71	3093,15	9,28	47388,16
63	7	ENVELOPE	Combination	Max	101,72	33998,57	23,71	3093,15	18,5	51437,24
63	0	ENVELOPE	Combination	Min	-103,41	-34102,9	-23,78	-3076,31	-18,5	-85416,45
63	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-103,41	-33268,46	-23,78	-3076,31	-9,25	-72327,32
63	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-103,41	-32434,02	-23,78	-3076,31	-0,13	-59568,44
63	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-103,41	-31599,59	-23,78	-3076,31	-9,24	-47145,21
63	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-12,91	-30387,99	-4,6	-2653,15	-8,65	-46987,29
63	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-12,91	-29553,55	-4,6	-2653,15	-8,92	-35379,92
63	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-12,91	-28719,11	-4,6	-2653,15	-9,75	-25481,34
63	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-12,91	-27884,67	-4,6	-2653,15	-10,64	-16110,75
63	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-102,64	-26585,33	-25,49	-2473,24	-10,19	-15992,95
63	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-102,64	-25750,9	-25,49	-2473,24	-0,42	-7213,98
63	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-102,64	-24916,46	-25,49	-2473,24	-9,65	1342,73
63	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-102,64	-24082,02	-25,49	-2473,24	-19,56	7204,28
63	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-103,44	-14720,38	-25,22	-9570,06	-19,22	7250,84
63	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-103,44	-14222,16	-25,22	-9570,06	-9,42	1224,91
63	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-103,44	-13723,93	-25,22	-9570,06	-0,48	-7281,81
63	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-103,44	-13225,71	-25,22	-9570,06	-10,22	-16014,26
63	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,48	-12991,76	-4,39	-10644,53	-10,08	-16130,52
63	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,48	-12493,53	-4,39	-10644,53	-9,35	-25448,86
63	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,48	-11995,31	-4,39	-10644,53	-9,1	-35361,04
63	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,48	-11497,08	-4,39	-10644,53	-9,1	-46936,02
63	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-101,72	-11680,55	-23,71	-12015,77	-9,17	-47092,45
63	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-101,72	-11182,33	-23,71	-12015,77	-0,14	-59479,71
63	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-101,72	-10684,1	-23,71	-12015,77	-9,28	-72200,89
63	7	ENVELOPE	Combination	Min	-101,72	-10185,88	-23,71	-12015,77	-18,5	-85251,34
64	0	ENVELOPE	Combination	Max	104,25	11498,63	24,24	12135,85	18,86	54364,93
64	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	104,25	11996,85	24,24	12135,85	9,43	49806,88
64	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	104,25	12495,08	24,24	12135,85	0,13	45060,67
64	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	104,25	12993,3	24,24	12135,85	9,43	40131,63
64	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	13,06	12795,68	4,7	10518,11	8,54	40083,24
64	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	13,06	13293,9	4,7	10518,11	9,09	35057,39
64	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	13,06	13792,13	4,7	10518,11	9,92	31555,31
64	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	13,06	14290,35	4,7	10518,11	10,8	27805,36
64	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	102,51	14465,25	25,96	9261,14	10,37	27757,58
64	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	102,51	14963,48	25,96	9261,14	0,41	23505,08
64	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	102,51	15461,7	25,96	9261,14	9,82	18960,6
64	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	102,51	15959,93	25,96	9261,14	19,92	20597,11
64	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	104,43	24991,05	25,31	2506,62	19,15	18815,69
64	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	104,43	25825,49	25,31	2506,62	9,31	23308,16
64	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	104,43	26659,93	25,31	2506,62	0,59	27705,76
64	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	104,43	27494,37	25,31	2506,62	10,39	31810,74
64	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	13,6	28792,14	4,37	2666,62	9,93	31855,73
64	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	13,6	29626,58	4,37	2666,62	9,2	35374,17

64	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	13,6	30461,02	4,37	2666,62	8,82	38633,54
64	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	13,6	31295,46	4,37	2666,62	8,56	43359,77
64	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	102,66	32544,91	22,96	2970,99	8,8	43407,42
64	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	102,66	33379,35	22,96	2970,99	0,23	48004,85
64	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	102,66	34213,78	22,96	2970,99	9,06	52420,07
64	7	ENVELOPE	Combination	Max	102,66	35048,22	22,96	2970,99	17,99	56647,66
64	0	ENVELOPE	Combination	Min	-104,25	-35894,07	-24,24	-3168,86	-18,86	-87789,73
64	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-104,25	-35059,63	-24,24	-3168,86	-9,43	-74003,69
64	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-104,25	-34225,19	-24,24	-3168,86	-0,13	-60547,75
64	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-104,25	-33390,75	-24,24	-3168,86	-9,43	-47427,24
64	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,06	-32140,6	-4,7	-2715,51	-8,54	-47259,67
64	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,06	-31306,16	-4,7	-2715,51	-9,09	-34969,92
64	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,06	-30471,72	-4,7	-2715,51	-9,92	-24722,2
64	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,06	-29637,28	-4,7	-2715,51	-10,8	-14744,87
64	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-102,51	-28256,16	-25,96	-2428,52	-10,37	-14618,43
64	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-102,51	-27421,72	-25,96	-2428,52	-0,41	-5261,92
64	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-102,51	-26587,29	-25,96	-2428,52	-9,82	3868,3
64	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-102,51	-25752,85	-25,96	-2428,52	-19,92	6299,28
64	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-104,43	-15480,42	-25,31	-10686,95	-19,15	7748,78
64	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-104,43	-14982,19	-25,31	-10686,95	-9,31	-701,39
64	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-104,43	-14483,97	-25,31	-10686,95	-0,59	-9574,96
64	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-104,43	-13985,74	-25,31	-10686,95	-10,39	-18674,17
64	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-13,6	-13624,17	-4,37	-11801,79	-9,93	-18794,61
64	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-13,6	-13125,95	-4,37	-11801,79	-9,2	-28470,83
64	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-13,6	-12627,72	-4,37	-11801,79	-8,82	-38406,25
64	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-13,6	-12129,5	-4,37	-11801,79	-8,56	-50326,77
64	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-102,66	-12147,59	-22,96	-13084,53	-8,8	-50485,05
64	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-102,66	-11649,37	-22,96	-13084,53	-0,23	-63273,9
64	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-102,66	-11151,14	-22,96	-13084,53	-9,06	-76398,8
64	7	ENVELOPE	Combination	Min	-102,66	-10652,92	-22,96	-13084,53	-17,99	-89854,32
65	0	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	1643,44	24,21	9122,9	18,73	39958,74
65	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	2387,89	24,21	9122,9	9,32	39177,71
65	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	3132,34	24,21	9122,9	0,12	38108,03
65	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	3876,79	24,21	9122,9	9,51	36750,16
65	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	4127,42	2,51	7694,34	7,71	36725,11
65	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	4871,87	2,51	7694,34	8,69	35020,61
65	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	5616,32	2,51	7694,34	9,66	36349,14
65	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	6360,77	2,51	7694,34	10,64	37164,56
65	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	6957,17	27	6689,79	11,19	37166,19
65	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	7701,62	27	6689,79	0,68	37030,31
65	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	8446,07	27	6689,79	9,82	36391,87
65	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	9190,52	27	6689,79	20,32	38630,11
65	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	142	31752,66	27,15	6205,6	20,51	38765,45
65	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	142	33085,54	27,15	6205,6	9,95	32371,52

65	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	142	34418,42	27,15	6205,6	0,61	32708,99
65	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	142	35751,3	27,15	6205,6	11,17	32880,6
65	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	37953,41	1,64	7178,76	10,38	32877,01
65	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	39286,28	1,64	7178,76	9,74	32178,45
65	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	40619,16	1,64	7178,76	9,11	31223,73
65	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	41952,04	1,64	7178,76	8,47	33145,84
65	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	44587,83	24,92	8534,22	9,78	33166,21
65	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	45920,71	24,92	8534,22	0,12	34821,2
65	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	47253,59	24,92	8534,22	9,6	36187,66
65	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	48586,47	24,92	8534,22	19,29	37265,2
65	0	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-47622,7	-24,21	-9222,07	-18,73	-104159,3
65	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-46289,83	-24,21	-9222,07	-9,32	-85901,37
65	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-44956,95	-24,21	-9222,07	-0,12	-68162,64
65	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-43624,07	-24,21	-9222,07	-9,51	-50943,57
65	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-40957,74	-2,51	-7806,86	-7,71	-50535,07
65	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-39624,86	-2,51	-7806,86	-8,69	-34911,59
65	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-38291,99	-2,51	-7806,86	-9,66	-23129
65	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-36959,11	-2,51	-7806,86	-10,64	-11641,13
65	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-34749,2	-27	-6795,74	-11,19	-11360,3
65	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-33416,32	-27	-6795,74	-0,68	-820,33
65	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-32083,44	-27	-6795,74	-9,82	9414,35
65	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-30750,56	-27	-6795,74	-20,32	19333,76
65	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-9501,98	-27,15	-6117,1	-20,51	16585,3
65	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-8757,53	-27,15	-6117,1	-9,95	13664,83
65	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-8013,08	-27,15	-6117,1	-0,61	3150,44
65	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-7268,63	-27,15	-6117,1	-11,17	-7693,84
65	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-6815,06	-1,64	-7087,74	-10,38	-7983,89
65	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-6070,61	-1,64	-7087,74	-9,74	-19798,61
65	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-5326,16	-1,64	-7087,74	-9,11	-32165,02
65	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-4581,71	-1,64	-7087,74	-8,47	-48216,1
65	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-4635,97	-24,92	-8458,38	-9,78	-48640,43
65	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-3891,52	-24,92	-8458,38	-0,12	-66236,18
65	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-3147,07	-24,92	-8458,38	-9,6	-84351,26
65	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-2402,62	-24,92	-8458,38	-19,29	-102985,26
66	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	1583,78	24,69	8578,3	19,05	34880,39
66	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	2328,23	24,69	8578,3	9,45	34121,94
66	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	3072,68	24,69	8578,3	0,15	33074,7
66	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	3817,13	24,69	8578,3	9,75	31739,09
66	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	3764,6	1,53	7224,08	8,38	31727,01
66	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	4509,05	1,53	7224,08	8,97	30123,58
66	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	5253,5	1,53	7224,08	9,56	30762,47
66	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	5997,95	1,53	7224,08	10,16	31652,9
66	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	6437,62	26,47	6273,75	10,83	31661,08

66	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	7182,07	26,47	6273,75	0,54	31687,44
66	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	7926,52	26,47	6273,75	9,76	31214,32
66	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	8670,97	26,47	6273,75	20,06	35746,91
66	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	29626,22	26,21	6016,81	19,8	35712,83
66	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	30959,1	26,21	6016,81	9,6	31546,47
66	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	32291,98	26,21	6016,81	0,59	32013,21
66	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	33624,86	26,21	6016,81	10,78	31993,04
66	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	35732,68	1,63	6951,09	10,04	31985,21
66	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	37065,56	1,63	6951,09	9,41	31102,18
66	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	38398,43	1,63	6951,09	8,78	30389,86
66	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	39731,31	1,63	6951,09	8,15	31982,14
66	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	42303,51	24,02	8253,95	9,42	31994,32
66	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	43636,39	24,02	8253,95	0,12	33314,05
66	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	44969,27	24,02	8253,95	9,26	34345,19
66	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	46302,14	24,02	8253,95	18,6	35087,39
66	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-46548,78	-24,69	-8638,33	-19,05	-100731,8
66	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-45215,9	-24,69	-8638,33	-9,45	-82890,88
66	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-43883,02	-24,69	-8638,33	-0,15	-65569,03
66	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-42550,15	-24,69	-8638,33	-9,75	-48766,65
66	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-39954,68	-1,53	-7298,77	-8,38	-48362,96
66	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-38621,8	-1,53	-7298,77	-8,97	-33089,54
66	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-37288,92	-1,53	-7298,77	-9,56	-20866,28
66	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-35956,04	-1,53	-7298,77	-10,16	-9702,41
66	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-33831,28	-26,47	-6345,42	-10,83	-9429,44
66	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-32498,4	-26,47	-6345,42	-0,54	793,37
66	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-31165,53	-26,47	-6345,42	-9,76	10707,8
66	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-29832,65	-26,47	-6345,42	-20,06	17053,79
66	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-8649,03	-26,21	-5948,09	-19,8	17407,38
66	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-7904,58	-26,21	-5948,09	-9,6	10399,06
66	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-7160,13	-26,21	-5948,09	-0,59	562,75
66	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-6415,68	-26,21	-5948,09	-10,78	-9594,49
66	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-5966,4	-1,63	-6881,09	-10,04	-9865,76
66	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-5221,95	-1,63	-6881,09	-9,41	-20962,42
66	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-4477,5	-1,63	-6881,09	-8,78	-33037,65
66	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-3733,05	-1,63	-6881,09	-8,15	-48225,33
66	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-3773,7	-24,02	-8201,49	-9,42	-48626,95
66	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-3029,25	-24,02	-8201,49	-0,12	-65334,41
66	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-2284,8	-24,02	-8201,49	-9,26	-82561,14
66	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-1540,35	-24,02	-8201,49	-18,6	-
67	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	1630,38	23,77	8274,75	18,35	35250,18
67	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	2374,83	23,77	8274,75	9,1	34473,6
67	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	3119,28	23,77	8274,75	0,14	33408,22
67	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	3863,73	23,77	8274,75	9,39	32054,46

67	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	3820,29	1,49	6967,7	8,07	32041,4
67	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	4564,74	1,49	6967,7	8,64	30416,24
67	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5309,19	1,49	6967,7	9,21	31091,57
67	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	6053,64	1,49	6967,7	9,78	31947,25
67	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	6499,66	25,5	6050,8	10,43	31954,35
67	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	7244,11	25,5	6050,8	0,54	31943,35
67	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	7988,56	25,5	6050,8	9,4	31432,26
67	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	8733,01	25,5	6050,8	19,32	35763,25
67	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	29800,23	25,26	5846,66	19,08	35765,93
67	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	31133,11	25,26	5846,66	9,26	31429,95
67	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	32465,99	25,26	5846,66	0,57	31909,26
67	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	33798,87	25,26	5846,66	10,39	31902,08
67	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	35915,4	1,57	6742,73	9,68	31894,58
67	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	37248,28	1,57	6742,73	9,07	31025,08
67	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	38581,16	1,57	6742,73	8,47	30364,24
67	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	39914,03	1,57	6742,73	7,86	31981,94
67	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	42494,19	23,19	7997,15	9,11	31994,77
67	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	43827,06	23,19	7997,15	0,12	33340,95
67	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	45159,94	23,19	7997,15	8,93	34398,51
67	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	46492,82	23,19	7997,15	17,95	35167,12
67	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-46457,15	-23,77	-8320,78	-18,35	100616,26
67	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-45124,27	-23,77	-8320,78	-9,1	-82810,97
67	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-43791,4	-23,77	-8320,78	-0,14	-65524,73
67	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-42458,52	-23,77	-8320,78	-9,39	-48757,96
67	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-39879,59	-1,49	-7031,71	-8,07	-48354,85
67	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-38546,71	-1,49	-7031,71	-8,64	-33110,56
67	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-37213,83	-1,49	-7031,71	-9,21	-20974,61
67	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-35880,96	-1,49	-7031,71	-9,78	-9826,85
67	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-33765,1	-25,5	-6114,15	-10,43	-9554,19
67	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-32432,22	-25,5	-6114,15	-0,54	656,11
67	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-31099,34	-25,5	-6114,15	-9,4	10558,64
67	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-29766,47	-25,5	-6114,15	-19,32	17229,03
67	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-8711,21	-25,26	-5791,07	-19,08	17260,35
67	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-7966,76	-25,26	-5791,07	-9,26	10543,07
67	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-7222,31	-25,26	-5791,07	-0,57	650,7
67	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-6477,86	-25,26	-5791,07	-10,39	-9563,03
67	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-6031,48	-1,57	-6686,71	-9,68	-9835,87
67	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-5287,03	-1,57	-6686,71	-9,07	-20991,81
67	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-4542,58	-1,57	-6686,71	-8,47	-33164,27
67	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-3798,13	-1,57	-6686,71	-7,86	-48423,12
67	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-3841,49	-23,19	-7959,74	-9,11	-48826,59
67	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-3097,04	-23,19	-7959,74	-0,12	-65608,29
67	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-2352,59	-23,19	-7959,74	-8,93	-82909,24

67	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-1608,14	-23,19	-7959,74	-17,95	-100729,1
68	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	1605,06	23,07	7997,89	17,83	35178,61
68	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	2349,51	23,07	7997,89	8,86	34411,84
68	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	3093,96	23,07	7997,89	0,14	33356,26
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	3838,41	23,07	7997,89	9,09	32012,28
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	3795,41	1,52	6731,45	7,83	31999,51
68	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	4539,86	1,52	6731,45	8,41	30383,93
68	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5284,31	1,52	6731,45	8,99	31059,72
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	6028,76	1,52	6731,45	9,57	31927,07
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	6475,66	24,96	5843,07	10,25	31934,48
68	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	7220,11	24,96	5843,07	0,55	31934,63
68	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	7964,56	24,96	5843,07	9,17	31434,43
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	8709,01	24,96	5843,07	18,88	35763,59
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	29800,35	25,04	5911,74	18,95	35764,91
68	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	31133,23	25,04	5911,74	9,21	31425,32
68	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	32466,11	25,04	5911,74	0,55	31916,63
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	33798,98	25,04	5911,74	10,26	31921,4
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	35916,45	1,51	6807,3	9,6	31914,24
68	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	37249,33	1,51	6807,3	9,03	31056,8
68	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	38582,21	1,51	6807,3	8,46	30396,55
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	39915,09	1,51	6807,3	7,88	32023,8
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	42496,42	23,23	8062,6	9,16	32036,93
68	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	43829,3	23,23	8062,6	0,12	33392,78
68	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	45162,18	23,23	8062,6	8,91	34459,99
68	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	46495,05	23,23	8062,6	17,95	35238,24
68	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-46453,7	-23,07	-8037,04	-17,83	-100623,5
68	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-45120,82	-23,07	-8037,04	-8,86	-82819,47
68	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-43787,94	-23,07	-8037,04	-0,14	-65534,54
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-42455,06	-23,07	-8037,04	-9,09	-48769,04
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-39877,42	-1,52	-6789,54	-7,83	-48365,95
68	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-38544,55	-1,52	-6789,54	-8,41	-33122,41
68	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-37211,67	-1,52	-6789,54	-8,99	-20978,07
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-35878,79	-1,52	-6789,54	-9,57	-9833,15
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-33763,98	-24,96	-5901,12	-10,25	-9560,56
68	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-32431,1	-24,96	-5901,12	-0,55	647,48
68	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-31098,23	-24,96	-5901,12	-9,17	10548,04
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-29765,35	-24,96	-5901,12	-18,88	17244,62
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-8734,71	-25,04	-5861,86	-18,95	17246,98
68	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-7990,26	-25,04	-5861,86	-9,21	10555,39
68	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-7245,81	-25,04	-5861,86	-0,55	660,11
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-6501,36	-25,04	-5861,86	-10,26	-9556,48
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-6055,8	-1,51	-6758,07	-9,6	-9829,4
68	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-5311,35	-1,51	-6758,07	-9,03	-20988,37
68	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-4566,9	-1,51	-6758,07	-8,46	-33152,36

68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-3822,45	-1,51	-6758,07	-7,88	-48411,72
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-3866,18	-23,23	-8033,42	-9,16	-48815,21
68	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-3121,73	-23,23	-8033,42	-0,12	-65597,85
68	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-2377,28	-23,23	-8033,42	-8,91	-82899,71
68	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-1632,83	-23,23	-8033,42	-17,95	-100720,5
69	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	1536,61	23,35	7998,89	18,07	35098,33
69	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	2281,06	23,35	7998,89	8,99	34358,16
69	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	3025,51	23,35	7998,89	0,13	33329,18
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	3769,96	23,35	7998,89	9,17	32011,76
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	3729,73	1,55	6717,4	7,92	31999,65
69	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	4474,18	1,55	6717,4	8,52	30409,54
69	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5218,63	1,55	6717,4	9,12	31136,7
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5963,08	1,55	6717,4	9,72	32017,23
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	6412,95	25,37	5813,97	10,42	32024,95
69	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	7157,4	25,37	5813,97	0,56	32037,43
69	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	7901,85	25,37	5813,97	9,31	31549,06
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	8646,3	25,37	5813,97	19,17	35710,06
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	29865,51	25,5	6017,11	19,3	35748,16
69	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	31198,38	25,5	6017,11	9,39	31205,54
69	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	32531,26	25,5	6017,11	0,53	31659,77
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	33864,14	25,5	6017,11	10,44	31627,96
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	35990,41	1,5	6928,85	9,78	31619,72
69	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	37323,29	1,5	6928,85	9,2	30727,96
69	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	38656,17	1,5	6928,85	8,61	30104,18
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	39989,05	1,5	6928,85	8,03	31709,68
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	42586,84	23,68	8207,07	9,33	31721,82
69	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	43919,71	23,68	8207,07	0,13	33059,4
69	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	45252,59	23,68	8207,07	9,08	34108,32
69	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	46585,47	23,68	8207,07	18,29	34868,26
69	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-46261,99	-23,35	-8037,97	-18,07	-100200
69	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-44929,11	-23,35	-8037,97	-8,99	-82470,56
69	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-43596,23	-23,35	-8037,97	-0,13	-65260,15
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-42263,35	-23,35	-8037,97	-9,17	-48569,16
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-39693,76	-1,55	-6776,74	-7,92	-48167,93
69	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-38360,89	-1,55	-6776,74	-8,52	-32995,73
69	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-37028,01	-1,55	-6776,74	-9,12	-20948,65
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-35695,13	-1,55	-6776,74	-9,72	-9862,79
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-33589,14	-25,37	-5874,1	-10,42	-9591,76
69	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-32256,26	-25,37	-5874,1	-0,56	560,35
69	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-30923,38	-25,37	-5874,1	-9,31	10405,46
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-29590,51	-25,37	-5874,1	-19,17	17393,59
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-8672,19	-25,5	-5969,99	-19,3	17073,59
69	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-7927,74	-25,5	-5969,99	-9,39	10706,04
69	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-7183,29	-25,5	-5969,99	-0,53	798,19

69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-6438,84	-25,5	-5969,99	-10,44	-9431,48
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-5999,55	-1,5	-6881,72	-9,78	-9704,71
69	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-5255,1	-1,5	-6881,72	-9,2	-20880
69	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-4510,65	-1,5	-6881,72	-8,61	-33131,1
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-3766,2	-1,5	-6881,72	-8,03	-48419,34
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-3818,95	-23,68	-8179,07	-9,33	-48823,4
69	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-3074,5	-23,68	-8179,07	-0,13	-65641,3
69	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-2330,05	-23,68	-8179,07	-9,08	-82978,4
69	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-1585,6	-23,68	-8179,07	-18,29	-100834,4
70	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	2398,38	23,79	8102,07	18,4	37276,3
70	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	3142,83	23,79	8102,07	9,15	36200,9
70	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	3887,28	23,79	8102,07	0,13	34836,68
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	4631,73	23,79	8102,07	9,35	33184,06
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	4577,95	1,54	6794,95	8,08	33163,76
70	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	5322,4	1,54	6794,95	8,68	31243,8
70	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	6066,85	1,54	6794,95	9,28	32213,16
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	6811,3	1,54	6794,95	9,87	32908,08
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	142	7265,54	25,81	5870,96	10,61	32911,52
70	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	142	8009,99	25,81	5870,96	0,57	32728,68
70	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	142	8754,44	25,81	5870,96	9,47	32374,78
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	142	9498,89	25,81	5870,96	19,51	38758,51
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	30783,64	25,56	6335,23	19,22	38627,13
70	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	32116,51	25,56	6335,23	9,28	36371,35
70	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	33449,39	25,56	6335,23	0,66	36994,69
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	34782,27	25,56	6335,23	10,6	37125,89
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	36993,54	2,39	7285,14	10,07	37124,2
70	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	38326,41	2,39	7285,14	9,13	36307,33
70	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	39659,29	2,39	7285,14	8,2	34977,57
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	40992,17	2,39	7285,14	7,27	36702,26
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	43660,49	22,83	8610,82	8,96	36727,37
70	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	44993,37	22,83	8610,82	0,11	38087,16
70	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	46326,25	22,83	8610,82	8,8	39158,43
70	7	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	47659,12	22,83	8610,82	17,68	39940,81
70	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-48541,98	-23,79	-8150	-18,4	-102871,4
70	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-47209,1	-23,79	-8150	-9,15	-84255,18
70	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-45876,22	-23,79	-8150	-0,13	-66158,01
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-44543,34	-23,79	-8150	-9,35	-48580,27
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-41910,35	-1,54	-6863,15	-8,08	-48156,37
70	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-40577,47	-1,54	-6863,15	-8,68	-32122,19
70	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-39244,59	-1,54	-6863,15	-9,28	-19785,17
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-37911,71	-1,54	-6863,15	-9,87	-7981,56
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-35711,63	-25,81	-5940,41	-10,61	-7691,73
70	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-34378,75	-25,81	-5940,41	-0,57	3149,55
70	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-33045,88	-25,81	-5940,41	-9,47	13678,63



70	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-31713	-25,81	-5940,41	-19,51	16578,92
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-9190,73	-25,56	-6265,43	-19,22	19319,97
70	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-8446,28	-25,56	-6265,43	-9,28	9417,93
70	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-7701,83	-25,56	-6265,43	-0,66	-814,42
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-6957,38	-25,56	-6265,43	-10,6	-11362,49
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-6361,37	-2,39	-7213,47	-10,07	-11643,6
70	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-5616,92	-2,39	-7213,47	-9,13	-23143,17
70	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-4872,47	-2,39	-7213,47	-8,2	-34937,7
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-4128,02	-2,39	-7213,47	-7,27	-50594,52
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-3877,67	-22,83	-8559,44	-8,96	-51003,41
70	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-3133,22	-22,83	-8559,44	-0,11	-68238,22
70	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-2388,77	-22,83	-8559,44	-8,8	-85992,37
70	7	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-1644,32	-22,83	-8559,44	-17,68	-104265,5

## OUTPUT KOLOM

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
68	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	1605,06	23,07	7997,89	17,83	35178,61
68	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	2349,51	23,07	7997,89	8,86	34411,84
68	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	3093,96	23,07	7997,89	0,14	33356,26
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	3838,41	23,07	7997,89	9,09	32012,28
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	3795,41	1,52	6731,45	7,83	31999,51
68	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	4539,86	1,52	6731,45	8,41	30383,93
68	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5284,31	1,52	6731,45	8,99	31059,72
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	6028,76	1,52	6731,45	9,57	31927,07
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	6475,66	24,96	5843,07	10,25	31934,48
68	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	7220,11	24,96	5843,07	0,55	31934,63
68	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	7964,56	24,96	5843,07	9,17	31434,43
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	8709,01	24,96	5843,07	18,88	35763,59
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	29800,35	25,04	5911,74	18,95	35764,91
68	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	31133,23	25,04	5911,74	9,21	31425,32
68	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	32466,11	25,04	5911,74	0,55	31916,63
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	141,6	33798,98	25,04	5911,74	10,26	31921,4
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	35916,45	1,51	6807,3	9,6	31914,24
68	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	37249,33	1,51	6807,3	9,03	31056,8
68	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	38582,21	1,51	6807,3	8,46	30396,55
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	39915,09	1,51	6807,3	7,88	32023,8
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	42496,42	23,23	8062,6	9,16	32036,93
68	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	43829,3	23,23	8062,6	0,12	33392,78
68	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	45162,18	23,23	8062,6	8,91	34459,99
68	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,28	46495,05	23,23	8062,6	17,95	35238,24
68	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-46453,7	-23,07	-8037,04	-17,83	-100623,46
68	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-45120,82	-23,07	-8037,04	-8,86	-82819,47
68	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-43787,94	-23,07	-8037,04	-0,14	-65534,54
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-42455,06	-23,07	-8037,04	-9,09	-48769,04
68	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-39877,42	-1,52	-6789,54	-7,83	-48365,95
68	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-38544,55	-1,52	-6789,54	-8,41	-33122,41
68	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-37211,67	-1,52	-6789,54	-8,99	-20978,07
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-35878,79	-1,52	-6789,54	-9,57	-9833,15
68	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-33763,98	-24,96	-5901,12	-10,25	-9560,56
68	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-32431,1	-24,96	-5901,12	-0,55	647,48
68	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-31098,23	-24,96	-5901,12	-9,17	10548,04
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-29765,35	-24,96	-5901,12	-18,88	17244,62
68	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-8734,71	-25,04	-5861,86	-18,95	17246,98
68	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-7990,26	-25,04	-5861,86	-9,21	10555,39

68	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-7245,81	-25,04	-5861,86	-0,55	660,11
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-141,6	-6501,36	-25,04	-5861,86	-10,26	-9556,48
68	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-6055,8	-1,51	-6758,07	-9,6	-9829,4
68	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-5311,35	-1,51	-6758,07	-9,03	-20988,37
68	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-4566,9	-1,51	-6758,07	-8,46	-33152,36
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-3822,45	-1,51	-6758,07	-7,88	-48411,72
68	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-3866,18	-23,23	-8033,42	-9,16	-48815,21
68	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-3121,73	-23,23	-8033,42	-0,12	-65597,85
68	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-2377,28	-23,23	-8033,42	-8,91	-82899,71
68	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,28	-1632,83	-23,23	-8033,42	-17,95	-100720,45
69	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	1536,61	23,35	7998,89	18,07	35098,33
69	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	2281,06	23,35	7998,89	8,99	34358,16
69	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	3025,51	23,35	7998,89	0,13	33329,18
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,29	3769,96	23,35	7998,89	9,17	32011,76
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	3729,73	1,55	6717,4	7,92	31999,65
69	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	4474,18	1,55	6717,4	8,52	30409,54
69	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5218,63	1,55	6717,4	9,12	31136,7
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,32	5963,08	1,55	6717,4	9,72	32017,23
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	6412,95	25,37	5813,97	10,42	32024,95
69	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	7157,4	25,37	5813,97	0,56	32037,43
69	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	7901,85	25,37	5813,97	9,31	31549,06
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,61	8646,3	25,37	5813,97	19,17	35710,06
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	29865,51	25,5	6017,11	19,3	35748,16
69	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	31198,38	25,5	6017,11	9,39	31205,54
69	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	32531,26	25,5	6017,11	0,53	31659,77
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	141,64	33864,14	25,5	6017,11	10,44	31627,96
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	35990,41	1,5	6928,85	9,78	31619,72
69	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	37323,29	1,5	6928,85	9,2	30727,96
69	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	38656,17	1,5	6928,85	8,61	30104,18
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	3,31	39989,05	1,5	6928,85	8,03	31709,68
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	42586,84	23,68	8207,07	9,33	31721,82
69	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	43919,71	23,68	8207,07	0,13	33059,4
69	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	45252,59	23,68	8207,07	9,08	34108,32
69	7	ENVELOPE	Combination	Max	138,33	46585,47	23,68	8207,07	18,29	34868,26
69	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-46261,99	-23,35	-8037,97	-18,07	-100200,01
69	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-44929,11	-23,35	-8037,97	-8,99	-82470,56
69	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-43596,23	-23,35	-8037,97	-0,13	-65260,15
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,29	-42263,35	-23,35	-8037,97	-9,17	-48569,16
69	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-39693,76	-1,55	-6776,74	-7,92	-48167,93
69	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-38360,89	-1,55	-6776,74	-8,52	-32995,73
69	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-37028,01	-1,55	-6776,74	-9,12	-20948,65
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,32	-35695,13	-1,55	-6776,74	-9,72	-9862,79
69	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-33589,14	-25,37	-5874,1	-10,42	-9591,76
69	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-32256,26	-25,37	-5874,1	-0,56	560,35

69	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-30923,38	-25,37	-5874,1	-9,31	10405,46
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,61	-29590,51	-25,37	-5874,1	-19,17	17393,59
69	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-8672,19	-25,5	-5969,99	-19,3	17073,59
69	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-7927,74	-25,5	-5969,99	-9,39	10706,04
69	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-7183,29	-25,5	-5969,99	-0,53	798,19
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-141,64	-6438,84	-25,5	-5969,99	-10,44	-9431,48
69	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-5999,55	-1,5	-6881,72	-9,78	-9704,71
69	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-5255,1	-1,5	-6881,72	-9,2	-20880
69	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-4510,65	-1,5	-6881,72	-8,61	-33131,1
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,31	-3766,2	-1,5	-6881,72	-8,03	-48419,34
69	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-3818,95	-23,68	-8179,07	-9,33	-48823,4
69	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-3074,5	-23,68	-8179,07	-0,13	-65641,3
69	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-2330,05	-23,68	-8179,07	-9,08	-82978,4
69	7	ENVELOPE	Combination	Min	-138,33	-1585,6	-23,68	-8179,07	-18,29	-100834,36
70	0	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	2398,38	23,79	8102,07	18,4	37276,3
70	0,38889	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	3142,83	23,79	8102,07	9,15	36200,9
70	0,77778	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	3887,28	23,79	8102,07	0,13	34836,68
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	138,59	4631,73	23,79	8102,07	9,35	33184,06
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	4577,95	1,54	6794,95	8,08	33163,76
70	1,55556	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	5322,4	1,54	6794,95	8,68	31243,8
70	1,94444	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	6066,85	1,54	6794,95	9,28	32213,16
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	3,41	6811,3	1,54	6794,95	9,87	32908,08
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Max	142	7265,54	25,81	5870,96	10,61	32911,52
70	2,72222	ENVELOPE	Combination	Max	142	8009,99	25,81	5870,96	0,57	32728,68
70	3,11111	ENVELOPE	Combination	Max	142	8754,44	25,81	5870,96	9,47	32374,78
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	142	9498,89	25,81	5870,96	19,51	38758,51
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	30783,64	25,56	6335,23	19,22	38627,13
70	3,88889	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	32116,51	25,56	6335,23	9,28	36371,35
70	4,27778	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	33449,39	25,56	6335,23	0,66	36994,69
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	143,72	34782,27	25,56	6335,23	10,6	37125,89
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	36993,54	2,39	7285,14	10,07	37124,2
70	5,05556	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	38326,41	2,39	7285,14	9,13	36307,33
70	5,44444	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	39659,29	2,39	7285,14	8,2	34977,57
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	2,91	40992,17	2,39	7285,14	7,27	36702,26
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	43660,49	22,83	8610,82	8,96	36727,37
70	6,22222	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	44993,37	22,83	8610,82	0,11	38087,16
70	6,61111	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	46326,25	22,83	8610,82	8,8	39158,43
70	7	ENVELOPE	Combination	Max	140,81	47659,12	22,83	8610,82	17,68	39940,81
70	0	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-48541,98	-23,79	-8150	-18,4	-102871,39
70	0,38889	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-47209,1	-23,79	-8150	-9,15	-84255,18
70	0,77778	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-45876,22	-23,79	-8150	-0,13	-66158,01
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-138,59	-44543,34	-23,79	-8150	-9,35	-48580,27
70	1,16667	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-41910,35	-1,54	-6863,15	-8,08	-48156,37
70	1,55556	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-40577,47	-1,54	-6863,15	-8,68	-32122,19

70	1,94444	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-39244,59	-1,54	-6863,15	-9,28	-19785,17
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-3,41	-37911,71	-1,54	-6863,15	-9,87	-7981,56
70	2,33333	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-35711,63	-25,81	-5940,41	-10,61	-7691,73
70	2,72222	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-34378,75	-25,81	-5940,41	-0,57	3149,55
70	3,11111	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-33045,88	-25,81	-5940,41	-9,47	13678,63
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-142	-31713	-25,81	-5940,41	-19,51	16578,92
70	3,5	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-9190,73	-25,56	-6265,43	-19,22	19319,97
70	3,88889	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-8446,28	-25,56	-6265,43	-9,28	9417,93
70	4,27778	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-7701,83	-25,56	-6265,43	-0,66	-814,42
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-143,72	-6957,38	-25,56	-6265,43	-10,6	-11362,49
70	4,66667	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-6361,37	-2,39	-7213,47	-10,07	-11643,6
70	5,05556	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-5616,92	-2,39	-7213,47	-9,13	-23143,17
70	5,44444	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-4872,47	-2,39	-7213,47	-8,2	-34937,7
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-2,91	-4128,02	-2,39	-7213,47	-7,27	-50594,52
70	5,83333	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-3877,67	-22,83	-8559,44	-8,96	-51003,41
70	6,22222	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-3133,22	-22,83	-8559,44	-0,11	-68238,22
70	6,61111	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-2388,77	-22,83	-8559,44	-8,8	-85992,37
70	7	ENVELOPE	Combination	Min	-140,81	-1644,32	-22,83	-8559,44	-17,68	-104265,47
1029	0	ENVELOPE	Combination	Max	-77071,22	27178,93	31829,03	1146,08	114078	97174,82
1029	2	ENVELOPE	Combination	Max	-74954,42	27178,93	31829,03	1146,08	51720,04	43922,72
1029	4	ENVELOPE	Combination	Max	-72837,62	27178,93	31829,03	1146,08	32026,34	28486,41
1029	0	ENVELOPE	Combination	Min	-533547	-33372,98	-38614,69	-1136,41	-122714,66	-105168,46
1029	2	ENVELOPE	Combination	Min	-530724,6	-33372,98	-38614,69	-1136,41	-46785,39	-39528,27
1029	4	ENVELOPE	Combination	Min	-527902,2	-33372,98	-38614,69	-1136,41	-13520,39	-11703,88
1039	0	ENVELOPE	Combination	Max	250550,36	24997,64	44037,19	1146,08	129657,36	92191,61
1039	2	ENVELOPE	Combination	Max	248433,56	24997,64	44037,19	1146,08	41629,61	44408,34
1039	4	ENVELOPE	Combination	Max	246316,76	24997,64	44037,19	1146,08	46321,59	40808,86
1039	0	ENVELOPE	Combination	Min	762674,81	-37117,04	-43950,17	-1136,41	-129534,57	-107785,35
1039	2	ENVELOPE	Combination	Min	759852,41	-37117,04	-43950,17	-1136,41	-41680,86	-35763,28
1039	4	ENVELOPE	Combination	Min	757030,01	-37117,04	-43950,17	-1136,41	-46546,88	-7925
1049	0	ENVELOPE	Combination	Max	262189,72	23985,01	43597,8	1146,08	129095,01	88730,82
1049	2	ENVELOPE	Combination	Max	260072,92	23985,01	43597,8	1146,08	41936,12	42929,4
1049	4	ENVELOPE	Combination	Max	257956,12	23985,01	43597,8	1146,08	45435,27	39758,13
1049	0	ENVELOPE	Combination	Min	770000,15	-35955,04	-43625,08	-1136,41	-129117,88	-104182,21
1049	2	ENVELOPE	Combination	Min	767177,75	-35955,04	-43625,08	-1136,41	-41904,45	-34440,73
1049	4	ENVELOPE	Combination	Min	764355,35	-35955,04	-43625,08	-1136,41	-45349,06	-7329,39
1059	0	ENVELOPE	Combination	Max	266257,77	23062,33	43637,32	1146,08	129148,45	85661,64
1059	2	ENVELOPE	Combination	Max	264140,97	23062,33	43637,32	1146,08	41902,53	41697,4
1059	4	ENVELOPE	Combination	Max	262024,17	23062,33	43637,32	1146,08	45454,16	39163,13
1059	0	ENVELOPE	Combination	Min	765507,62	-35061,21	-43633,06	-1136,41	-129131,13	-101197,84

1059	2	ENVELOPE	Combination	Min	-	-35061,21	-43633,06	-1136,41	-41893,74	-33235,82
1059	4	ENVELOPE	Combination	Min	762685,22	-35061,21	-43633,06	-1136,41	-45453,91	-6703,79
1069	0	ENVELOPE	Combination	Max	-	23187,31	43630,49	1146,08	129139,78	86074,5
1069	2	ENVELOPE	Combination	Max	263652,74	23187,31	43630,49	1146,08	41910,89	41849,43
1069	4	ENVELOPE	Combination	Max	261535,94	23187,31	43630,49	1146,08	45349,4	39228,14
1069	0	ENVELOPE	Combination	Min	-	-35195,66	-43594,7	-1136,41	-129082,29	-101670,79
1069	2	ENVELOPE	Combination	Min	766508,69	-35195,66	-43594,7	-1136,41	-41924,98	-33429,02
1069	4	ENVELOPE	Combination	Min	763686,29	-35195,66	-43594,7	-1136,41	-45435,06	-6791,02
1079	0	ENVELOPE	Combination	Max	-	23624,51	43952,93	1146,08	129546,89	87617,33
1079	2	ENVELOPE	Combination	Max	256676,96	23624,51	43952,93	1146,08	41692,17	42542,73
1079	4	ENVELOPE	Combination	Max	254560,16	23624,51	43952,93	1146,08	46545,46	39901,11
1079	0	ENVELOPE	Combination	Min	-	-35820,35	-44031,22	-1136,41	-129634,79	-103500,61
1079	2	ENVELOPE	Combination	Min	756720,33	-35820,35	-44031,22	-1136,41	-41623,49	-34034,33
1079	4	ENVELOPE	Combination	Min	753897,93	-35820,35	-44031,22	-1136,41	-46320,22	-7001,04
1089	0	ENVELOPE	Combination	Max	-	25307,89	38649,21	1146,08	122773,45	90802,51
1089	2	ENVELOPE	Combination	Max	-73226,8	25307,89	38649,21	1146,08	46771,28	41235,83
1089	4	ENVELOPE	Combination	Max	-68993,2	25307,89	38649,21	1146,08	13594,84	27381,58
1089	0	ENVELOPE	Combination	Min	-	-31856,71	-31856,71	-1136,41	-114104,31	-99225,9
1089	2	ENVELOPE	Combination	Min	-537630,8	-31613,01	-31856,71	-1136,41	-51687,13	-37048,98
1089	4	ENVELOPE	Combination	Min	-534808,4	-31613,01	-31856,71	-1136,41	-51687,13	-37048,98
1089	0	ENVELOPE	Combination	Min	-	-31856,71	-31856,71	-1136,41	-32095,69	-10584,51
1089	2	ENVELOPE	Combination	Min	-531986	-31613,01	-31856,71	-1136,41	-32095,69	-10584,51
1089	4	ENVELOPE	Combination	Min	-531986	-31613,01	-31856,71	-1136,41	-32095,69	-10584,51

## BIODATA PENULIS



Alfiyah Diah Salsabila,  
Penulis dilahirkan di Bojonegoro, 12 Agustus 2001, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Telah menempuh pendidikan formal dengan catatan pendidikan terakhir yaitu tepatnya pada SMAN 11 Surabaya. Setelah lulus, melanjutkan pendidikan sarjana (S1) di Universitas Wijaya Kusuma Surabaya pada tahun 2019 pada program studi Teknik Sipil dengan NPM 19110026. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2023 dengan judul Tugas Akhir "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel "DAME" 10 Lantai Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di Kota Padang".

E-mail : alfiyahdiah0912@gmail.com

# TUGAS AKHIR FINAL\_ALFIYAH DIAH SALSABILA\_19110026

## ORIGINALITY REPORT

**22%**  
SIMILARITY INDEX

**20%**  
INTERNET SOURCES

**3%**  
PUBLICATIONS

**13%**  
STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<a href="https://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	<b>7%</b>
<b>2</b>	Submitted to Universitas Bung Hatta Student Paper	<b>2%</b>
<b>3</b>	<a href="https://herbycalvinpascal.files.wordpress.com">herbycalvinpascal.files.wordpress.com</a> Internet Source	<b>2%</b>
<b>4</b>	<a href="https://e-journal.uajy.ac.id">e-journal.uajy.ac.id</a> Internet Source	<b>1%</b>
<b>5</b>	Submitted to Korea National Open University Student Paper	<b>1%</b>
<b>6</b>	<a href="https://repository.podomorouniversity.ac.id">repository.podomorouniversity.ac.id</a> Internet Source	<b>1%</b>
<b>7</b>	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<b>1%</b>
<b>8</b>	<a href="https://tekonsipil.sv.ugm.ac.id">tekonsipil.sv.ugm.ac.id</a> Internet Source	<b>1%</b>
<b>9</b>	<a href="https://eprints.umm.ac.id">eprints.umm.ac.id</a> Internet Source	<b>1%</b>



10	Submitted to Universitas Pancasila Student Paper	1 %
11	Submitted to North South University Student Paper	1 %
12	repository.ummat.ac.id Internet Source	<1 %
13	Submitted to Clarkston Community Schools Student Paper	<1 %
14	www.scribd.com Internet Source	<1 %
15	eprints.itn.ac.id Internet Source	<1 %
16	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Student Paper	<1 %
17	Submitted to Purdue University Student Paper	<1 %
18	docplayer.info Internet Source	<1 %
19	repository.unisma.ac.id Internet Source	<1 %
20	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	<1 %
21	Submitted to Universitas Bengkulu	

Student Paper

<1 %

22

[lib.unnes.ac.id](http://lib.unnes.ac.id)

Internet Source

<1 %

23

[repository.usm.ac.id](http://repository.usm.ac.id)

Internet Source

<1 %

24

[repository.umsu.ac.id](http://repository.umsu.ac.id)

Internet Source

<1 %

25

[repository.unej.ac.id](http://repository.unej.ac.id)

Internet Source

<1 %

26

Submitted to Program Pascasarjana  
Universitas Negeri Yogyakarta

Student Paper

<1 %

27

Submitted to Educational Service District 105

Student Paper

<1 %

28

Submitted to Universitas Merdeka Malang

Student Paper

<1 %

29

[repository.unbari.ac.id](http://repository.unbari.ac.id)

Internet Source

<1 %

30

Submitted to Badan PPSDM Kesehatan  
Kementerian Kesehatan

Student Paper

<1 %

31

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

<1 %

32	<a href="https://dspace.uui.ac.id">dspace.uui.ac.id</a> Internet Source	<1 %
33	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
34	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
35	<a href="http://documents.tips">documents.tips</a> Internet Source	<1 %
36	Jie Cui, Jie Lu, Hong Zhong, Qingyang Zhang, Chengjie Gu, Lu Liu. "Parallel Key-Insulated Multi-user Searchable Encryption for Industrial Internet of Things", IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021 Publication	<1 %
37	Submitted to Tabor College Student Paper	<1 %
38	<a href="http://repositori.usu.ac.id">repositori.usu.ac.id</a> Internet Source	<1 %
39	<a href="http://repository.untag-sby.ac.id">repository.untag-sby.ac.id</a> Internet Source	<1 %
40	<a href="http://scholar.unand.ac.id">scholar.unand.ac.id</a> Internet Source	<1 %
41	<a href="http://digilib.unila.ac.id">digilib.unila.ac.id</a> Internet Source	<1 %

42	Ipin Sugiyarto, Rama Irawan, Didi Rosiyadi. "Pengelompokan Dampak Gempa Bumi Dan Kerusakan Pada Wilayah Berpotensi Gempa Di Provinsi Sumatera Barat", Journal of Students' Research in Computer Science, 2021 Publication	<1 %
43	Dhimas Adji Pratama, Sindi Widiyawati, Erlina Yanuarini. "Peningkatan Desain Kapasitas Struktur Atas Beton Bertulang Gedung F RSUD Depok", MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil, 2022 Publication	<1 %
44	Ori Patinsyah, Muhammad Yusa, Gunawan Wibisono. "ANALISIS STABILITAS LERENG TAMBANG BATUBARA TERBUKA DI BANKO TENGAH SUBAN JERIJ", FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil), 2021 Publication	<1 %
45	Submitted to Universitas International Batam Student Paper	<1 %
46	Submitted to University of Malaya Student Paper	<1 %
47	adoc.pub Internet Source	<1 %
48	pt.scribd.com Internet Source	<1 %

49

Vallen Christian, Uray Fery Andi, Rudiyono Rudiyono. "TAMAN MINI KALIMANTAN BARAT DI KUBURAYA", JMARS: Jurnal Mosaik Arsitektur, 2021

Publication

<1 %

50

123dok.com

Internet Source

<1 %

51

qdoc.tips

Internet Source

<1 %

52

"Proceedings of the Second International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials", Springer Science and Business Media LLC, 2022

Publication

<1 %

53

Erlina Erlina. "VALIDASI KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON NORMAL TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON DENGAN PENAMBAHAN SERBUK KAYU JATI DAN SERBUK KAYU KELAPA", CivETech, 2020

Publication

<1 %

54

M. Basyir, F. Amir, S. Maricar, I.G.M. Oka. "Perancangan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Ruko 4 Lantai Berdasarkan SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2022

Publication

<1 %

---

55

Rohmat Ilyas Kurniawan, Ahmad Ridwan, Sigit Winarto, Agata Iwan Candra. "PERENCANAAN PONDASI TIANG (Studi Kasus HOTEL MERDEKA TULUNGAGUNG)", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2019

Publication

<1 %

---

56

Wiratna Tri Nugraha, Yanda Pranoto. "ANALISIS PONDASI TIANG PANCANG BREASTING DOLPHIN DAN MOORING DOLPHIN PADA DERMAGA TYPE JETTY", JURNAL MOMEN TEKNIK SIPIL, 2020

Publication

<1 %

---

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

# TUGAS AKHIR FINAL\_ALFIYAH DIAH SALSABILA\_19110026

---

## GRADEMARK REPORT

---

FINAL GRADE

**/0**

GENERAL COMMENTS

**Instructor**

---

PAGE 1

---

PAGE 2

---

PAGE 3

---

PAGE 4

---

PAGE 5

---

PAGE 6

---

PAGE 7

---

PAGE 8

---

PAGE 9

---

PAGE 10

---

PAGE 11

---

PAGE 12

---

PAGE 13

---

PAGE 14

---

PAGE 15

---

PAGE 16

---

PAGE 17

---

PAGE 18

---

PAGE 19

---

PAGE 20

---

PAGE 21

---

PAGE 22

---

PAGE 23

---

PAGE 24

---

PAGE 25

---

PAGE 26

---

PAGE 27

---

PAGE 28

---

PAGE 29

---

PAGE 30

---

PAGE 31

---

PAGE 32

---

PAGE 33

---

PAGE 34

---

PAGE 35

---

PAGE 36

---

PAGE 37

---

PAGE 38

---

PAGE 39

---

PAGE 40

---

PAGE 41

---

PAGE 42

---

PAGE 43

---

PAGE 44

---

PAGE 45

---

PAGE 46

---



PAGE 47

---

PAGE 48

---

PAGE 49

---

PAGE 50

---

PAGE 51

---

PAGE 52

---

PAGE 53

---

PAGE 54

---

PAGE 55

---

PAGE 56

---

PAGE 57

---

PAGE 58

---

PAGE 59

---

PAGE 60

---

PAGE 61

---

PAGE 62

---

PAGE 63

---

PAGE 64

---

PAGE 65

---

PAGE 66

---

PAGE 67

---

PAGE 68

---

PAGE 69

---

PAGE 70

---

PAGE 71

---

PAGE 72

---

PAGE 73

---

PAGE 74

---

PAGE 75

---

PAGE 76

---

PAGE 77

---

PAGE 78

---

PAGE 79

---

PAGE 80

---

PAGE 81

---

PAGE 82

---

PAGE 83

---

PAGE 84

---

PAGE 85

---

PAGE 86

---

PAGE 87

---

PAGE 88

---

PAGE 89

---

PAGE 90

---

PAGE 91

---

PAGE 92

---

PAGE 93

---

PAGE 94

---

PAGE 95

---

PAGE 96

---

PAGE 97

---

PAGE 98

---

PAGE 99

---

PAGE 100

---

PAGE 101

---

PAGE 102

---

PAGE 103

---

PAGE 104

---

PAGE 105

---

PAGE 106

---

PAGE 107

---

PAGE 108

---

PAGE 109

---

PAGE 110

---

PAGE 111

---

PAGE 112

---

PAGE 113

---

PAGE 114

---

PAGE 115

---

PAGE 116

---

PAGE 117

---

PAGE 118

---

PAGE 119

---

PAGE 120

---

PAGE 121

---

PAGE 122

---

PAGE 123

---

PAGE 124

---

PAGE 125

---

PAGE 126

---

PAGE 127

---

PAGE 128

---

PAGE 129

---

PAGE 130

---

PAGE 131

---

PAGE 132

---

PAGE 133

---

PAGE 134

---

PAGE 135

---

PAGE 136

---

PAGE 137

---

PAGE 138

---

PAGE 139

---

PAGE 140

---

PAGE 141

---

PAGE 142

---

PAGE 143

---

PAGE 144

---

PAGE 145

---

PAGE 146

---

PAGE 147

---

PAGE 148

---

PAGE 149

---

PAGE 150

---

PAGE 151

---

PAGE 152

---

PAGE 153

---

PAGE 154

---

PAGE 155

---

PAGE 156

---

PAGE 157

---

PAGE 158

---

PAGE 159

---

PAGE 160

---

PAGE 161

---

PAGE 162

---

PAGE 163

---

PAGE 164

---

PAGE 165

---

PAGE 166

---

PAGE 167

---

PAGE 168

---

PAGE 169

---

PAGE 170

---

PAGE 171

---

PAGE 172

---

PAGE 173

---

PAGE 174

---

PAGE 175

---

PAGE 176

---

PAGE 177

---

PAGE 178

---

PAGE 179

---

PAGE 180

---

PAGE 181

---

PAGE 182

---

PAGE 183

---

PAGE 184

---

PAGE 185

---

PAGE 186

---

PAGE 187

---

PAGE 188

---

PAGE 189

---

PAGE 190

---

PAGE 191

---

PAGE 192

---

PAGE 193

---

PAGE 194

---

PAGE 195

---

PAGE 196

---

PAGE 197

---

PAGE 198

---

PAGE 199

---

PAGE 200

---

PAGE 201

---

PAGE 202

---

PAGE 203

---

PAGE 204

---

PAGE 205

---

PAGE 206

---

PAGE 207

---

PAGE 208

---

PAGE 209

---

PAGE 210

---

PAGE 211

---

PAGE 212

---

PAGE 213

---

PAGE 214

---

PAGE 215

---

PAGE 216

---

PAGE 217

---

PAGE 218

---

PAGE 219

---

PAGE 220

---

PAGE 221

---

PAGE 222

---