



TUGAS AKHIR - RC141501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA  
LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP)  
SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP**

MUHAMMAD SATRYA AGETA  
NRP. 3116 105 051

Dosen Pembimbing:  
Endah Wahyuni, ST.MSc.PhD  
Bambang Piscesa, ST.MT.PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



TUGAS AKHIR - RC141501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU  
PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT  
MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK  
PRATEGANG PADA LANTAI ATAP**

MUHAMMAD SATRYA AGETA  
NRP. 3116 105 051

Dosen Pembimbing:  
Endah Wahyuni, ST.MSc.PhD  
Bambang Piscesa, ST.MT.PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**



UNDERGRADUATE THESIS - RC141501

**STRUCTURAL MODIFICATION DESIGN OF  
EDUCATION INSTITUTE QUALITY ASSURANCE  
(LPMP) BUILDING IN SUMATERA BARAT USING  
MOMENT RESISTING FRAME AND PRESTRES-BEAM  
ON THE ROOFTOP**

MUHAMMAD SATRYA AGETA  
NRP. 3116 105 051

Advisor :  
Endah Wahyuni, ST.MSc.PhD  
Bambang Piscesa, ST.MT.PhD

DEPARTEMEN OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering, Environment, and Geo  
Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada  
Program Studi Strata 1 Teknik Sipil  
Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh

**MUHAMMAD SATRYA AGETA**  
NRP. 3116 105 051

Disetujui oleh Penulis Tugas Akhir:

Endah Wahyuni, ST, MSc, PhD (.....)  


Bambang Piscesa, ST, MT, PhD (.....)  


**SURABAYA**  
2018

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA  
LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP)  
SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP**

**Nama Mahasiswa : Muhammad Satrya Ageta**  
**NRP : 3116 105 051**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS**  
**Dosen Pembimbing I : Endah Wahyuni, ST.MSc.PhD**  
**Bambang Piscesa, ST.MT.PhD**

**ABSTRAK**

Kompleks Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) terletak di Sumatera Barat, tepatnya berlokasi di Komplek Perguruan Tinggi Air Tawar, Kota Padang. Kebutuhan akan ruang dan kurangnya lahan pada komplek LPMP merupakan tantangan yang harus diatasi dalam pembangunan. Bangunan bertingkat banyak adalah salah satu solusi pembangunan terjadap kurangnya lahan dan ruang.

Perencanaan gedung asrama LPMP setinggi 10 lantai ( $\pm 40$  m) dan dirancang menggunakan beton bertulang pada keseluruhan lantai, serta menggunakan beton prategang pada lantai ke 10 (lantai atap) yang akan didesain sebagai ruang *ballroom* tanpa ada struktur kolom ditengah ruangan sehingga ruang *ballroom* menjadi lebih nyaman dan luas dibandingkan dengan penggunaan balok nonpratekan yang akan menghasilkan dimensi yang lebih besar.

Pada era *modern* ini beton prategang merupakan salah satu teknologi struktur yang dikembangkan dan sering digunakan untuk pembangunan gedung bertingkat yang memiliki balok dengan bentang yang cukup panjang tanpa ada kolom ditengah bentang. Perancangan gedung asrama LPMP Padang dengan menggunakan

balok beton prategang ini merupakan salah satu aplikasi penggunaan beton prategang pada gedung bertingkat.

Balok beton prategang pada gedung bertingkat memiliki kendala dari sifat beton prategang yang getas. Oleh karena itu perlu perencanaan khusus dalam desain balok beton prategang agar dapat bersifat daktail yang cukup untuk menahan beban gempa. Metode pelaksanaan pekerjaan balok beton prategang dengan metode penarikan *posttension* dan *cast in situ*, sehingga hubungan balok prategang dan kolom *monolit*. Struktur gedung LPMP menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dimana sistem ini dirancang untuk daerah rawan gempa sesuai peraturan SNI 1726:2012, untuk pembebanan sesuai peraturan SNI 2847:2013, dan analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000.

**Kata kunci : Balok Beton Prategang, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, Asrama LPMP Padang.**

# **STRUCTURAL MODIFICATION DESIGN OF EDUCATION INSTITUTE QUALITY ASSURANCE (LPMP) BUILDING IN SUMATERA BARAT USING MOMENT RESISTING FRAME AND PRESTRES-BEAM ON THE ROOFTOP**

**Name : Muhammad Satrya Ageta**  
**NRP : 3116 105 051**  
**Major : Civil Engineering FTSLK-ITS**  
**Advisor : Endah Wahyuni, ST.MSc.PhD**  
**Bambang Piscesa, ST.MT.PhD**

## **ABSTRACT**

The site of LPMP in Sumatra Barat is obviously located in the complex of Universitas Negeri Padang. The need of spaces and small area in the site are challenges that faced in the construction. Multi-storey buildings is one of solutions to overcome the problem.

The design construction of LPMP building is planned to be as high as 10 floors ( $\pm 40$  m) and designed with reinforced concrete in each floor. Prestres-concrete will be used on the 10th floor for it is planned to be the ballroom with no reinforced column in the middle of the room in order to make it more spacious. It is better than using non-practical beam which resulting a bigger dimention.

In the modern era, prestres-concrete is one of developed structural-technology and often used in the construction of multi-storey buildings with a long beam without any column in the middle of the disquisition. The design of LPMP building which using prestres beam is one of implementation in the use of prestres concrete in multi-storey buildings.

The nature of prestres concrete in multi-storey buildings is brittle. Therefore, a special design is needed in designing the prestres beam, so it is able to bear the burden of earthquake. The

execution method of prestres beam uses two methods; posttension and cast in situ method. Therefore, the connection between prestres beam and column is monolith. The design of LPMP building uses Moment Resisting Frame (SRPMK) which designed for earthquake-subject area as stated on SNI 1726:2012, the load which stated in SNI 2847:2013, and structure analyse that use SAP2000 programme.

Keywords: Prestres concrete-beam, Moment Resisting Frame,  
LPMP Building

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan hidayahnya yang telah memberi petunjuk dan kekuatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

Penyusunan Tugas akhir ini diajukan oleh penulis dalam rangka memenuhi persyaratan akademis pada mata kuliah Tugas Akhir tahun ajaran 2018/2019, Program Studi Lintas Jalur Strata 1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian (FTSLK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya .

Adapun topik dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah **“DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP”**.

Tersusunnya laporan tugas akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu begitu banyak ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta , sebagai semangat, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materil, terutama doa.
2. Ibu Endah wahyuni,ST.MSc.PhD dan bapak Bambang Piscesa,ST.MT.PhD selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Tugas akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Sipil FTSLK ITS Surabaya yang tidak mugkin disebutkan satu persatu, atas kesabarannya memberikan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga Besar Lintas Jalur Angkatan 2016, kalian keluarga baru yang tidak akan pernah terlupa. Maaf kalau banyak salah, semoga suatu hari dapat bertemu dan berkumpul, see you on the top.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan untuk itu segala saran dan kritik maupun masukan yang sifatnya membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2018

Muhammad Satrya Ageta  
NRP. 0311 16.45.000.051

## **DAFTAR ISI**

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR GAMBAR .....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Perumusan Masalah.....	5
1.3.    Maksud dan Tujuan .....	6
1.4.    Batasan Masalah.....	6
1.5.    Manfaat Penulisan .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1.    Tinjauan Umum.....	9
2.2.    Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa .....	10
2.3.    Peraturan Perencanaan .....	11
2.4.    Desain Kapasitas .....	11
2.5.    Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) .....	13
2.6.    Faktor Daktilitas .....	14
2.7.    Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ...	15

2.7.1.	Persyaratan <i>Detailing</i> Komponen Lentur SRPMK .....	15
2.7.2.	Persyaratan <i>Detailing</i> Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial .....	19
2.7.3.	Persyaratan <i>Detailing</i> Hubungan Balok-Kolom (Join) SRPMK.....	26
2.8.	Perencanaan Dimensi Elemen Struktur .....	29
2.8.1.	Perencanaan Dimensi Balok.....	29
2.8.2.	Perencanaan Dimensi Pelat Lantai .....	30
2.8.3.	Perencanaan Dimensi Kolom .....	32
2.8.4.	Perencanaan Dimensi Tangga .....	33
2.8.5.	Perencanaan Dimensi Balok Beton Prategang ....	34
2.9.	Sistem Beton Prategang.....	35
2.9.1.	Gaya Prategang .....	40
2.9.2.	Indeks Beton Prategang Parsial dan Beton Bertulang .....	41
2.9.3.	Kontrol Tegangan.....	43
2.9.4.	Kekuatan Batas Balok Prategang .....	45
2.9.5.	Tahap-tahap Pembebanan Beton Prategang .....	45
2.10.	Pembebanan Pada Struktur.....	48
2.10.1.	Beban mati (D) .....	48
2.10.2.	Beban hidup (L) .....	49
2.10.3.	Beban sismik/gempa (SNI 1726:2012) .....	50
2.11.	Kombinasi Pembebanan .....	60

2.12.	Perhitungan Struktur Sekunder.....	61
2.12.1.	Perencanaan balok sekunder .....	61
2.12.2.	Perencanaan pelat lantai .....	61
2.12.3.	Perencanaan tangga.....	62
2.13.	Perhitungan Struktur Utama .....	62
2.13.1.	Perencanaan balok utama.....	62
2.13.2.	Perhitungan Kolom .....	63
2.13.3.	Perencanaan pondasi .....	64
2.14.	Perhitungan Beton Prategang .....	66
2.14.1.	Beton mutu tinggi.....	66
2.14.2.	Baja prategang.....	67
2.14.3.	Kehilangan sebagian gaya prategang .....	68
2.13.1.	Bahan pelengkap .....	75
BAB III METODOLOGI .....	77	
3.1.	Umum.....	77
3.2.	Pembahasan Metodologi .....	78
3.3.	Pengumpulan Data .....	78
3.4.	Studi Literatur.....	79
3.5.	<i>Preliminary Design</i> .....	80
3.6.	Perhitungan Struktur Sekunder .....	80
3.7.	Pembebanan Pada Struktur.....	81
3.8.	Analisis Struktur Utama .....	82
3.9.	Perhitungan Struktur Utama Non Prategang .....	82

3.10.	Perencanaan Struktur Utama Prategang .....	82
3.10.1.	Pemilihan jenis beton prategang .....	82
3.10.2.	Gaya prategang.....	85
3.10.3.	Penetapan dan tata letak kabel .....	85
3.10.4.	Kontrol tegangan.....	85
3.10.5.	Kehilangan sebagian gaya prategang .....	85
3.10.6.	Kontrol lendutan.....	86
3.10.7.	Kontrol retak .....	86
3.10.8.	Kontrol geser.....	86
3.10.9.	Blok angkur ujung.....	86
3.11.	Perencanaan Pondasi .....	86
3.11.1.	Analisa kedalaman tanah keras .....	86
3.11.2.	Pemilihan jenis pondasi.....	87
3.11.3.	Perhitungan pondasi .....	87
3.11.4.	Kontrol desain pondasi.....	87
3.12.	Gambar Detail Struktur Output AutoCad.....	87
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>89</b>
4.1.	Preliminary Design.....	89
4.1.1.	Data Perencanaan .....	89
4.1.2.	Perencanaan Balok .....	90
4.1.3.	Perencanaan Pelat Lantai .....	94
4.1.4.	Perencanaan Kolom Struktur .....	99
4.2.	Perencanaan Struktur Sekunder.....	104

4.2.1.	Perencanaan Penulangan Pelat Lantai.....	104
4.2.2.	Perencanaan Balok Anak .....	124
4.2.3.	Perencanaan Penulangan Tangga dan Balok Bordes .....	134
4.2.4.	Perencanaan Balok Lift .....	150
4.3.	Pembebanan dan Permodelan Struktur.....	157
4.3.1.	Umum.....	157
4.3.2.	Permodelan Struktur.....	157
4.3.3.	Pembebanan Gravitasi.....	158
4.3.4.	Pembebanan Gempa.....	159
4.4.	Perencanaan Struktur Utama Non Pratekan .....	171
4.4.1.	Perencanaan Balok induk.....	172
4.4.2.	Perencanaan Kolom .....	190
4.4.3.	Hubungan Balok Kolom (HBK) .....	202
4.5.	Desain Balok Prategang .....	205
4.5.1.	Data Perencanaan .....	205
4.5.2.	Dimensi Penampang Sebelum Komposit .....	205
4.5.3.	Dimensi Penampang Setelah Komposit .....	206
4.5.4.	Tegangan Izin Balok .....	208
4.5.5.	Beban Balok Prategang .....	209
4.5.6.	Desain Pendahuluan Gaya Prategang Awal .....	210
4.5.7.	Penentuan Jumlah Strand .....	213
4.5.8.	Perhitungan Kehilangan Prategang .....	215

4.5.9.	Kontrol Tegangan Sesudah Kehilangan .....	221
4.5.10.	Daerah Limit Kabel.....	222
4.5.11.	Posisi Tendon .....	225
4.5.12.	Momen retak .....	226
4.5.13.	Kontrol Lendutan .....	227
4.5.14.	Penulangan Lunak Tambahan .....	230
4.5.15.	Kontrol Momen Nominal .....	247
4.5.16.	Angkur Ujung.....	255
4.5.17.	Panjang Penyaluran.....	257
4.6.	Perencanaan Pondasi .....	258
4.6.1.	Spesifikasi Tiang Pancang .....	258
4.6.2.	Data Tanah dan Daya Dukung Tiang Izin ( $P_{izn}$ )	260
4.6.3.	Kapasitas cabut tiang (Qu) .....	261
4.6.4.	Jumlah Kebutuhan Tiang Pancang.....	263
4.6.5.	Perencanaan Pondasi 2 buah tiang .....	265
4.6.6.	Perencanaan Sloof .....	278
BAB V	PENUTUP .....	299
5.1.	Kesimpulan.....	299
5.2.	Saran.....	302
DAFTAR	PUSTAKA .....	305
LAMPIRAN	.....	309

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Berat sendiri bahan bangunan dari komponen gedung .....	48
<b>Tabel 2. 2</b> kategori resiko bangunan gedung .....	51
<b>Tabel 2. 3</b> Faktor keutamaan gempa.....	52
<b>Tabel 2. 4</b> Klasifikasi situs.....	54
<b>Tabel 2. 5</b> Koefisien situs (Fa).....	55
<b>Tabel 2. 6</b> Koefisien situs (Fv) .....	55
<b>Tabel 2. 7</b> Kategori desain seismik perioda pendek .....	58
<b>Tabel 2. 8</b> Kategori desain seismik perioda 1 detik.....	58
<b>Tabel 2. 9</b> Faktor R, Cd dan Qo untuk sistem penahanan gaya gempa .....	59
<b>Tabel 2. 10</b> Sifat-sifat strand stress-relieve dengan tujuh kawat tanpa pelapisan (ASTM A-416).....	68
<b>Tabel 2. 11</b> Koefisien gesek kelengkungan dan wobble untuk tendon pasca-tarik .....	71
<b>Tabel 2. 12</b> Koefisien susut pasca tarik (Post tension) .....	74
<b>Tabel 4. 1</b> Tinggi minimum balok .....	90
<b>Tabel 4. 2</b> Preliminary design balok induk .....	92
<b>Tabel 4. 3</b> Preliminary design balok anak.....	93
<b>Tabel 4. 4</b> Tebal minimum pelat.....	94
<b>Tabel 4. 5</b> Beban mati lantai 1 - 10.....	100
<b>Tabel 4. 6</b> Beban mati lantai atap .....	101
<b>Tabel 4. 7</b> Beban mati pelat lantai untuk hunian .....	104
<b>Tabel 4. 8</b> Beban mati pelat lantai untuk ballroom.....	105
<b>Tabel 4. 9</b> Beban mati atap .....	105
<b>Tabel 4. 10</b> Rekapitulasi penulangan pelat .....	124
<b>Tabel 4. 11</b> Rekapitulasi penulangan balok anak .....	134
<b>Tabel 4. 12</b> Beban mati anak tangga.....	136
<b>Tabel 4. 13</b> Beban mati pelat bordes.....	137

<b>Tabel 4. 14</b> beban mati balok bordes .....	146
<b>Tabel 4. 15</b> Rekapitulasi penulangan tangga .....	150
<b>Tabel 4. 16</b> Perhitungan berat sendiri menggunakan program bantu SAP 2000 .....	159
<b>Tabel 4. 17</b> Kategori resiko bangunan .....	160
<b>Tabel 4. 18</b> Faktor keutamaan gempa.....	160
<b>Tabel 4. 19</b> Tabel Nspt.....	160
<b>Tabel 4. 20</b> Nilai periode fundamental (T) dan percepatan respon spektra.....	163
<b>Tabel 4. 21</b> Nilai parameter perioda pendekatan, Ct dan x.....	164
<b>Tabel 4. 22</b> Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung .....	165
<b>Tabel 4. 23</b> Perioda struktur pada modal di program SAP 2000 untuk 12 mode pertama.....	165
<b>Tabel 4. 24</b> Berat seismik bangunan hasil SAP 2000 .....	167
<b>Tabel 4. 25</b> Gaya geser dasar hasil SAP 2000 .....	167
<b>Tabel 4. 26</b> Base reaction dari program SAP 2000 setelah dikali faktor pembesaran.....	168
<b>Tabel 4. 27</b> Jumlah respon ragam .....	169
<b>Tabel 4. 28</b> Simpangan antar lantai izin .....	170
<b>Tabel 4. 29</b> Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah X.....	171
<b>Tabel 4. 30</b> Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah Y.....	171
<b>Tabel 4. 31</b> Rekapitulasi Tulangan Balok Induk .....	190
<b>Tabel 4. 32</b> Momen dan Gaya Aksial Kolom Lantai .....	191
<b>Tabel 4. 33</b> Rekapitulasi penulangan kolom.....	202
<b>Tabel 4. 34</b> Rekapitulasi tulangan geser hubungan balok kolom .....	205
<b>Tabel 4. 35</b> Kehilangan Gaya Prategang .....	221
<b>Tabel 4. 36</b> daerah limit kabel .....	224

<b>Tabel 4. 37</b> Letak posisi tendon.....	225
<b>Tabel 4. 38</b> Momen nominal atas .....	252
<b>Tabel 4. 39</b> Momen nominal bawah .....	253
<b>Tabel 4. 40</b> Momen ultimate beban dan gempa.....	254
<b>Tabel 4. 41</b> Brosur Tiang Pancang WIKA Beton .....	259
<b>Tabel 4. 42</b> Tabel Q izin tanah pada setiap kedalaman .....	262
<b>Tabel 4. 43</b> Jumlah kebutuhan tiang pancang pada setiap titik kolom .....	264
<b>Tabel 4. 44</b> Rekapitulasi penulangan poer.....	278

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Mekanisme leleh pada struktur gedung akibat beban gempa .....	12
<b>Gambar 2. 2</b> Mekanisme keruntuhan ideal suatu struktur gedung .....	13
<b>Gambar 2. 3</b> Ketentuan dimensi penampang balok .....	16
<b>Gambar 2. 4</b> Persyaratan tulangan lentur.....	17
<b>Gambar 2. 5</b> Persyaratan sambungan lewatan .....	17
<b>Gambar 2. 6</b> Persyaratan tulangan transversal.....	18
<b>Gambar 2. 7</b> Konsep strong column weak beam .....	20
<b>Gambar 2. 8</b> Sambungan lewatan pada kolom.....	22
<b>Gambar 2. 9</b> Perencanaan geser rencana untuk kolom .....	26
<b>Gambar 2. 10</b> Perhitungan geser horizontal pada hubungan balok kolom.....	27
<b>Gambar 2. 11</b> Perhitungan Vu pada hubungan balok-kolom....	28
<b>Gambar 2. 12</b> Inersia pelat dan balok pada sisi tengah.....	31
<b>Gambar 2. 13</b> Inersia pelat dan balok pada sisi tepi .....	32
<b>Gambar 2. 14</b> Anak tangga .....	33
<b>Gambar 2. 15</b> Tendon ditarik dan diangkur .....	37
<b>Gambar 2. 16</b> Beton dicor.....	37
<b>Gambar 2. 17</b> Gaya Prategang ditransfer ke beton .....	37
<b>Gambar 2. 18</b> Beton dicor dengan selongsong tendon terpasang .....	38
<b>Gambar 2. 19</b> Penarikan Tendon .....	38
<b>Gambar 2. 20</b> Gaya prategang ditransfer ke beton .....	38
<b>Gambar 2. 21</b> Peta untuk SS .....	53
<b>Gambar 2. 22</b> Peta untuk S1 .....	53
<b>Gambar 2. 23</b> Respons spektra .....	57
<b>Gambar 2. 24</b> Angkur dan strand.....	76
<b>Gambar 2. 25</b> Coupler atau penyambung .....	76

<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir metodologi perancangan struktur gedung .....	78
<b>Gambar 3. 2</b> Pekerjaan kolom.....	84
<b>Gambar 3. 3</b> Pemberian gaya prategang pada balok prategang .	84
<b>Gambar 3. 4</b> Tahap konstruksi pelaksanaan beton prategang ...	84
<b>Gambar 4. 1</b> Denah Struktur Gedung Asrama LPMP Padang ...	90
<b>Gambar 4. 2</b> Denah balok induk .....	91
<b>Gambar 4. 3</b> Denah balok anak.....	92
<b>Gambar 4. 4</b> Denah pelat lantai yang ditinjau.....	95
<b>Gambar 4. 5</b> Bagian slab yang disertakan dengan balok .....	96
<b>Gambar 4. 6</b> Denah kolom yang ditinjau .....	100
<b>Gambar 4. 7</b> Momen didalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban terbagi rata (terjepit penuh).....	118
<b>Gambar 4. 8</b> Daerah tumpuan dan lapangan .....	131
<b>Gambar 4. 9</b> Permodelan struktur tangga .....	137
<b>Gambar 4. 10</b> Gaya normal.....	140
<b>Gambar 4. 11</b> Gaya lintang .....	140
<b>Gambar 4. 12</b> Momen .....	141
<b>Gambar 4. 13</b> Permodelan pada SAP 2000.....	158
<b>Gambar 4. 14</b> Grafik respon spektrum desain .....	164
<b>Gambar 4. 15</b> Luasan (Acp) dan keliling (Pcp) .....	174
<b>Gambar 4. 16</b> Luasan (Aoh) dan keliling (Poh).....	174
<b>Gambar 4. 17</b> Panjang penyaluran pada kait .....	190
<b>Gambar 4. 18</b> Diagram Interaksi Kolom.....	193
<b>Gambar 4. 19</b> Output Diagram Interaksi P-M Kolom bawah dan Kolom Atas .....	194
<b>Gambar 4. 20</b> hx pada tulangan transversal kolom.....	196
<b>Gambar 4. 21</b> Gaya Geser Disain untuk Kolom .....	198
<b>Gambar 4. 22</b> Diagram Interaksi Kolom $fs=1,25fy$ .....	199

<b>Gambar 4. 23</b> Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Atas dan Bawah $f_s = 1,25 f_y$ .....	199
<b>Gambar 4. 24</b> Skema Geser Yang Terjadi Di Joint .....	203
<b>Gambar 4. 25</b> Penampang balok pratekan .....	207
<b>Gambar 4. 26</b> Kehilangan Pratekan Akibat Kekangan Kolom	217
<b>Gambar 4. 27</b> Daerah Limit Kabel.....	223
<b>Gambar 4. 28</b> Daerah limit kabel.....	224
<b>Gambar 4. 29</b> Posisi tendon .....	226
<b>Gambar 4. 30</b> Luasan (Acp) dan keliling (Pcp) .....	231
<b>Gambar 4. 31</b> Luasan (Aoh) dan keliling (Poh).....	232
<b>Gambar 4. 32</b> Momen kapasitas batas .....	255
<b>Gambar 4. 33</b> Spesifikasi Tiang Pancang .....	263
<b>Gambar 4. 34</b> Poer arah X dan Y .....	274
<b>Gambar 4. 35</b> Mekanika Teknik Pile cap arah x.....	275
<b>Gambar 4. 36</b> Mekanika Teknik Pile cap arah y.....	277
<b>Gambar 4. 37</b> Luasan (Acp) dan keliling (Pcp) .....	280
<b>Gambar 4. 38</b> Luasan (Aoh) dan keliling (Poh).....	281

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Kompleks Lembaga Panjamin Mutu Pendidikan (LPMP) terletak di Sumatera Barat, tepatnya berlokasi di Kompleks Perguruan Tinggi Air Tawar, Kota Padang. Area lahan kompleks ini telah penuh berisikan bangunan gedung kantor dan kebanyakan area dipenuhi oleh bangunan gedung asrama. Seiring dengan tuntutan lingkungan, dibutuhkan minimal 40% lahan kosong dari area komplek keseluruhan. Untuk perkembangan serta kemajuan dari LPMP sumbar ini, tidak lepas dari peningkatan kebutuhan dan keinginan atas ruang bangunan gedung. Dari keadaan ini maka, dilakukan penataan ulang kawasan pada kompleks LPMP Sumbar yaitu berupa *design master plan* baru, yang mengakibatkan desain bangunan gedung asrama disatukan dengan menambah jumlah lantai. Menurut Majore (2015) bangunan bertingkat banyak adalah salah satu solusi pembangunan terhadap kurangnya lahan.

Karena gedung asrama LPMP tidak memiliki ruangan yang luas sebagai *ballroom*, maka akan dilakukan modifikasi. Adanya *ballroom*, diperlukan sebagai tempat pertemuan, rapat, maupun jamuan acara lainnya. Karena *ballroom* memiliki luasan yang besar, hal ini tentu saja diperlukan adanya kolom ditengah sebagai pendukung berdirinya suatu struktur. Akan tetapi kolom tersebut akan mengurangi fungsi dan estetika ruangan, karena banyaknya kolom yang berdiri yang masing-masing akan terhubung dengan balok. Sehingga penempatan *ballroom* ini sangat perlu diperhitungkan, apalagi gedung tersebut termasuk kedalam kelompok bangunan tinggi (*High Rise Building*). Oleh karena itu dalam pembangunannya harus memperhatikan aspek-aspek tertentu, salah satunya yaitu material. Pemilihan material yang sangat tepat sangat mempengaruhi stabilitas dan kekuatan struktur, terutama terhadap pengaruh gempa.

Di Indonesia, pembangunan suatu gedung harus memenuhi standar gedung yang tahan gempa, mengingat wilayah Indonesia, khususnya Kota Padang termasuk kedalam kawasan *ring of fire* dimana sering terjadi pergerakan lempeng yang mengakibatkan gempa. Sehingga, gedung asrama pada komplek LPMP yang dirancang tahan gempa tersebut dapat meminimalisir adanya korban dari penghuninya akibat bencana gempa bumi.

Agar struktur tahan terhadap gempa maka diperlukan suatu material yang sesuai. Material yang sesuai yaitu yang bersifat daktail, karena lebih ekonomis dibandingkan menggunakan material bersifat elastis. Material yang paling baik dalam menahan gempa yaitu baja karena memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, akan tetapi kurang ekonomis dalam segi biaya. Solusi lainnya yaitu dapat menggunakan beton bertulang, akan tetapi penggunaan beton bertulang kurang cocok pada pembangunan ruang yang cukup luas seperti *ballroom*, karena akan menimbulkan defleksi yang cukup besar pada bentang yang panjang. Salah satu solusi lainnya dengan menggunakan sistem pategang, dimana prategang digunakan agar bangunan dengan ruangan yang cukup besar tidak harus menggunakan kolom yang banyak, hanya menggunakan kolom ditepi. Dari modifikasi tersebut diperlukan suatu struktur balok yang bisa menjangkau bentang panjang pada ruangan tersebut, sehingga menggunakan balok beton prategang dapat menahan lendutan yang besar pada bentang balok yang panjang. Penggunaan balok prategang tidak membutuhkan kolom di tengah-tengah ruangan, sehingga ruangan tersebut menjadi lebih nyaman dan luas dibandingkan dengan menggunakan balok non prategang yang akan menghasilkan dimensi lebih besar.

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan dua jenis bahan mutu tinggi, yaitu beton (*High Strength Concrete*) dan baja (*High Strength Steel*), dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini mengasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Kemampuan beton dalam menahan tarikan diperbaiki dengan

memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Sehingga, beton prategang merupakan kombinasi ideal dari dua bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin dan Burn, 2000).

Keunggulan beton prategang dibandingkan dengan beton bertulang biasa adalah bahwa beton prategang memungkinkan pemanfaatan seluruh penampang melintang beton dalam menerima beban dengan penampang melintang yang lebih kecil, beban yang mampu dipikul serta panjang bentangnya sama dengan beton bertulang biasa. Hal ini memberi keunggulan berupa pengurangan berat struktur (Lin dan Burn, 2000).

Komponen struktur beton prategang memiliki dimensi tinggi balok lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang untuk kondisi beban dan bahan yang sama. Pada umumnya tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian komponen struktur beton prategang membutuhkan lebih sedikit beton, sekitar 20 sampai 35 persen (Nawy, 2001).

Penggunaan balok beton prategang akan lebih efektif dan efisien jika digunakan dengan bentang yang panjang, karena akan menghemat penggunaan volume beton dan juga dimensi balok yang direncanakan akan menjadi lebih kecil dan langsing dibandingkan dengan balok beton bertulang konvensional (Kelvin, 2013).

Terdapat dua jenis metode pada beton prategang, diantaranya metode pra tarik (*Pre Tension*) dan metode pasca tarik (*Post Tension*). Istilah pra tarik digunakan untuk menggambarkan metode prategang dimana setelah penarikan tendon baja dilakukan, kemudian beton dicor. Kebalikan dari metode pra tarik, metode pasca tarik adalah metode prategang dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Didalam studi ini, metode beton prategang yang digunakan ialah metode beton prategang pasca tarik (*Post Tension*) dikarenakan metode ini memungkinkan pembuatan tendon berbentuk parabola (menyesuaikan dengan bentuk bidang momen), sehingga penampang beton disepanjang bentang dapat

menerima tegangan lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan tendon lurus (Soleman, 2001).

Sistem struktur bangunan gedung yang sering dilaksanakan pada pembangunan gedung di Indonesia pada umumnya menggunakan sistem struktur ganda dan sistem struktur rangka pemikul momen. Sistem struktur ganda diantaranya merupakan kombinasi sistem struktur rangka pemikul momen dan dinding struktural atau dinding geser. Pada sistem struktur rangka pemikul momen terdapat tiga jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan *Strong Column Weak Beam* yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas tinggi. Sistem ini jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar namun efektif untuk wilayah zona gempa kecil. Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk zona 1 dan 2 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitikberatkan kewaspadaan terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas sedang. Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk zona 3 dan 4 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yaitu komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul aksi lentur, geser, dan aksial. Sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan

wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu zona 5 dan 6. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh.

Pada perencanaan Tugas Akhir ini gedung asrama LPMP dimodifikasi dengan menyatukan gedung asrama yang sebelumnya direncanakan yang mengakibatkan jumlah lantai gedung asrama LPMP menjadi sepuluh (10) lantai, dengan tinggi bangunan ± 40 m. Pada lantai ke sepuluh (10) akan digunakan sebagai *ballroom* dan lantai atap menggunakan sistem prategang karena *ballroom* direncanakan tanpa adanya kolom dibagian tengah ruangan sehingga membutuhkan balok bentang panjang. Sistem struktur bangunan gedung asrama LPMP dirancang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus karena gedung asrama LPMP berada diwilayah zona gempa tinggi. Peraturan yang digunakan yaitu SNI 2847:2013, SNI 1726:2012, dan PPIUG 1987 yang diharapkan dapat menghasilkan suatu struktur gedung yang memenuhi segala persyaratan keamanan struktur.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan umum yang akan diselesaikan adalah bagaimana cara mendesain gedung bertingkat didaerah resiko gempa tinggi dengan menggunakan balok beton prategang pada lantai 10?

Detail permasalahan untuk menunjang penyelesaian permasalahan umum adalah :

1. Bagaimana mendesain struktur gedung bertingkat yang sesuai dengan kriteria desain?
2. Bagaimana cara merencanakan *preliminary design* pada struktur tersebut?
3. Bagaimana menghitung beban yang bekerja pada struktur tersebut?
4. Bagaimana merencanakan struktur sekunder beton bertulang
5. Bagaimana menganalisa struktur bangunan yang telah didesain tersebut dengan program bantu SAP2000?
6. Bagaimana merencanakan struktur primerbeton bertulang?

7. Bagaimana merencanakan beton prategang?
8. Bagaimana merencanakan pondasi yang menyalurkan beban gravitasi dan gaya gempa?
9. Bagaimana mengaplikasikan hasil perhitungan kedalam gambar teknik sebagai hasil perencanaan?

### **1.3. Maksud dan Tujuan**

Tujuan umum dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendesain gedung bertingkat di daerah resiko gempa tinggi dengan menggunakan balok beton prategang pada lantai 10.

Detail permasalahan untuk menunjang penyelesaian permasalahan umum adalah :

1. Mampu mendesain struktur gedung bertingkat yang sesuai dengan kriteria desain.
2. Mampu merencanakan *preliminary design* pada struktur tersebut.
3. Mampu menghitung beban yang bekerja pada struktur tersebut.
4. Mampu merencanakan struktur sekunder beton bertulang.
5. Mampu menganalisa struktur bangunan yang telah didesain tersebut dengan program bantu SAP2000.
6. Mampu merencanakan struktur primerbeton bertulang.
7. Mampu merencanakan beton prategang.
8. Mampu merencanakan pondasi yang menyalurkan beban gravitasi dan gaya gempa.
9. Mampu mengaplikasikan hasil perhitungan kedalam gambar teknik sebagai hasil perencanaan.

### **1.4. Batasan Masalah**

Dalam perencanaan tugas akhir ini permasalahan akan dibatasi sampai dengan batasan-batasan, antara lain :

1. Pada struktur memodifikasi bangunan dengan menggunakan balok prategang pada lantai 10.
2. Pada perancangan struktur tidak menghitung anggaran biaya.
3. Perancangan ini tidak termasuk memperhitungkan sistem utilitas bangunan, perencanaan pembuangan saluran air bersih

dan kotor, instalasi / jaringan listrik, *finishing* dsb. Sistem distribusi pembebanan dalam hal ini ditetapkan sesuai dengan peraturan yang telah ada.

### **1.5. Manfaat Penulisan**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Memahami perancangan bangunan gedung bertingkat dengan menggunakan beton bertulang.
2. Memahami aplikasi penggunaan beton prategang pada pembangunan gedung bertingkat.
3. Dapat merencanakan gedung bertingkat dengan menggunakan balok prategang dan sistem SRPMK yang mampu memikul beban rencana.
4. Dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan desain beton pratekan kedepannya

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Pembangunan konstruksi gedung dengan menggunakan beton bertulang merupakan jenis konstruksi yang paling banyak digunakan, karena mudah dalam mendapatkan material dan mudah dalam pelaksanaannya. Beton bertulang efektif digunakan pada konstruksi balok dengan bentang yang tidak terlalu panjang. Sedangkan untuk konstruksi balok dengan bentang yang panjang dapat digunakan beton prategang dengan dimensi yang relatif kecil.

Didalam perancangan suatu struktur gedung harus selalu memperhatikan hal-hal berikut:

1. Dari segi kekuatan, struktur gedung tersebut harus kuat menahan gaya-gaya yang bekerja.
2. Dari segi estetika, struktur gedung tersebut harus memenuhi syarat keindahan.
3. Dari segi finansial, struktur gedung tersebut harus ekonomis.

Apabila semua persyaratan diatas telah terpenuhi, maka dapat dikatakan bahwa struktur gedung yang direncanakan telah memenuhi persyaratan teknis.

Perencanaan struktur gedung tahan gempa di Indonesia sangat penting, karena sebagian besar wilayah Indonesia memiliki intensitas gempa berkekuatan rendah hingga tinggi. Salah satu persyaratan penting struktur tahan gempa adalah daktilitas yang memadai. Sebuah struktur gedung memiliki daktilitas yang baik apabila elemen-elemen struktur penyusunnya juga memiliki daktilitas yang baik.

Struktur bangunan gedung yang menggunakan sistem balok prategang harus membutuhkan perancangan yang baik, karena beton prategang menggunakan material beton mutu tinggi yang mempunyai sifat getas. Perancangan beton prategang yang baik diharapkan mampu mencapai daktilitas yang baik serta mampu menahan beban-beban yang bekerja. Cara untuk memenuhi syarat

daktilitas yang memadai harus menggunakan balok prategang parsial (Pangaribuan, 2012).

## 2.2. Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Kriteria desain untuk struktur bangunan tahan gempa mensyaratkan bahwa bangunan harus didesain agar mampu menahan gempa 2500 tahunan, sesuai dengan SNI gempa yang berlaku, yaitu SNI 1726:2012. SNI gempa Indonesia ini mendasarkan beban gempa desain sebagai dua pertiga beban gempa MCE<sub>R</sub> (gempa maksimum yang dipertimbangkan). Dalam prosedur perencanaan berdasarkan SNI gempa, struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya boleh direncanakan terhadap beban gempa yang direduksi dengan suatu faktor modifikasi respons struktur (Faktor R), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang dimiliki struktur. Dengan penerapan konsep ini, pada saat gempa rencana terjadi, elemen-elemen struktur bangunan tertentu yang dipilih diperbolehkan mengalami plastifikasi (kerusakan) sebagai sarana untuk pendisipasian energi gempa yang diterima struktur. Elemen-elemen tertentu tersebut pada umumnya adalah elemen-elemen struktur yang perilaku plastifikasinya bersifat daktail dan tidak mudah runtuh. Elemen-elemen struktur lain yang tidak diharapkan mengalami plastifikasi harus tetap berprilaku elastis selama gempa rencana terjadi (Imran dan Hendrik, 2014).

Pada konsep desain kapasitas, tidak semua elemen struktur dibuat sama kuat terhadap gaya dalam yang direncanakan, tetapi pada elemen-elemen struktur atau titik pada struktur yang dibuat lebih lemah dibandingkan dengan yang lain. Hal ini dibuat demikian agar hanya pada elemen-elemen atau titik tersebut kerusakan struktur akan terjadi disaat beban maksimum akibat gempa bekerja pada struktur. Untuk mencapai hal ini, maka pada perencanaan elemen struktur yang diharapkan tetap elastis, perlu diaplikasikan faktor *overstrength* (kuat lebih) (Imran dan Hendrik, 2014).

Elemen-elemen struktur bangunan yang diharapkan mengalami plastisitas harus diberi *detailing* penulangan yang memadai agar perilakunya tetap stabil walaupun telah mengalami

deformasi inelastis yang besar. Ketentuan *detailing* yang ditetapkan dalam SNI beton pasal 21.2 untuk struktur beton bertulang, pada dasarnya dibedakan berdasarkan tingkat resiko kegempaan didaerah tempat struktur berada (Imran dan Hendrik, 2014).

### **2.3. Peraturan Perencanaan**

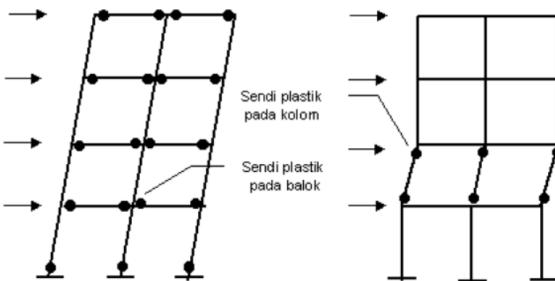
Berikut referensi yang digunakan untuk persyaratan perancangan struktur gedung asrama LPMP ini antara lain :

1. SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3. SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain
4. Perencanaan Pembebaran Untuk Rumah dan Gedung (PPIUG) 1987

### **2.4. Desain Kapasitas**

Desain kapasitas merupakan metode suatu struktur bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan akibat menerima beban terutama beban gempa rencana atau beban gempa yang lebih besar. Dalam mendesain struktur bangunan gedung hal yang harus diperhatikan yaitu bahwa struktur gedung harus mempunyai prilaku inelastik struktur yang baik (Imran dan Hendrik, 2014).

Metode desain kapasitas pada dasarnya diaplikasikan pada perancangan struktur bangunan gedung yang mampu menahan beban gempa atau gaya lateral, hal ini dimaksudkan supaya pada saat terjadi gempa rencana atau lebih besar tidak terjadi keruntuhan yang sifatnya getas pada struktur. Pada struktur bangunan gedung terdapat beberapa bentuk keruntuhan, keruntuhan lentur merupakan contoh bentuk keruntuhan pada struktur bangunan yang bersifat daktail, sedangkan keruntuhan geser merupakan bentuk keruntuhan struktur yang bersifat getas (Imran dan Hendrik, 2014).



**Gambar 2. 1** Mekanisme leleh pada struktur gedung akibat beban gempa

(a) Leleh pada balok (b) Leleh pada kolom

(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

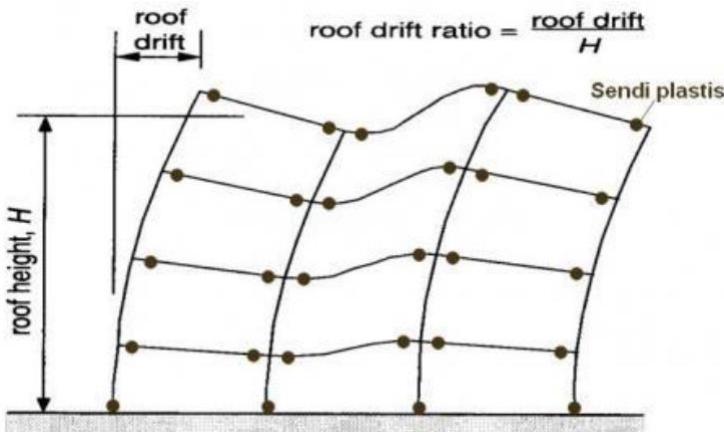
Perancangan struktur gedung harus mencegah terjadinya keruntuhan geser pada struktur dengan pendisipasi energi biasanya dirancang dengan kekuatan geser yang lebih tinggi dari pada gaya geser maksimum yang mungkin timbul pada saat elemen struktur mengembangkan kapasitas lenturnya. Mekanisme keruntuhan pada struktur beton bertulang dapat terjadi melalui mekanisme lentur tarik, lentur tekan, lentur geser, tarik diagonal, kegagalan angkur, kegagalan lekatan tulangan, kegagalan tekan dan lain-lain. Mekanisme lentur tarik merupakan mekanisme yang dapat menghasilkan perilaku yang paling duktial (Imran dan Hendrik, 2014).

Terdapat beberapa hirarki yang harus diperhatikan dalam perencanaan keruntuhan pada struktur dengan baik, yaitu berdasarkan (Imran dan Hendrik, 2014) :

1. Hirarki keruntuhan antar bahan-bahan yang membentuk penampang beton bertulang. Bahan baja dikenal sebagai bahan yang lebih duktial dari pada bahan beton. Oleh sebab itu keruntuhan penampang haruslah ditentukan oleh keruntuhan baja tulangan.
2. Hirarki keruntuhan antar mekanisme gaya pada elemen struktur. Mekanisme lentur dapat menghasilkan keruntuhan yang lebih duktial dibandingkan dengan mekanisme geser.

Oleh karena itu, mekanisme ini harus dipilih sebagai mekanisme penentu keruntuhan pada elemen struktur.

3. Hirarki keruntuhan antar elemen yang membentuk struktur, keruntuhan pada balok pada dasarnya menghasilkan perilaku yang lebih duktal dibandingkan dengan perilaku keruntuhan pada kolom. Oleh karena itu keruntuhan pada kolom sebaiknya harus dihindari dan dipertemuannya dengan elemen balok, elemen struktur kolom harus selalu dibuat lebih kuat dari pada elemen struktur balok yang merangka padanya (*Strong Column-Weak Beam*).
4. Hirarki keruntuhan antar mekanisme batas pada struktur portal. Mekanisme *beam sway* menghasilkan perilaku yang cukup baik dibandingkan perilaku *column sway* atau *soft storey*.



**Gambar 2. 2** Mekanisme keruntuhan ideal suatu struktur gedung  
 (Sumber :<http://www.perencanaanstruktur.com/2014/08/konsep-desain-strong-column-weak-beam.html>)

## 2.5. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang mempunyai komponen elemen struktur balok dan kolom yang dihubungkan dengan joint. Sistem ini mempunyai keuntungan

tidak menggunakan dinding struktural atau bresing vertikal dan diagonal. Dalam hal ini sangat mudah untuk mendesain arsitektur bangunan gedung tersebut (Hamburger,dkk 2009).

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur rangka ruang yang mampu secara lengkap memikul beban gravitasi. Sedangkan untuk beban lateral atau beban gempa yang terjadi dipikul oleh rangka pemikul momen mengandalkan kekuatan lentur yang dimiliki struktur tersebut. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) terbagi tiga bagian yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) (SNI 1726:2012).

## 2.6. Faktor Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan deformasi inelastik suatu struktur dan kemampuan struktur untuk mempertahankan sebagian besar dari kekuatan awalnya pada saat menerima beban yang bekerja tanpa kehilangan kekuatan yang berarti. Faktor daktilitas adalah rasio deformasi inelastis pada saat struktur menerima pembebanan rencana. Deformasi yang terjadi dapat berupa perpindahan translasi, perpindahan rotasi, kelengkungan dan regangan. Sedangkan daktilitas struktur merupakan kemampuan struktur mengalami simpangan pasca elastis yang besar secara berulangkali dan bolak-balik akibat gempa yang menyebabkan terjadinya peleahan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dankekakuan yang cukup, sehingga struktur tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi diambah keruntuhan.

Konsep daktilitas struktur pada perencanaan struktur beton bertulang dengan memperhitungkan deformasi struktural yang bersifat daktail dengan cara mendisipasikan energi pada elemen-elemen struktur. Pada struktur beton hanya daktilitas penampang dan daktilitas struktural yang diperhitungkan. Daktilitas penampang menggambarkan sifat inelastis penampang momen lentur, sedangkan daktilitas struktural menggambarkan sifat inelastis penampang akibat beban lateral atau beban gempa. Daktilitas penampang akan digambarkan dalam kurva momen

kelengkungan, sedangkan daktilitas struktural digambarkan dalam kurva gaya lateral (Artiningsih, 2008).

## **2.7. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)**

Sistem rangka pemikul momen mempunyai elemen-elemen struktur yang dirancang untuk mendisipasikan beban gempa dan juga ada yang dirancang tidak untuk medisipasikan beban gempa yang terjadi baik beban rencana atau yang lebih besar.

Pada sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) ada bagian elemen-elemen struktur yang mengalami sendi-sendi plastis sebagai tempat untuk mendisipasikan beban gempa yang terjadi. Pada sistem struktur rangka pemikul momen khusus, struktur akan mengalami perilaku inelastik yang diterima melalui pembentukan sendi-sendi plastis tersebut. Sistem rangka pemikul momen khusus mempunyai sifat *flexibilitas* yang tinggi, sehingga mampu meredam gaya geser sehingga gaya geser yang terjadi pada struktur akan berkurang, dan sistem ini juga mempunyai kapasitas yang tinggi untuk mendisipasikan beban gempa yang terjadi pada sendi-sendi plastis yang terbentuk pada ujung-ujung balok (Adan dan Hamburger, 2010).

### **2.7.1. Persyaratan *Detailing* Komponen Lentur SRPMK**

#### A. Persyaratan gaya dan geometri

Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur dimana gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada penampangnya tidak melebihi  $0,1 A_g f'_c$ , dengan  $A_g$  adalah luas penampang komponen struktur. Secara geometri, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk komponen lentur (Imran dan Hendrik, 2014) :

1. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya (lentur).

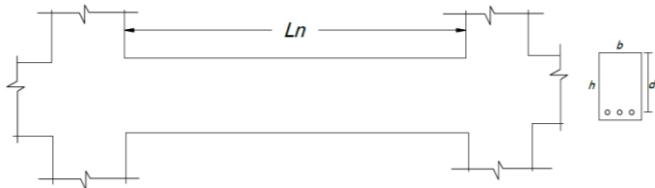
$$L_n > 4d \quad (2.1)$$

2. Perbandingan lebar terhadap tinggi komponen struktur tidak boleh kurang dari 0,3.

$$b/h < 0,3 \quad (2.2)$$

3. Lebar penampang seharusnya :

- a.  $\geq 250 \text{ mm}$ .
- b.  $\leq$  lebar kolom ditambah jarak pada setiap sisi kolom yang tidak melebihi  $3/4$  tinggi komponen struktur lentur. Persyaratan ini terkait dengan transfer momen akibat gempa dari elemen struktur balok ke kolom.



$$\frac{l_n}{d} \geq 4; \frac{b}{h} \geq 0,3 \text{ dan } 250 \text{ mm} < b \leq c + 2 \left( \frac{3}{4} h \right)$$

**Gambar 2. 3** Ketentuan dimensi penampang balok  
(Sumber :Imran dan Hendrik, 2014)

B. Persyaratan tulangan lentur

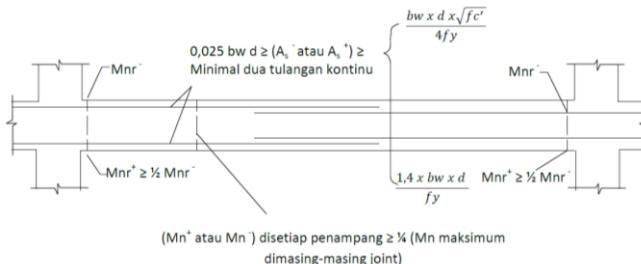
Ada beberapa syarat tulangan lentur yang perlu diperhatikan pada perencanaan komponen lentur SRPMK, yaitu (Imran dan Hendrik, 2014) :

1. Tulangan terpasang baik tulangan tekan maupun tulangan tarik harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang

$$\text{disyaratkan, yaitu} \left( \frac{0,25 \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \right) \text{ atau} \left( \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \right)$$

(dengan  $b_w$  dan  $d$  masing-masing adalah lebar dan tinggi efektif panampang komponen lentur). Rasio tulangan lentur maksimum ( $\rho_{\text{maks}}$ ) juga dibatasi sebesar 0,025. Selain itu, pada penampangnya harus terpasang secara menerus minimal dua batang tulangan atas dan tulangan bawah.

2. Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat letur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang disepanjang bentang tidak boleh lebih kurang dari  $1/4$  kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.



**Gambar 2. 4** Persyaratan tulangan lentur

(Sumber :Imran dan Hendrik, 2014)

- Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada :
  - Daerah hubungan balok-kolom.
  - Daerah hingga jarak dua kali tinggi balok (h) dari muka kolom.
  - Lokasi-lokasi yang berdasarkan hasil analisis, memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastis struktur portal bangunan.



**Gambar 2. 5** Persyaratan sambungan lewatan

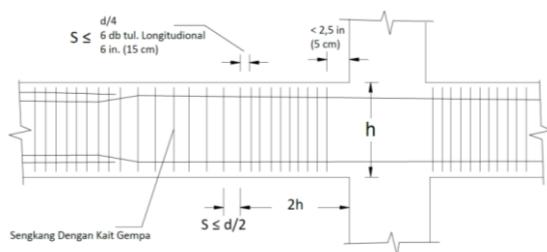
(sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

### C. Persyaratan tulangan transversal

Tulangan transversal pada komponen lentur dibutuhkan terutama untuk menahan geser, menekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral bagi batang-batang tulangan lentur dimana tegangan leleh dapat terbentuk. Karena pengelupasan (*Spalling*) selimut beton dapat terjadi pada saat gempa kuat, terutama di daerah sendi plastis dan di daerah sekitarnya, maka semua tulangan transversal pada elemen SRPMK

harus terbentuk sengkang tertutup. Beberapa persyaratan harus dipenuhi untuk pemasangan tulangan sengkang tertutup, yaitu (Imran dan Hendrik, 2014) :

1. Sengkang tertutup harus dipasang :
  - a. Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan.
  - b. Disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang yang berpotensi membentuk sendi plastis.
2. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi :
  - a.  $d/4$
  - b.  $6d$  terkecil tulangan memanjang
  - c. 150 mm



**Gambar 2. 6** Persyaratan tulangan transversal

(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

#### D. Persyaratan kuat geser komponen struktur lentur

Persyaratan kuat geser perlu ( $V_e$ ) untuk perencanaan geser bagi komponen struktur lentur SRPMK harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada komponen struktur antara dua muka tumpuan (Imran dan Hendrik, 2014). Menghitung gaya geser ultimit dengan pers 2.3

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2} \quad (2.3)$$

Dimana :

- $V_e$  = Gaya geser ultimit balok akibat gempa
- $M_{pr1}$  = *Probable moment* di perletakan 1 akibat goyangan kekiri atau kekanan
- $M_{pr2}$  = *Probable moment* di perletakan 2 akibat goyangan kekiri atau kekanan
- $W_u$  = pengaruh beban gravitasi  
=  $1,2D + 1,0L$
- $l_n$  = panjang bentang bersih balok

Momen ujung  $M_{pr}$  (*probable moment capacity*) didefinisikan sebagai momen maksimum yang diperlukan untuk membuat penampang desain (yaitu penampang dengan dimensi dan konfigurasi baja tulangan sesuai desain) membentuk sendi plastis. Momen ujung  $M_{pr}$  dihitung dengan pers 2.4 dan 2.5.

$$A_{pr} = \frac{1,25 A_g f_y a}{0,85 f'_c bde} \quad (2.4)$$

$$M_{pr} = 1,25 A_g f_y \left( d \frac{A_{pr}}{2} \right) \quad (2.5)$$

Tulangan transversal harus dirancang untuk menahan kuat geser perlu dengan menganggap kontribusi penampang beton dalam menahan geser ( $V_c$ )=0 selama :

- Gaya geser akibat gempa ( $V_e$ ) mewakili setengah atau lebih kuat geser perlu maksimum disepanjang bentang arah tersebut.
- Gaya aksial akan terfaktor pada penampang, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari  $\frac{A_g \cdot f'_c}{20}$

### 2.7.2. Persyaratan *Detailing* Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial

#### A. Persyaratan geometri

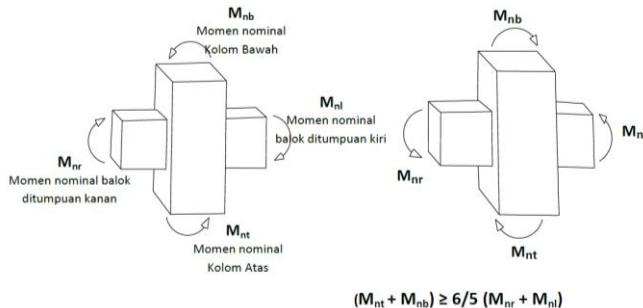
Besarnya beban aksial terfaktor yang bekerja pada komponen struktur kolom dibatasi tidak kurang dari  $0,1 A_g f'_c$ .

Beberapa persyaratan geometri juga harus dipenuhi oleh komponen struktur kolom SRPMK, diantaranya (Imran dan Hendrik, 2014) :

1. Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm.
2. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.

### B. Persyaratan lentur

Berdasarkan peraturan beton SNI 2847:2013, kuat lentur kolom SRPMK harus memenuhi ketentuan kolom kuat balok lemah (*Strong Column Weak Beam*) (Imran dan Hendrik, 2014).



**Gambar 2. 7 Konsep strong column weak beam**

(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

$$\sum M_e \geq \left(\frac{6}{5}\right) \sum M_g \quad (2.6)$$

Dengan :

$\sum M_e$  = Jumlah  $M_n$  kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom.  $M_n$  harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai  $M_n$  terkecil.

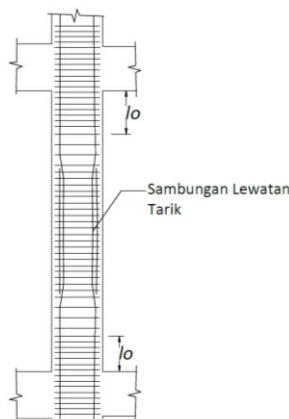
$\sum M_g$  = Jumlah  $M_n$  balok yang merangka pada hubungan balok-kolom.

Kuat lentur kolom harus memenuhi ketentuan kolom kuat-balok lemah (*Strong Column-Weak Beam*). Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom-kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Besarnya beban aksial yang bekerja pada kolom menyebabkan lebih rendahnya tingkat daktilitas kolom dibandingkan dengan daktilitas balok.

### C. Persyaratan tulangan lentur

Berdasarkan SNI 2847:2013, tulangan lentur kolom harus memenuhi beberapa persyaratan berikut :

1. Rasio penulangan dibatasi minimum tidak boleh kurang dari 0,01 dan maksimum tidak boleh dari 0,06. Batas bawah rasio tulangan lentur kolom terutama berguna untuk mengantisipasi pengaruh deformasi jangka panjang dan agar kuat lentur rencana penampang kolom lebih besar dari pada kuat lentur retaknya. Batas atas rasio tulangan lentur ditetapkan untuk menjaga agar tidak terjadi kongesti (kerapatan) tulangan yang berlebihan pada penampang, khususnya di daerah sambungan lewatan.
2. Sambungan mekanisme tipe 1 untuk penyambungan tulangan lentur (dengan kekuatan 125% kuat leleh batang tulangan yang disambung) tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi membentuk sendi-sendi plastis, kecuali sambungan mekanis tipe 2 (yaitu sambungan mekanis dengan kekuatan yang lebih kuat dari kuat tarik batang tulangan yang disambung).
3. Sambungan las untuk penyambungan tulangan lentur (dengan kekuatan 125% kuat leleh batang tulangan yang disambung) tidak boleh ditempatkan di lokasi yang berpotensi membentuk sendi plastis.
4. Sambungan lewatan hanya diizinkan di lokasi setengah panjang elemen struktur yang berada di tengah, direncanakan sebagai sambungan lewatan tarik, dan harus diikat dengan tulangan spiral atau sengkang tertutup yang direncanakan sesuai ketentuan tulangan transversal.



**Gambar 2.8** Sambungan lewatan pada kolom  
(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

#### D. Persyaratan tulangan transversal

Tulangan transversal pada kolom utama berfungsi untuk mengekang daerah inti kolom. Tulangan transversal pada kolom dapat berupa tulangan spiral atau tulangan sengkang tertutup. Pada saat kolom menerima gaya aksial tekan, inti kolom mengembang karena adanya pengaruh rasio *poisson* dan sifat dilatasi material beton (Imran dan pantazopoulou, 2001). Pengembangan ini menyebabkan tulangan sengkang tertutup atau spiral yang melingkupi inti beton menjadi tertarik dan menimbulkan efek tegangan lateral terhadap inti beton.

SNI beton mensyaratkan bahwa jumlah tulangan spiral atau sengkang tertutup yang dipasang didaerah-daerah tertentu kolom yang berpotensi membentuk sendi plastis harus memenuhi ketentuan berikut :

1. Rasio *volumetrik* tulangan spiral dan sengkang cincin,  $\rho_s$ , tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s = 0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2.7)$$

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2.8)$$

2. Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari pada persamaan-persamaan dibawah ini :  
Untuk potongan penampang yang arah normalnya searah sumbu x

$$A_{shx} = 0,3 \left( sb_{cx} \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2.9)$$

$$A_{shx} = 0,09 \left( sb_{cx} \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (2.10)$$

Untuk potongan penampang yang arah normalnya searah sumbu y

$$A_{shy} = 0,3 \left( sb_{cy} \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2.11)$$

$$A_{shy} = 0,09 \left( sb_{cy} \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (2.12)$$

Dengan :

$A_{shx}$  = Luas penampang total tulangan transversal dalam rentang spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi  $b_{cx}$

$A_{shy}$  = Luas penampang total tulangan transversal dalam rentang spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi  $b_{cy}$

s = spasi tulangan transversal

$b_{cx}$  = Dimensi penampang inti kolom yang arah normalnya sejajar sumbu x, diukur dari sumbu ke sumbu tulangan transversal terluar

$b_{cy}$  = Dimensi penampang inti kolom yang arah normalnya sejajar sumbu y, diukur dari sumbu

	ke sumbu tulangan transversal terluar
$A_g$	= Luas bruto penampang kolom
$A_{ch}$	= Luas penampang inti kolom dari sisi luar ke sisi luar tulangan sengkang tertutup
$A_c$	= Luas penampang inti kolom dari sisi luar ke sisi luar tulangan spiral
$f_{yt}$	= kuat leleh tulangan transversal (maksimum 700 Mpa)

Berdasarkan SNI beton spasi tulangan transversal yang dipasang disepanjang daerah yang berpotensi membentuk sendi plastis (yaitu diujung-ujung kolom) tidak boleh lebih dari:

- a. 1/4 dimensi terkecil komponen struktur
- b. 6d tulangan longitudinal

$$c. \quad s_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (2.13)$$

Nilai  $s_x$  pada persamaan diatas dibatasi maksimum 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

Tulangan transversal dapat berupa tulangan sengkang tunggal atau tumpuk. Pengikat silang yang diameter dan spasinya sama dengan sengkang tertutup juga boleh dipergunakan. Persyaratan jarak maksimum yang diizinkan antar tulangan longitudinal kolom yang diberi penopang lateral, yaitu  $x \leq 350$  mm.

Daerah-daerah kolom yang membentuk sendi plastis, yang harus dipasangi tulangan transversal dengan luasan dan spasi sesuai ketentuan sebagai berikut :

- a. Sepanjang  $l_o$  dari setiap muka hubungan balok-kolom.
- b. Sepanjang  $l_o$  pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk leleh lentur (sendi plastis) akibat deformasi lateral inelastis pada struktur rangka.
- c. Sepanjang daerah sambungan lewatan tulangan longitudinal kolom.
- d. Kedalam kepala pondasi sejauh minimal 300 mm.

Panjang  $l_o$  dalam hal ini ditentukan tidak kurang dari :

1. Tinggi penampang struktur kolom pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur.
2. 1/6 bentang bersih struktur kolom.
3. 450 mm

Diluar daerah  $l_o$ , tulangan spiral atau sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih dari pada nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal kolom atau 150 mm.

#### E. Perencanaan geser

Gaya geser rencana ( $V_e$ ), untuk perencanaan geser kolom harus ditentukan berdasarkan gaya lentur maksimum. Momen  $M_{pr}$  kolom yang digunakan untuk perhitungan  $V_e$  tidak perlu lebih besar dari pada  $M_{pr}$  balok yang merangka pada hubungan balok-kolom yang sama. Gaya geser  $V_e$  yang digunakan untuk desain tidak boleh lebih kecil dari pada nilai gaya geser hasil analisis struktur (Imran dan Hendrik, 2014).

Perencanaan tulangan transversal yang dipasang disepanjang daerah  $l_o$ , untuk menahan gaya geser  $V_e$ , harus dilakukan dengan menganggap  $V_c = 0$  bila :

1. Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan  $M_{pr}$  mewakili 50% atau lebih kuat geser perlu maksimum pada bagian disepanjang  $l_o$ .
2. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui  $A_g f' / 10$

$$\text{Untuk Kolom : } V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u}$$



Momen ujung  $M_{pr}$  didasarkan pada tegangan tarik  $1,25 f_y$

**Gambar 2. 9** Perencanaan geser rencana untuk kolom  
(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

### 2.7.3. Persyaratan *Detailing Hubungan Balok-Kolom (Join) SRPMK*

Hubungan balok-kolom (join) merupakan elemen struktur yang paling penting dalam suatu sistem struktur rangka pemikul momen. Akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur, momen lentur ujung pada balok-balok yang merangka pada join yang sama akan memutar join pada arah yang sama (Imran dan Hendrik, 2014).

#### A. Persyaratan gaya dan geometri

Pada perencanaan hubungan balok-kolom, gaya pada tulangan lentur dimuka hubungan balok-kolom dapat ditentukan berdasarkan tegangan  $1,25f_y$ . Factor reduksi untuk perencanaan join dapat diambil sebesar 0,8. Beberapa persyaratan geometri harus dipenuhi untuk join SRPMK, diantaranya (Imran dan Hendrik, 2014) :

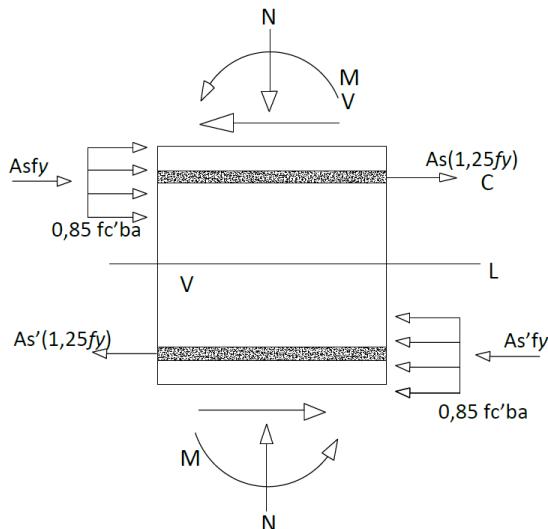
- Untuk beton normal, dimensi kolom pada hubungan balok-kolom dalam arah paralel tulangan longitudinal balok minimal harus 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar pada balok.
- Untuk beton ringan, dimensi minimumnya adalah 26 kali diameter

#### B. Persyaratan tulangan transversal

Tulangan transversal seperti sengkang tertutup yang dipasang pada daerah sendi plastis kolom harus dipasang juga di daerah hubungan balok-kolom (HBK). Bila balok-balok dengan lebar setidak-tidaknya tiga perempat ( $3/4$ ) lebar kolom merangka pada keempat sisi HBK maka tulangan transversal yang harus

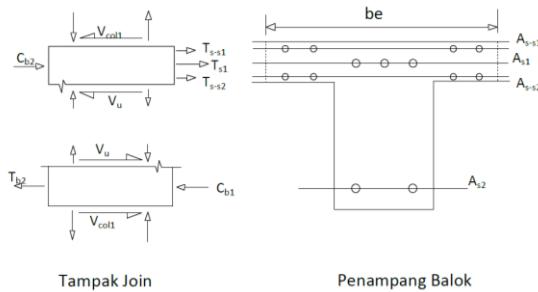
dipasang didaerah join hanyalah setengah (1/2) dari yang dipasang didaerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.

Gaya geser horizontal pada daerah HBK dapat dihitung dengan mengansumsikan bahwa elemen lentur yang merangka pada HBK tersebut telah mencapai kapasitasnya, dengan menetapkan gaya tarik tulangan lentur balok sebesar  $A_s(1,25f_y)$  (Imran dan Hendrik, 2014).



**Gambar 2. 10** Perhitungan geser horizontal pada hubungan balok kolom

(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)



**Gambar 2. 11** Perhitungan  $V_u$  pada hubungan balok-kolom  
(Sumber : Imran dan Hendrik, 2014)

Berdasarkan gaya geser horizontal di HBK dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_u = T_{b1} + T_{s1} + T_{s2} + C_{b2} - V_{col1} \quad (2.14)$$

Dengan

$$T_{b1} + T_{s1} + T_{s2} = \alpha f_y (A_{s1} + A_{s-s1} + A_{s-s2}) \quad (2.15)$$

$$C_{b2} = T_{b2} = A_{s2} \alpha f_y$$

$$\alpha = 1,25$$

Berdasarkan SNI beton, persamaan kuat geser HBK dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_{jn} = c \sqrt{f'_c \cdot A_j} \quad (2.16)$$

Dengan nilai  $c$  dibatasi sama dengan 1,7 untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya, 1,25 untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan, dan 1,0 untuk hubungan lainnya.

Pengangkuran tulangan lentur balok didaerah join dapat dilakukan dengan tulangan terkait atau tanpa kait, tergantung pada ketersediaan *space* didaerah join. Bila digunakan tulangan berkait maka panjang penyalurannya ditetapkan sebagai berikut:

- Untuk tulangan diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran  $l_{dh}$  untuk tulangan tarik untuk kait standar 90° dalam beton normal tidak boleh diambil lebih kecil dari  $8d_b$ , 150 mm.

2. Bila digunakan tulangan tanpa kait, untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik tidak boleh diambil lebih kecil dari:
  - a. Dua setengah (2,5) kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton bawah tulangan tersebut kurang dari 300mm.
  - b. Tiga setengah (3,5) kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.

## 2.8. Perencanaan Dimensi Elemen Struktur

Pada perencanaan struktur beton bertulang perlunya perencanaan pendahuluan atau *preliminary design* dengan tujuan mendapatkan dimensi elemen struktur seperti balok, kolom dan pelat. Pada perencanaan awal ini perlu memperhatikan ketentuan-ketentuan sesuai dengan peraturan beton SNI 2847:2013.

### 2.8.1. Perencanaan Dimensi Balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.1 dalam menentukan dimensi awal balok dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

- a. Menentukan data desain yang meliputi panjang balok dan data propertis material
- b. Rencanakan tinggi balok ( $h$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \quad (2.17)$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (2.18)$$

Keterangan :

$h_{\min}$  = tinggi minimum balok (mm)

$L$  = panjang balok (mm)

$f_y$  = tegangan leleh baja (Mpa)

- c. Bila  $f_y$  sama dengan 420 Mpa gunakan pers. 2.17, Bila  $f_y$  selain 420 Mpa gunakan pers. 2.18
- d. Rencanakan lebar balok (b) adalah  $2/3 h$ .

### 2.8.2. Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

Berdasarkan peraturan beton SNI 2847:2013 tebal pelat lantai tidak kurang dari 50 mm atau  $1/12 L$ , Tebal plat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Untuk  $\alpha_{fm}$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan 9.5.3.2

$$\alpha_{fm} = \frac{\sum \alpha n}{n} \quad (2.19)$$

Keterangan :

$\alpha_{fm}$  = nilai rata-rata  $\alpha$  yang menjepit pelat tersebut  
 $\alpha$  = rasio kekakuan balok terhadap pelat

- b. Untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 h, tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \geq 125mm \quad (2.20)$$

- c. Untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 2,0 ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \geq 90mm \quad (2.21)$$

- d. Karena kondisi balok dan pelat *monolit*,  $Ecb = Ecs$  dan suatu balok mencakup pelat maka di cek :

$\alpha_{fm} \leq 2,0$  maka  $h \geq 125$  mm

$\alpha_{fm} \geq 2,0$  maka  $h \geq 90$  mm

Dimana :

$l_n$  = panjang bersih dari sisi terpanjang

- $$\beta = \frac{\text{panjang bersih sisi terpanjang}}{\text{panjang sisi terpendek}}$$
- $\alpha$  = ratio dari kekuatan lentur penampang balok dengan kekuatan lentur pelat  
 $\alpha_{fm}$  = nilai rata-rata dari  $\alpha$  untuk semua balok pada suatu panel

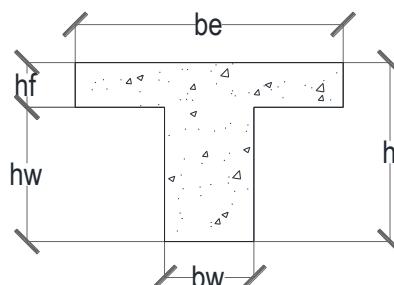
- e. Bentang bersih ( $l_n$ )
  - 1. Pelat tanpa balok  
 $l_n$  adalah jarak dari muka kolom ke muka kolom
  - 2. Pelat dengan balok  
 $l_n$  adalah jarak dari sisi balok atau jarak dari sisi balok kurang dari  $\frac{1}{2}$  kolom
- f. Menentukan nilai  $\alpha$

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \quad (2.22)$$

Dimana :

- $E_{cb}$  = Modulus elastisitas balok beton (Mpa)
- $E_{cp}$  = modulus elastisitas pelat beton(Mpa)
- $I_b$  = momen inersia panampang bruto balok ( $\text{mm}^4$ )
- $I_p$  = momen inersia penampang bruto pelat, ( $\text{mm}^4$ )
- g. Menentukan inersia pelat ( $I_p$ ) dan inersia balok ( $I_b$ )
  - 1. Balok dan pelat pada kedua sisinya

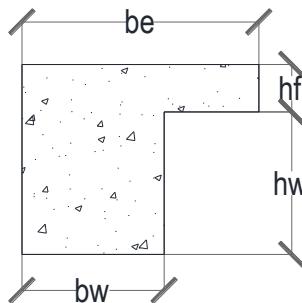
$$be = bw + 2hw \quad (2.23)$$



**Gambar 2. 12** Inersia pelat dan balok pada sisi tengah  
 (Sumber : SNI 2847:2013)

2. Balok dengan pelat pada satu sisi

$$be = bw + hw \quad (2.24)$$



**Gambar 2. 13** Inersia pelat dan balok pada sisi tepi

(Sumber : SNI 2847:2013)

### 2.8.3. Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam menentukan dimensi awal kolom dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

- Kolom yang akan dianalisis dipilih berdasarkan yang memikul beban terbesar lalu menentukan data desain yang meliputi :
  - Tebal pelat yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
  - Dimensi balok yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
  - Mutu beton yang akan digunakan ( $f'_c$ ).
- Mendefinisikan beban-beban yang akan menumpu pada kolom sesuai dengan SNI 1727:2012.
- Menghitung  $A_{perlu}$  dengan menggunakan pers. 2.24

$$A = \frac{1,5W}{\phi f'_c} \quad (2.24)$$

Keterangan :

$A$  = luas kolom yang dibutuhkan ( $\text{mm}^2$ )

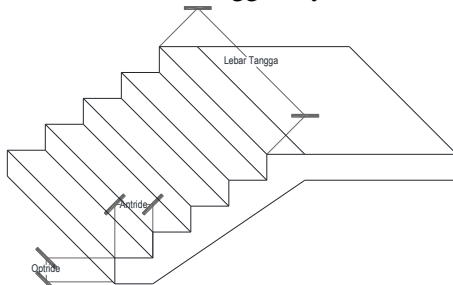
$W$  = total beban yang menumpu kolom

$\phi$  = faktor reduksi = 0,65

Cek dimensi kolom dengan  $h = b$  lebih besar dari 300 mm serta rasio  $b$  dan  $h$  lebih kecil dari 0,4.

#### 2.8.4. Perencanaan Dimensi Tangga

Tangga merupakan salah satu sarana penghubung dari dua tempat yang berbeda level / ketinggiannya.



**Gambar 2. 14** Anak tangga

Anak tangga (trede) adalah bagian dari tangga yang berfungsi untuk memijakkan/melangkahkan kaki kearah vertikal maupun horizontal (datar). Bidang trede yang datar yang merupakan tempat berpijaknya telapak kaki dinamakan antrede (langkah datar), sedangkan bidang tegak yang merupakan selisih tinggi antara dua trede yang berurutan dinamakan optrede (langkah tegak/naik).

Bordes adalah bagian dari tangga yang merupakan bidang datar yang agak lurus dan berfungsi sebagai tempat istirahat bila terasa lelah. Bordes dibuat apabila jarak tempuh tangga sangat panjang yang mempunyai jumlah trede lebih dari 20 buah atau lebar tangga cukup akan tetapi ruangan yang tersedia untuk tangga biasa tidak mencukupi.

Ketentuan-ketentuan konstruksi antrede dan optrede, antara lain :

1. Untuk bangunan rumah tinggal
  - a. Antrede = 25 cm (minimum)
  - b. Optrede = 20 cm ( maksimum)
  - c. Lebar tangga = 80 – 100 cm
2. Untuk perkantoran dan lain-lain
  - a. Antrede = 25 cm (minimum)

- b. Optrede = 17 cm (maksimum)
- c. Lebar tangga = 120 – 200 cm
- 3. Syarat langkah
  - 2 optrede + 1 antrede = 57 – 65 cm
- 4. Sudut kemiringan
  - Maksimum =  $45^\circ$
  - Minimum =  $25^\circ$

Secara umum, konstruksi tangga harus memenuhi syarat-syarat berikut :

  - a. Tangga harus mudah dijalani atau dinaiki
  - b. Tangga harus cukup kuat dan kaku
  - c. Ukuran tangga harus sesuai dengan sifat dan fungsinya
  - d. Material yang digunakan untuk pembuatan tangga terutama pada gedung-gedung umum harus berkualitas baik, tahan dan bebas dari bahaya kebakaran
  - e. Letak tangga harus strategis
  - f. Sudut kemiringan tidak lebih dari  $45^\circ$

### 2.8.5. Perencanaan Dimensi Balok Beton Prategang

Menentukan dimensi awal balok prategang yang akan digunakan sesuai dengan SNI 2847:2013. Penampang awal beton prategang didesain berdasarkan ketentuan pasal 18. Selain itu dapat juga digunakan asumsi yang sesuai dengan ketentuan tinggi dimensi balok:

$$h_{\min} = \frac{L}{20} \quad (2.25)$$

$$b = \frac{2}{3} h \quad (2.26)$$

Pada beban kerja, lengan momen untuk gaya dalam dapat bervariasi dari 30-80% dari keseluruhan tinggi penampang  $h$  dan rata-rata sekitar 0,65  $h$ . gaya prategang efektif  $F$  yang diperlukan.

$$F = T = \frac{M_T}{0,65h} \quad (2.27)$$

Jika gaya prategang satuan efektif untuk baja adalah  $f_s$ , maka luas baja yang diperlukan adalah:

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0,65h \cdot f_{se}} \quad (2.28)$$

Gaya prategang total  $A_{psfse}$  adalah juga gaya C pada penampang beton. Gaya ini akan menghasilkan tegangan satuan rata-rata pada beton, yaitu :

$$\frac{C}{A_c} = \frac{T}{A_c} = \frac{A_{ps}f_{se}}{A_c} \quad (2.29)$$

Tegangan serat atas ( $f_c$ ), akibat beban kerja menurut peraturan ACI adalah  $0,45f_c'$  tegangan-tegangan yang diizinkan pada baja dan beton untuk komponen struktur beton prategang. Untuk desain pendahuluan, tegangan rata-rata dapat diambil kira-kira 50% dari tegangan izin maksimum  $f_c'$ , untuk beban kerja.

$$\frac{A_{ps}f_{se}}{A_c} = 0,50f_c' \quad (2.30)$$

$$A_c \frac{A_{ps}f_{se}}{0,50f_c'} \quad (2.31)$$

## 2.9. Sistem Beton Prategang

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara aktif. Beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin dan Burns, 1996).

Berdasarkan buku (Lin dan Burns, 1996) Ada tiga konsep dasar beton prategang yaitu:

1. Konsep pertama, Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis, konsep ini memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan). Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan

(umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik), sehingga beton yang getas mampu memikul tegangan tarik. Gaya internal prategang dan beban eksternal, dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Retak pada beton akibat beban eksternal dicegah atau diperlambat dengan prategang yang dihasilkan oleh tendon.

2. Konsep kedua, sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton. Pada beton prategang baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekakuannya dimanfaatkan sepenuhnya. Baja perlu ditarik sebelumnya(pratarik) terhadap beton. Dengan menarik dan menjangkarkan baja ke beton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan tekan pada beton tekan.
3. Konsep ketiga, prategang untuk mencapai kesetimbangan beban, konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desainstruktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebahan yang terjadi.

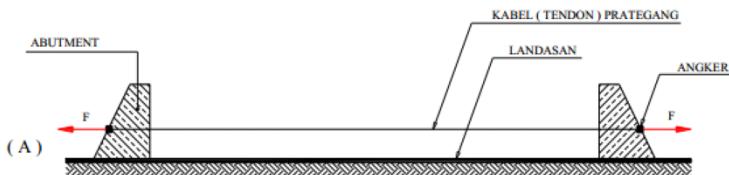
Ada beberapa macam sistem beton prategang ditinjau dari berbagai segi, yaitu :

1. Ditinjau dari cara penarikan

Beton prategang pada dasarnya dibagi menjadi dua menurut cara penarikan (Nawy, 2001) yaitu:

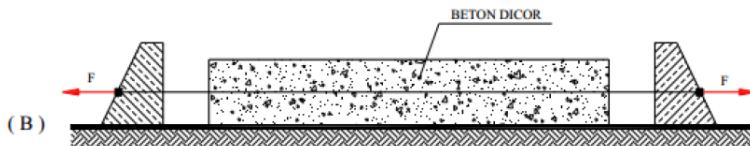
- a. Pratarik (*Pre tension method*)

Metode sistem prategang dimana tendon-tendon diberi gaya prategang terlebih dahulu sebelum beton dicor. Tendon-tendon harus diangkur sementara pada abutmen atau lantai penahan pada waktu ditarik dan gaya prategang dialihkan ke beton setelah beton mengeras.



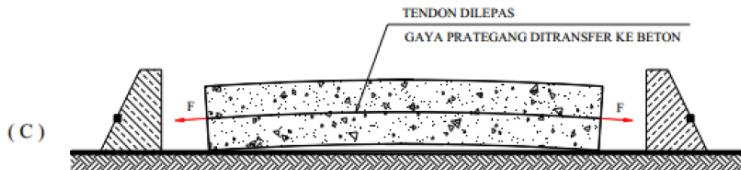
**Gambar 2. 15** Tendon ditarik dan diangkur

(Sumber : Nawy, 2001)



**Gambar 2. 16** Beton dicor

(Sumber : Nawy, 2001)



**Gambar 2. 17** Gaya Prategang ditransfer ke beton

(Sumber : Nawy, 2001)

Keterangan :

Gambar A : kabel prategang (tendon) ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangkur pada suatu abutmen tetap.

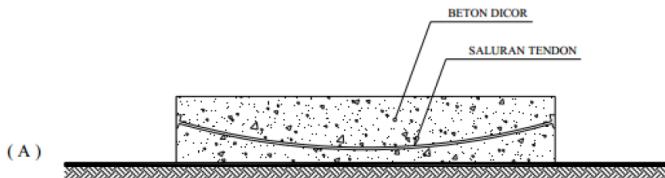
Gambar B : beton dicor pada cetakan (*formwork*) dan landasan yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengeras.

Gambar C : setelah tendon mengeras dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang,

tendon dipotong dan lepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton.

b. Pasca Tarik (*Post tension method*)

Suatu sistem prategang dimana tendon ditarik setelah beton mengeras. Tendon-tendon diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya prategang dilakukan. Metode ini dapat dilakukan pada elemen-elemen baik beton pracetak maupun beton yang dicetak di tempat.



**Gambar 2. 18** Beton dicor dengan selongsong tendon terpasang  
(Sumber : Nawy, 2001)



**Gambar 2. 19** Penarikan Tendon  
(Sumber : Nawy, 2001)



**Gambar 2. 20** Gaya prategang ditransfer ke beton  
(Sumber : Nawy, 2001)

Keterangan :

Gambar A : Dengan cetakan (*formwork*) yang telah disediakan lengkap dengan saluran / selongsong kabel prategang (*tendon duct*)

yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, dan kemudian beton dicor.

Gambar B : Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang,tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (*tendon duck*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gayaprategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik kedua sisi dan diangkur secara bersamaan. Setelah diangkur kemudian saluran *drouting* melalui lubang yang telah disediakan.

Gambar C : Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan jadi gayaprategang telah di transfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata ke balok yang arahnya ke atas, akibatnya balok melengkung ke atas.

2. Ditinjau dari keadaan distribusi tegangan pada beton
  - a. *Full prestressing*

Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekanan pada seluruh penampang. Hasil perhitungan tegangan dengan memakai teori kemungkinan menunjukkan bahwa pada penampang balok prategang sistem *full prestressing* terdapat kemungkinan sebesar  $\pm 50\%$  terjadi tegangan tarik pada serat terbawah, meskipun sudah didisain dengan konsep *full prestressing* (tidak ada tarik). Hal ini terjadi karena adanya *variabilitas* sifat-sifat baja dan beton serta beban yang bekerja, yang mengakibatkan nilai tegangan yang terjadi juga

bervariasi. Dari hasil perhitungan juga didapatkan bahwa tegangan tarik yang terjadi ada kemungkinan sebesar  $\pm 20\%$  akan melebihi tegangan tarik ijinnya. Tentu saja hal ini juga menunjukkan bahwa masih ada kemungkinan yang cukup besar akan terjadi retak pada balok sistem *full prestressing*. Dari hasil diatas maka disarankan bahwa meskipun balok prategang telah didisain dengan sistem *full prestressing*, maka sebaiknya tetap diberi tulangan baja pasif pada daerah serat bawah untuk menghindari terjadinya retak (Darmawan, 2009).

#### *b. Partial prestressing*

Beton prategang parsial adalah beton dengan kombinasi *strand* prategang dan tulangan biasa. Sifat lentur balok beton prategang parsial sangat tergantung pada besarnya *Partial Prestressing Ratio* (PPR). PPR adalah rasio momen batas akibat *strand* prategang terhadap momen batas total penampang. Apabila PPR terlalu kecil maka balok beton berperilaku seperti balok beton bertulang, yaitu kekuatan rendah tetapi bersifat daktail sehingga menyebabkan retak permanen dan memungkinkan *strand* prategang berkarat. Sebaliknya bila PPR terlalu besar maka balok beton berperilaku seperti balok beton prategang penuh, yaitu kekuatan tinggi tetapi bersifat getas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada batas PPR 40% - 70% balok mempunyai kekuatan yang tinggi tetapi masih bersifat daktail (Artiningsih, 2008).

#### **2.9.1. Gaya Prategang**

Gaya tarik prategang  $F$  pada tendon menghasilkan gaya tekan  $F$  yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Pada keadaan ini gaya berada pada titik berat penampang beton. Akibat gaya  $F$  tegangan merata sebesar.

$$f = \frac{F}{A} \quad (2.32)$$

Keterangan :

- f = Tegangan tekan merata
- A = Luas penampang beton

Akan timbul pada penampang seluas A. jika M adalah momen eksternal pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang akibat M adalah :

$$f = \frac{My}{I} \quad (2.33)$$

Keterangan :

- f = tegangan tekan merata
- M = momen eksternal dan internal
- y = jarak sumbu yang melalui titik berat
- I = inersia penampang beton

Distribusi tegangan yang dihasilkan adalah :

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{My}{I} \quad (2.34)$$

Penentuan gaya prategang awal sangat dipengaruhi oleh momen total. Gaya prategang ini yang kemudian disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai dengan pemilihan penampang. Gaya prategang ditentukan dengan pers. 2.35.

$$F = \frac{M_T}{0,65h} \quad (2.35)$$

Keterangan :

- $M_T$  = momen akibat beban mati tambahan, berat sendiri dan beban hidup
- h = tinggi balok

### 2.9.2. Indeks Beton Prategang Parsial dan Beton Bertulang

Beton Prategang Parsial adalah beton prategang yang menggunakan kombinasi baja prategang dan baja non prategang pada daerah tarik penampang.

Ada dua indeks yang paling umum adalah tingkat prategang  $\lambda$ , dan *Prategang Parsial Ratio* (PPR). Penentuan Indeks ini dapat dilihat pada pers. 2.36 dan pers. 2.37

$$\lambda = \frac{M_{DEC}}{M_D + M_L} \quad (2.36)$$

Keterangan :

$M_{DEC}$  = momen dekompresi (momen total tepat pada serat bawah Mengalami tegangan = 0)

$M_D$  = momen beban mati

$M_L$  = momen beban hidup

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n} \quad (2.37)$$

Keterangan :

$M_{np}$  = kapasitas momen nominal dari beton prategang

$M_n$  = total kapasitas momen nominal

Dalam perancangan sebelumnya, semua momen dihitung pada bagian kritis. Umumnya akan digunakan PPR untuk menggambarkan tingkat prategang pada elemen lentur. studi dan contoh-contoh yang dijelaskan dalam penelitian sebelumnya biasanya  $PPR < 1$ , dan elemen adalah pra tarik kecuali dinyatakan lain.

Karakterisasi jumlah total tulangan lentur dalam elemen juga penting. Penentuan Indeks penulangan ( $\omega$ ) dapat dilihat pada pers. 2.38

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c} + \rho_p \frac{f_{ps}}{f'_c} + \rho' \frac{f_y}{f'_c} \leq 0,3 \quad (2.38)$$

Dimana :

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (2.39)$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} \quad (2.40)$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{bd_p} \quad (2.41)$$

Keterangan :

- $A_{ps}$  = luas tulangan prategang di zona penegangan ( $\text{mm}^2$ )
- $A_s$  = luas tulangan *nonprestressed* ( $\text{mm}^2$ )
- $A'_s$  = luas kompresi tulangan *nonprestressed* ( $\text{mm}^2$ )
- $b$  = lebar elemen (mm)
- $d$  = jarak dari serat tekan paling jauh ke *centroid* dari *nonprestressed* (mm)
- $dp$  = jarak dari serat tekan paling jauh ke *centroid* tulangan prategang (mm)
- $f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)
- $f_{ps}$  = tegangan nominal prategang (MPa)
- $f_y$  = tegangan leleh tulangan *nonprestressed* (MPa)

### 2.9.3. Kontrol Tegangan

1. Tegangan tarik pada baja prategang, tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :
  - a. Tegangan izin akibat gaya penarikan (*jacking*) baja prategang adalah  $0,8 f_{pu}$  atau  $0,94 f_{py}$  (SNI 7833:2012 Ps. 6.5.1). Diambil yang lebih kecil, tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pembuat kabel atau angkur.
  - b. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang tegangan izin tendon memiliki nilai  $0,82f_{py}$  tetapi tidak lebih besar dari  $0,74 f_{pu}$  (SNI 7833:2012) Ps. 6.5.1.
  - c. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan kopel (*couplers*) sesaat setelah penyaluran gaya prategang adalah  $0,70 f_{pu}$  (SNI 7833:2012 Ps. 6.5.1). Namun berdasarkan Lin dan Burns, persamaan diatas juga berlaku untuk tenton pra tarik segera setelah peralihan gaya prategang.
2. Tegangan izin beton, tidak boleh melampaui batas nilai-nilai berikut :

Kekuatan desain komponen struktur prategang terhadap beban lentur dan aksial harus didasarkan pada klasifikasi sebagai kelas U, kelas T, atau kelas C berdasarkan  $ft$ , tegangan serat terluar dalam zona Tarik prategang yang dihitung pada tahap beban layan sebagai berikut :

- Kelas U :  $ft \leq 0,62\sqrt{f'_c}$
  - Kelas T :  $0,62\sqrt{f'_c} < ft \leq 1,0\sqrt{f'_c}$
  - Kelas C :  $ft \leq 1,0\sqrt{f'_c}$
- a. Setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan tergantung waktu).
- Tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut :  
Tekan =  $0,6 f'_{ci}$  (SNI 7833:2012 Ps. 6.4.1)
  - Tegangan serat-serat terluar pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana :  
Tekan =  $0,7\sqrt{f'_{ci}}$  (SNI 7833:2012 Ps. 6.4.1)  
Jika ketentuan tarik beton yang dihitung ( $f_t$ ), melebihi  $0,5\sqrt{f'_{ci}}$  pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana, atau  $0,25\sqrt{f'_{ci}}$  pada lokasi lainnya, maka harus dipasang tulangan lekatan tambahan dalam zona tarik untuk menahan gaya tarik total dalam beton, yang dihitung bersadarkan asumsi penampang yang tidak retak.
- b. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang yang diizinkan, untuk komponen lentur prategang kelas U dan kelas T.
- Tegangan serat-serat terluar dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban tetap :  
Tekan =  $0,45 f'_c$  (SNI 7833:2012 Ps. 6.4.2)
  - Tegangan serat-serat terluar dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban total :  
Tekan =  $0,6 \sqrt{f'_c}$  (SNI 7833:2012 Ps. 6.4.2)

#### 2.9.4. Kekuatan Batas Balok Prategang

Perhitungan kuat *ultimate* dari balok prategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal B.18.8.3 mengenai jumlah total baja tulangan prategang dan bukan prategang pada komponen struktur harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 kali beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar  $0,62\lambda\sqrt{f'_c}$  sehingga didapat  $\bar{\Omega}M_n \geq 1,2 M_{cr}$  dengan nilai  $\bar{\Omega}=0,9$ .

Kekuatan batas balok prategang yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut :

$$1,2 M_{cr} \leq M_u \leq \bar{\Omega}M_n \quad (2.42)$$

Keterangan :

$M_{cr}$  = momen retak balok prategang

$M_u$  = momen *ultimate* balok prategang

$\bar{\Omega}M_n$  = kapasitas penampang balok prategang

Nilai momen retak dapat dihitung dengan pers. 2.43 dan 2.44 sebagai berikut (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan) :

$$-f_r = \frac{F_i}{A} + \frac{F_i \times e}{I} \times Y - \frac{M_{cr} \times Y}{I} \quad (2.43)$$

$$M_{cr} = \left( \frac{F_i}{A} + \frac{I}{Y} \right) + \left( \frac{F_i \times e \times Y}{I} \times \frac{I}{Y} \right) \times \left( f_r \times \frac{I}{Y} \right) \quad (2.44)$$

Keterangan :

$I$  = inersia balok

$e$  = eksentrisitas dari cgc

$A$  = luas penampang balok

$Y$  = garis netral balok

$f_r$  = modulus keruntuan =  $0,7 \sqrt{f'_c}$

#### 2.9.5. Tahap-tahap Pembebanan Beton Prategang

Beton prategang mengalami beberapa tahap pembebanan yang harus dianalisa. Pada setiap tahap pembebanan harus dilakukan pengecekan atas kondisi pada bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik pada setiap penampang. Pada tahap tersebut berlaku tegangan izin yang berbeda-beda. Dua tahap

pembebaan pada beton prategang tersebut adalah tahap *transfer* dan tahap layan (*service*).

1. Tahap awal (*transfer*)

Tahap dimana struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini terdiri dari :

a. Sebelum diberi gaya prategang

Sebelum beton diberi gaya prategang, beton cukup lemah dalam memikul beban, oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada perletakan.

b. Pada saat diberi gaya prategang

Merupakan percobaan yang kritis dari kekuatan tendon. Seringkali tegangan maksimum yang mungkin dialami oleh tendon terjadi pada saat penarikan.

c. Pada saat peralihan gaya prategang

Untuk komponen-komponen pratarik, peralihan gaya prategang dilakukan sekaligus dan dalam waktu yang singkat. Untuk komponen-komponen struktur pasca tarik, peralihan seringkali secara bertahap, gaya prategang pada tendon-tendon dialihkan ke beton satu per satu. Pada kedua keadaan tersebut tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendirinya.

d. *Desentring* dan penarikan kembali

Jika sebuah komponen struktur dicor dan diberi gaya prategang di tempat, maka pada umumnya komponen tersebut akan memikul sendiri selama atau sesudah diberi gaya prategang. Jadi bekisting dapat dibongkar setelah diberi gaya prategang, dan tidak ada pembebaan baru terjadi pada struktur. Beberapa struktur beton mengalami penarikan ulang ini adalah sistem prategang dalam dua tahap atau lebih. Jadi tegangan-tegangan pada berbagai macam tahap penarikan harus terjadi.

2. Tahap akhir (*service*)

Tahap akhir ini adalah bila beban kerja yang sesungguhnya bekerja pada struktur. Seperti konstruksi-konstruksi lain,

pendisain harus mempertimbangkan berbagai macam kombinasi beban hidup pada setiap bagian yang berbeda dari struktur akibat beban-beban lateral seperti angin dan gaya-gempa, dan dengan beban-beban tegangan seperti yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh temperatur. Untuk struktur beton prategang, terutama untuk jenis-jenis yang tidak umum, seringkali perlu untuk menyelidiki retak-retak dan beban batasnya, perilakunya akibat beban yang bekerja tetap (*sustained load*) selain akibat beban kerja.

a. Beban yang bekerja tetap (*Sustained Load*)

Lendutan ke atas atau ke bawah dari komponen struktur prategang akibat beban tetap yang sesungguhnya (sering hanya terdiri dari beban mati) seringkali merupakan faktor penentu dalam desain, karena pengaruh dalam rangkak akibat lentur akan memperbesar nilainya. Sehingga seringkali dikehendaki untuk membatasi besar lendutan akibat beban tetap.

b. Beban kerja

Untuk mendesain akibat beban kerja haruslah ada pemeriksaan terhadap tegangan dan regangan yang berlebihan. Tidak perlu ada suatu jaminan atas kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang berlebihan.

c. Beban retak

Retak pada komponen beton prategang berarti perubahan yang mendadak pada tegangan retak dan tegangan geser. Hal ini seringkali merupakan ukuran bagi kekuatan lelah.

d. Beban batas

Struktur yang didesain berdasarkan tegangan kerja mungkin tidak terlalu mempunyai angka keamanan yang cukup untuk kelebihan beban. Karena disyaratkan bahwa sebuah struktur memiliki kapasitas minimum tertentu, maka perlu ditentukan kekuatan batasnya (*ultimate strength*). Secara umum kekutan batas dari sebuah

struktur didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul secara hancur.

## 2.10. Pembebanan Pada Struktur

Dalam perencanaan struktur harus memperhitungkan pengaruh-pengaruh aksi sebagai akibat dari beban-beban berikut ini sesuai dengan peraturan PPIUG 1987 dan SNI 1727:2013.

Ada 2 jenis beban penting pada konstruksi bangunan gedung :

1. Beban gravitasi
  - a. Beban mati (D)
  - b. Beban hidup (L)
  - c. Beban hujan (R)
  - d. Beban salju (S)
2. Beban lateral
  - a. Beban angin (W)
  - b. Beban sismik/gempa (E)

### 2.10.1. Beban mati (D)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, *plafond*, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *kladding* gedung dan komponen arsitektur dan struktural lainnya serta peralatan layan yang terpasang lain (SNI 1727:2013).

Besarnya nilai pembebanan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Berat sendiri bahan bangunan dari komponen gedung

Bahan Bangunan	Berat Sendiri	Satuan
Beton	2400	Kg/m <sup>3</sup>
Spesi	21	Kg/m <sup>2</sup>
Tegel	24	Kg/m <sup>2</sup>
Dinding	250	Kg/m <sup>2</sup>
Plafond	11	Kg/m <sup>2</sup>
Penggantung	7	Kg/m <sup>2</sup>
Plumbing	10	Kg/m <sup>2</sup>
Sanitasi	20	Kg/m <sup>2</sup>
Aspal	14	Kg/m <sup>2</sup>

(sumber : PPIUG Bab 2)

### 2.10.2. Beban hidup (L)

Beban yang diakibatkan oleh pengguna atau penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati (SNI 1727:2013).

Berdasarkan SNI 2847:2013 Tabel 4-1, beban hidup gedung asrama ( hunian) harus diambil paling sedikit sebesar  $192 \text{ kg/m}^2$ . Sedangkan untuk beban hidup pada atap harus diambil paling sedikit sebesar  $96 \text{ kg/m}^2$ .

#### a. Beban hidup reduksi pelat lantai

Berdasarkan SNI 1727:2012 Pasal 4.7 semua beban hidup merata pada lantai dapat direduksi dengan menggunakan Pers. 2.45 kecuali untuk beban hidup merata pada atap.

$$L = L_o \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \quad (2.45)$$

Keterangan :

$L$  = beban hidup rencana tereduksi per  $\text{m}^2$  dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

$L_o$  = beban hidup rencana tanpa reduksi dari luasan yang didukung oleh komponen struktur  
(SNI 1727:2012 tabel 4-1)

$K_{LL}$  = faktor elemen beban hidup (SNI 1727:2012 tabel 4-2)

$A_T$  = luas *tributary* ( $\text{m}^2$ )

$L$  tidak boleh kurang dari  $0,5L_o$  untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan  $L$  tidak boleh kurang dari  $0,4L_o$  untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih.

#### b. Beban hidup reduksi pelat lantai atap

Atap biasa, dan lengkung diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup atap yang direduksi, sebagaimana ditentukan dalam Pers. 2.46.

$$L_r = L_o R_1 R_2 \text{ dengan } 0,58 \leq L_r \leq 0,96 \quad (2.46)$$

Keterangan :

$L_r$  = beban hidup atap tereduksi per  $m^2$  dari proyeksi horizontal dalam ( $kg/m^2$ )

Faktor reduksi  $R_1$  dan  $R_2$  harus ditentukan sebagai berikut :

- 1 untuk  $A_T \leq 18,58 m^2$
- $R_1 = 1,2 - 0,011 A_T$  untuk  $18,58 m^2 < A_T < 55,74 m^2$
- 0,6 untuk  $A_T \geq 55,74 m^2$

Keterangan :

$A_T$  = luas *tributary* dalam  $m^2$  yang didukung oleh setiap komponen struktur

- 1 = untuk  $F \leq 4$
- $R_2 = 1,2 - 0,05 F$  untuk  $4 < F < 12$
- 0,6 untuk  $F \geq 12$

Keterangan :

Untuk atap berhubung,  $F$  = jumlah peninggian dalam *inch per foot* (dalam SI :  $F = 0,12 \times$  kemiringan (*slope*), dengan kemiringan dinyatakan dalam persentase), dan untuk atap lengkung atau kubah,  $F$  = rasio tinggi terhadap bentang dikalikan dengan 32.

### 2.10.3. Beban sismik/gempa (SNI 1726:2012)

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur besmen, dan/atau struktur pondasinya. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan.

Prosedur analisis beban sismik SNI gempa 1726:2012 pada bangunan gedung adalah sebagai berikut:

1. **Menentukan kategori resiko struktur bangunan (I-IV) dan faktor keutamaan ( $I_e$ )**

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.2 (SNI 1726:2012), pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 2 (SNI 1726:2012).

**Tabel 2. 2** kategori resiko bangunan gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, pertemakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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>	III
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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
Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

(*Sumber SNI 1726:2012 Tabel 1*)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 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, 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 disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 1)

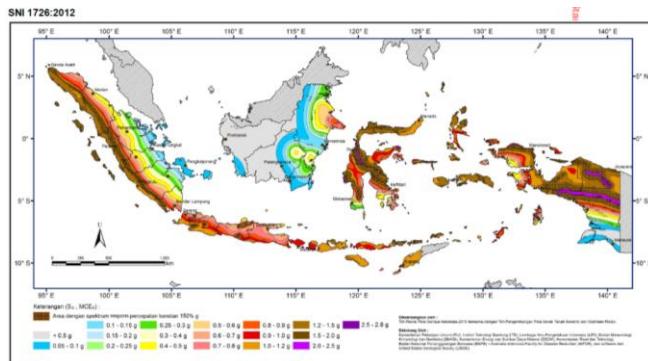
**Tabel 2. 3** Faktor keutamaan gempa

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

(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 2)

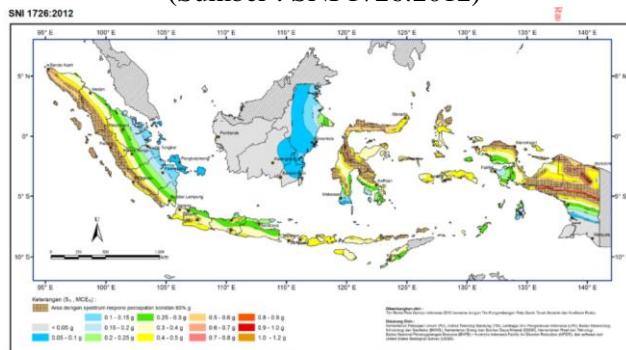
## 2. Menentukan parameter percepatan gempa ( $S_s$ , $S_1$ )

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$ (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Gambar 2. 21 Peta untuk SS

(Sumber : SNI 1726:2012)



Gambar 2. 22 Peta untuk S1

(Sumber : SNI 1726:2012)

### 3. Menentukan kelas situs (SA – SF)

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.4, 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)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 3)

#### 4. Menentukan koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-terget (MCE<sub>R</sub>)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE<sub>R</sub> dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periода 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCE<sub>R</sub> terpetakan untuk perioda pendek

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik

**Tabel 2. 5 Koefisien situs (Fa)**

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

**CATATAN:**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

*(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 4)*

**Tabel 2. 6 Koefisien situs (Fv)**

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

**CATATAN :**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

*(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 5)*

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (SDS) dan pada periode satu detik(SD1), Harus ditentukan dengan perumusan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.47)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.48)$$

## 5. Menentukan spektrum respons desain

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

Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_o$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \quad (2.49)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_o$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , Sama dengan SDS. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.50)$$

Keterangan :

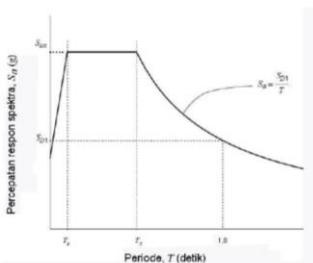
$S_{DS}$  = parameter respons spektre percepatan desain pada perioda pendek

$S_{D1}$  = parameter respons spektre percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = perioda getar fundamental struktur

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.51)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.52)$$



**Gambar 2. 23 Respons spektra**  
(Sumber : SNI 1726:2012)

#### 6. Menentukan kategori desain seismik (A – D)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral 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 risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral 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.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori resikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan kedalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.7 atau 2.8, terlepas dari nilai periода fundamental getaran struktur,  $T$ .

Apabila  $S_1$  lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel2.7, dimana berlaku ketentuan-ketentuan dibawah:

**Tabel 2. 7** Kategori desain seismik perioda 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

(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 6)

**Tabel 2. 8** Kategori desain seismik perioda 1 detik

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

(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 7)

## 7. Pemilihan sistem struktur dan parameter sistem ( $R$ , $C_d$ , $\Omega_0$ )

Sistem penahanan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 2.9. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 2.9. Koefisien modifikasi respons yang sesuai( $R$ ), faktor kuat lebih sistem( $\Omega$ ) dan koefisien amplifikasi defleksi, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

**Tabel 2.9** Faktor R, Cd dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^c$	Faktor pemerasan defeksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>	
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>	<b>7.1.1</b>	<b>7.1.2</b>	<b>7.1.3</b>	<b>7.1.4</b>	<b>7.1.5</b>	<b>7.1.6</b>	<b>7.1.7</b>	<b>7.1.8</b>	
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30	
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI	
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2½	4	TB	TB	12 <sup>f</sup>	12 <sup>f</sup>	12 <sup>f</sup>	
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI	
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30	
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI	
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¼	TB	48	TI	TI	TI	
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI	
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI	
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI	
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI	
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20	
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20	
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dan semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI	
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20	
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
2. Rangka baja dengan bresing konsentrifis khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30	
3. Rangka baja dengan bresing konsentrifis biasa	3½	2	3½	TB	TB	10' <sup>f</sup>	10' <sup>f</sup>	TI'	
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30	
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
6. Dinding geser beton polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
7. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2½	4½	TB	TB	12 <sup>f</sup>	12 <sup>f</sup>	12 <sup>f</sup>	
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentrifis khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30	
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI	
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30	
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30	
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30	
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI	
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI	
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI	

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defeksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>	
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI	
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22	
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22	
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB	
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30	
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30	
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI	
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>½</sup> J	TI <sup>b</sup>	TI'	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>b</sup>	TI <sup>b</sup>	TI'	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parzial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI	
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI	
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3°	3½	10	10	10	10	10	

(Sumber SNI 1726:2012 Tabel 9)

## 2.11. Kombinasi Pembebatan

Kombinasi pembebatan diambil berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 yaitu :

1.  $U = 1,4D$
2.  $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3.  $U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $U = 1,2D + W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5.  $U = 1,2D + E + L$
6.  $U = 0,9D + W$
7.  $U = 0,9D + E$

## 2.12. Perhitungan Struktur Sekunder

### 2.12.1. Perencanaan balok sekunder

Prosedur dalam perencanaan balok sekunder adalah sebagai berikut :

1. Menentukan data perencanaan
  - a. Data properti material yang akan digunakan balok sekunder
  - b. Data dimensi balok sekunder
2. Menghitung dan menentukan pembebatan yang akan dipikul oleh balok sekunder dan menentukan kombinasi pembebatan
3. Melakukan perhitungan analisa struktur untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang digunakan dalam desain
4. Persyaratan gaya dan geometri
5. Menghitung rasio tulangan
6. Persyaratan tulangan lentur
7. Persyaratan tulangan transversal
8. Persyaratan kuat geser komponen struktur lentur
9. Kontrol lendutan
10. Kontrol terhadap retak

### 2.12.2. Perencanaan pelat lantai

Prosedur perencanaan pelat lantai diatur dalam beberapa pasal di SNI 2847:2013, khususnya pasal 13, prosedur dasarnya terdiri atas :

1. Pilih layout dan jenis pelat yang digunakan. Layout pelat biasanya ditentukan oleh perencana arsitektur, sedangkan jenis pelat yang dipilih umumnya merupakan hasil kesepakatan antara perencana arsitektur dan perencana structural.
2. Pilih tebal pelat untuk membatasi defleksi yang terjadi akibat pembebatan. Hal ini diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 9.5.3 (Tabel 9.5). cek juga bila tebal pelat cukup untuk menahan gaya geser satu arah dan dua arah.
3. Pilih metode analisis untuk menghitung momen rencana. Metode analisis yang dapat digunakan antaranya :

- a. Metode portal ekuivalen – menggunakan analisis portal elastik untuk menghitung momen positif dan negatif
- b. *Direct Desain Method* – menggunakan koefisien momen untuk menghitung momen positif dan negatif pelat.
- c. Metode analitis lainnya
4. Hitung momen positif dan negatif pada pelat lantai
5. Tentukan distribusi momen diselebar pelat berdasarkan geometri dan kekakuan balok
6. Alokasikan porsi momen pada balok, jika ada
7. Desain tulangan untuk momen dari langkah 5 dan 6
8. Cek apakah ketebalan pelat sudah memadai untuk menahan momen desain
9. Cek kuat geser pada penampang kritis disekitar kolom

### **2.12.3. Perencanaan tangga**

Pada perencanaan tangga pada struktur menggunakan cor setempat dengan perletakan jepit-jepit, agar struktur tangga tidak mempengaruhi struktur utama terhadap beban gempa. Perencanaan tangga dibedakan menjadi perencanaan tangga darurat dan tangga putar. Pada perencanaan struktur tangga ini lebar injakan harus memenuhi persyaratan pada pers. 2.53.

Syarat perencanaan tangga :

$$\begin{aligned} 2.t + i &= 64 - 67 \\ t &= \text{tinggi injakan} \\ i &= \text{lebar injakan} \end{aligned} \tag{2.53}$$

## **2.13. Perhitungan Struktur Utama**

Desain struktur utama berdasarkan hasil analisa struktur dengan menggunakan SAP2000 yang menghasilkan gaya-gaya dalam yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan struktur utama.

### **2.13.1. Perencanaan balok utama**

Prosedur dalam perencanaan balok utama adalah sebagai berikut :

1. Menentukan data perencanaan

- a. Data propertis material yang akan digunakan balok utama
- b. Data dimensi balok utama dari perhitungan *preliminary design*
2. Menghitung dan menentukan pembebanan yang akan dipikul oleh balok utama dan menentukan kombinasi pembebanan
3. Melakukan perhitungan analisa struktur untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang digunakan dalam desain.
4. Persyaratan gaya dan geometri
5. Menghitung rasio tulangan
6. Persyaratan tulangan lentur
7. Persyaratan tulangan transversal
8. Persyaratan kuat geser komponen struktur lentur
9. Kontrol lendutan
10. Kontrol terhadap retak

### **2.13.2. Perhitungan Kolom**

Prosedur dalam perencanaan kolom utama adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data perencanaan
  - a. Data propertis material yang akan digunakan kolom utama
  - b. Data dimensi kolom utama dari perhitungan *peliminary design*
2. Menghitung dan menentukan pembebanan yang akan dipikul oleh kolom utama dan menentukan kombinasi pembebanan
3. Melakukan perhitungan analisa struktur untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang digunakan dalam desain
4. Persyaratan gaya dan geometri
5. Menghitung rasio tulangan
6. Persyaratan tulangan lentur
7. Persyaratan tulangan transversal
8. Persyaratan kuat geser komponen struktur
9. Desain tulangan *confinement*
10. Desain *lap splices* (sambungan lewatan)
11. Kontrol kelangsungan kolom
12. Kontrol terhadap kombinasi lentur dan aksial

### 2.13.3. Perencanaan pondasi

Desain pondasi dilakukan dengan cara mengambil *output* gaya-gaya dalam dari hasil proses analitis struktur primer dengan menggunakan program bantu analisis struktur. Gaya-gaya dalam tersebut menjadi acuan untuk desain pondasi. Beberapa komponen yang akan direncanakan antara lain :

- Tiang pancang
- Poer

Tahapan yang akan dilakukan untuk merencanakan pondasi dengan langkah-langkah antara lain :

1. Menentukan data desain yang meliputi :

- Data tanah
- Dimensi tiang pancang
- Jarak antara tiang pancang
- Output analisis struktur

Pada penentuan jarak antar tiang pancang terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi seperti ditunjukkan pada pers 2.54

$$2,5D \leq S \leq 5D \quad (2.54)$$

Dimana :

$D$  = diameter tiang pancang (m)

$S$  = jarak antara tiang pancang (m)

2. Menghitung daya dukung satu tiang pancang berdasarkan data SPT dengan menggunakan pers 2.55

$$Q_{ult} = 40A_p N_p + \frac{A_s N_{av}}{S} \quad (2.55)$$

Dimana :

$Q_{ult}$  = daya dukung tiang *ultimate* (ton)

$A_p$  = luas penampang dasar tiang ( $m^2$ )

$N_p$  = nilai SPT didasar tiang sepanjang 4D diatas s/d 4D dibawah ujung tiang ( $D$  = diameter tiang pancang)

$N_{av}$  = nilai rata-rata SPT sepanjang tiang dengan nilai  $3 \leq N \leq 50$  ( $N$  = nilai SPT)

3. Menghitung gaya maksimum yang dipikul satu tiang dalam kelompok seperti pada pers 2.56

$$P_i = \frac{\sum V_o}{n} \pm \frac{M_{yo} Y_{\max}}{\sum Dyi} \pm \frac{M_{xo} X_{\max}}{\sum Dxi} \quad (2.56)$$

Dimana :

$P_i$	= gaya aksial satu tiang pancang (ton)
$\sum V_o$	= jumlah beban vertikal (ton)
$n$	= jumlah tiang pancang
$M_{xo}$	= momen yang bekerja didasar <i>poer</i> dalam arah sumbu x
$M_{yo}$	= momen yang bekerja didasar <i>poer</i> dalam arah sumbu y
$Dxi$	= jarak dari sumbu tiang ke titik berat susunan kelompok tiang searah sumbu x
$Dyi$	= jarak dari sumbu tiang ke titik berat susunan kelompok tiang searah sumbu y
$X_{\max}$	= absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang (m)
$Y_{\max}$	= ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang (m)

Dari gaya aksial  $P_i$  yang maksimum dan minimum harus dikontrol terhadap daya dukungnya seperti pada pers 2.57

$$P_{\max} \leq Q_d = Q_{ult} / SF \quad (2.57)$$

Dimana :

$P_{\max}$	= gaya aksial $P_i$ yang maksimum (ton)
$Q_d$	= daya dukung izin (ton)
$Q_{ult}$	= daya dukung tiang <i>ultimate</i> (ton)
$SF$	= faktor keamanan sebesar 2

4. Menghitung faktor efisiensi tiang pancang dalam kelompok dengan menggunakan pers 2.58

$$Ek = 1 - \tan^{-1} \frac{D}{S} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \quad (2.58)$$

Dimana :

$E_k$  = faktor efisiensi tiang pancang dalam kelompok

D = diameter tiang pancang (m)

S = jarak tiang pancang terkecil (m)

n = jumlah tiang pancang dalam baris

m = jumlah tiang pancang dalam kolom

5. Bila daya dukung tidak memenuhi maka perlu dilakukan desain ulang terhadap dimensi tiang pancang atau perubahan terhadap jarak tiang pancang
6. Desain *poer* atau *pile cap* dilakukan seperti pada desain plat, hal yang membedakan terdapat pada saat pengambilan momen untuk desain

## 2.14. Perhitungan Beton Prategang

### 2.14.1. Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi menurut ACI 318 adalah yang mempunyai kuat tekan silinder melebihi 6000 psi (41,4). Untuk beton dengan kuat tekan antara 6000 psi sampai 12000 psi (42-84 Mpa) (Nawy, 2001). Rumus untuk modulus elastisitas:

$$Ec(psi) = \left[ 40.000\sqrt{f'_c} + 10^6 \right] \left( \frac{w_c}{145} \right)^{1,5} \quad (2.59)$$

Dimana  $f'_c$  dalam Mpa dan  $w_c$  dalam lb/ft<sup>3</sup>

### Modulus dan Kekuatan Tekan Awal

Pada umumnya pemberian gaya prategang pada suatu elemen dilakukan sebelum beton mencapai kekuatan 28 hari, perlu ditentukan kuat tekan beton  $f_{ci}$  pada taraf prategang, begitu pula modulus beton Ec pada berbagai taraf riwayat pembebahan elemen tersebut. Rumus umum untuk menghitung kuat tekan sebagai fungsi dari waktu(Nawy, 2001).

$$f_{ci} = \frac{t}{\alpha + \beta t} f'_c \quad (2.60)$$

Dimana :

$f'_c$  = kuat tekan 28 hari

t = waktu (hari)

- $\alpha$  = faktor yang bergantung pada tipe semen dan kondisi perawatan  
 = 4,00 untuk semen tipe I yang dirawat basah dan 2,3 untuk semen tipe III yang dirawat basah  
 = 1,00 untuk semen tipe I yang dirawat uap dan 2,3 untuk semen tipe III yang dirawat dengan uap
- $\beta$  = faktor yang tergantung pada parameter-parameter yang sama dengan nilai masing-masing 0,85; 0,92; 0,95; dan 0,98

### 2.14.2. Baja prategang

Tingginya kehilangan rangkak dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 Mpa atau lebih tinggi lagi). Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan didalam selang 35.000 sampai 60.000 psi (241 sampai 414 Mpa). Karena itu, prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1517 Mpa) (Nawy, 2001).

Baja mutu tinggi untuk sistem prategang biasanya merupakan salah satu dari ketiga bentuk kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*) dan batang (*bar*). Didalam penyelesaian gelagar beton prategang pada proyek akhir ini kami memakai “*Uncoated Seven Wire Stress Relieved for Prestressed Concrete ASTM A-416*”

**Tabel 2. 10** Sifat-sifat strand stress-relieve dengan tujuh kawat tanpa pelapisan (ASTM A-416)

Diameter nominal (mm)	Kekuatan Putus (KN)	Luas Nominal Strand (mm <sup>2</sup> )	Beban Minimum pada Pemuaian 1% (KN)
<b>Derajat 1720 Mpa</b>			
6,35	40,0	23,22	34,0
7,94	64,5	37,42	54,7
9,53	89,0	51,61	75,6
11,11	120,1	69,68	102,3
12,70	160,1	92,90	136,2
15,24	240,2	139,35	204,2
<b>Derajat 1860 Mpa</b>			
9,53	102,3	54,84	87,0
11,11	137,9	74,19	117,2
12,70	183,7	98,71	156,1
15,24	260,7	140,00	221,5

### 2.14.3. Kehilangan sebagian gaya prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat *stressing*. Reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori yaitu :

#### A. Kehilangan langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari:

1. Kehilangan akibat perpendekan elastis
2. Kehilangan akibat gesekan (*wobble efect*)
3. Kehilangan akibat pengangkuran

#### B. Kehilangan yang bergantung pada waktu (kehilangan tidak langsung)

Kehilangan prategang yang bergantung pada waktu disebut sebagai kehilangan prategang secara tidak langsung hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung

seketika saat *jacking*), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut :

1. Kehilangan akibat rangkak
2. Kehilangan akibat susut
3. Kehilangan akibat relaksasi baja

#### **2.14.3.1. Kehilangan prategang langsung**

##### A. Kehilangan akibat perpendekan elastis

Akibat gaya *jacking* yang terjadi oleh tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya *prestress* yang cukup besar), struktur balok akan memendek dan kabel juga mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada konstruksi pasca tarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan, karena penarikan kabel hanya terjadi satu kali dan tidak ada tendon awal yang mengalami perpendekan dan kehilangan akibat tarikan tendon terakhir (Rifdiansyah, 2013).

Untuk tendon yang lebih dari satu maka kehilangan akibat perpendekan elastis dapat dihitung dengan menggunakan pers 2.61 dan 2.62 sebagai berikut :

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{n} \sum (\Delta f_{pES}) \quad (2.61)$$

Dengan nilai  $f_{cir}$  sebagai berikut :

$$f_{cs} = -\frac{P_i}{A_c} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) + \frac{M_D \times e}{I_c} \quad (2.62)$$

Keterangan :

$P_i$  = gaya prategang awal sebelum terjadi kehilangan

$e$  = eksentrisitas tendon

$M_D$  = momen akibat berat sendiri beton

$A_c$  = luas penampang balok

$r^2$  = kuadrat dari jari-jari girasi

$I_c$  = momen inersia beton

### B. Kehilangan akibat gesekan (*Woble efek*)

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi diantara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai *woble efect*. Pada saat tendon ditarik dengan gaya  $F_o$  di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak  $L$  disepanjang bentang. Sedangkan, efek *Woble* mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen disepanjang tendon (Rifdiansyah, 2013).

Besarnya nilai kehilangan tersebut dapat dihitung dengan pers 2.63; 2.64; dan 2.65 sebagai berikut :

$$F_{pF} = F_i \times e^{-(\mu \times \alpha) + (K \times L)} \quad (2.63)$$

$$\Delta f_{pF} = F_i - F_{pF} \quad (2.64)$$

$$\alpha = \frac{8f}{L} \quad (2.65)$$

Keterangan :

$F_{pF}$	= gaya prategang setelah terjadi kehilangan akibat friksi
$\Delta f_{pF}$	= besarnya gaya kehilangan prategang akibat friksi
$F_i$	= gaya awal prategang
$\alpha$	= sudut kelengkungan
$\mu$	= koefisien friksi (gesekan)
$K$	= koefisien <i>woble</i>
$L$	= panjang bersih balok
$f$	= fokus tendon (eksentrisitas dari cgs)

**Tabel 2. 11** Koefisien gesek kelengkungan dan wobble untuk tendon pasca-tarik

		Koefisien wobble, K per meter	Koefisien kelengkungan, $n, \mu_p$ Per radian
<b>Tendon digROUT pada metal pelapis</b>	Tendon kawat	0,0033 – 0,0049	0,15 – 0,25
	Batang tulangan kekuatan tinggi	0,0003 – 0,0020	0,08 – 0,30
	Strand 7 kawat	0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
<b>Tendon tanpa lekatian</b>	Dilapis plastik (mastic)	Tendon kawat	0,0033 – 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0033 – 0,0066
	Diminyaki sebelumnya (Pre-greased)	Tendon kawat	0,0010 – 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0010 – 0,0066

(Sumber : SNI 7833:2012)

### C. Kehilangan akibat slip angkur

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang terliarkan ke angkur. Pada metode pasca tarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya *jacking* dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit (Rifdiansyah, 2013).

Besarnya nilai kehilangan prategang akibat slip angkur dapat dihitung dengan pers 2.66; dan 2.67 sebagai berikut :

$$F_{pA} = \Delta f_{pA} \times A_{ps} \quad (2.66)$$

$$\Delta f_{pA} = 2f_{st} \times \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) \times \chi \quad (2.67)$$

Keterangan :

- $F_{pA}$  = kehilangan gaya prategang akibat slip angkur
- $A_{ps}$  = luas penampang beton
- $\Delta f_{pA}$  = jumlah hilangnya tegangan prategang akibat angkur
- $f_{st}$  = besarnya tegangan izin baja tendon minimum yang disyaratkan SNI 03-2847-2013
- $\alpha$  = sudut kelengkungan
- $\mu$  = koefisien *friksi* (gesekan)
- $K$  = koefisien *wobble*
- $L$  = panjang bersih balok
- $X$  = koefisien slip angkur berdasarkan bentuk profil tendon dapat dihitung

berdasarkan pers 2.68 (digunakan profil tendon berbentuk parabola)

$$X = \sqrt{\frac{E_{ps} \times g}{f_{st} \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2} \quad (2.68)$$

### 2.14.3.2. Kehilangan prategang tidak langsung

#### A. Kehilangan prategang akibat rangkak (*Creep*)

Rangkak merupakan deformasi lateral akibat tegangan longitudinal yang dapat menyebabkan hilangnya sebagian gaya prategang. Tegangan tersebut hanya terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan elemen beton prategang, rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah dilakukan gaya *jacking* prategang. Karena pada pelaksanaannya dilakukan *grouting* (Rifdiansyah, 2013).

Perhitungan rangkak didasarkan pada perhitungan untuk *bonded tendon* (tendon terekat) dengan menggunakan pers2.69, sebagai berikut :

$$\Delta f_p Cr = n Kcr (fcs - fc_{sd}) \quad (2.69)$$

(Nawy, 2001 pers 3.11b)

Keterangan :

$\Delta f_{pCr}$  = tegangan yang hilang akibat rangkak

n = *ratio modulus* (perbandingan Es dan Ec)

Kcr = koefisien *creep* 1,6 untuk *post tension* dan 2 untuk *pretension*

fcs = tegangan beton pada daerah cgs akibat gaya prategang sesaat setelah transfer

fc<sub>sd</sub> = tegangan beton didaerah cgs setelah beban mati tambahan bekerja

#### B. Kehilangan prategang akibat susut (*Shringkage*)

Susut pada beton adalah regangan yang terjadi akibat penguapan air yang bergantung pada kelembapan, ukuran bentuk penampang dan waktu. Kehilangan prategang akibat susut untuk komponen struktur pasca tarik bernilai lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian gaya prategang.

Rangkak, susut dan relaksasi baja prategang akan memberikan tambahan lendutan yang terjadi akibat lendutan seketika sejalan dengan bertambahnya waktu serta akan menyebabkan kehilangan gaya prategang. Pertambahan lendutan akibat rangkak dan susut ini akan tergantung dari besarnya koefisien rangkak dan regangan susut yang terjadi, sedangkan besarnya koefisien rangkak dan regangan susut sangat dipengaruhi oleh kelembaban relatif, perawatan beton, umur beton pada saat dibebani, rasio antara volume-keliling penampang, *slump* beton, kadar agregat dan kadar udara (Sutarja, 2006).

Besarnya nilai kehilangan akibat susut dapat dilihat pada pers. 2.70 sebagai berikut :

$$\Delta f_{pSH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_s \left( 1 - 0,0236 \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH) \quad (2.70)$$

Keterangan :

$\Delta f_{pCr}$  = tegangan yang hilang akibat susut

- $E_s$  = modulus elastisitas batang prategang =  $2 \times 10^5$   
 $K_{SH}$  = koefisien susut sebesar 1 untuk *pretension* dan sesuai tabel 2.12. untuk *post tension*  
 $RH$  = kelembaban udara relatif diambil sekitar 78%  
 $\frac{V}{S}$  = *ratio* volume permukaan (dalam satuan cm)

**Tabel 2. 12** Koefisien susut pasca tarik (Post tension)

Jangka waktu setelah perawatan basah sampai pada penerapan prategang, hari	1	3	5	7	10	20	30	60
$K_{sh}$	0.92	0.85	0.80	0.77	0.73	0.64	0.58	0.45

(Sumber : T.Y. Lin, 2000)

Jika perawatan dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 yaitu selama 5 hari setelah pengecoran dan penarikan dilakukan, setelah 7 hari dilakukan pengecoran maka nilai sesuai Tabel 2.12  $K_{SH}$  diambil dari akhir perawatan hingga penarikan yaitu dari hari ke 5 hingga ke 7 maka nilai  $K_{SH} = 0,8$ .

### C. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja

*Tendon low relaxation* mengalami kehilangan pada gaya prategang sebagai akibat dari perpanjangan konstan terhadap waktu dengan kehilangan yang lebih kecil dibanding dengan tendon *strand relieved*. Besarnya pengurangan gaya prategang tidak hanya pada durasi gaya prategang yang ditahan, melainkan juga pada *ratio* antara prategang awal dan tegangan leleh tendon

prategang  $\frac{f_{ci}}{f_{py}}$  dimana  $f_{ci}$  adalah tegangan prategang awal setelah

*jacking* dan kehilangan langsung dengan nilai yang sesuai dengan tegangan izin tendon, sedangkan nilai  $f_{py} = 0.9 f_{pu}$  untuk tendon *low relaxation* (Nawy Edward, 2001). Jika nilai *ratio* tegangan antara prategang awal dengan tegangan leleh tendon prategang kurang dari 0.55 maka kehilangan akibat relaksasi baja sangat terjadi bahkan tidak terjadi kehilangan akibat relaksasi baja.

Besarnya nilai kehilangan akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan pers. 2.71 dan 2.72 sebagai berikut:

$$\Delta f_{p\text{Re}} = f_{ci} \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \left( \frac{f_{ci}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (2.71)$$

(Nawy, 2001)

$$\text{RET}_1 = \Delta f_{p\text{Re}} \times \text{Aps} \quad (2.72)$$

Keterangan :

- $\Delta f_{p\text{RE}}$  = tegangan yang hilang akibat relaksasi baja
- $\text{RET}_1$  = kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja tahap 1
- Aps = luas penampang tendon *prestress*
- $f_{ci}$  = tegangan prategang awal setelah *jacking* dan kehilangan langsung
- $f_{py}$  = tegangan leleh tendon prategang
- $t_1$  = waktu awal interval tahapan yang dihitung
- $t_2$  = waktu akhir interval tahapan yang dihitung

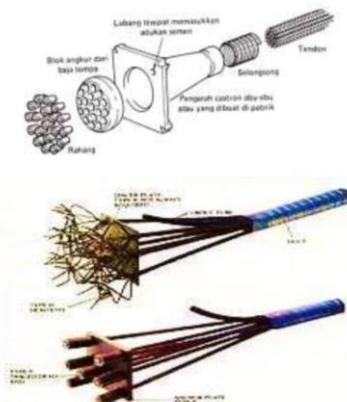
### 2.13.1. Bahan pelengkap

#### A. Angkur

Angkur dimaksudkan untuk menahan baja prategang yang telah dilakukan *stressing*. Berbagai macam dan jenis angkur berada diproduksi oleh beberapa perusahaan, dimana setiap jenis angkur memiliki fungsi dan karakteristik berbeda.

Beberapa tipe angkur diantaranya adalah :

- Angkur tipe MA
- Angkur plat SD
- Angkur plat SDR
- Mono angkur EV
- *Bond head* angkur ZF/ZR



**Gambar 2. 24 Angkur dan strand**

B. *Coupler*

*Coupler* atau penyambung pada beton prategang untuk menyambungkan baja *prestress* sehingga didapatkan kesinambungan atau kontinuiti antara baja *prestress* yang akan disambung.



**Gambar 2. 25 Coupler atau penyambung**

C. Selongsong

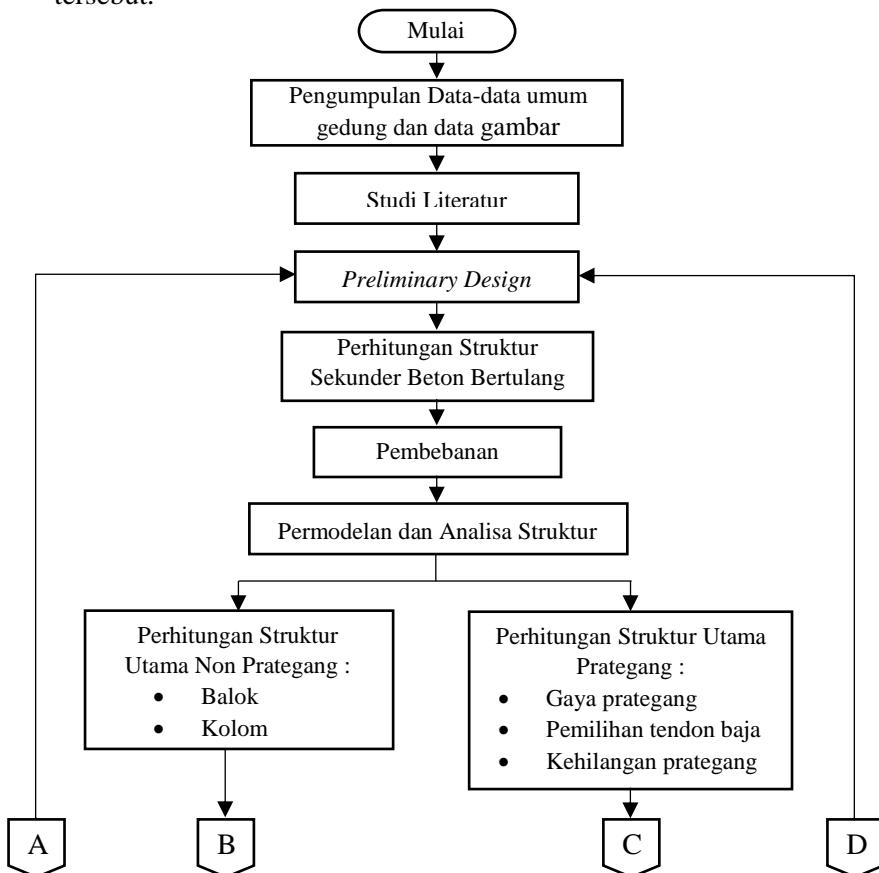
Selongsong atau *ducting* atau *sheating* berfungsi untuk membuat rongga sehingga baja prategang dapat dimasukkan dengan mudah dan dapat dilakukan penarikan

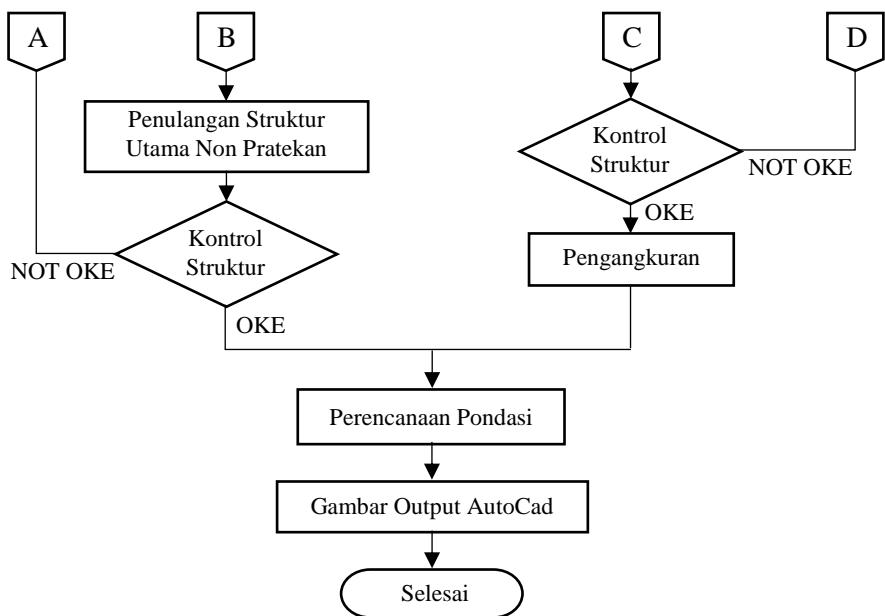
## BAB III

# METODOLOGI

### 3.1. Umum

Metodologi ini menjelaskan urutan pelaksanaan dalam penyelesaian yang akan digunakan pada penyusunan tugas akhir. Urutan yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada alur di bawah ini, selanjutnya akan diikuti dengan penjelasan dari alur tersebut.





**Gambar 3. 1** Diagram alir metodologi perancangan struktur gedung

### 3.2. Pembahasan Metodologi

Diagram alir pada gambar 3.1 merupakan acuan untuk merencanakan struktur gedung asrama Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) dengan menggunakan balok beton prategang.

### 3.3. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam perancangan bangunan adalah sebagai berikut :

1. Informasi umum proyek
2. Gambar struktur dan arsitektur
3. Data tanah

Dalam tugas akhir perancangan gedung ini juga dibutuhkan data umum bangunan sebagai berikut :

#### A. Data *existing*

1. Nama bangunan : Gedung asrama LPMP

- |   |   |
|---|---|
| 2. Lokasi bangunan                        | : Padang, Sumatera Barat                      |
| 3. Fungsi bangunan                        | : Gedung asrama dan apartemen                 |
| 4. Jumlah lantai                          | : 5 lantai                                    |
| 5. Fungsi perlantai<br>Lantai 1, 3, dan 4 | : Kamar asrama                                |
| Lantai 2                                  | : Ruang kelas                                 |
| Lantai 5                                  | : apartemen                                   |
| 6. Tinggi bangunan                        | : $\pm 23,40$ m                               |
| Lantai 1                                  | : 4,0 m                                       |
| Lantai 2-5                                | : 3,8 m                                       |
| 7. Zona gempa                             | : Padang                                      |
| 8. Struktur utama bangunan                | : struktur beton bertulang dengan dual sistem |
| 9. Struktur pondasi                       | : Pondasi dalam                               |
- B. Data modifikasi
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. Nama bangunan                    | : Gedung asrama LPMP  |
| 2. Lokasi bangunan                  | : Padang, Sumatera Barat  |
| 3. Fungsi bangunan                  | : Gedung asrama dan apartemen   |
| 4. Jumlah lantai                    | : 10 lantai   |
| 5. Fungsi perlantai<br>Lantai 1 – 4 | : Kamar asrama  |
| Lantai 5 – 8                        | : Apartement  |
| Lantai 9                            | : Ruang kelas   |
| Lantai 10                           | : <i>Ballroom</i>   |
| 6. Tinggi bangunan                  | : $\pm 40$ m  |
| Lantai 1 – 10                       | : 4,0 m   |
| 7. Zona gempa                       | : Padang  |
| 8. Struktur utama bangunan          | : struktur beton bertulang pada lantai 1 sampai lantai 10 dengan sistem struktur SRPMK dan pada balok lantai atap (lantai ke-10) akan dirancang dengan menggunakan balok beton prategang. |
| 9. Struktur pondasi                 | : Pondasi dalam   |

### **3.4. Studi Literatur**

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka atau peraturan mengenai perancangan

beton prategang dan struktur gedung umum yang akan sangat membantu dalam penggerjaan tugas akhir ini, diantaranya :

1. SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3. SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain
4. PPIUG 1987 Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
5. Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1 (T.Y.Lin)
6. Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1 (Nawy)
7. Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 2 (Nawy)

### **3.5. *Preliminary Design***

*Preliminary design* merupakan perencanaan awal untuk menentukan dimensi awal dari suatu komponen struktur yang mengacu pada ketentuan SNI 2847:2013. Berdasarkan komponen struktur tersebut antara lain :

1. Perencanaan balok  
Perencanaan dimensi balok dapat dilihat di sub-bab 2.8.1.
2. Perencanaan kolom  
Perencanaan dimensi kolom dapat dilihat di sub-bab 2.8.3.
3. Perencanaan pelat lantai  
Perencanaan dimensi pelat lantai dapat dilihat di sub-bab 2.8.2.
4. Perencanaan tangga  
Perencanaan dimensi tangga dapat dilihat di sub-bab 2.8.4.
5. Perencanaan balok prategang  
Perencanaan dimensi balok prategang dapat dilihat di sub-bab 2.8.5

### **3.6. *Perhitungan Struktur Sekunder***

Desain struktur sekunder dilakukan dengan cara mengambil output gaya-gaya dalam hasil proses analisis struktur sekunder. Gaya-gaya dalam tersebut menjadi acuan untuk desain dalam

struktur sekunder. Beberapa elemen struktur sekunder yang akan direncanakan antara lain :

1. Perencanaan pelat lantai  
Perencanaan pelat lantai dapat dilihat di sub-bab 2.12.2.
2. Perencanaan balok sekunder  
Perencanaan balok sekunder dapat dilihat di sub-bab 2.12.1.
3. Perencanaan struktur tangga  
Perencanaan struktur tangga dapat dilihat di sub-bab 2.12.3.

### **3.7. Pembebanan Pada Struktur**

Dalam perencanaan struktur harus memperhitungkan pengaruh-pengaruh aksi sebagai akibat dari beban-beban berikut ini sesuai dengan peraturan SNI 1727-2013 :

1. Beban mati (D)  
Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Besarnya nilai pembebanan dapat dilihat di sub-bab 2.10.1.
2. Beban hidup (L)  
Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan didalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu. Besarnya nilai pembebanan dapat dilihat di sub-bab 2.10.2.
3. Beban angin (W)  
Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
4. Beban gempa (E)  
Perhitungan beban gempa dilakukan dengan analisa respons spectrum. Respons spectrum adalah suatu diagram hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem satu derajat kebebasan (SDK) akibat gempa tertentu, sebagai fungsi dari

faktor redaman dan waktu getar alami. Besarnya nilai pembebanan dapat dilihat di sub-bab 2.10.3.

### **3.8. Analisis Struktur Utama**

Pada tahap ini, analisis struktur utama menggunakan SAP2000. Karena struktur gedung ini termasuk kategori struktur bangunan tidak beraturan maka dalam analisisnya menggunakan pembebanan gempa *respons spectrum* yang diambil berdasarkan parameter *respons spectral* percepatan gempa kota Padang, Sumatera Barat.

### **3.9. Perhitungan Struktur Utama Non Prategang**

Bila sudah melakukan analisa gaya dengan menggunakan program analisis struktur dilakukan perhitungan pendetailan dan kontrol desain. Pada kontrol desain dilakukan agar analisa hasil pendetailan struktur bangunan dapat memenuhi syarat keamanan dan sesuai batas-batas tertentu menurut peraturan. Kontrol desain yang dilakukan adalah berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kuat lentur, momen nominal, beban layan (*servicability*) dan beban *ultimate*. Bila telah memenuhi, maka dapat diteruskan ke tahap penggambaran. Bila tidak memenuhi harus dilakukan *redesign*.

1. Perencanaan balok utama  
Perencanaan balok utama dapat dilihat di sub-bab 2.13.1.
2. Perencanaan kolom  
Perencanaan kolom dapat dilihat di sub-bab 2.13.2.

### **3.10. Perencanaan Struktur Utama Prategang**

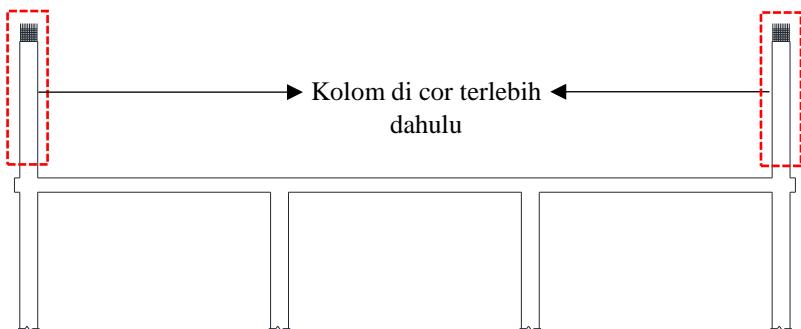
Langkah-langkah dalam perencanaan pelat beton prategang adalah sebagai berikut :

#### **3.10.1. Pemilihan jenis beton prategang**

Melakukan pemilihan terhadap jenis beton prategang yang akan digunakan dalam perencanaan ini meliputi :

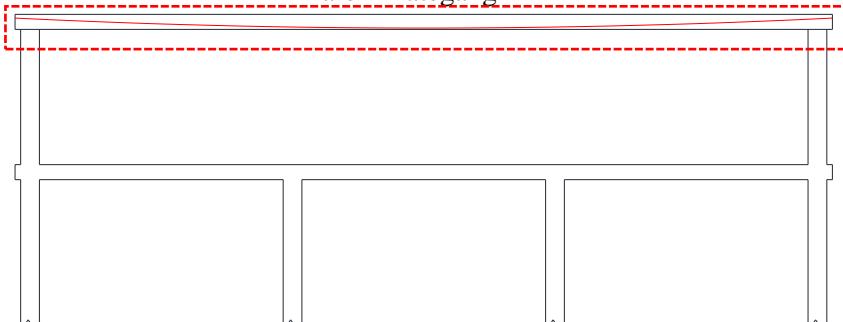
Pada perencanaan ini dipilih beton prategang pascatarik (*post tension*) dimaksudkan agar pengecoran langsung dilapangan dan dapat dikontrol untuk *jacking*. Tahap pelaksanaan beton prategang metode *Post tension* (Pasca tarik) sebagai berikut :

1. Beton Prategang dikerjakan setelah struktur utama non prategang dibawahnya selesai. Kerena kolom merupakan struktur vertikal yang merupakan struktur utama dari sebuah gedung, maka pekerjaan balok prategang dikerjakan setelah kolom berdiri.
2. Bekisting balok beton prategang dipasang, lalu dipasang pipa selongsong yang akan menyelubungi tendon. Pipa tersebut diletakkan didalam bekisting dengan posisi diatur dan ditahan untuk membentuk pola sesuai bidang momennya.
3. Kemudian karena pekerjaannya dilakukan dengan metode cor ditempat, maka beton langsung dicor, pengecoran ini dapat dilakukan sekaligus dengan pengecoran pelat lantai selebar b. Efektif. Pengecoran harus tetap menjaga pipa selongsong tendon tetap kokoh pada posisinya dan tidak kemasukan adukan, kemudian dilakukan perawatan pengerasan beton sampai mencapai kekuatan tertentu.
4. Setelah itu, tendon dimasukkan kedalam pipa selongsong yang telah disiapkan,
5. Tendon tersebut kemudian ditarik (*jacking*) disatu ujung dan ujung satunya diangkur. Pada saat penarikan tendon ini, sudah terjadi kehilangan gaya-gaya prategang. Dengan demikian *jacking* harus sudah mempertimbangkan hal-hal yang menyengkut kehilangan tersebut.
6. Kemudian diangkurkan, fungsi angkur untuk menahan tendon agar tidak terjadi slip (penggelinciran) dalam rangka upaya agar beban atau tegangan tarikan tetap bertahan pada tendon.
7. Kemudian proses *grouting*, proses ini dilakukan dengan menyuntikkan pasta semen setelah tondon ditarik atau sebelum beban hidup bekerja.

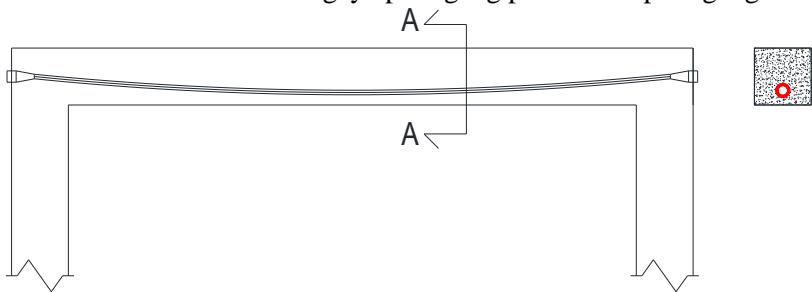


**Gambar 3. 2** Pekerjaan kolom

Balok Prategang



**Gambar 3. 3** Pemberian gaya prategang pada balok prategang



**Gambar 3. 4** Tahap konstruksi pelaksanaan beton prategang

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa tahap konstruksi pelaksanaan beton prategang dengan menggunakan metode *post tension* dan pengecoran dilakukan ditempat agar monolit

antara kolom dan balok. Dimana kolom dicor terlebih dahulu dengan menggunakan beton biasa, kemudian dilakukan pengecoran balok dengan menggunakan beton prategang.

### **3.10.2. Gaya prategang**

Penentuan gaya prategang awal sangat dipengaruhi oleh momen total. Gaya prategang ini yang kemudian disalurkan kepenampang. Direncanakan sesuai dengan pemilihan penampang. Penentuan gaya prategang dapat dilihat di sub-bab 2.9.1.

### **3.10.3. Penetapan dan tata letak kabel**

Penetapan jenis dan penentuan daerah batas kabel harus sesuai dengan kriteria perencanaan agar tidak melampaui batasan yang diizinkan. Jenis kabel yang dipilih dan jumlah kabel akan mempengaruhi letak kabel, dimana terdapat batasan agar tidak melebihi syarat batas kriteria.

### **3.10.4. Kontrol tegangan**

Melakukan kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap-tahap yang kritis dalam perancangan, yaitu pada saat *jacking* dan tahap *service*. Kontrol dilakukan untuk memenuhi apakah dimensi balok mampu menerima tegangan yang diberikan dan tegangan yang diterima telah sesuai dengan perancangan pemberian tegangan. Kontrol tegangan dapat dilihat di sub-bab 2.9.3.

### **3.10.5. Kehilangan sebagian gaya prategang**

Kehilangan prategang terjadi pada saat transfer tegangan dan secara menerus menurut fungsi waktu. Dilakukan perhitungan agar didapatkan nilai prategang efektif. Perhitungan kehilangan gaya prategang meliputi :

- a. Akibat perpendekan elastis beton
- b. Akibat gesekan dan *wobble effect*
- c. Akibat dudukan angker
- d. Akibat rangkak
- e. Akibat susut
- f. Akibat relaksasi baja

Perencanaan kehilangan sebagian gaya prategang dapat dilihat di sub-bab 2.14.3.

### **3.10.6. Kontrol lendutan**

Memperhitungkan lendutan-lendutan yang terjadi sehingga tidak melampaui batasan yang telah ditentukan. Lendutan dihitung menurut model pembebanan, dimana beban yang mempengaruhi adalah beban sendiri dan beban eksternal.

### **3.10.7. Kontrol retak**

Retak terjadi apabila beton menerima tegangan tarik yang melampaui tegangan runtuhan. Maka dari itu, momen retak harus dihitung agar beton tidak menerima tegangan tarik melampaui tegangan runtuh.

### **3.10.8. Kontrol geser**

Perancangan tulangan geser diperhitungkan menurut standar perancangan SNI 2847:2013. Perhitungan geser dilakukan agar balok memiliki kemampuan menahan gaya geser yang diterima.

### **3.10.9. Blok angkur ujung**

Pada balok prategang pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya prategang maksimum dan kekuatan beton minimum.

## **3.11. Perencanaan Pondasi**

Desain pondasi dilakukan dengan cara mengambil output gaya-gaya dalam dari hasil proses analisis struktur primer dan sekunder dengan menggunakan program bantu analisis struktur.

### **3.11.1. Analisa kedalaman tanah keras**

Analisa data tanah yang didapatkan dari hasil pengujian tanah untuk memenuhi klasifikasi tanah dan kedalaman tanah

keras. Data tanah yang didapatkan dari pengujian tanah didaerah kota Padang.

### **3.11.2. Pemilihan jenis pondasi**

Dengan mengetahui jenis tanah dan kedalaman tanah, maka bisa di analisa jenis pondasi yang cocok diterapkan pada daerah tersebut. Pada perencanaan gedung ini menggunakan pondasi dalam.

### **3.11.3. Perhitungan pondasi**

Perhitungan pondasi dilakukan setelah mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja dari hasil perhitungan SAP2000.

Perhitungan bertujuan untuk mendapatkan daya dukung tanah dan kekuatan pondasi yang direncanakan.

### **3.11.4. Kontrol desain pondasi**

Setelah melakukan perhitungan pondasi maka langkah yang lebih tepat melakukan kontrol desain. Pada perencanaan pondasi kontrol yang harus dilakukan adalah :

1. Kontrol terhadap guling
2. Kontrol terhadap geser
3. Kontrol terhadap daya dukung

## **3.12. Gambar Detail Struktur Output AutoCad**

Apabila analisa dan kontrol desain baik pada beton bertulang biasa maupun pada balok prategang sudah selesai, maka untuk mengetahui hasil akhir perhitungan perlu dibuat gambar teknik yang *representative* dari hasil analisa dan perhitungan dengan menggunakan alat bantu AutoCad.

*\*Halaman ini sengaja dikosongka*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Preliminary Design**

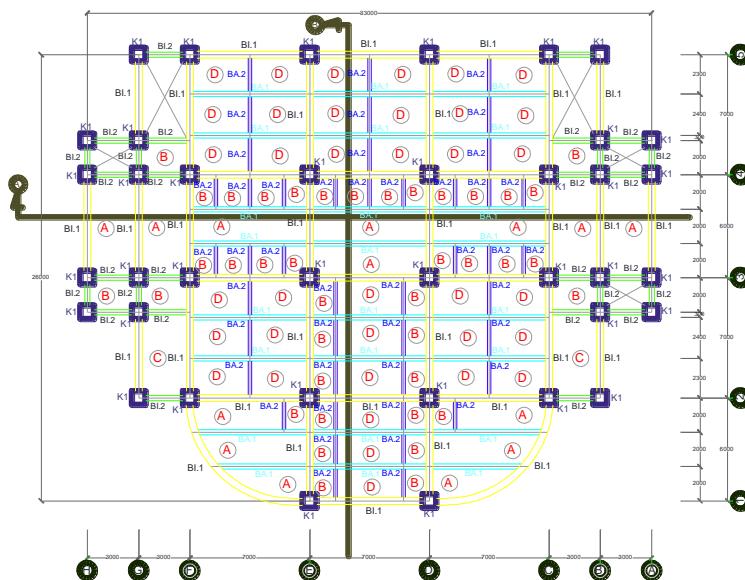
Preliminary desain merupakan tahapan dalam menentukan ukuran dimensi awal dari bagian-bagian strukur bangunan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan pada SNI 2847:2013.

##### **4.1.1. Data Perencanaan**

Data-data pada perencanaan struktur gedung ini merupakan data-data yang akan dijadikan pedoman dalam perencanaan selanjutnya. Data-data yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Fungsi bangunan : Asrama dan apartemen
- b. Tipe bangunan : Gedung bertingkat
- c. Tinggi bangunan :  $\pm 40$  m
- d. Luas bangunan :  $33 \text{ m} \times 26 \text{ m} = 858 \text{ m}^2$
- e. Mutu beton ( $f'_c$ ) kolom : 35 MPa (lantai 1-5)  
: 30 MPa (lantai 6-10)
- f. Mutu beton ( $f'_c$ ) balok : 35 MPa  
: 40 MPa (balok prategang)
- g. Mutu beton ( $f'_c$ ) pelat : 35 MPa
- h. Mutu baja ( $f_y$ ) : 420 MPa

Denah rencana gedung Asrama LPMP Padang dapat dilihat pada 4.1.



**Gambar 4. 1 Denah Struktur Gedung Asrama LPMP Padang**

#### 4.1.2. Perencanaan Balok

Perencanaan dimensi balok mengacu pada peraturan terbaru SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2 dalam menentukan tinggi balok berdasarkan tabel 9.5(a)

**Tabel 4. 1 Tinggi minimum balok**

Komponen struktur	Tebal minimum, $h$			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menempati atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi talian yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

**CATATAN:**  
Panjang bentang dalam mm.  
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulungan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagaimana berikut:  
(a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density),  $w_s$ , di antara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan  $(1,86 - 0,0008w_s)$  tetapi tidak kurang dari 1,09.  
(b) Untuk  $f_c$  selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_c/700)$ .

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times l \text{ (h minimum untuk balok induk)}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times l \text{ (h minimum untuk balok anak)}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times l \times 80\% \text{ (h minimum untuk balok prategang)}$$

Untuk  $f_y$  selain 420 MPa, nilai harus dikalikan dengan  $(0.4 + f_y/700)$ . Lebar balok minimum ( $b_{\min}$ ) diambil sebesar :

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h_{\min}$$

Dimana :

$b_{\min}$  = lebar balok

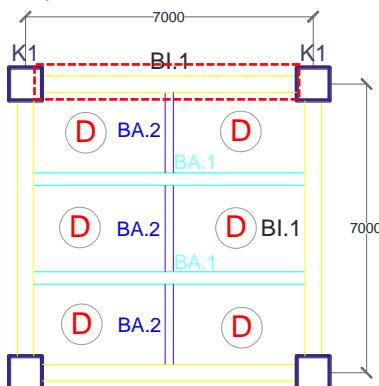
$h_{\min}$  = tinggi balok

$l$  = panjang bentang balok

### Dimensi Balok Induk

Data-data balok induk pada perencanaan struktur gedung asrama LPMP adalah sebabai berikut :

1. Panjang bentang ( $l$ ) : 7 m
2. Mutu beton ( $f'c$ ) : 35 MPa
3. Mutu baja ( $f_y$ ) : 420 MPa



Gambar 4. 2 Denah balok induk

a. Menentukan tinggi balok struktur (h) :

$$h = \frac{1}{16} \times 700$$

$$h = 43.75 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

b. Menentukan lebar balok struktur (b) :

$$b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$b = 38.89 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

Maka berdasarkan hitungan didapatkan dimensi balok struktur tipe BI-1 adalah 40/60 cm. untuk perhitungan balok selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel.

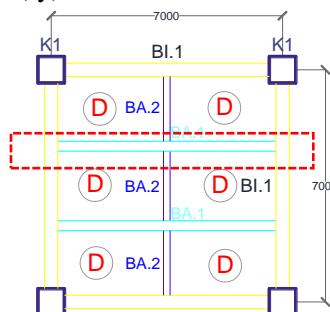
**Tabel 4. 2 Preliminary design balok induk**

No	Tipe balok	Bentang	Tinggi	Lebar	h pakai	b pakai	dimensi
		I (cm)	h (cm)	b (cm)	(cm)	(cm)	b/h (cm)
1	BI-1	700	58.33	38.89	60	40	40/60
2	BI-2	300	25.00	16.67	40	30	30/40
3	BI-3	500	41.67	27.78	60	40	40/60
4	BI-4	200	16.67	11.11	40	30	30/40
5	BI-5	600	50.00	33.33	60	40	40/60

### Dimensi Balok Anak

Data-data balok anak pada perencanaan struktur gedung asrama LPMP adalah sebabai berikut :

1. Panjang bentang (l) : 7 m
2. Mutu beton ( $f'c$ ) : 35 MPa
3. Mutu baja ( $f_y$ ) : 420 MPa



**Gambar 4. 3 Denah balok anak**

a. Menentukan tinggi balok struktur (h) :

$$h = \frac{1}{21} \times 700$$

$$h = 33.33 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

b. Menentukan lebar balok struktur (b) :

$$b = \frac{2}{3} \times 45$$

$$b = 29.17 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Maka berdasarkan hitungan didapatkan dimensi balok struktur tipe BA-1 adalah 30/45 cm. untuk perhitungan balok selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel.

**Tabel 4.3** Preliminary design balok anak

<b>No</b>	<b>Tipe balok</b>	<b>Bentang</b>	<b>Tinggi</b>	<b>Lebar</b>	<b>h pakai</b>	<b>b pakai</b>	<b>dimensi</b>
		I (cm)	h (cm)	b (cm)	(cm)	(cm)	b/h (cm)
1	BA-1	700	43.75	29.17	45	30	30/45
2	BA-2	240	15.00	10.00	20	20	20/20

### Dimensi Balok Prategang

Data-data balok prategang pada perencanaan struktur gedung asrama LPMP adalah sebabai berikut :

1. Panjang bentang (l) : 20 m
  2. Mutu beton ( $f'c$ ) : 35 MPa
  3. Mutu baja ( $f_y$ ) : 420 MPa
- a. Menentukan tinggi balok struktur (h) :

$$h = \frac{1}{16} \times 2000 \times 80\%$$

$$h = 100 \text{ cm} \approx 100 \text{ cm}$$

b. Menentukan lebar balok struktur (b) :

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 100$$

$$b = 66.67 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

### 4.1.3. Perencanaan Pelat Lantai

Dimensi pelat lantai direncanakan dengan mengacu pada peraturan beton bertulang terbaru SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3. Dimana pelat dengan balok yang membentang dianara tumpuan disemua sisinya, tebal minimum yang disyaratkan sebagai berikut:

- Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0,2$  harus menggunakan tabel 9.5(c) SNI 2837:2013

**Tabel 4. 4** Tebal minimum pelat

Tegangan lelah, $f_y$ MPa <sup>1</sup>	Tanpa penebalan <sup>2</sup>		Dengan penebalan <sup>3</sup>		
	Panel eksterior		Panel Interior	Panel eksterior	
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>4</sup>		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>5</sup>
260	$t_n / 33$	$t_n / 36$	$t_n / 36$	$t_n / 36$	$t_n / 40$
420	$t_n / 30$	$t_n / 33$	$t_n / 33$	$t_n / 33$	$t_n / 36$
520	$t_n / 28$	$t_n / 31$	$t_n / 31$	$t_n / 31$	$t_n / 34$

<sup>1</sup>Untuk konstruksi dua arah,  $t_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur mutu ke mutu tumpuan pada pelat tanpa balok dan mutu ke mutu balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.  
<sup>2</sup>Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan Interpolasi liner.  
<sup>3</sup>Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.  
<sup>4</sup>Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,6.

- Untuk  $\alpha_{fm} \geq 0,2$  tapi tidak boleh  $\geq 2,0$ , h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)} \geq 125\text{mm}$$

- Untuk  $\alpha_{fm} \geq 2,0$ , ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90\text{mm}$$

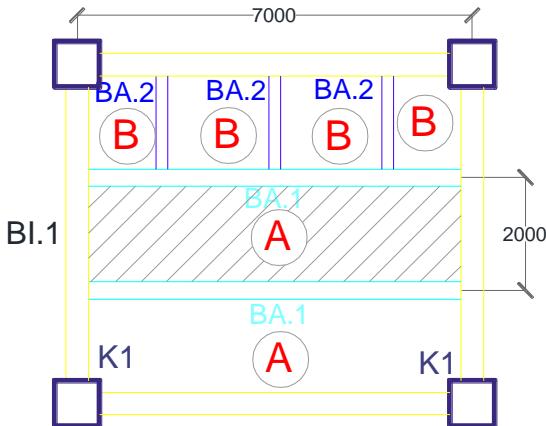
Diketahui :

$h$  : tebal pelat total

$\ln$  : panjang bentang bersih sepanjang pelat

$\alpha_{fm}$  : nilai rata-rata  $\alpha$  untuk keempat sisi pelat

Desain dimensi pelat lantai 1-10, dengan perhitungan tipe pelat lantai seperti gambar.



**Gambar 4. 4** Denah pelat lantai yang ditinjau

### A. Menentukan Panjang Bentang Bersih

Panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur dari muka ke muka balok.

$$Ly = 700 \text{ cm}$$

$$Lx = 200 \text{ cm}$$

$$ln = 700 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 660 \text{ cm}$$

$$sn = 200 - \left( \frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 170 \text{ cm}$$

### B. Menentukan jenis pelat lantai

Perbandingan rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek, apabila kecil dari 2 maka pelat lantai dua arah dan apabila besar dari 2 maka pelat satu arah.

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{660}{170} = 3.9 \geq 2, \text{ maka pelat lantai 1 arah}$$

### C. Perhitungan dimensi pelat lantai

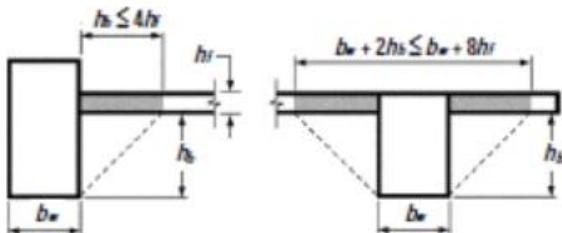
Pelat lantai direncanakan dengan :

- Asumsi tebal pelat : 120 mm

- Mutu beton ( $f'c$ ) : 35 MPa
  - Mutu baja ( $f_y$ ) : 420 MPa
1. Balok As D joint 3 – 4
    - a. Menentukan lebar efektif ( $b_e$ )
 

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 13.2.4, lebar efektif diambil nilai sebesar :

      - $b_w + 2hb \leq bw + 8hf$ , untuk balok T
      - $b_w + hb \leq bw + 4hf$ , untuk balok L



**Gambar 4. 5** Bagian slab yang disertakan dengan balok

$$b_e = bw + 2hb \leq bw + 8hf$$

$$b_e = bw + 2hb$$

$$= 40 + (2 \times 48)$$

$$= 136 \text{ cm}$$

$$b_e = bw + 8hf$$

$$= 40 + (8 \times 12)$$

$$= 136 \text{ cm}$$

Maka diambil nilai  $b_e$  terkecil = 136 cm

- b. Menentukan rasio tulangan kekakuan balok terhadap pelat

Berdasarkan buku “Desain Beton Bertulang”, oleh Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, menyatakan bahwa momen inersia dari penampang balok dengan flens

terhadap sumbu putarnya senilai  $I_b = \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \times k$

dengan nilai k sebagai berikut :

$$k = \frac{1 + \left( \frac{be}{bw} \right) \left( \frac{t}{h} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{t}{h} \right) + 4 \left( \frac{t}{h} \right)^2 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left( \frac{136}{40} \right) \left( \frac{12}{60} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{12}{60} \right) + 4 \left( \frac{12}{60} \right)^2 + \left( \frac{136}{40} - 1 \right) \left( \frac{12}{60} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{136}{40} - 1 \right) \left( \frac{12}{60} \right)}$$

$$k = 2.0445$$

Momen inersia penampang :

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

$$I_b = \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \times 2.0445$$

$$I_b = 1472038.054 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{1}{12} \times bp \times t^3$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times 200 \times 12^3$$

$$I_p = 28800 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1472038.054}{28800} = 51.112 = \alpha_3$$

2. Balok As 3' joint D - E

a. Menentukan lebar efektif (Be)

$$be = bw + 2hb \leq bw + 8hf$$

$$be = bw + 2hb$$

$$= 30 + (2 \times 33)$$

$$= 96 \text{ cm}$$

$$be = bw + 8hf$$

$$= 30 + (8 \times 12)$$

$$= 126 \text{ cm}$$

Maka diambil nilai be terkecil = 96 cm

b. Menentukan rasio tulangan kekakuan balok terhadap pelat

$$k = \frac{1 + \left( \frac{96}{30} \right) \left( \frac{12}{45} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{12}{45} \right) + 4 \left( \frac{12}{45} \right)^2 + \left( \frac{96}{30} - 1 \right) \left( \frac{12}{45} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{96}{30} - 1 \right) \left( \frac{12}{45} \right)}$$

$$k = 2.0964$$

Momen inersia penampang :

$$I_b = \frac{1}{12} \times 30 \times 45^3 \times 2.0964$$

$$I_b = 477591.542 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{1}{12} \times 700 \times 12^3$$

$$I_p = 100800 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{477591.542}{100800} = 4.738 = \alpha_4$$

Dari hasil perhitungan diatas maka nilai  $\alpha_{fm}$  adalah sebagai berikut:

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{51.112 + 51.112 + 4.738 + 4.738}{4}$$

$$\alpha_{fm} = 27.92522$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 yang mana  $\alpha_{fm} > 2$ , maka ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90\text{mm}$$

$$h = \frac{6600\left(0.8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9(3.9)} \geq 90\text{mm}$$

$$h = 102\text{mm} \approx 120\text{mm} \geq 90\text{mm} \rightarrow \text{ok}$$

#### 4.1.4. Perencanaan Kolom Struktur

Menurut SNI 2847:2013 pasal 8.10.1 bahwa kolom harus dirancang menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau.

a. Data perencanaan :

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

$$\text{Tinggi lantai } 1 - 10 = 4 \text{ m}$$

b. Beban mati (qD)

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

$$\text{Keramik per cm tebal} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafond} = 11 \text{ kg/m}^2$$

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

$$\text{Plumbing} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Mekanikal & elektrikal} = 40 \text{ kg/m}^2$$

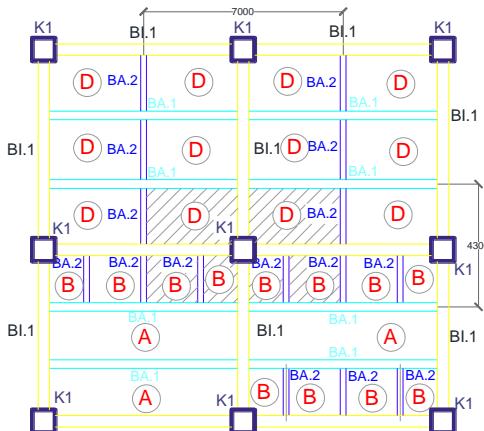
c. Beban hidup ( $qL$ ) (SNI 1727:2013 tabel 4-1)

$$\text{Lantai 1 – 8 ( hunian)} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Lantai 9 ( kelas)} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Lantai 10 ( ballroom)} = 479 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Atap} = 96 \text{ kg/m}^2$$



**Gambar 4. 6** Denah kolom yang ditinjau

$$\text{Luas Tributari (A}_T\text{)} = 7.00 \times 4.33 = 30.1 \text{ m}^2$$

$$K_{LL} = 4 \text{ (SNI 1727:2013 tabel 4-2)}$$

### Perhitungan Pembebatan

1. Beban mati lantai 1-10

**Tabel 4. 5** Beban mati lantai 1 - 10

Komponen	Dimensi	Berat	Jumlah	Total
Pelat lantai	7 x 4.3 x 0.12	2400	10	86688.00 kg
Plafond	7 x 4.3	11	10	3311.00 kg
Penggantung	7 x 4.3	7	10	2107.00 kg
Balok arah x	0.4 x 0.6 x 7	2400	10	40320.00 kg
Balok arah y	0.4 x 0.6 x 4.3	2400	10	24768.00 kg
Spesi t=2 cm	7 x 4.3	21	10	6321.00 kg
Keramik t=1 cm	7 x 4.3	24	10	7224.00 kg
Plumbing	7 x 4.3	25	10	7525.00 kg
Mekanikal	7 x 4.3	40	10	12040.00 kg
<b>Total Beban Mati lantai 1 – 10</b>				<b>190304.00 kg</b>

2. Beban mati lantai atap

**Tabel 4. 6** Beban mati lantai atap

Komponen	Dimensi	Berat	Jumlah	Total
Pelat lantai	7 x 4.3 x 0.12	2400	1	8668.8 kg
Plafond	7 x 4.3	11	1	331.1 kg
Penggantung	7 x 4.3	7	1	210.7 kg
Balok arah x	0.4 x 0.6 x 7	2400	1	4032.0 kg
Balok arah y	0.4 x 0.6 x 4.3	2400	1	2476.8 kg
Mekanikal	7 x 4.3	40	1	1204.0 kg
<b>Total Beban Mati lantai 1 – 10</b>				<b>166923.4 kg</b>

Total Beban Mati = 207227.4 kg

Menurut SNI 1727:2013 pasal 4.7.2 komponen struktur yang memiliki nilai KLL . AT  $\geq$  37.16 m<sup>2</sup>. Diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$A_T = 7.00 \times 4.3 = 30.1 \text{ m}^2$$

$$K_{LL} \cdot A_T = 4 \times 30.1 = 120.4 \text{ m}^2$$

$$K_{LL} \cdot A_T \geq 37.16 \text{ m}^2$$

$120.4 \geq 37.16 \text{ m}^2$  (beban hidup boleh direduksi)

1. Reduksi beban hidup lantai 1 – 9

$$\text{Beban hidup lantai dasar (Lo)} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$L = Lo \times \left( 0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \geq 0.4 Lo$$

$$L = 250 \times \left( 0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{120.4}} \right) \geq 0.4 \times 250$$

$$L = 166.6 \text{ kg/m}^2 \geq 100 \text{ kg/m}^2$$

Maka total beban hidup lantai 1 – 9

$$\begin{aligned} \text{Lantai 1 – 9} &= 166.6 \times 7 \times 4.3 \times 9 \\ &= 45137.93 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Reduksi beban hidup lantai 10

$$\text{Beban hidup lantai dasar (Lo)} = 479 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 479 \times \left( 0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{120.4}} \right) \geq 0.4 \times 479$$

$$L = 319.2 \text{ kg/m}^2 \geq 191.6 \text{ kg/m}^2$$

Maka total beban hidup lantai 10

$$\begin{aligned} \text{Lantai 10} &= 319.2 \times 7 \times 4.3 \times 1 \\ &= 9609.364 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Reduksi beban hidup pelat lantai atap

Reduksi beban hidup pelat lantai atap ( $L_r$ ) ditentukan sesuai persamaan berikut : (SNI 1727:2013 pasal 4.8.2)

Diketahui nilai  $A_T = 30.1 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} R_1 &= 1.2 - 0.011 \times A_T \\ &= 0.869 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4.82 bahwa nilai  $F \leq 4$ , maka

$R_2$  adalah

$$R_2 = 1 (F \leq 4)$$

$$\begin{aligned} L_r &= L_o \times R_1 \times R_2 \\ &= 96 \times 0.869 \times 1 \\ &= 83.41 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$58 \leq L_r \leq 96$$

$$58 \leq 83.41 \leq 96$$

Maka  $L_r = 83.41 \text{ kg/m}^2$

Jadi total beban hidup pelat lantai atap

$$\begin{aligned} \text{Lt atap} &= 83.41 \times 7 \times 4.3 \\ &= 2510.77344 \text{ kg} \end{aligned}$$

### Kombinasi Beban

Total beban mati ( $qD$ ) = 207227.4 kg

Total beban hidup ( $qL$ ) = 57258.06711 kg

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.4 qD \\ &= 290118.36 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Qu &= 1.2 qD + 1.6 qL + 0.5 Lr \\&= 341541.1741 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka diambil kondisi yang menentukan yaitu :

$$Qu = 341541.1741 \text{ kg}$$

$$Qu = 3415411.741 \text{ N}$$

### **Menentukan dimensi kolom (lantai 1-5)**

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 35 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{Dimensi kolom (A)} &= \frac{P}{0.3 \times f'c} \\&= 325277.3087 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dimensi :

$$\begin{aligned}h = b \quad \text{maka} \quad : A &= b^2 \\b &= \sqrt{325277.3087} \\&= 570.3 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diambil = 80/80

### **Menentukan dimensi kolom (lantai 6-10)**

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{Dimensi kolom (A)} &= \frac{P}{0.3 \times f'c} \\&= 379490.1934 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dimensi :

$$\begin{aligned}h = b \quad \text{maka} \quad : A &= b^2 \\b &= \sqrt{379490.1934} \\&= 616 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diambil = 80/80

Jadi dipakai dimensi kolom pada gedung asrama LPMP yaitu :

$$\text{Kolom lantai 1-5} = 80 \times 80 \text{ cm}$$

$$\text{Kolom lantai 6-10} = 80 \times 80 \text{ cm}$$

## 4.2. Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekuatan secara keseluruhan, namun tetap megalami tegangan-tegangan akibat pembebahan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung namun akibat perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian dari struktur sekunder meliputi pelat lantai & atap, balok anak, balok lift serta tangga.

### 4.2.1. Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

#### 4.2.1.1. Data-data Perencanaan

Mutu beton ( $f_c$ )	:	35 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	:	240 MPa
Tebal pelat atap	:	120 mm
Tebal pelat lantai	:	120 mm
Selimut beton	:	20 mm
Diameter tulangan	:	10 mm

#### 4.2.1.2. Pembekalan Pelat Lantai

Pembekalan pada pelat lantai dibagi menjadi dua, yaitu pembekalan pada pelat atap dan pembekalan pada pelat lantai. Hal ini dikarenakan beban yang bekerja pada pelat atap berbeda dengan pelat lantai.

#### 1. Pembekalan pelat lantai untuk hunian

##### a. Beban mati

**Tabel 4. 7** Beban mati pelat lantai untuk hunian

Berat sendiri (12cm)	=	0.12 x 2400	=	288	Kg/m <sup>2</sup>
Ubin (1cm)	=	1 x 24	=	24	Kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2cm)	=	2 x 21	=	42	Kg/m <sup>2</sup>
Penggantung	=	7	=	7	Kg/m <sup>2</sup>
Plafon	=	11	=	11	Kg/m <sup>2</sup>
MEP	=	40	=	40	Kg/m <sup>2</sup>
Plumbing	=	25	=	25	Kg/m <sup>2</sup>
<b>DL tot</b>			=	<b>437</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

##### b. Beban hidup

$$LL = 250 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned} Qu &= 1.2DL + 1.6LL \\ &= 924.4 \text{ kg/m}^2 = 9.068 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## 2. Pembebanan pelat lantai untuk *ballroom*

a. Beban mati

**Tabel 4.8** Beban mati pelat lantai untuk *ballroom*

Berat sendiri (12cm)	=	0.12 x 2400	=	288	Kg/m <sup>2</sup>
Ubin (1cm)	=	1 x 24	=	24	Kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2cm)	=	2 x 21	=	42	Kg/m <sup>2</sup>
Penggantung	=	7	=	7	Kg/m <sup>2</sup>
Plafon	=	11	=	11	Kg/m <sup>2</sup>
MEP	=	40	=	40	Kg/m <sup>2</sup>
Plumbing	=	25	=	25	Kg/m <sup>2</sup>
<b>DL tot</b>			=	<b>437</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

b. Beban hidup

$$LL = 479 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned} Qu &= 1.2DL + 1.6LL \\ &= 1290.8 \text{ kg/m}^2 = 12.663 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## 3. Pembebanan pelat atap

a. Beban mati

**Tabel 4.9** Beban mati pelat atap

Berat sendiri (12cm)	=	0.12 x 2400	=	288	Kg/m <sup>2</sup>
Penggantung	=	7	=	7	Kg/m <sup>2</sup>
Plafon	=	11	=	11	Kg/m <sup>2</sup>
MEP	=	40	=	40	Kg/m <sup>2</sup>
Plumbing	=	25	=	25	Kg/m <sup>2</sup>
<b>DL tot</b>			=	<b>371</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

b. Beban hidup

$$LL = 96 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned} Qu &= 1.2DL + 1.6LL \\ &= 598.8 \text{ kg/m}^2 = 5.874 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 4.2.1.3. Perhitungan Pelat Tipe A (1 arah)

$$Ly = 600 \text{ cm}$$

$$Lx = 300 \text{ cm}$$

$$Ln = Ly - \frac{b.\text{balok}}{2} + \frac{b.\text{balok}}{2}$$

$$= 600 - \frac{30}{2} + \frac{30}{2}$$

$$= 570 \text{ cm}$$

$$Sn = Lx - \frac{b.\text{balok}}{2} + \frac{b.\text{balok}}{2}$$

$$= 300 - \frac{40}{2} + \frac{40}{2}$$

$$= 260 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{570}{260} = 2.19 > 2 \text{ (pelat 1 arah)}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{35-28}{7} \times 5\% \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 10.2.7.3)}$$

$$= 0.8$$

$$d = T.\text{pelat} - \text{selimut} - \frac{\phi t u l.\text{utama}}{2}$$

$$= 120 - 20 - 10/2$$

$$= 95 \text{ mm}$$

Pelat satu arah momen dihitung sesuai ketentuan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3

$$M_{\text{interior1}} = \frac{1}{10} W u L x^2 = \frac{1}{10} \times 9.07 \times 2.6^2$$

$$= 6.13 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{lap}} = \frac{1}{16} W u L x^2 = \frac{1}{16} \times 9.07 \times 2.6^2$$

$$= 3.831 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{interior}} &= \frac{1}{11} W_u L_x^2 = \frac{1}{11} \times 9.07 \times 2.6^2 \\ &= 5.573 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### A. Tumpuan Interior

- Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Karena pelat 1 arah biasanya menggunakan rasio tulangan yang relatif sedikit, lengan momen lentur tulangan, jd, diapat diasumsikan sebesar 0.95d untuk daerah momen negatif (MacGredor, 2009). Penampang diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\Phi=0.9$ ) (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.1).

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0.95d)}$$

$$A_s \geq \frac{6.13 \times 10^6}{0.9 \times 240 \times (0.95 \times 95)}$$

$$A_s \geq 314.47 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{314.47 \times 240}{0.85 \times 35 \times 1000} = 2.54 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2.54}{0.8} = 3.17 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8}dt = \frac{3}{8} \times 95 = 35.63 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 dt$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

- Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\text{Asperlu} \geq \frac{\text{Mu}}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$\text{Asperlu} \geq \frac{6.130 \times 10^6}{0.9 \times 240 \left( 95 - \frac{2.54}{2} \right)}$$

$$\text{Asperlu} \geq 302.79 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.8 \times 35}{240} \times \frac{600}{600 + 240} \\ &= 0.071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.071 \\ &= 0.053 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.0058$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{240}{0.85 \times 35} = 8.07$$

$$R_n = \frac{\text{Mu}}{\phi \cdot b \cdot d x^2} = \frac{6130214.07}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 0.75$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8.07} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8.07 \times 0.75}{240}} \right) \\ &= 0.0032 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0.0058$

$$\begin{aligned}
 As_{\min} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.0058 \times 1000 \times 95 \\
 &= 554.167 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Menghitung tulangan terpasang  
Atulangan  $= \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$   
 $= 78.54 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{As_{\text{perlu}}}{Atulangan} = \frac{554.167}{78.54} \\
 &= 7.06 \approx 8 \text{ bh}
 \end{aligned}$$

- Kontrol tulangan utama

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 10.5.4 bahwa spasi tulangan maksimum antar tulangan untuk slab tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 3x tebal slab atau 450 mm. Dan pada Ps. 13.3.2 disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari 2x tebal slab.

$$2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 100 mm

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times A_{\text{tulangan}} \\
 &= 8 \times 78.54 \\
 &= 628.32 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### Digunakan tulangan Ø10 – 100

- Menghitung tulangan pembagi terpasang  
Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut, terdapat pada SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1.
  - Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350  
 $\rho_{\min} = 0.002$
  - Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.002 \times 1000 \times 95 \\ &= 190 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Tulangan}}} = \frac{190}{78.54} = 2.43 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{3} = 333.3 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 200 mm

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times A \text{ tulangan} \\ &= 3 \times 78.54 \\ &= 265.47 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### **Digunakan tulangan Ø10 – 200**

- Menghitung tulangan susut

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As tul} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 50.27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Tulangan}}} = \frac{216}{50.27} = 4.3 \approx 5 \text{ buah}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 200 mm

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times A \text{ tulangan} \\ &= 3 \times 78.54 \\ &= 265.47 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### **Digunakan tulangan Ø8 – 200**

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak  
Menurut SNI 2847:2013 Ps. 10.6.4

$$s = 380 \times \frac{280}{f_s} - 2.5C_c \text{ dan tidak boleh melebihi } 300 \times \frac{280}{f_s}$$

$$f_s = \frac{2}{3}f_y = \frac{2}{3} \times 240 = 160 \text{ MPa}$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

Keterangan :

$f_s$  = tegangan Tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$C_c$  = jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka Tarik

$$- \quad 380 \times \frac{280}{160} - (2.5 \times 20) = 615 \text{ mm}$$

$$- \quad 300 \times \frac{280}{160} = 525 \text{ mm}$$

**Jarak antar tulangan 200 mm < dari batas persyaratan (memenuhi)**

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser
  - Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 8.3.3 nilai  $V_u$  :

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{9.068 \times 2.60}{2} = 11.79 \text{ kN}$$

- Nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1

$$V_c = 0.17\lambda \sqrt{f'_c \cdot b \cdot w \cdot d} = 0.17 \times 1 \sqrt{35} \times 1000 \times 95 \\ = 95544.69 \text{ N}$$

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal) SNI 2847:2013 Ps. 8.6.1}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 95544.69 = 71658.52 \text{ N} = 71.66 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$71.66 > 11.79 \text{ (tebal pelat memenuhi)}$$

- Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diizinkan dalam SNI 2847:2013 Ps.

9.5.2.2 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup yaitu :

$$\delta_{\text{izin}} = \frac{1}{360} = \frac{2600}{360} = 7.22 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{35} = 27805.575 \text{ N/mm}^2$$

$$Qu = 9.068 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 144000000 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{9.068 \times 2600^4}{27805.575 \times 144000000} \right) \\ = 1.35 \text{ mm}$$

$$\delta^o < \delta_{\text{izin}}$$

$$1.35 < 7.22 \text{ (memenuhi)}$$

## B. Lapangan

- Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$As \geq \frac{Mu}{\phi fy(0.95d)}$$

$$As \geq \frac{3.831 \times 10^6}{0.9 \times 240 \times (0.95 \times 95)}$$

$$As \geq 196.54 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As.fy}{0.85.f'c.b} = \frac{196.54 \times 240}{0.85 \times 35 \times 1000} = 1.59 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1.59}{0.8} = 1.98 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8}dt = \frac{3}{8} \times 95 = 35.63 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 dt$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

- Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\text{Asperlu} \geq \frac{\text{Mu}}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$\text{Asperlu} \geq \frac{3.831 \times 10^6}{0.9 \times 240 \left( 95 - \frac{1.59}{2} \right)}$$

$$\text{Asperlu} \geq 188.29 \text{ mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 0.8 \times 35}{240} \times \frac{600}{600 + 240} \\ = 0.071$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times 0.071 = 0.053$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.0058$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{240}{0.85 \times 35} = 8.07$$

$$R_n = \frac{\text{Mu}}{\phi b d x^2} = \frac{3831383.79}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 0.47$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{8.07} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8.07 \times 0.47}{240}} \right) \\ = 0.0019$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0.0058$

$$\text{As min} = \rho \times b \times d \\ = 0.0058 \times 1000 \times 93.5 \\ = 554.167 \text{ mm}^2$$

- Menghitung tulangan terpasang

$$\text{Atulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{\text{ASperlu}}{\text{Atulangan}} = \frac{554.167}{78.54} \\ &= 7.06 \approx 8 \text{ bh}\end{aligned}$$

- Kontrol tulangan utama

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 10.5.4 bahwa spasi tulangan maksimum antar tulangan untuk slab tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 3x tebal slab atau 450 mm. Dan pada Ps. 13.3.2 disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari 2x tebal slab.

$$2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 100 mm

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times A \text{ tulangan} \\ &= 8 \times 78.54 \\ &= 628.32 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### **Digunakan tulangan Ø10 – 100**

- Menghitung tulangan pembagi terpasang (tulangan susut)  
Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut, terdapat pada SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1.

- Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350  
 $\rho_{min} = 0.002$
- Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420  
 $\rho_{min} = 0.0018$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.002 \times 1000 \times 95 \\ &= 190 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n = \frac{\text{ASperlu}}{\text{Atulangan}} = \frac{190}{78.54} = 2.42 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{3} = 333.3\text{mm} \geq 240\text{mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 200 mm

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times A \text{ tulangan} \\ &= 3 \times 78.54 \\ &= 235.62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### **Digunakan tulangan Ø10 – 200**

- Menghitung tulangan susut

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \\ \text{As tul} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 50.27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{216}{50.27} = 4.3 \approx 5 \text{ buah}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{5} = 200\text{mm} \geq 240\text{mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 200 mm

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times A \text{ tulangan} \\ &= 3 \times 78.54 \\ &= 235.47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### **Digunakan tulangan Ø8 – 200**

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak  
Menurut SNI 2847:2013 Ps. 10.6.4

$$s = 380 \times \frac{280}{f_s} - 2.5C_c \text{ dan tidak boleh melebihi } 300 \times \frac{280}{f_s}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 240 = 160 \text{ MPa}$$

$$Cc = 20 \text{ mm}$$

$$\text{- } 380 \times \frac{280}{160} - (2.5 \times 20) = 615 \text{ mm}$$

$$\text{- } 300 \times \frac{280}{160} = 525 \text{ mm}$$

**Jarak antar tulangan 200 mm < dari batas persyaratan (memenuhi)**

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser

- Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 8.3.3 nilai Vu :

$$Vu = \frac{Wu \cdot ln}{2} = \frac{9.068 \times 2.60}{2} = 11.79 \text{ kN}$$

- Nilai Vc ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Ps.

11.2.1.1

$$Vc = 0.17\lambda \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d = 0.17 \times 1\sqrt{35} \times 1000 \times 95 \\ = 95544.69 \text{ N}$$

$\lambda = 1$  (beton normal) SNI 2847:2013 Ps. 8.6.1

$$\phi Vc = 0.75 \times 95544.69 = 71658.52 \text{ N} = 71.7 \text{ kN}$$

$$\phi Vc > Vu$$

$$71.7 > 11.79 \text{ (tebal pelat memenuhi)}$$

- Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diizinkan dalam SNI 2847:2013 Ps. 9.5.2.2 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup yaitu :

$$\delta_{izin} = \frac{1}{360} = \frac{2600}{360} = 7.22 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{35} = 27805.575 \text{ N/mm}^2$$

$$Qu = 9.068 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 144000000 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{9.068 \times 2600^4}{27805.575 \times 144000000} \right)$$

$$= 1.35 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ccc} \delta^o & < & \delta_{\text{izin}} \\ 1.35 & < & 4.722 \text{ (memenuhi)} \end{array}$$

#### 4.2.1.4. Perhitungan Pelat Tipe B (2 arah)

$$Ly = 300 \text{ cm}$$

$$Lx = 200 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} Ln &= Ly - \frac{b.\text{balok}}{2} + \frac{b.\text{balok}}{2} \\ &= 300 - \frac{30}{2} + \frac{40}{2} \\ &= 265 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sn &= Lx - \frac{b.\text{balok}}{2} + \frac{b.\text{balok}}{2} \\ &= 200 - \frac{30}{2} + \frac{30}{2} \\ &= 170 \text{ cm} \end{aligned}$$

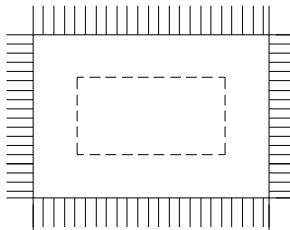
$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{265}{170} = 1.5 > 2 \text{ (pelat 2 arah)}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - \frac{35-28}{7} \times 5\% \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps. 10.2.7.3}) \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= T.\text{pelat} - \text{selimut} - \frac{\varnothing \text{ tul.utama}}{2} \\ &= 120 - 20 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk menganalisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelat digunakan peraturan beton bertulang Indonesia (PBBI 1971 Ps.

13.3 tabel 13.3.1 hal 202). Perhitungan momen yang terjadi pada pelat diasumsikan sebagai terjepit penuh pada keempat tumpuannya sehingga perhitungannya menggunakan persamaan :



**Gambar 4.7** Momen didalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban terbagi rata (terjepit penuh)

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen sebagai berikut ( $I_y/I_x = 1.5$ )

$$\text{Tumpuan : } X_x = 76$$

$$X_y = 57$$

$$\text{Lapangan : } X_x = 36$$

$$X_y = 17$$

$$\begin{aligned} M_{Ix} &= 0.001 q.lx^2.X \\ &= 0.001 \times 9.0684 \times 1.7^2 \times 36 \\ &= 0.943472591 \text{ kNm} \\ &= 943472.5906 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Iy} &= 0.001 q.lx^2.X \\ &= 0.001 \times 9.0684 \times 1.7^2 \times 17 \\ &= 0.445528723 \text{ kNm} \\ &= 445528.7233 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Tx} &= -0.001 q.lx^2.X \\ &= -0.001 \times 9.0684 \times 1.7^2 \times 76 \\ &= -1.991775469 \text{ kNm} \\ &= -1991775.469 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ty} &= -0.001 q.lx^2.X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -0.001 \times 9.0684 \times 1.7^2 \times 57 \\
 &= -1.493831602 \text{ kNm} \\
 &= -1493831.602 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### A. Penulangan Tumpuan X

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 0.8 \times 35}{240} \times \frac{600}{600 + 240} \\
 &= 0.071 \\
 \rho_{max} &= 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.071 \\
 &= 0.053 \\
 \rho_{min} &= \frac{0.25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1}) \\
 &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{240} \\
 &= 0.0062 \\
 \rho_{min} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.0058 \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{240}{0.85 \times 35} = 8.07 \\
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d x^2} = \frac{1991775.469}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 0.25 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{8.07} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8.07 \times 0.25}{240}} \right) \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $\rho_{min} = 0.0062$

$$A_{\text{Spesial}} = \rho b d = 0.0062 \times 1000 \times 95 = 585.45 \text{ mm}^2$$

$S_{max} \leq 2h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$  (SNI 2847:2013 Ps. 13.3.2)

$$\begin{aligned} n &= \frac{AS_{perlu}}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{585.45}{\frac{1}{4}\times\pi\times10^2} = 7.45 \approx 8 \text{ buah} \\ s &= \frac{1000}{n} = \frac{1000}{8} = 125 \geq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$AS_{pasang} = n \times A_{tulangan} = 8 \times 78.54 = 628.32 \text{ mm}^2$

$AS_{perlu} < AS_{pasang}$   
 $585.45 < 628.32$  (memenuhi)

**Jadi dipasang tulangan Ø10 – 100**

### B. Penulangan Tumpuan Y

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{1493831.602}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 0.18 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8.07} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8.07 \times 0.18}{240}} \right) \\ &= 0.00008 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $\rho_{min} = 0.0062$

$AS_{perlu} = \rho bd = 0.0062 \times 1000 \times 95 = 585.45 \text{ mm}^2$

$S_{max} \leq 2h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$  (SNI 2847:2013 Ps. 13.3.2)

$$\begin{aligned} n &= \frac{AS_{perlu}}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{585.45}{\frac{1}{4}\times\pi\times10^2} = 7.45 \approx 8 \text{ buah} \\ s &= \frac{1000}{n} = \frac{1000}{8} = 125 \geq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$AS_{pasang} = n \times A_{tulangan} = 8 \times 78.54 = 628.32 \text{ mm}^2$

$AS_{perlu} < AS_{pasang}$   
 $585.45 < 628.32$  (memenuhi)

**Jadi dipasang tulangan Ø10 – 100**

### C. Penulangan Lapangan X

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{943472.5906}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 0.12$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8.07} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8.07 \times 0.12}{240}} \right) \\ &= 0.0005\end{aligned}$$

Maka dipakai  $\rho_{min} = 0.0062$

$$AS_{perlu} = \rho bd = 0.0062 \times 1000 \times 95 = 585.45 \text{ mm}^2$$

$$S_{max} \leq 2h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm (SNI 2847:2013 Ps. 13.3.2)}$$

$$n = \frac{AS_{perlu}}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{585.45}{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2} = 7.45 \approx 8 \text{ buah}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{8} = 125 \geq 240 \text{ mm}$$

$$AS_{pasang} = n \times A_{tulangan} = 8 \times 78.54 = 628.32 \text{ mm}^2$$

$$AS_{perlu} < AS_{pasang}$$

$$585.45 < 628.32 \text{ (memenuhi)}$$

**Jadi dipasang tulangan Ø10 – 100**

### D. Penulangan Lapangan Y

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{445528.7233}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 0.055$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8.07} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8.07 \times 0.055}{240}} \right) \\ &= 0.00023\end{aligned}$$

Maka dipakai  $\rho_{min} = 0.0062$

$$AS_{\text{perlu}} = \rho b d = 0.0062 \times 1000 \times 95 = 585.45 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{max}} \leq 2h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm} \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 13.3.2)}$$

$$n = \frac{AS_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{585.45}{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2} = 7.45 \approx 8 \text{ buah}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{8} = 125 \geq 240 \text{ mm}$$

$$AS_{\text{pasang}} = n \times A_{\text{tulangan}} = 8 \times 78.54 = 628.32 \text{ mm}^2$$

$$AS_{\text{perlu}} < AS_{\text{pasang}}$$

$$585.45 < 628.32 \text{ (memenuhi)}$$

### Jadi dipasang tulangan Ø10 – 100

- Menghitung tulangan susut arah X dan Y

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0.0018 \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{tul}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2$$

$$= 50.27 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{AS_{\text{perlu}}}{Atulangan} = \frac{216}{50.27} = 4.3 \approx 5 \text{ buah}$$

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m

$$S = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan (s) = 200 mm

$$As_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times A_{\text{tulangan}}$$

$$= 3 \times 78.54$$

$$= 235.42 \text{ mm}^2$$

### Digunakan tulangan Ø8 – 200

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 10.6.4

$$s = 380 \times \frac{280}{fs} - 2.5Cc \text{ dan tidak boleh melebihi } 300 \times \frac{280}{fs}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 240 = 160 \text{ MPa}$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

$$- 380 \times \frac{280}{160} - (2.5 \times 20) = 615 \text{ mm}$$

$$- 300 \times \frac{280}{160} = 525 \text{ mm}$$

**Jarak antar tulangan 200 mm < dari batas persyaratan (memenuhi)**

- **Kontrol ketebalan pelat terhadap geser**

- Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 8.3.3 nilai  $V_u$  :

$$V_u = \frac{W_u \cdot L_n}{2} = \frac{9.068 \times 1.70}{2} = 7.71 \text{ kN}$$

- Nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Ps.

11.2.1.1

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d = 0.17 \times 1\sqrt{35} \times 1000 \times 95 \\ = 995544.7 \text{ N}$$

$\lambda = 1$  (beton normal) SNI 2847:2013 Ps. 8.6.1

$$\phi V_c = 0.75 \times 995544.7 = 71658.52 \text{ N} = 71.66 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$71.66 > 7.71 \text{ (tebal pelat memenuhi)}$$

- **Kontrol lendutan**

Lendutan maksimum yang diizinkan dalam SNI 2847:2013 Ps. 9.5.2.2 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup yaitu :

$$\delta_{izin} = \frac{1}{360} = \frac{1700}{360} = 4.722 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{35} = 27805.575 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_u = 9.068 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 144000000 \text{ mm}^4 \\
 \delta^o &= \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{9.068 \times 1700^4}{27805.575 \times 144000000} \right) \\
 &= 0.25 \text{ mm} \\
 \delta^o &< \delta_{\text{izin}} \\
 0.25 &< 4.722 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.1.5. Rekapitulasi Penulangan Pelat

Tabel 4. 10 Rekapitulasi penulangan pelat

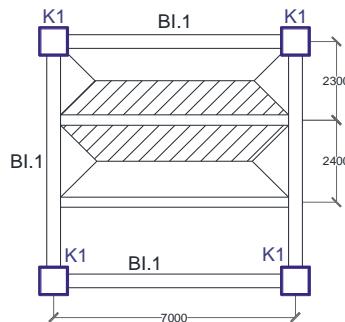
Tipe Plat	Lantai	Tumpuan		Lapangan		Tipe arah
		Tul. Utama	Tul. Pembagi	Tul. Utama	Tul. Pembagi	
A	1 – 9	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Satu Arah
	10	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	
	Atap	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	
Tipe Plat	Lantai	Tumpuan		Lapangan		Dua Arah
		X	Y	X	Y	
		Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
B	1 – 9	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
	10	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
	Atap	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
C	1 – 9	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
	10	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
	Atap	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	
D	1 – 9	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-100	

#### 4.2.2. Perencanaan Balok Anak

Balok anak merupakan struktur sekunder yang berfungsi sebagai pembagi/pendistribusi beban. Dalam perencanaan struktur gedung asrama LPMP ini dimensi balok anak yang digunakan adalah 30/45 untuk bentang 700 cm, dan 20/20 untuk bentang 300 cm.

#### 4.2.2.1. Data Perencanaan

- Bentang BA 1 = 7000 mm
- b BA 1 = 300 mm
- h BA 1 = 450 mm
- Bentang BI 1 = 7000 mm
- b BI 1 = 400 mm
- h BI 1 = 600 mm
- Dimensi pelat atas :  
 lx = 2300 mm  
 ly = 7000 mm
- Dimensi pelat bawah :  
 lx = 2400 mm  
 ly = 7000 mm
- $f'_c$  = 35 MPa
- $f_y$  lentur = 420 MPa
- $f_{yv}$  geser = 240 MPa
- D lentur = 16 mm
- $\phi$  geser = 10 mm
- Jarak spasi (s) = 25 mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1)
- Selimut beton = 40 mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.7.1)
- $f.$ reduksi lentur ( $\phi$ ) = 0.9 (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.1)
- $f.$ reduksi geser ( $\phi$ ) = 0.75 (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.3)



**Gambar 4. 8** Balok Anak 1 dan Tributari Pembebanan pada balok anak

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor } \beta_1 &= 0.85 - \frac{f'c - 28}{7} \times 5\% \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps. 10.2.7.3}) \\
 &= 0.85 - \frac{35 - 28}{7} \times 5\% \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{selimut} - \emptyset \text{ sengkang} - D \cdot \text{lentur}/2 \\
 &= 450 - 40 - 10 - 16/2 \\
 &= 392 \text{ mm} \\
 d' &= h - d \\
 &= 450 - 392 \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_b = (\text{SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2)})$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0.033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0.75 \rho_b \quad (\text{SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3)}) \\
 &= 0.75 \times 0.033 \\
 &= 0.025
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0.25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1}) \\
 &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{420}{0.85 \times 35} = 14.118$$

#### 4.2.2.2. Pembebanan Pada Balok Anak

Pembebanan pada balok anak terdiri dari beban sendiri, beban mati tambahan, dan beban yang disalurkan dari pelat ke balok anak. Berikut ini adalah perhitungan pembebanan pada balok anak.

Pembebanan akibat pelat atas :

- Beban mati :

Berat sendiri (12cm)	=	$0.12 \times 2400$	=	288	$\text{Kg/m}^2$
Ubin (1cm)	=	$1 \times 24$	=	24	$\text{Kg/m}^2$
Spesi (2cm)	=	$2 \times 21$	=	42	$\text{Kg/m}^2$
Plumbing	=	25	=	25	$\text{Kg/m}^2$
<b>qD tot</b>			=	<b>358</b>	<b><math>\text{Kg/m}^2</math></b>

- Beban hidup :  $250 \text{ kg/m}^2$

Dari gambar tributary pembebanan dapat dilihat bahwa tributari beban pada pelat atas dan pelat bawah berbentuk trapezium. Sehingga perhitungan beban ekivalen adalah sebagai berikut :

Pelat atas :

- Beban mati :

$$\begin{aligned}
 q_{ekw} &= \frac{1}{6} \times qD \times Lx \times \left( 3 - \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{6} \times 358 \times 2.3 \times \left( 3 - \left( \frac{2.3}{7} \right)^2 \right) \\
 &= 396.88 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Hidup :

$$q_{ekw} = \frac{1}{6} \times qL \times Lx \times \left( 3 - \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{6} \times 250 \times 2.3 \times \left( 3 - \left( \frac{2.3}{7} \right)^2 \right) \\
 &= 277.15 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Pelat bawah :

- Beban mati :

$$\begin{aligned}
 q_{ekw} &= \frac{1}{6} \times qD \times Lx \times \left( 3 - \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{6} \times 358 \times 2.3 \times \left( 3 - \left( \frac{2.4}{7} \right)^2 \right) \\
 &= 412.77 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Hidup :

$$\begin{aligned}
 q_{ekw} &= \frac{1}{6} \times qL \times Lx \times \left( 3 - \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{6} \times 250 \times 2.3 \times \left( 3 - \left( \frac{2.4}{7} \right)^2 \right) \\
 &= 288.24 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung beban ekivalen pelat, selanjutnya dapat dihitung pembebanan pada balok.

Pembebanan pada balok :

- Beban mati :

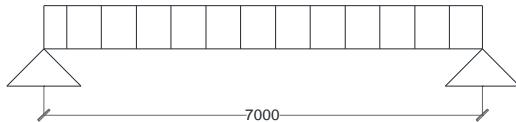
qekw atas	=	396.88	Kg/m <sup>2</sup>
qekw bawah	=	412.77	Kg/m <sup>2</sup>
Berat balok = 2400 x 0.3 x 0.45	=	323	Kg/m <sup>2</sup>
<b>qD tot</b>	=	<b>1133.65</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

- Beban hidup :

qekw atas	=	277.15	Kg/m <sup>2</sup>
qekw bawah	=	288.24	Kg/m <sup>2</sup>
<b>qD tot</b>	=	<b>565.39</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

- Beban Ultimate :

$$\begin{aligned} qU &= 1.2qD + 1.6qL \\ &= 1.2(113.65) + 1.6(565.39) \\ &= 3185.29 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 9** Mekanika Teknik Balok Anak

- $M_u = \frac{1}{8} \times qU \times L^2 = \frac{1}{8} \times 3185.29 \times 7^2$   
 $= 13873.24 \text{ kgm} = 136050047.1 \text{ Nmm}$
- $V_u = \frac{1}{2} \times qU \times L = \frac{1}{2} \times 3185.29 \times 7$   
 $= 7927.57 \text{ kg} = 77742.88 \text{ N}$

#### 4.2.2.3. Perhitungan Tulangan Lapangan

##### a. Lapangan bawah (positif)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{136050047.1}{0.9 \times 300 \times 392} = 3.28 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 3.28}{420}} \right) \\ &= 0.008 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$$

$$0.0035 < 0.008 < 0.025$$

jadi digunakan  $\rho_{min} = 0.008$

Luas (AS) tulangan perlu :

$$A_{Sperlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0.008 \times 300 \times 392 \\ = 975.25 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n) :

$$n = \frac{AS_{\text{perlu}}}{AS_{\text{tulangan}}} = \frac{975.25}{201.062} = 4.85 \approx 5 \text{ buah}$$

Jarak tulangan (s) :

$$s = \frac{b - n.D - 2d - 2.\Phi}{n - 1} \\ = \frac{300 - 5 \times 16 - 2 \times 40 - 2 \times 10}{5 - 1} \\ = 30 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

#### b. Lapangan atas (negatif)

$$AS_{\text{min}} = \frac{1}{2} \times AS_{\text{perlu}} \\ = \frac{1}{2} \times 975.25 \text{ mm}^2 \\ = 487.63 \text{ mm}^2 \\ n = \frac{487.63}{201.062} = 2.42 \approx 3 \text{ buah}$$

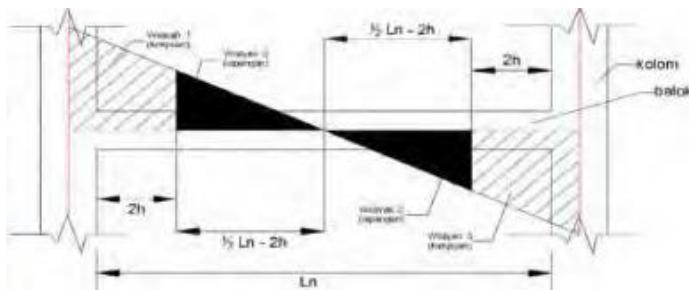
#### 4.2.2.5. Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1.2DL + 1.6LL, dari analisa SAP2000 didapatkan : Gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) = 77742.884 N

#### A. Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejauh dua kali tinggi balok dari muka kolom ke tengah bentang (SNI 2847:2013 Ps. 21.3).
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke setengah bentang.



**Gambar 4. 10** Daerah tumpuan dan lapangan

### B. Syarat kuat tekan beton ( $f'_c$ )

Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8.3 MPa (SNI 2847:2013 Ps. 11.1.2)

$$\sqrt{35} \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$5.916 \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)}$$

### C. Kuat geser beton (SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0.17 \times \sqrt{35} \times 300 \times 392 \\ &= 118274.267 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0.33 \times b \times d = 0.33 \times 300 \times 392 = 38808 \text{ N} \\ V_s \text{ max} &= 0.33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{35} \times 300 \times 392 \\ &= 229591.2242 \text{ N} \end{aligned}$$

### D. Penulangan geser balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$V_{u1} = 77742.88 \text{ N}$$

- Kondisi 1 (tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$77742.88 \text{ N} \leq 44352.85 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

- Kondisi 2 (tulangan geser minimum)

$$0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$44352.85 \text{ N} \leq 77742.88 \text{ N} \leq 88705.70 \text{ N}$$

Memenuhi

- Kondisi 3 (tulangan geser minimum)  
 $\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s \min})$   
 $88705.70 \text{ N} \leq 77742.88 \text{ N} \leq 117811.7 \text{ N}$

Tidak memenuhi

- Kondisi 4 (perlu tulangan geser)  
 $\phi(V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s \max})$   
 $117811.7 \text{ N} \leq 77742.88 \text{ N} \leq 260899.1184 \text{ N}$

Tidak memenuhi

- Kondisi 5 (perlu tulangan geser)  
 $\phi(V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s \max})$   
 $117811.7 \text{ N} \leq 77742.88 \text{ N} \leq 433092.5366 \text{ N}$

Tidak memenuhi

Syarat :

- Apabila masuk kondisi 1, maka tidak perlu tulangan geser
- Apabila masuk kondisi 2, maka perlu tulangan geser minimum
- Apabila masuk kondisi 3, maka perlu tulangan geser minimum
- Apabila masuk kondisi 4, maka perlu tulangan geser
- Apabila masuk kondisi 5, maka perlu tulangan geser

Perhitungan Tulangan geser masuk kondisi 2

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= V_{s \min} \\ &= 38808 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser

$$\phi = 10, n \text{ kaki} = 2$$

$$\begin{aligned} A_v &= 0.25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 0.25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (Sperlu)

$$Sperlu = \frac{A_v \cdot f_y \cdot v \cdot d}{V_s \text{ perlu}} = \frac{157.08 \times 240 \times 392}{38808} = 380.799 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan.

$S_{max} < d/2$  atau  $S_{max} < 600 \text{ mm}$

$150 \text{ mm} < 196 \text{ mm}$  atau  $150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$

### Sehingga dipakai tualangan geser $\phi 10 - 150$

- 2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{V_{u2}}{0.5Ln - 2h} = \frac{V_{u1}}{0.5Ln}$$

$$\begin{aligned} V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (0.5Ln - 2h)}{0.5Ln} \\ &= \frac{77742.88 \times (0.5(6600) - 2(450))}{0.5(6600)} \\ &= 56540.28 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kondisi 1

$$V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$56540.28 \text{ N} \leq 44352.85 \text{ N}$$

Tidak Memenuhi

- Kondisi 2

$$0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$44352.85 \text{ N} \leq 56540.28 \text{ N} \leq 88705.70 \text{ N}$$

Memenuhi

- Kondisi 3

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_s \min)$$

$$88705.70 \text{ N} \leq 56540.28 \text{ N} \leq 117811.7 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

- Kondisi 4

$$\phi(V_c + V_s \min) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_s \max)$$

$$117811.7 \text{ N} \leq 56540.28 \text{ N} \leq 260899.1184 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

- Kondisi 5

$$\phi(Vc + Vs \text{ min}) \leq Vu \leq \phi(Vc + Vs \text{ max})$$

$$117811.7 \text{ N} \leq 56540.28 \text{ N} \leq 433092.5366 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

Perhitungan Tulangan geser masuk kondisi 2

$$\begin{aligned} Vs \text{ perlu} &= Vs \text{ min} \\ &= 38808 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser

$$\emptyset = 10, n \text{ kaki} = 2$$

$$\begin{aligned} Av &= 0.25 \times \pi \times \emptyset^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 0.25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (Sperlu)

$$Sperlu = \frac{Av.fyv.d}{Vs.\text{perlu}} = \frac{157.08 \times 240 \times 392}{38808} = 380.799 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan.

$$S_{\text{max}} < d/2 \text{ atau } S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 196 \text{ mm} \text{ atau } 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

**Sehingga dipakai tualangan geser  $\emptyset 10 - 150$  Sehingga dipakai tualangan geser  $\emptyset 10 - 150$**

#### 4.2.2.6. Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

**Tabel 4. 11 Rekapitulasi penulangan balok anak**

<b>Tipe Balok</b>	<b>Tumpuan</b>		<b>Lapangan</b>		<b>Tulangan Geser</b>	
	<b>Negatif</b>	<b>Positif</b>	<b>Negatif</b>	<b>Positif</b>	<b>Tumpuan</b>	<b>Lapangan</b>
BA 1	2D16	2D16	3D16	5D16	$\emptyset 10-150$	$\emptyset 10-150$
BA 2	2D13	2D13	2D13	2D13	$\emptyset 10-150$	$\emptyset 10-150$

#### 4.2.3. Perencanaan Penulangan Tangga dan Balok Bordes

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa alternatif, baik itu konstruksi maupun perlengkapan. Dalam perencanaan tangga ini diasumsikan sebagai frame 2 dimensi yang

kemusian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tertentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi-sendi, sendi-jepit, sendi-rol maupun jepit-jepit. Perbedaan asumsi menentukan cara penulangan konstruksi serta pengaruh terhadap struktur secara keseluruhan. Dalam perhitungan ini perletakan diasumsikan sebagai sendi-rol.

#### **4.2.3.1. Data-data Perencanaan Tangga**

Tinggi lantai	= 400 cm
Tinggi bordes	= 200 cm
Tinggi tanjakan (t)	= 17 cm
Lebar injakan (i)	= 30 cm
Lebar tangga	= 140 cm
Tebal pelat tangga (tp)	= 15 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
Lebar bordes	= 300 cm
Panjang bordes	= 170 cm
Panjang datar tangga	= 330 cm
Panjang miring tangga	= 386 cm

#### **4.2.3.2. Perhitungan perencanaan**

- Jumlah tanjakan (nt) =  $\frac{200}{17} = 12$  buah
- Jumlah injakan (ni) =  $12 - 1 = 11$  buah
- Syarat desain tangga :

$$57 < 2t + I \leq 65$$

$$57 < 64 \leq 65 \text{ (OK)}$$

- Syarat kemiringan

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{17}{30} \right) = 29.54^\circ$$

$$25^\circ \leq 29.54^\circ \leq 40^\circ$$

- Tebal pelat rata-rata

$$\begin{aligned}
 T &= t + \frac{i}{2} \times \sin \alpha \\
 &= 15 + \frac{30}{2} \times \sin 29.54 \\
 &= 22.39 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.3.3. Pembebatan Tangga

##### A. Pembebatan anak tangga

- Beban mati

**Tabel 4. 12** Beban mati anak tangga

Berat sendiri	=	$\frac{0.2239 \times 2400}{\cos 29.54}$	=	617.79 kg/m <sup>2</sup>
Keramik	=	24	=	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi	=	21 x 2 cm	=	42 kg/m <sup>2</sup>
Railing	=	20	=	20 kg/m <sup>2</sup>
<b>qd</b>	=		=	<b>703.79 kg/m<sup>2</sup></b>

$$\begin{aligned}
 qdt &= qd \times \text{lebar tangga} \\
 &= 703.79 \times 1.4 \\
 &= 985.32 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned}
 ql &= 479 \text{ kg/m}^2 \\
 qlt &= ql \times \text{lebar tangga} \\
 &= 479 \times 1.4 \\
 &= 670.6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban ultimate

$$\begin{aligned}
 qult &= 1.2D + 1.6L \\
 &= 1.2(985.32) + 1.6(670.6) \\
 &= 2255 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

## B. Pembebaan pelat bordes

- Beban mati

**Tabel 4. 13** Beban mati pelat bordes

Berat sendiri	=	0.15 x 2400	=	360 kg/m <sup>2</sup>
Keramik	=	24	=	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi	=	21 x 2 cm	=	42 kg/m <sup>2</sup>
Railing	=	20	=	20 kg/m <sup>2</sup>
qd	=		=	446 kg/m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned} qdt &= qd \times \text{lebar tangga} \\ &= 446 \times 1.4 \\ &= 624.4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

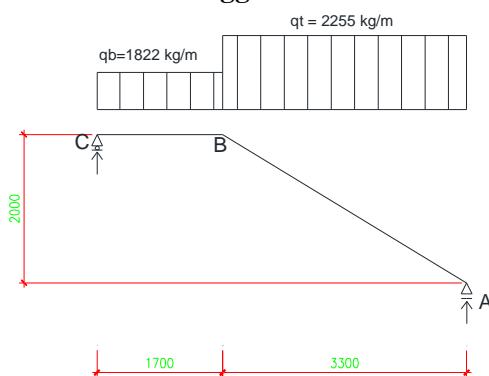
- Beban hidup

$$\begin{aligned} ql &= 479 \text{ kg/m}^2 \\ qlt &= ql \times \text{lebar tangga} \\ &= 479 \times 1.4 \\ &= 670.6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban ultimate

$$\begin{aligned} qult &= 1.2D + 1.6L \\ &= 1.2(624.4) + 1.6(670.6) \\ &= 1822 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### 4.2.3.4. Analisis struktur tangga



**Gambar 4. 11** Permodelan struktur tangga

## A. Reaksi perletakan

$$\Sigma H = 0 \quad Ha = 0$$

$$\Sigma Mc = 0$$

$$= -Va \times 5 + 2255 \times 3.3 \times 3.35 + 1822 \times 1.7 \times 0.85$$

$$= -Va \times 5 + 27565.92$$

$$Va = \frac{27565.92}{5} = 5513.18 \text{ kg } (\uparrow)$$

$$\Sigma Ma = 0$$

$$= Vc \times 5 - 2255 \times 3.3 \times 1.65 - 1822 \times 1.7 \times 4.15$$

$$= -Va \times 5 + 25136.23$$

$$Vc = \frac{25136.23}{5} = 5027.25 \text{ kg } (\uparrow)$$

$$\Sigma V = 0$$

$$Va + Vc - 1.7 \times qb - 3.3 \times qt = 0$$

$$5513.18 + 5027.25 - 1.7 \times 1822.2 - 3.3 \times 2255 = 0$$

$$5513.18 + 5027.25 - 3097.81 - 7442.62 = 0$$

$$0 = 0$$

## B. Perhitungan gaya-gaya dalam

## 1. BC (bordes)

Potongan X1 ( $0 \leq X1 \leq 1.7$ )

Bidang N: N = 0

Bidang D: Dx = Vc - qb x X1

$$X1 = 0$$

$$DC = 5027.25 - 1822.2 \times 0$$

$$= 5027.25 \text{ kg}$$

$$X1 = 1.7$$

$$DB = 5027.25 - 1822.2 \times 1.7$$

$$= 1929.44 \text{ kg}$$

Bidang M: Mx = (Vc x X1) - qb x X1 x (1/2 x X1)

$$X1 = 0$$

$$MC = (5027.25 \times 0) - 1822.2 \times 0 \times (1/2 \times 0)$$

$$= 0 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= 1.7 \\
 MB &= (5027.25 \times 1.7) - 1822.2 \times 1.7 \times \\
 &\quad (1/2 \times 1.7) \\
 &= 5913.18 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. AB (tangga)

Potongan X2 ( $0 \leq X_2 \leq 3.3$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang N: } Nx &= -Va \times \sin\alpha + qt \times X_2 \times \sin\alpha \\
 X_2 &= 0 \\
 NA &= -5513.18 \times \sin 29.54 + 2255 \times 0 \times \\
 &\quad \sin 29.54 \\
 &= -2718.17 \text{ kg} \\
 X_1 &= 3.3 \\
 NB &= -5513.18 \times \sin 29.54 + 2255 \times 3.3 \times \\
 &\quad \sin 29.54 \\
 &= 951.27 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

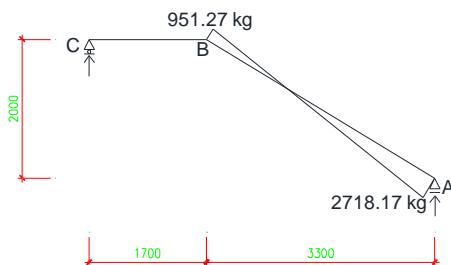
$$\begin{aligned}
 \text{Bidang D: } Dx &= -Va \times \cos\alpha + qt \times X_2 \times \cos\alpha \\
 X_2 &= 0 \\
 DA &= -5513.18 \times \cos 29.54 - 2255 \times 0 \times \\
 &\quad \cos 29.54 \\
 &= -4796.54 \text{ kg} \\
 X_2 &= 3.3 \\
 DB &= -5513.18 \times \cos 29.54 - 2255 \times 3.3 \times \\
 &\quad \cos 29.54 \\
 &= 1678.63 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang M: } Mx &= (Va \times X_2) - qt \times X_2 \times (1/2 \times X_2) \\
 X_2 &= 0 \\
 MA &= (5513.18 \times 0) - 2255 \times 0 \times (1/2 \times 0) \\
 &= 0 \text{ kgm} \\
 X_2 &= 3.3 \\
 MB &= (5513.18 \times 3.3) - 2255 \times 3.3 \times \\
 &\quad (1/2 \times 3.3) \\
 &= 5913.18 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum tangga :

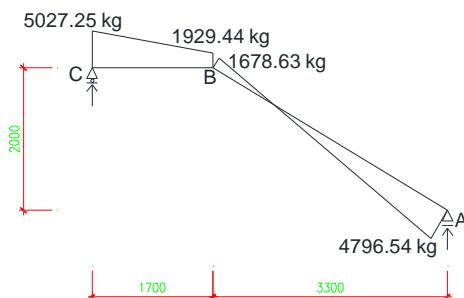
$$\begin{aligned}
 D_x &= 0 \\
 0 &= -V_a \times \cos\alpha + q_t \times X_2 \times \cos\alpha \\
 0 &= -5513.18 \times \cos 29.54 + 2255 \times X \times \cos 29.54 \\
 X &= \frac{4796.53}{1962.17} = 2.44 \text{ m} \\
 M_{max} &= V_a \times X - q_t \times X \times (1/2 \times X) \\
 &= 5513.18 \times 2.44 - 2255 \times 2.44 \times (1/2 \times 2.44) \\
 &= 6738.5 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Bidang N



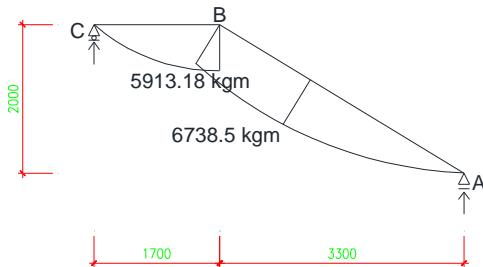
**Gambar 4. 12 Gaya normal**

Bidang D



**Gambar 4. 13 Gaya lintang**

Bidang M



Gambar 4. 14 Momen

#### 4.2.3.5. Penulangan Pelat Tangga

##### A. Data desain

Mutu beton ( $f'c$ )	= 35 MPa
Tebal pelat ( $t$ )	= 150 mm
Selimut beton	= 20 mm
Diameter tulangan	= 16 mm
Kuat tarik ( $f_y$ )	= 420 MPa

Gaya dalam didapat dari permodelan struktur tangga Mu sebesar :  $6738.5 \text{ kgm} = 66082072.3 \text{ Nmm}$

##### B. Perhitungan tulangan lentur

- $dx = h - \text{selimut} - \frac{\phi}{2}$   
 $= 150 - 30 - 16/2$   
 $= 112 \text{ mm}$
- $dy = h - \text{selimut} - \phi - \frac{\phi}{2}$   
 $= 150 - 30 - 16 - 16/2$   
 $= 96 \text{ mm}$
- $\beta_1 = (\text{SNI } 2847:2013 \text{ Ps. 10.2.7.3})$   
 $= 0.85 - \frac{f'c - 28}{7} \times 5\%$   
 $= 0.85 - \frac{35 - 28}{7} \times 5\%$   
 $= 0.8$

- $m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 35} = 14.12$
- $Rn = \frac{Mu}{\phi bdx^2} = \frac{66082072.3}{0.9 \times 1400 \times 122^2} = 4.18$
- $\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$   
 $= \frac{1}{14.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.12 \times 4.18}{420}} \right)$   
 $= 0.011$

$\rho_b = 0.033$  (SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2))  
 $\rho_{max} = 0.25$  (SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3))  
 $\rho_{min} = 0.0035$  (SNI 2847:2013 Ps 10.5.1)  
 $\rho_{min} = 0.0033$  (SNI 2847:2013 Ps 10.5.1)  
 $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$   
 $0.0035 < 0.011 < 0.025$  (OK)

- $As_{perlu} = \rho \cdot b \cdot d$   
 $= 0.011 \times 1000 \times 122$   
 $= 1206.7 \text{ mm}^2$

- $n$  (jumlah tulangan)

$$n = \frac{As_{perlu}}{As.D16} = \frac{1206.7}{201.06} = 6.01 = 7 \text{ bh}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{7} = 143 \text{ mm} = 140 \text{ mm}$$

syarat spasi antar tulangan :  $s_{max} \leq 3h$  atau 450  
 (SNI 2847:2013 Ps. 7.6.5)

- $As_{pakai} = 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2$   
 $= 1407.43 \text{ mm}^2$

$As_{pakai} > As_{perlu}$   
 $1407.43 > 1206.7$  (OK)

**Jadi digunakan tulangan lentur D16 – 140.**

### C. Perhitungan tulangan bagi tangga

Tulangan arah melintang merupakan tulangan minimum atau tulangan bagi struktur tangga. Dengan  $\rho$  untuk mutu tulangan  $< 420 \text{ MPa}$  adalah sebesar 0.002 (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1).

- As perlu =  $\rho \cdot b \cdot d$   
 $= 0.002 \times 1000 \times 96$   
 $= 192 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.}\phi 10} = \frac{192}{78.54} = 2.44 = 3 \text{ buah}$
- $s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$   
syarat spasi antar tulangan :  $s_{\max} \leq 3h$  atau 450  
(SNI 2847:2013 Ps. 7.6.5)
- As pakai =  $3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$   
 $= 235.62 \text{ mm}^2$

$$\begin{array}{lll} \text{As pakai} & > \text{As perlu} \\ 235.62 & > 192 & (\text{OK}) \end{array}$$

**Jadi digunakan tulangan lentur D10 – 300.**

#### 4.2.3.6. Penulangan Pelat Bordes

##### A. Data desain

Mutu beton ( $f'c$ )	= 35 MPa
Tebal pelat ( $t$ )	= 150 mm
Selimut beton	= 30 mm
Diameter tulangan	= 16 mm
Kuat tarik ( $f_y$ )	= 420 MPa

Gaya dalam didapat dari permodelan struktur tangga Mu sebesar : 5913.18 kgm = 57988499.46 Nmm

##### B. Perhitungan tulangan lentur

- $d = h - \text{selimut} - \phi/2$   
 $= 150 - 30 - 16/2$   
 $= 112 \text{ mm}$

- $\beta_1 = (\text{SNI } 2847:2013 \text{ Ps. 10.2.7.3})$

$$= 0.85 - \frac{f'c - 28}{7} \times 5\%$$

$$= 0.85 - \frac{35 - 28}{7} \times 5\%$$

$$= 0.8$$

- $m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 35} = 14.12$

- $Rn = \frac{Mu}{\phi bdx^2} = \frac{57988499.46}{0.9 \times 1700 \times 112^2} = 3.02$

- $\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$   
 $= \frac{1}{14.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.12 \times 3.02}{420}} \right)$   
 $= 0.0076$

$\rho_b = 0.033$  (SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2))

$\rho_{max} = 0.25$  (SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3))

$\rho_{min} = 0.0035$  (SNI 2847:2013 Ps 10.5.1)

$\rho_{min} = 0.0033$  (SNI 2847:2013 Ps 10.5.1)

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0.0035 < 0.0076 < 0.025$  (OK)

- $As \text{ perlu} = \rho.b.d$

$$= 0.0076 \times 1000 \times 112$$

$$= 851.40 \text{ mm}^2$$

- $n$  (jumlah tulangan)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As.D16} = \frac{851.40}{201.06} = 4.23 = 5 \text{ bh}$$

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

syarat spasi antar tulangan :  $s_{max} \leq 3h$  atau 450

(SNI 2847:2013 Ps. 7.6.5)

- As pakai =  $5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2$   
= 1005.31 mm<sup>2</sup>

As pakai > As perlu  
1005.31 > 851.40 (OK)

**Jadi digunakan tulangan lentur D16 – 200.**

#### C. Perhitungan tulangan bagi pelat bordes

Tulangan arah melintang merupakan tulangan minimum atau tulangan bagi struktur tangga. Dengan  $\rho$  untuk mutu tulangan < 420 MPa adalah sebesar 0.002 (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1).

- As perlu =  $\rho \cdot b \cdot d$   
= 0.002 x 1000 x 96  
= 192 mm<sup>2</sup>

- $n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.}\phi 10} = \frac{192}{78.54} = 2.44 = 3$  buah

- $s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

syarat spasi antar tulangan :  $s_{\max} \leq 3h$  atau 450

(SNI 2847:2013 Ps. 7.6.5)

- As pakai =  $3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$   
= 235.62 mm<sup>2</sup>

As pakai > As perlu  
235.62 > 192 (OK)

**Jadi digunakan tulangan lentur D10 – 300.**

#### 4.2.3.7. Penulangan Balok Bordes

##### A. Pembebanan balok bordes

Pembebanan balok bordes terdiri dari komponen yang berada diatas pelat bordes ditambah berat tinggi setengah dinding yang berada diatas balok bordes, dan juga ditambah nilai reaksi perletakan akibat beban tangga yang bekerja terhadap pelat tangga dan pelat bordes pada perhitungan sebelumnya.

Direncanakan dimensi balok bordes :

$$h = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 300 = 18.75 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 20 = 13.33 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

adapun pembebanan balok bordes dapat dilihat :

- Beban mati

**Tabel 4. 14** beban mati balok bordes

Berat sendiri	:	0.2 x 0.2 x 2400 kg/m <sup>3</sup>	=	96 kg/m
Pelat bordes	:	1.7 x 446 kg/m <sup>2</sup>	=	758.2 kg/m
Dinding 2.0 m	:	2.0 x 250 kg/m <sup>2</sup>	=	500 kg/m
		Total (qDL)	=	1354 kg/m

- Beban hidup

$$\begin{aligned} qLL &= 479 \text{ kg/m}^2 \times 1.7 \\ &= 814.3 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Kombinasi

$$\begin{aligned} Qu &= 1.2 qDL + 1.6 qLL \\ &= 2927.92 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Mu

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{10} \times Qu \times l^2 \\ &= \frac{1}{10} \times 2927.92 \times 3^2 \\ &= 2635.128 \text{ kgm} = 25841778 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Vu

$$= \frac{Qu \times L}{2} = \frac{2927.92 \times 3}{2} = 4391.8 \text{ kg} = 43069.63 \text{ N}$$

## B. Penulangan lentur

- Data desain :

$$\text{Dimensi} = 200 / 200$$

$$\text{Bentang (L)} = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{D.tulangan} = 16 \text{ mm}$$

$$\emptyset \text{ sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$F_y = 420 \text{ mm}$$

$$F_{yv} = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 35 \text{ MPa}$$

- $d = h - \text{selimut} - \phi \text{engkang} - \frac{1}{2} D$   
 $= 200 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 16$   
 $= 142 \text{ mm}$
- $M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{25841778}{0.9} = 28713086.67 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{28713086.67}{200 \times 142^2} = 7.12 \text{ N/mm}^2$
- $\rho_{min} = (\text{SNI } 2847:2013 \text{ Ps. 10.5.1})$   
 $= \frac{0.25\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0.25\sqrt{35}}{420} = 0.0035$
- $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.003$
- $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$   
 $= \frac{1}{14.1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.1 \times 7.12}{420}} \right)$   
 $= 0.019$   
 $\rho_{perlu} > \rho_{min}$   
 $0.019 > 0.0035 \text{ (dipakai } \rho_{perlu})$
- $A_{perlu} = \rho \cdot b \cdot d$   
 $= 0.019 \times 200 \times 142$   
 $= 559.15 \text{ mm}^2$
- $A_{tul} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{A_{perlu}}{A_{tul}} = \frac{559.15}{201.06} = 2.78 = 3 \text{ buah}$

- As pakai =  $3 \times 201.06 = 603.18 \text{ mm}^2$
- $s = \frac{bw - 2.\text{se lim ut} - 2.\phi\text{sengkang} - n.Dtul}{n-1}$   
 $= \frac{200 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 16}{3-1}$   
 $= 26 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$

- **jadi digunakan tulangan lentur 3D16**

C. Penulangan geser

- Kuat geser beton (SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1)  
 $V_c = 0.17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$   
 $= 0.17 \times \sqrt{35} \times 200 \times 142$   
 $= 28562.83 \text{ N}$
- Kuat geser tulangan geser  
 $V_s \text{ min} = 0.33 \times b \times d$   
 $= 0.33 \times 200 \times 142$   
 $= 9372 \text{ N}$   
 $V_s \text{ max} = 0.33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$   
 $= 0.33 \times \sqrt{35} \times 200 \times 142$   
 $= 55445.5 \text{ N}$
- Penulangan geser balok  
 $V_u = 43069.63 \text{ N}$
- Kondisi 1 (tidak perlu tulangan geser)  
 $V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$   
 $43069.63 \text{ N} \leq 10711.06 \text{ N}$   
Tidak memenuhi
- Kondisi 2 (tulangan geser minimum)  
 $0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$   
 $10711.06 \text{ N} \leq 43069.63 \text{ N} \leq 21422.12 \text{ N}$   
Tidak memenuhi
- Kondisi 3 (tulangan geser minimum)  
 $\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_s \text{ min})$   
 $21422.12 \text{ N} \leq 43069.63 \text{ N} \leq 28451.13 \text{ N}$

Tidak memenuhi

- Kondisi 4 (perlu tulangan geser)

$$\phi(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_s \text{ max}) \\ 28451.13 \text{ N} \leq 43069.63 \text{ N} \leq 63006.25 \text{ N}$$

Memenuhi

- Kondisi 5 (perlu tulangan geser)

$$\phi(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_s \text{ max}) \\ 28451.13 \text{ N} \leq 43069.63 \text{ N} \leq 104590.37 \text{ N}$$

Memenuhi

Syarat :

- Apabila masuk kondisi 1, maka tidak perlu tulangan geser
- Apabila masuk kondisi 2, maka perlu tulangan geser minimum
- Apabila masuk kondisi 3, maka perlu tulangan geser minimum
- Apabila masuk kondisi 4, maka perlu tulangan geser
- Apabila masuk kondisi 5, maka perlu tulangan geser
  - Perhitungan Tulangan geser masuk kondisi 4

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{43069.63 - 0.75(28562.83)}{0.75} \\ = 28863 \text{ N}$$

- Direncanakan menggunakan tulangan geser

$$\phi = 10, n \text{ kaki} = 2$$

$$A_v = 0.25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki} \\ = 0.25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ = 157.08 \text{ mm}^2$$

- Jarak tulangan geser perlu (Sperlu)

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot v \cdot d}{V_s \cdot \text{perlu}} = \frac{157.08 \times 240 \times 142}{28863} \\ = 185.47 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan.

$$S_{\text{max}} < d/2 \quad \text{atau} \quad S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 71 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

**Sehingga dipakai tualangan geser  $\phi 10 - 150$**

#### 4.2.3.8. Rekapitulasi Penulangan Tangga

**Tabel 4. 15** Rekapitulasi penulangan tangga

Nama struktur	Tulangan	
	Lentur	Bagi
Pelat tangga	D16 – 140	$\varnothing 10 - 300$
Pelat bordes	D16 – 200	$\varnothing 10 - 300$
Nama struktur	Lentur	Geser
Balok bordes	3D16	$\varnothing 10 - 150$

#### 4.2.4. Perencanaan Balok Lift

Lift merupakan struktur sekunder yang berfungsi untuk mengangkut orang/barang menuju ke lantai yang berbeda tinggi. Perencanaan balok lift meliputi balok-balok yang ada di sekeliling ruang lift maupun mesin lift. Balok-balok tersebut diantaranya ialah balok penggantung lift dan balok penumpu lift. Lift yang digunakan pada perencanaan Tugas Akhir ini adalah lift yang diproduksi oleh *Hyundai elevator* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Kecepatan	= 1 m/s
Kapasitas	= 6 orang / 450 kg
Lebar pintu	= 800 mm
Dimensi sangkar	:
Outside	= 1460 x 1005
Inside	= 1400 x 850
Hoistway	= 1800 x 1430
Beban ruang mesin :	
R1	= 3600 kg
R2	= 2000 kg

#### 4.2.4.1. Perencanaan Awal Dimensi Balok Lift

##### a. Balok penggantung lift

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

##### b. Balok penumpu lift

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

#### 4.2.4.2. Pembebanan Balok Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari ruang mesin yaitu R1 dan R2

2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1.15$$

Dimana :

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

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

$k_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6.

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

Jadi beban yang bekerja pada balok adalah :

$$\begin{aligned} P &= \Sigma R \cdot \psi \\ &= (3600 \times 2000) \times (1 + 0.6 \times 1.3 \times 1) \\ &= 9968 \text{ kg} \end{aligned}$$

- a. Pembebanan balok penggantung lift

- Beban mati (qd) :

$$\text{Berat sendiri balok} = 0.3 \times 0.4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat pelat beton} &= 0.12 \times 3 \times 2400 = 864 \text{ kg/m} \\ \text{qd} &= 1152 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban hidup (ql) :
- $$\begin{aligned}\text{ql} &= 400 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban ultimate :

$$\begin{aligned}\text{qu} &= 1.2 \text{ qd} + 1.6 \text{ ql} \\ &= 1.2 (1152) + 1.6 (400) \\ &= 2022.4 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban terpusat :

$$P = 9968 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \frac{1}{2} \text{quL} + \frac{1}{2} p = \frac{1}{2} \times 2022.4 \times 3 + \frac{1}{2} \times 9968 \\ &= 8017.7 \text{ kg} = 78.63 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= \frac{1}{8} \text{quL}^2 + \frac{1}{4} PL = \frac{1}{8} \times 2022.4 \times 3^2 + \frac{1}{4} \times 9968 \times 3 \\ &= 9751.2 \text{ kgm} = 95.63 \text{ kNm}\end{aligned}$$

b. Pembebatan balok penumpu lift

- Beban mati (qd) :

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok} &= 0.3 \times 0.4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m} \\ \text{Berat pelat beton} &= 0.12 \times 2 \times 2400 = 576 \text{ kg/m} \\ \text{qd} &= 864 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban hidup (ql) :

$$\begin{aligned}\text{ql} &= 400 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban ultimate :

$$\begin{aligned}\text{qu} &= 1.2 \text{ qd} + 1.6 \text{ ql} \\ &= 1.2 (864) + 1.6 (400) \\ &= 1676.8 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban terpusat :

$$P = 9968 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \frac{1}{2} \text{quL} + \frac{1}{2} p = \frac{1}{2} \times 1676.8 \times 2 + \frac{1}{2} \times 9968 \\ &= 6660.8 \text{ kg} = 65.32 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{1}{8}quL^2 + \frac{1}{4}PL = \frac{1}{8} \times 1676.8 \times 2^2 + \frac{1}{4} \times 9968 \times 2 \\ &= 5822.4 \text{ kNm} = 57.1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 4.2.4.3. Penulangan Balok Lift

a. Penulangan balok penggantung lift

- Data perencanaan

$$f'c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tul.balok (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tul.sengkang (\emptyset)} = 10 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

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

$$d = h - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} D \cdot \text{tul.balok}$$

$$= 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 16$$

$$= 342 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 400 - 342 = 58 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \times \frac{f'c - 28}{7}$$

$$= 0.85 - 0.05 \times \frac{35 - 28}{7}$$

$$= 0.8$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0.85 \times 0.8 \times 35}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$= 0.033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.033 = 0.025$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 35} = 14.118$$

- Perhitungan tulangan lentur bawah

$$R_n = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{95626605.48}{0.9 \times 300 \times 342} = 3.63$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 3.63}{420}} \right) \\ &= 0.009\end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$$

$$0.0033 < 0.009 < 0.025$$

jadi digunakan  $\rho_{pakai} = 0.009$

Luas (AS) tulangan perlu :

$$\begin{aligned}AS_{perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.009 \times 300 \times 352 \\ &= 949.7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n) :

$$\begin{aligned}n &= \frac{AS_{perlu}}{AS_{tulangan}} \\ &= \frac{949.7}{201.062} \\ &= 4.72 \approx 5 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jarak tulangan (s) :

$$\begin{aligned}s &= \frac{b - n \cdot D - 2d - 2 \cdot \Phi}{n - 1} \\ &= \frac{300 - 5 \times 16 - 2 \times 40 - 2 \times 10}{5 - 1} \\ &= 30 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

### Sehingga dipakai tualangan lentur 5D16

- Perhitungan tulangan lentur atas

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= \frac{1}{2} \times A_s \\ &= \frac{1}{2} \times 949.7 \\ &= 474.85 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{474.85}{201.062} \\ &= 2.36 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - n.D - 2d - 2.\Phi}{n - 1} \\ &= \frac{300 - 3 \times 16 - 2 \times 40 - 2 \times 10}{3 - 1} \\ &= 76 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

### Sehingga dipakai tualangan lentur 3D16

- Penulangan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_u &= 65320.134 \text{ N} \\ V_c &= 0.17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0.17 \times \sqrt{35} \times 300 \times 342 \\ &= 103188.2636 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= 0.33 \times b \times d \\ &= 0.33 \times 300 \times 342 \\ &= 33858 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \max} &= 0.33 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{35} \times 300 \times 342 \\ &= 200306.63 \text{ N} \end{aligned}$$

- Cek kriteria kebutuhan tulangan geser

Kondisi 1 (tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$65320.134 \text{ N} \leq 38695.60 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

Kondisi 2 (tulangan geser minimum)

$$0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$38695.60 \text{ N} \leq 65320.134 \text{ N} \leq 77391.2 \text{ N}$$

Memenuhi

Kondisi 3 (tulangan geser minimum)

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_s \min)$$

$$77391.2 \text{ N} \leq 65320.134 \text{ N} \leq 102784.7 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

Kondisi 4 (perlu tulangan geser)

$$\phi(V_c + V_s \min) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_s \max)$$

$$102784.7 \text{ N} \leq 65320.134 \text{ N} \leq 227621.17 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

Kondisi 5 (perlu tulangan geser)

$$\phi(V_c + V_s \min) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_s \max)$$

$$102784.7 \text{ N} \leq 65320.134 \text{ N} \leq 377851.14 \text{ N}$$

Tidak memenuhi

Perhitungan Tulangan geser masuk kondisi 2

$V_s$  perlu =  $V_s$  min

$$= 33858 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser

$\phi = 10$ ,  $n$  kaki = 2

$$A_v = 0.25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 0.25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157.08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (Sperlu)

$$Sperlu = \frac{A_v \cdot f_y \cdot v \cdot d}{V_s \cdot perlu} = \frac{157.08 \times 240 \times 342}{33858}$$

$$= 380.799 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan.

$$S_{\max} < d/2 \quad \text{atau} \quad S_{\max} < 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 171 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

### **Sehingga dipakai tualangan geser Ø10 – 150**

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur atas : 3D16
- Tulangan lentur bawah : 5D16
- Tulangan geser : Ø10 – 150

#### b. Penulangan balok penumpu lift

Dengan cara yang sama dan beban yang sama sehingga untuk perencanaan penulangan balok penumpu lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur atas : 2D16
- Tulangan lentur bawah : 3D16
- Tulangan geser : Ø10 – 150

### **4.3. Pembebanan dan Permodelan Struktur**

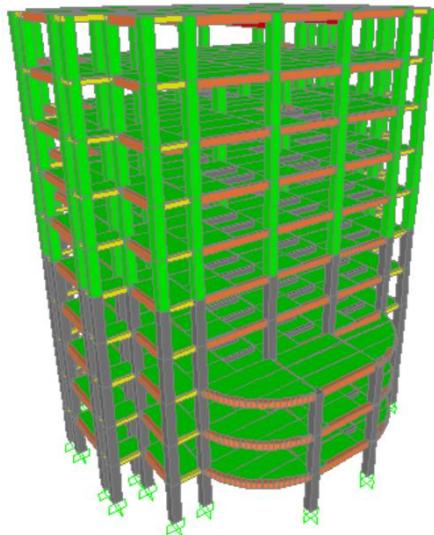
#### **4.3.1. Umum**

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk menahan beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada ketentuan SNI 1726:2012.

#### **4.3.2. Permodelan Struktur**

Perhitungan analisis beban gempa perlu suatu permodelan struktur, dimana struktur gedung asrama LPMP ini memiliki lebih dari 3 lantai, sehingga harus dilakukan analisa dengan

menggunakan analisa respon dinamik. Struktur gedung memiliki total 10 lantai, dengan tinggi masing-masing lantai 4 meter dan tinggi total gedung ±80 meter.



**Gambar 4. 15** Permodelan pada SAP 2000

#### 4.3.3. Pembebanan Gravitasi

Data-data perencanaan pembebatanan gedung Asrama Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Input beban sendiri :

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

Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa

Ketinggian lantai = 4 m tiap lantai

Dimensi balok induk :

- Balok induk I = 40/60

- Balok induk II = 20/30

Dimensi kolom = 80/80

Dimensi balok anak :

- Balok anak I = 30/45
- Balok anak II = 20/20

Dimensi b. pratekan = 70/100

- Input beban hidup :

- Lantai atap = 96 kg/m<sup>2</sup>
- Lantai hunian = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Lantai kelas = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Lantai *balloon* = 470 kg/m<sup>2</sup>

- Input beban mati :

- Spesi = 21 kg/m<sup>2</sup>
- Keramik = 24 kg/m<sup>2</sup>
- Plafond = 11 kg/m<sup>2</sup>
- Penggantung = 7 kg/m<sup>2</sup>
- Plumbing = 25 kg/m<sup>2</sup>
- Mekanikal & elec = 40 kg/m<sup>2</sup>

\*berat sendiri elemen dikalkulasi oleh SAP 2000, sehingga didapatkan rekap pembebahan gravitasi sesuai SAP 2000.

**Tabel 4. 16** Perhitungan berat sendiri menggunakan program bantu SAP 2000

Load Case	FZ (kN)
Dead	66141.122
Live	14688.484
Dead + Live	80829.606

#### 4.3.4. Pembebahan Gempa

Pembebahan gempa dengan mengacu pad SNI 1726:2012, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

##### 4.3.4.1. Kategori Resiko Bangunan

Penentuan kategori resiko bangunan disesuaikan dengan fungsi dari bangunan itu sendiri, dalam kasus ini fungsi bangunan

adalah hunian asrama dan apartemen sehingga didapatkan kategori resiko seperti ditunjukkan pada tabel 4.17.

**Tabel 4. 17** Kategori resiko bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <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

#### 4.3.4.2. Faktor keutamaan Gempa (Ie)

Faktor keutamaan gempa didapatkan berdasarkan kategori resiko yang telah didapatkan pada kategori resiko bangunan. Sehingga didapatkan faktor keutamaan gempa seperti pada tabel 4.18.

**Tabel 4. 18** Faktor keutamaan gempa

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

#### 4.3.4.3. Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Data tanah yang digunakan berada di kota Padang dan didapatkan nilai N (tes NSPT) kedalaman 29.85.

**Tabel 4. 19** Tabel Nspt

Lapisan ke - i	Tebal lapisan	Nilai N SPT	di/Ni
	(di) (m)	(Ni)	
1	1.5	7	0.214
2	2.1	28	0.075
3	1.3	40	0.033
4	1.5	21	0.071

5	1.5	7	0.214
6	1.8	23	0.078
7	1.7	11	0.155
8	1.4	12	0.117
9	1.2	37	0.032
10	3.2	50	0.064
11	1.7	38	0.045
12	2.5	17	0.147
13	1.6	15	0.107
14	1.6	26	0.062
15	3.2	24.5	0.131
16	2.05	25.5	0.080
$\Sigma$	29.85		1.624

Sehingga didapat nilai  $\bar{N}$  sebagai berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\sum di Ni} = \frac{29.85}{1.624} = 18.38$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Ps. 5.3, tabel 3, untuk  $\bar{N}$  15 sampai 50, maka termasuk kelas situs SD (tanah sedang).

#### 4.3.4.4. Parameter Respon Spectra

Menentukan parameter percepatan respons spectral MCE pada periode pendek, redaman 5 persen ( $S_s$ ) dan parameter percepatan respons spectral MCE pada periode 1 detik, redaman 5 persen ( $S_1$ ). Berdasarkan peta gempa pada SNI 1726:2012 dengan lokasi gedung yang terdapat pada wilayah Padang, maka didapat nilai  $S_s = 1.4$  g dan  $S_1 = 0.6$  g.

#### 4.3.4.5. Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spectra didisain untuk periode pendek 0.2 detik ( $S_{D2}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) adalah sebagai berikut :

$F_a = 1.0$  sesuai SNI 1726:2012 tabel 4

$F_v = 1.5$  sesuai SNI 1726:2012 tabel 5

Berdasarkan SNI 1726:2012 didapat :

$$S_{MS} = Fa \cdot S_s = 1.0 \times 1.4 = 1.4$$

$$S_{M1} = Fv \cdot S_1 = 1.5 \times 0.6 = 0.9$$

Sehingga :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1.4 = 0.93$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.9 = 0.6$$

#### 4.3.4.6. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel pada SNI 1726:2012 tabel 6 dan tabel 7. Untuk  $S_{DS}$  sebesar 0.93 dan  $S_{D1}$  sebesar 0.6 dan kategori resiko II, kategori desain seismik tergolong kategori D. untuk kategori D tipe struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan itu didapatkan parameter koefisien modifikasi respon (R) dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) sebesar :

$$R = 8$$

$$C_d = 5.5$$

#### 4.3.4.7. Respon Spektrum Desain

Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_o$ , respons percepatan desain,  $S_a$  harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \cdot \frac{T}{T_o} \right)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_o$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS}$$

Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , respons percepatan desain  $S_a$ , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

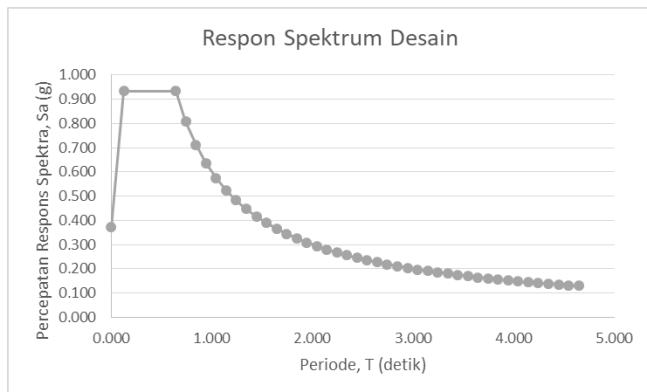
Berdasarkan SNI 1726:2012 Ps. 6.4 didapatkan :

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \times \frac{0.6}{0.93} = 0.13 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.6}{0.93} = 0.64 \text{ detik}$$

**Tabel 4. 20** Nilai periode fundamental (T) dan percepatan respon spektra

T (detik)	T (detik)	Sa (g)	T (detik)	T (detik)	Sa (g)
0	0.000	0.373	Ts+2.0	2.643	0.227
T <sub>0</sub>	0.129	0.933	Ts+2.1	2.743	0.219
T <sub>s</sub>	0.643	0.933	Ts+2.2	2.843	0.211
Ts+0.1	0.743	0.808	Ts+2.3	2.943	0.204
Ts+0.2	0.843	0.712	Ts+2.4	3.043	0.197
Ts+0.3	0.943	0.636	Ts+2.5	3.143	0.191
Ts+0.4	1.043	0.575	Ts+2.6	3.243	0.185
Ts+0.5	1.143	0.525	Ts+2.7	3.343	0.179
Ts+0.6	1.243	0.483	Ts+2.8	3.443	0.174
Ts+0.7	1.343	0.447	Ts+2.9	3.543	0.169
Ts+0.8	1.443	0.416	Ts+3.0	3.643	0.165
Ts+0.9	1.543	0.389	Ts+3.1	3.743	0.160
Ts+1.0	1.643	0.365	Ts+3.2	3.843	0.156
Ts+1.1	1.743	0.344	Ts+3.3	3.943	0.152
Ts+1.2	1.843	0.326	Ts+3.4	4.043	0.148
Ts+1.3	1.943	0.309	Ts+3.5	4.143	0.145
Ts+1.4	2.043	0.294	Ts+3.6	4.243	0.141
Ts+1.5	2.143	0.280	Ts+3.7	4.343	0.138
Ts+1.6	2.243	0.268	Ts+3.8	4.443	0.135
Ts+1.7	2.343	0.256	Ts+3.9	4.543	0.132
Ts+1.8	2.443	0.246	Ts+4.0	4.643	0.129
Ts+1.9	2.543	0.236			

**Gambar 4. 16** Grafik respon spektrum desain

#### 4.3.4.8. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Perioda fundamental struktur (T), dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) dan perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ) sesuai SNI 1726:2012 Ps. 7.8.2.1 :

$$T_a = C_t \times h^n^x$$

Dimana :

$h_n$  = ketinggian struktur

$C_t$  = parameter pendekatan tipe struktur

$x$  = parameter pendekatan tipe struktur

Untuk nilai parameter perioda pendekatan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 21** Nilai parameter perioda pendekatan,  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan menegah rangka dari defeksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terikang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Sebuah sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Untuk nilai struktur beton SRPMK didapatkan nilai  $C_t = 0.0466$  dan  $x = 0.9$  sehingga :

$$T_a = 0.0466 \times (40 \text{ m})^{0.9} = 1.289 \text{ detik}$$

Dengan batas atas periode fundamental struktur berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 14 sebesar :

**Tabel 4. 22** Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

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

Karena nilai  $S_{D1} = 0.6$ , maka didapatkan nilai  $C_u = 1.4$  sehingga :

$$C_u \times T_a = 1.4 \times 1.289 = 1.805 \text{ detik}$$

**Tabel 4. 23** Periode struktur pada modal di program SAP 2000 untuk 12 mode pertama

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
MODAL	Mode	1	1.438977	0.69494	4.3664	19.066
MODAL	Mode	2	1.270004	0.7874	4.9474	24.477
MODAL	Mode	3	1.181388	0.84646	5.3185	28.286
MODAL	Mode	4	0.487533	2.0511	12.888	166.09
MODAL	Mode	5	0.420552	2.3778	14.94	223.21
MODAL	Mode	6	0.382442	2.6148	16.429	269.92
MODAL	Mode	7	0.27118	3.6876	23.17	536.84
MODAL	Mode	8	0.238275	4.1968	26.369	695.35
MODAL	Mode	9	0.158618	6.3044	39.612	1569.1
MODAL	Mode	10	0.146572	6.8226	42.868	1837.6
MODAL	Mode	11	0.099304	10.07	63.272	4003.4
MODAL	Mode	12	0.074836	13.363	83.959	7049.2

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut :

$$\begin{array}{lcl} T_a & \leq & T \\ 1.289 & \leq 1.439 & \leq 1.805 \end{array} \quad (\text{OK})$$

#### 4.3.4.9. Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Kontrol gaya dinamis struktur digunakan untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan *respon spectrum* sudah sesuai dengan yang disyaratkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W$  = berat seismik

Koefisien respon sismik  $C_s$  harus ditentukan sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1 .

Dimana :

$S_{DS}$  = 0.933

$S_{D1}$  = 0.6

$R$  = 8 (faktor modifikasi respon)

$I_e$  = 1 (faktor keutamaan gempa)

$T_{elastic}$  = 1.091 detik

$T_{crack}$  = 1.439 detik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.933}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.117$$

Tetapi tidak perlu melebihi ( $C_s$  max) :

$$C_{s_{elastic}} = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.6}{1.091 \times \left(\frac{8}{1}\right)} = 0.069$$

$$C_{s_{crack}} = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.6}{1.439 \times \left(\frac{8}{1}\right)} = 0.052$$

$$\text{skala} = \frac{C_{s_{elastic}}}{C_{s_{crack}}} = \frac{0.069}{0.052} = 1.319$$

Harus tidak kurang dari ( $C_s$  min) :

$$\begin{aligned} C_s &= 0.044 \cdot S_{DS} \cdot L_e \geq 0.01 \\ &= 0.044 \times 0.933 \times 1 \geq 0.01 \\ &= 0.0411 \geq 0.01 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} C_s \text{ min} < C_s &< C_s \text{ max} \\ 0.0411 < 0.117 &< 0.069 \quad (\text{NOT OK}) \end{aligned}$$

Maka digunakan  $C_s$  max sebagai nilai  $C_s$ .

**Tabel 4. 24** Berat seismik bangunan hasil SAP 2000

<b>TABLE: Base Reactions</b>				
<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>	<b>GlobalFZ</b>
Text	Text	KN	KN	KN
1D+1L	Combination	8.92E-08	6.66E-09	80829.61

$$\begin{aligned} V &= C_s \cdot W \\ &= 0.069 \times 80829.61 \text{ kN} \\ &= 5555.65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jika kombinasi respon untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0.85 \frac{V}{V_t}$  (SNI 1726:2012 Ps. 7.9.4.1). Dari analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 didapatkan gaya geser dasar ragam ( $V_t$ ).

**Tabel 4. 25** Gaya geser dasar hasil SAP 2000

<b>TABLE: Base Reactions</b>				
<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	3851.295	242.531
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	289.147	4420.092

$$\begin{aligned} V &= 5555.650 \text{ kN} \\ V_{tx} &= 3851.295 \text{ kN} \\ V_{ty} &= 4420.091 \text{ kN} \\ \text{Untuk arah x :} \\ V_{tx} &> 0.85 V \end{aligned}$$

$$3851.295 \text{ kN} > 0.85 \times 5555.650 \text{ kN}$$

$$3851.295 \text{ kN} < 4722.298 \text{ kN} \text{ (NOT OK)}$$

Untuk arah y :

$$V_{ty} > 0.85 V$$

$$4420.091 \text{ kN} > 0.85 \times 5555.650 \text{ kN}$$

$$4420.091 \text{ kN} < 4722.298 \text{ kN} \text{ (NOT OK)}$$

Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, maka gaya geser tingkat nominal akibat gempa rencana struktur gedung hasil analisis harus dikalikan dengan faktor skala  $0.85 \frac{V}{V_t}$

$$\text{Arah x : } \frac{0.85 \cdot V}{V_{tx}} = \frac{4722.298}{3851/295} = 1.226$$

$$\text{Arah y : } \frac{0.85 \cdot V}{V_{ty}} = \frac{4722.298}{4420.091} = 1.068$$

Faktor pembesaran skala gaya :

$$\text{Faktor skala } 0.85 \frac{V}{V_t} \text{ dikalikan skala } \frac{I_e \cdot g}{R}$$

$$\text{Arah x} = 1.226 \times 1.226 = 1.504$$

$$\text{Arah y} = 1.068 \times 1.226 = 1.310$$

Setelah pada program bantu SAP 2000 faktor pembesaran gempa diatas dimasukkan, dapat diperoleh hadil *base reaction* sebagai berikut :

**Tabel 4. 26** Base reaction dari program SAP 2000 setelah dikali faktor pembesaran

<b>TABLE: Base Reactions</b>				
<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpe	Max	4722.299	297.382
QUAKE Y	LinRespSpe	Max	308.916	4722.299

$$V = 5555.650 \text{ kN}$$

$$V_{tx} = 4722.299 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 4722.299 \text{ kN}$$

Untuk arah x :

$$V_{tx} > 0.85 \text{ V}$$

$$4722.299 \text{ kN} > 0.85 \times 5555.650 \text{ kN}$$

$$4722.299 \text{ kN} > 4722.298 \text{ kN (OK)}$$

Untuk arah y :

$$V_{ty} > 0.85 \text{ V}$$

$$4722.299 \text{ kN} > 0.85 \times 5555.650 \text{ kN}$$

$$4722.299 \text{ kN} > 4722.298 \text{ kN (OK)}$$

#### **4.3.4.10. Kontrol Partisipasi Massa**

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.9.1, perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sekurangnya adalah 90%.

**Tabel 4. 27** Jumlah respon ragam

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>					
<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>StepNum</b>	<b>Period</b>	<b>SumUX</b>	<b>SumUY</b>
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.438918	0.731	2.926E-07
MODAL	Mode	2	1.26997	0.731	0.766
MODAL	Mode	3	1.181367	0.745	0.766
MODAL	Mode	4	0.487402	0.871	0.766
MODAL	Mode	5	0.420481	0.871	0.887
MODAL	Mode	6	0.382537	0.872	0.887
MODAL	Mode	7	0.271086	0.929	0.887
MODAL	Mode	8	0.238181	0.929	0.932
MODAL	Mode	9	0.158561	0.938	0.947
MODAL	Mode	10	0.146594	0.964	0.959
MODAL	Mode	11	0.099185	0.983	0.975
MODAL	Mode	12	0.074867	0.992	0.997

#### **4.3.4.11. Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*)**

Untuk mengetahui besarnya simpangan antar lantai perlu dicari terlebih dahulu nilai perpindahan elastis,  $\delta_{xe}$  dari analisis struktur. Setelah itu nilai  $\delta_{xe}$  dikalikan dengan faktor pembesaran Cd/Ie. Setelah itu dapat diketahui besarnya simpangan antar tingkat yang merupakan selisih nilai perpindahan elastis yang diperbesar

pada suatu tingkat dengan nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada tingkat dibawahnya. Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan. Defleksi pusat massa di tingkat x ( $\delta_x$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (\text{SNI 1726:2012 Ps. 7.8.6})$$

Dimana :

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi = 5.5

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lantai x yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan gempa = 1

Pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 dijelaskan untuk defleksi antar lantai dijelaskan sesuai persamaan :

$$\Delta_i = \frac{(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)})Cd}{I_e}$$

Dimana :

$\delta_{ei}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e(i-1)}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan dibawahnya

$\Delta_i$  = simpangan antar lantai tingkat desain

$\Delta_a$  = simpangan antar lantai tingkat izin

$\Delta_i < \Delta_a$

Untuk nilai simpangan antar lantai izin  $\Delta_a$ , berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 16 diperoleh sebagai berikut :

**Tabel 4. 28** Simpangan antar lantai izin

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 tingkat.	0,025 $h_u$ <sup>c</sup>	0,020 $h_u$	0,015 $h_u$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,010 $h_u$	0,010 $h_u$	0,010 $h_u$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_u$	0,007 $h_u$	0,007 $h_u$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_u$	0,015 $h_u$	0,010 $h_u$

1. Analisa simpangan antar lantai gempa arah X

**Tabel 4. 29** Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah X

Lantai	Elevasi (hi)	Tinggi Lantai (hsx)	Simpangan ( $\delta ei$ )	Pembesaran Simpangan ( $\delta i$ )	$\delta ei - \delta e(i-1)$	Simpangan Antar Lantai ( $\Delta i$ )	Simpangan Izin ( $\Delta a$ )	Ket ( $\Delta i < \Delta a$ )
Atap	40	4	63.745	350.599	3.251	17.883	80	OKE
10	36	4	60.494	332.717	4.655	25.600	80	OKE
9	32	4	55.839	307.117	5.636	30.999	80	OKE
8	28	4	50.203	276.118	6.509	35.799	80	OKE
7	24	4	43.694	240.319	7.478	41.129	80	OKE
6	20	4	36.216	199.190	8.169	44.930	80	OKE
5	16	4	28.047	154.261	8.385	46.117	80	OKE
4	12	4	19.662	108.143	8.234	45.285	80	OKE
3	8	4	11.429	62.859	7.462	41.043	80	OKE
2	4	4	3.966	21.815	3.966	21.815	80	OKE
1	0	4	0.000	0.000	0.000	0.000	80	OKE

2. Analisa simpangan antar lantai gempa arah Y

**Tabel 4. 30** Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah Y

Lantai	Elevasi (hi)	Tinggi Lantai (hsx)	Simpangan ( $\delta ei$ )	Pembesaran Simpangan ( $\delta i$ )	$\delta ei - \delta e(i-1)$	Simpangan Antar Lantai ( $\Delta i$ )	Simpangan Izin ( $\Delta a$ )	Ket ( $\Delta i < \Delta a$ )
Atap	40	4	44.982	247.404	1.981	10.895	80	OKE
10	36	4	43.002	236.509	2.746	15.101	80	OKE
9	32	4	40.256	221.407	3.699	20.343	80	OKE
8	28	4	36.557	201.064	4.593	25.262	80	OKE
7	24	4	31.964	175.802	5.357	29.462	80	OKE
6	20	4	26.607	146.340	5.869	32.282	80	OKE
5	16	4	20.738	114.058	6.097	33.531	80	OKE
4	12	4	14.641	80.527	5.958	32.769	80	OKE
3	8	4	8.683	47.758	5.558	30.571	80	OKE
2	4	4	3.125	17.187	3.125	17.187	80	OKE
1	0	4	0.000	0.000	0.000	0.000	80	OKE

#### 4.4. Perencanaan Struktur Utama Non Pratekan

Perencanaan struktur utama non pratekan ini meliputi perencanaan balok induk, kolom, serta hubungan balok kolom. Perhitungan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013, dan

pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 terkait ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

#### **4.4.1. Perencanaan Balok induk**

Dalam perhitungan balok induk didapatkan gaya dalam dan diagram gaya dari analisa program SAP 2000 yang memodelkan struktur yang ditinjau. Pada hasil analisa SAP 2000 digunakan data yang menunjukkan analisa gaya-gaya terbesar dari semua frame balok pada struktur bangunan, sehingga didapatkan hasil gaya terbesar dengan kombinasi yang digunakan yaitu envelope.

##### **4.4.1.1. Data-data Perencanaan**

Ket balok	= balok induk 1
Dimensi balok	= 400/600
Bentang balok	= 7000 mm
Ln	= 6200 mm
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 35 MPa
Selimut beton	= 40 mm
Diameter tul. utama (D)	= 22 mm
Fy tul. Utama	= 420 MPa
Diameter tul. Sengkang	= 13 mm
Fy tul. Sengkang	= 420 MPa
Diameter tul. Puntir	= 16 mm

##### **4.4.1.2. Output Momen Balok Induk 1**

Tumpuan kiri -	= 221.3416 kNm
+ =	211.6920 kNm
Lapangan	= 246.6486 kNm
Tumpuan kanan -	= 358.9611 kNm
+ =	112.4354 kNm
Vu (envelope)	= 340.787 kN
Vu (1.2D + 1L)	= 215.323 kN
Torsi	= 76.1426 kNm

##### **4.4.1.3. Tinggi Manfaat Rencana**

- $d = h - \text{decking} - \text{sengkang} - (1/2 D.\text{lentur})$

$$= 600 - 40 - 13 - (1/2 \times 22) \\ = 536 \text{ mm}$$

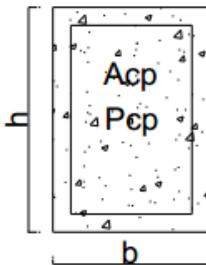
- $d' = h - d$   
 $= 600 - 536$   
 $= 64 \text{ mm}$
- $\beta_1 = (\text{SNI } 1726:2012 \text{ Ps. 10.2.7.3})$   
 $= 0.85 - \frac{f'c - 28}{7} \times 5\% = 0.85 - \frac{35 - 28}{7} \times 5\% = 0.8$
- $\rho_{\max} = 0.75 \times \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$   
 $= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.8 \times 35}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$   
 $= 0.025 \text{ (SNI } 2847:2013 \text{ lampiran B 10.3.3)}$
- $\rho_{\min} = (\text{SNI } 2847:2013 \text{ Ps. 10.5.1})$   
 $= \frac{0.25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} = 0.0035$
- $\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$
- $m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 35} = 14.118$

#### 4.4.1.4. Perhitungan Tulangan Torsi

Kontrol kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir. Ukuran penampang balok yang dipakai 40/60.

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton  
 $A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$   
 $= 400 \times 600$   
 $= 240000 \text{ mm}^2$
- Keliling luar irisan penampang beton  
 $P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times (400 + 600) \\
 &= 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

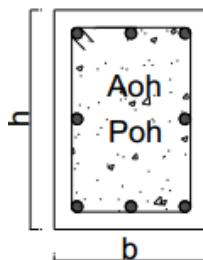


**Gambar 4. 17** Luasan (Acp) dan keliling (Pcp)

- Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang  

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) \times \\
 &\quad (h_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) \\
 &= (400 - 2 \times 40 - 13) \times (600 - 2 \times 40 - 13) \\
 &= 155649 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$
- $P_h = 2 \times (b_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) +$   

$$\begin{aligned}
 &\quad (h_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) \\
 &= 2 \times (400 - 2 \times 40 - 13) + (600 - 2 \times 40 - 13) \\
 &= 1628 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4. 18** Luasan (Aoh) dan keliling (Poh)

- Momen puntir ultimate  
 $T_u = 76142600 \text{ Nmm}$

- Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{76142600}{0.75} = 101523466.7 \text{ Nmm}$$

- Periksa kebutuhan tulangan puntir

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor (Tu) besarnya kurang dari :

$$T_{u \min} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps 11.5.1})$$

$$= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$= 10606347.84 \text{ Nmm}$$

$$T_{u \max} = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps. 11.5.2.2})$$

$$= 0.75 \times 0.33 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$= 42169816.69 \text{ Nmm}$$

- Periksa persyaratan pengaruh momen puntir

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir

$10606347.84 < 76142600 \rightarrow$  maka memerlukan tulangan puntir

- Tulangan puntir untuk lentur

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{f_y t}{f_y} \right) \cot^2 \theta \text{ dengan } \frac{A_t}{s} \text{ dihitung sesuai dengan SNI}$$

2847:2013 Ps. 11.5.3.6 berasal dari persamaan dibawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_y t}{s} \cot \theta$$

Dimana :

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

$$A_o = 0.85 \times A_{oh} = 0.85 \times 155649 = 132301.65 \text{ mm}^2$$

Sehingga :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{101523466.7}{2 \times 132301.65 \times 420 \times \cot 45}$$

$$\frac{At}{s} = 0.914 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\frac{At}{s} > \frac{0.175b}{f_{yt}}$$

$$0.914 > \frac{0.175 \times 400}{420}$$

$$0.914 > 0.167 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$Al = \frac{At}{s} Ph \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$Al = 0.914 \times 1628 \times \frac{420}{420} \cot^2 45 \\ = 1487.224 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847:2013 Ps. 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$Al = \frac{0.42 \times \sqrt{f'_c} \times A_{cp}}{f_y} - \frac{At}{s} ph \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \\ = \frac{0.42 \times \sqrt{35} \times 240000}{420} - 0.914 \times 1628 \left( \frac{420}{420} \right) \\ = -67.365 \text{ mm}^2$$

Periksa :

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min} \rightarrow \text{maka digunakan } Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min} \rightarrow \text{maka digunakan } Al \text{ perlu}$

$1487.224 \geq -67.365 \rightarrow \text{maka digunakan } Al \text{ perlu}$

- Luasan tulangan puntir

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok :

$$\frac{Al}{4} = \frac{1487.224}{4} = 371.806 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{371.806}{\text{luasan.D.puntir}} = \frac{371.806}{201.062} = 1.85 = 2 \text{ buah}$$

maka dipasang tulangan 2D16 disetiap sisi samping kiri dan kanan balok baik sepanjang tumpuan maupun lapangan.

#### 4.4.1.5. Perhitungan Tulangan Lentur

##### A. Daerah tumpuan negatif

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 420} \times 536 = 315.3 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0.75 \times X_b = 0.75 \times 315.3 = 236.47 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 64 \text{ mm}$$

- Direncanakan  $X = 85 \text{ mm}$

- Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{0.85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 35 \times 400 \times 0.8 \times 85}{420} \\ &= 1926.67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Gaya momen nominal tulangan

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \\ &= 1926.67 \times 420 \times 536 - \frac{0.8 \times 85}{2} \\ &= 406218400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$M_u \text{ tumpuan} = 358961100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{358961100}{0.9} = 398845666.7 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 358961100 - 406218400 \\ &= -7372733.333 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 536 \\ &= 755 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1.4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 400 \times 536}{420} = 714.7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{bw \times d^2} = \frac{358961100}{400 \times 536^2} = 3.47 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 3.47}{420}} \right) \\
 &= 0.0088 \\
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0.0035 &< 0.0088 < 0.025 \\
 \text{Digunakan } \rho_{\text{perlu}} &= 0.0088 \\
 As_{\text{perlu}} &= \rho \times bw \times d \\
 &= 0.0088 \times 400 \times 536 \\
 &= 1889 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &= As + At \\
 &= 1889 + 371.81 \\
 &= 2261 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{2261.02}{380.133} = 5.95 = 6 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &> As_{\text{perlu}} \\
 2280.8 &> 2261.02 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{b - 2 \cdot se_{\text{lim\ ut}} - 2 \cdot \phi_{\text{sengkang}} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 22}{6 - 1} \\ = 32.4 \geq 25 \text{ mm}$$

**Jadi dipakai tulangan 6D22**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{As \cdot pakai \times fy}{0.85 \times f'c \times bw} = \frac{2280.8 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 80.5 \text{ mm}$$

$$M_n = As \cdot pakai \times fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ = 2280.8 \times 420 \times \left( 536 - \frac{80.5}{2} \right) \\ = 474896621.2 \text{ Nmm} = 474.89 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 474.89 = 427.41 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\begin{aligned} \phi M_n &> Mu \\ 427.41 &> 358.96 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

B. Daerah tumpuan positif

- Momen lentur nominal

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2.2 kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif.

$$\begin{aligned} Mu &= Mn (+) \geq \frac{1}{2} \phi M_n (-) \\ &= 211.69 \text{ kNm} \geq \frac{1}{2} \times 427.41 \text{ kNm} \\ &= 211.69 \text{ kNm} \leq 213.71 \text{ kNm (NOT OK)} \end{aligned}$$

Maka digunakan momen lentur hasil perhitungan kapasitas.

$$Mu = 213703479.6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{213703479.6}{0.9} = 237448310.6 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$$M_{ns} > 0 \rightarrow \text{perlu tulangan lentur tekan}$$

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\&= 237448310.6 - 406218400 \\&= -168770089.4 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}A_s \text{ min} &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 536 \\&= 755 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1.4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 400 \times 536}{420} = 714.7 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w \times d^2} = \frac{237448310.6}{400 \times 536^2} = 2.07$$

$$\rho = \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 2.07}{420}} \right)$$

$$= 0.0051$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0.0035 < 0.0051 < 0.025$$

Digunakan  $\rho_{perlu} = 0.0051$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b_w \times d \\&= 0.0051 \times 400 \times 536 \\&= 1094 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= A_s + A_t \\&= 1094 + 371.81 \\&= 1466 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{1466}{380.133} = 3.86 = 4 \text{ buah}$$

As pasang > As perlu

$$1520.53 > 1466 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 22}{4 - 1} \\ = 68.67 \geq 25 \text{ mm}$$

### **Jadi dipakai tulangan 4D22**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{\text{As.pakai} \times f_y}{0.85 \times f'c \times bw} = \frac{1520.53 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 53.66 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{As pakai} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1520.53 \times 420 \times \left( 536 - \frac{53.66}{2} \right) \\ &= 325165799.6 \text{ Nmm} = 325.17 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 325.16 = 292.65 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\phi M_n > M_u$$

- $292.65 > 213.71 \quad (\text{OK})$

### **C. Penulangan Lapangan**

- Momen lentur nominal

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2.2 kekuatan momen positif maupun negatif sepanjang balok harus tidak kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada tumpuan.

$$M_u = M_n \geq \frac{1}{4} \phi M_n$$

$$= 246.65 \text{ kNm} \geq \frac{1}{4} \times 427.41 \text{ kNm}$$

$$= 246.65 \text{ kNm} \geq 106.85 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan momen lentur hasil perhitungan kapasitas.

$$Mu = 246648600 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{246648600}{0.9} = 274054000 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$$Mns > 0 \rightarrow \text{perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns \leq 0 \rightarrow \text{tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 274054000 - 406218400$$

$$= -132164400 \text{ Nmm}$$

$Mns < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} As_{min} &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 536 \\ &= 755 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As_{min} = \frac{1.4 \times bw \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 400 \times 536}{420} = 714.7 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{Mn}{bw \times d^2} = \frac{274054000}{400 \times 536^2} = 2.38$$

$$\rho = \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 2.38}{420}} \right)$$

$$= 0.0059$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0.0035 < 0.0059 < 0.025$$

Digunakan perlu = 0.0059

- Tulangan lapangan bawah

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times bw \times d \\ &= 0.0059 \times 400 \times 536 \\ &= 1271 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As} + \text{At} \\ &= 1271 + 371.81 \\ &= 1642 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{1642}{380.133} = 4.32 = 5 \text{ buah}$$

As pasang > As perlu

$$1900.66 > 1642 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned} s &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 5 \times 22}{5 - 1} \\ &= 46 \geq 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Jadi dipakai tulangan 5D22**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{\text{As.pakai} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times bw} = \frac{1900.66 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 67.08 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{As pakai} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1900.66 \times 420 \times \left( 536 - \frac{67.08}{2} \right) \\ &= 401102216.9 \text{ Nmm} = 401.10 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 401.10 = 360.99 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\begin{aligned}\phi M_n &> M_u \\ 360.99 &> 246.65 \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

- Tulangan lapangan atas

$$\begin{aligned}A_s' \text{ perlu} &= \frac{1}{2} A_s + A_t \\ &= \frac{1}{2} (1900.66) + 371.81 \\ &= 1322.14\end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1322.14}{380.133} = 3.48 = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 1520.53 &> 1322.14 \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}s &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 22}{4 - 1} \\ &= 68.67 \geq 25 \text{ mm}\end{aligned}$$

### **Jadi dipakai tulangan 4D22**

#### **4.4.1.6. Perhitungan Tulangan Geser**

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.3.2 :

- $d/4 = 536/4 = 134 \text{ mm}$
- $6 \times D_{\text{lentur}} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Pada daerah lapangan, syarat maksimum tulangan geser menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.3.4

- $d/2 = 536/2 = 268 \text{ mm}$

menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.4.1 bahwa gaya geser rencana  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum ( $M_{pr}$ ) harus dianggap bekerja pada muka tumpuan, dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya. Momen-momen ujung  $M_{pr}$  didasarkan pada tegagan tarik sebesar 1.25fy.

$M_{pr}$  adalah kuat momen lentur mungkin dari suatu komponen struktur yang ditentukan menggunakan sifat-sifat komponen struktur pada muka join dengan menganggap kuat tarik pada tulangan longitudinal sebesar 1.25fy.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} \pm \frac{W_u l_n}{2}$$

#### A. Kapasitas momen ujung-ujung balok ( $M_{pr}$ )

- Tumpuan Negatif

$$a = \frac{As \times 1.25fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{2280.8 \times 1.25 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 100.62 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= As \text{ pakai} \times 1.25fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2280.8 \times 1.25 \times 420 \times \left( 536 - \frac{100.62}{2} \right) \\ &= 581.57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Tumpuan positif

$$a = \frac{As \times 1.25fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{1520.53 \times 1.25 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 67.08 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= As \text{ pakai} \times 1.25fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1520.53 \times 1.25 \times 420 \times \left( 536 - \frac{67.08}{2} \right) \\ &= 401.10 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### B. Diagram geser

Reaksi geser diujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur diambil dari output SAP 2000 dengan kombinasi 1.2D + 1L

$$V_g = 215.323 \text{ kN}$$

$$V_g = \frac{W_u.l_n}{2}$$

Total reaksi akibat gempa kiri (Ve)

$$V_e = \frac{581.57 + 401.10}{6.2} + 215.323 = 373.82 \text{ kN}$$

Total reaksi akibat gempa kanan (Ve)

$$V_e = \frac{581.57 + 401.10}{6.2} - 215.323 = -56.83 \text{ kN}$$

Gaya geser total yang menentukan,  $V_e = 373.83 \text{ kN}$

### C. Sengkang untuk gaya geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.4.2 kontribusi beton dalam menahan gaya geser yaitu  $V_c = 0$  pada perencanaan sendi plastis, apabila :

- Gaya geser akibat gempa  $> 0.5 \times$  gaya geser total

$$158.495 > 0.5 \times 373.83$$

$$158.495 > 186.91 \text{ (NOT OK)}$$

- Gaya aksial tekan  $< A_g \times \frac{f'_c}{20}$

Tidak memenuhi sehingga  $V_c$  harus dihitung.

c. Daerah tumpuan – sendi plastis (2h dari muka kolom)

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c b w.d} (\text{SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1})$$

$$= 0.17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 536$$

$$= 215629.276 \text{ N} = 215.6 \text{ kN}$$

$$\phi = 0.75 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.3)}$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{373.83}{0.75} - 215.6 = 282.8 \text{ kN} = 282795.8 \text{ N}$$

Dsengkang = 13 direncanakan = 2 kaki

$$\begin{aligned} Av &= 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \\ &= 265.47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265.47 \times 420 \times 536}{282795.8} = 211.32 \text{ mm}$$

Dipasang **2D13 – 150** sepanjang  $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$  dari muka kolom, dimana tulangan geser pertama dipasang 5 cm dari muka kolom,

d. Daerah lapangan

Gaya geser didaerah lapangan (diluar sendi plastis) yaitu  $2h = 1200 \text{ mm}$ .

$$Vg = 215.323 \text{ kN}$$

$$Vg = \frac{Wu \cdot ln}{2}$$

$$Wu = \frac{Vg \cdot 2}{ln} = \frac{215.323 \times 2}{6.2} = 69.46 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} Vu &= Ve - (Wu \cdot 2h) \\ &= 373.83 - (69.46 \times 1.2) \\ &= 290.47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0.17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 536 \\ &= 215629.276 \text{ N} = 215.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi = 0.75 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.3)}$$

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc = \frac{290.47}{0.75} - 215.6 = 171.6 \text{ kN} = 171661.4 \text{ N}$$

Dsengkang = 13 direncanakan = 2 kaki

$$\begin{aligned} Av &= 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \\ &= 265.47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265.47 \times 420 \times 536}{171661.4} = 389.7 \text{ mm}$$

Dipasang **2D13 – 250** pada daerah luar sendi platis.

D. Panjang penyaluran

- Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik (Id)

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.1)

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1.0 \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps.12.2.4})$$

$$\psi_e = 1.0$$

$$\psi_s = 1.0$$

$$\lambda = 1.0$$

$$\begin{aligned} C_b &= \text{decking} + D_{\text{tul.geser}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul.lentur}} \\ &= 40 + 13 + \frac{1}{2} 22 \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.3})$$

$$(C_b + K_{tr})/db = (64 + 0)/22 = 2.91 > 2.5 \text{ maka diambil } 2.5$$

Panjang penyaluran tulangan tarik dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3

$$\begin{aligned} ld &= \left( \frac{fy}{1.1\lambda\sqrt{f'c}} \times \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left( \frac{C_b + K_{tr}}{db} \right)} \right) db \\ &= \left( \frac{420}{1.1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{(2.5)} \right) 22 \\ &= 568 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai = 600 mm

## 2. Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm (SNI 2847:2013 Ps. 12.3.1)

$$ld_{c1} = \left( \frac{0.24fy}{\lambda\sqrt{f'c}} \right) db = \left( \frac{0.24 \times 420}{1.0 \times \sqrt{35}} \right) \times 22 = 375 \text{ mm}$$

$$ld_{c2} = (0.043fy)db = (0.043 \times 420) \times 22 = 397.3 \text{ mm}$$

Maka dipakai = 400 mm

## 3. Panjang kait

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 12.5.1 panjang penyaluran Idh untuk tulangan dengan kain standar  $90^\circ$  dalam beton berat normal adalah sbb :

$$ldh = 8db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

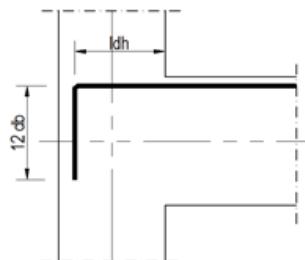
$$ldh = 150 \text{ mm}$$

$$ldh = \left( \frac{0.24 \cdot \psi e \cdot fy}{\sqrt{fy}} \right) db = \left( \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{\sqrt{35}} \right) \times 22 = 375 \text{ mm}$$

Maka dipakai = 400 mm

Panjang kait :

$$12 db = 12 \times 22 = 264 \text{ mm, diambil } 300 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 19** Panjang penyaluran pada kait

#### 4.4.1.7. Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Rekapitulasi kebutuhan tulangan pada balok induk terdapat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 31** Rekapitulasi Tulangan Balok Induk

Tipe Balok	Dimensi	Torsi	Tumpuan		Lapangan		Tulangan Geser	
			-	+	-	+	Tumpuan	Lapangan
BI 1	40/60	2D16	6D22	4D22	4D22	5D22	D13-150	D13-250
BI 2	30/40	1D16	5D22	5D22	2D22	3D22	D13-100	D13-150

#### 4.4.2. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik struktur sekunder, balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi.

#### 4.4.2.1. Data-data Perencanaan

Dimensi kolom = 800 mm x 800 mm

Tinggi kolom = 4000 mm

Decking = 40 mm

D.tul. utama = 22 mm

D.tul. sengkang = 13 mm

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

Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa

#### 4.4.2.2. Perhitungan Tulangan Kolom

##### A. Kontrol Dimensi

Sesuai SNI 2847:2013 Ps.21.6.1 Persyaratan Batas dimensi untuk kolom harus terpenuhi :

- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm  
Sisi terpendek kolom = 800 mm > 300 mm (Memenuhi)
- Rasio penampang tidak kurang dari 0,4  
Rasio antara b dan h = 800 mm/ 800 mm = 1 > 0,4 (Memenuhi)

##### B. Output Gaya Dalam

Gaya dalam yang diambil untuk perhitungan terletak pada kolom lantai 1 yang nilai gayanya ultimit. Gaya dalam yang terjadi pada kolom ditabelkan pada Tabel dibawah ini.

**Tabel 4. 32 Momen dan Gaya Aksial Kolom Lantai**

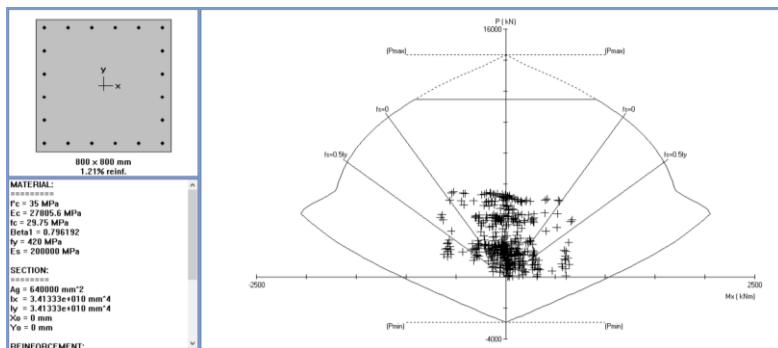
<b>Kombinasi</b>	<b>Lokasi</b>	<b>P</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
		KN	KN-m	KN-m
0.9D+1Ex	Atas	-3208.2	122.3152	-271.664
0.9D+1Ex	Bawah	-3262.42	-291.695	682.9299
0.9D+1Ey	Atas	-3318.49	-266.347	141.7969
0.9D+1Ey	Bawah	-3372.72	613.1519	-219.829
0.9D+1W	Atas	-3084.23	81.7871	84.2526
0.9D+1W	Bawah	-3138.46	-180.864	-186.803
1.2D + 1.6L	Atas	-5860.01	141.7476	131.6362

1.2D + 1.6L	Bawah	-5932.31	-244.802	-250.159
1.2D+1.6R+0.5W	Atas	-4112.31	109.0495	112.3368
1.2D+1.6R+0.5W	Bawah	-4184.61	-241.153	-249.071
1.2D+1.6R+L	Atas	-5204.62	129.4858	124.3989
1.2D+1.6R+L	Bawah	-5276.92	-243.433	-249.751
1.2D+1Ex+1L	Atas	-5328.59	154.4829	-281.797
1.2D+1Ex+1L	Bawah	-5400.89	-354.264	729.9661
1.2D+1Ey+1L	Atas	-5438.88	-290.927	169.9318
1.2D+1Ey+1L	Bawah	-5511.18	660.5049	-282.777
1.2D+1L	Atas	-5204.62	129.4858	124.3989
1.2D+1L	Bawah	-5276.92	-243.433	-249.751
1.4D	Atas	-4797.69	127.2244	131.0596
1.4D	Bawah	-4882.05	-281.345	-290.582
1D+1L	Atas	-4519.24	111.3109	105.6761
1D+1L	Bawah	-4579.49	-203.241	-208.239

### C. Menentukan Tulangan Longitudinal Kolom

Sesuai 2847:2013 Ps.21.6.3.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag. Dari analisa trial error menggunakan spColumn diperoleh **20D-22** dengan  $\rho = 0,0121$ .

$$\begin{aligned} 0.01\text{Ag} &\leq \text{Ast} & \leq 0.06\text{Ag} \\ 0.01 \times 800 \times 800 &\leq \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 20 & \leq 0.06 \times 800 \times 800 \\ 6400 \text{ mm}^2 &\leq 7602.65 \text{ mm}^2 & \leq 38400 \text{ mm}^2 (\text{OK}) \end{aligned}$$



Gambar 4. 20 Diagram Interaksi Kolom

#### D. Cek Persyaratan Strong Column Weak Beam

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 Ps. 21.6.2.2 mensyaratkan bahwa:

$$\sum M_{nc} \geq (1.2) \sum M_{nb}$$

- a. Menentukan Nilai  $\sum M_{nb}$
- Menentukan lebar efektif balok

Lebar balok (bw) = 400 mm

Tinggi balok (hw) = 600 mm

Tebal Pelat (hf) = 120 mm

$$be = bw + 8 hf = 400 \text{ mm} + 8.120 \text{ mm} = 1360 \text{ mm}$$

$$be = bw + 8.hw = 400 \text{ mm} + 2.600 \text{ mm} = 1600 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil, maka  $be = 1360 \text{ mm}$

- As tul atas balok = 6D22 ( $2280.80 \text{ mm}^2$ )
- As tul bawah balok = 4D22 ( $1520.53 \text{ mm}^2$ )

$$a = \frac{As_{\text{pakai}} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot bw} = \frac{2280.80 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 76.66 \text{ mm}$$

$$M_{nb} = As_{\text{pakai}} \cdot fy \left( d - \frac{a}{2} \right) = 2280.80 \times 420 \left( 536 - \frac{76.66}{2} \right) \\ = 454.03 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{As_{\text{pakai}} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot bw} = \frac{1520.53 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 51.11 \text{ mm}$$

$$M_{nb+} = As_{\text{pakai}} \cdot fy \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1520.53 \times 420 \left( 522.26 - \frac{51.11}{2} \right)$$

$$= 302.10 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nb} = M_{nb} + M_{nb+}$$

$$= 454.03 + 302.10$$

$$= 756.13 \text{ mm}$$

$$(1.2) \sum M_{nb} = 1.2 \times 756.13 \text{ kNm}$$

$$= 907.36 \text{ kNm}$$

b. Menentukan Nilai  $\sum M_{nc}$

Untuk menentukan nilai  $M_{nc}$ , didapatkan dari diagram interaksi P-M antara kolom atas dengan kolom desain dengan program bantu pcaColumn. Berikut merupakan hasil dari diagram interaksi antara kolom atas dan kolom desain.

No.	Pu kN	Muy kNm	PhiMn kNm	PhiMn/Mu	NA mm	Dt mm	depth mm	eps_t	Phi
166	5512.67	-624.25	-1705.94	3.254	443	749	0.00207	0.650	
167	5476.52	-158.04	-1707.47	10.804	441	749	0.00209	0.650	
168	5440.37	-189.83	-1715.42	9.036	437	749	0.00214	0.653	

**Gambar 4. 21** Output Diagram Interaksi P-M Kolom bawah dan Kolom Atas

Dari gambar diatas , didapatkan nilai  $M_{nc}$  kolom atas dan  $M_{nc}$  kolom bawah yakni :

$$M_{nc} \text{ kolom atas} = 1705.94 \text{ kNm}$$

$$M_{nc} \text{ kolom bawah} = 1715.42 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nc} = M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah}$$

$$= 1705.94 \text{ kNm} + 1715.42 \text{ kNm}$$

$$= 3421.36 \text{ kNm}$$

Maka dilakukan cek syarat

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb}$$

$$3421.36 \text{ kNm} \geq 907.36 \text{ kNm}$$

Maka syarat “ **Strong Column Weak Beam** “ terpenuhi.

**E. Perhitungan Tulangan transversal sebagai Tulangan  
*Confinement***  
**Daerah sendi plastis kolom**

**Daerah Pemasangan Tulangan**

Daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*). Tulangan *hoop* dipasang sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom dengan  $l_o$  merupakan nilai terbesar dari 1,2 atau 3 sbb:  
(SNI 2847:2013 Ps.21.6.4.1)

- 1) Tinggi komponen struktur di joint,  $h = 800 \text{ mm}$
- 2)  $\frac{1}{6}$  bentang bersih komponen struktur =  $1/6 \times (4000-600) = 566,67 \text{ mm}$
- 3) 450 mm

Maka jarak untuk  $l_o$  digunakan 800 mm

**Spasi maksimum *hoop***

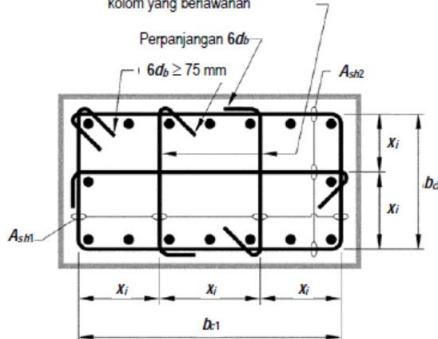
Spasi maksimum *hoop*,  $s_{max}$ , pada daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom. Nilai  $s_{max}$  tidak boleh melebihi dari nilai terkecil dari 1,2 dan 3 sbb: (SNI 2847:2013 Ps.21.6.4.3):

- 1) Seperempat dimensi komponen struktur minimum =  $1/4 \times 800 = 200 \text{ mm}$
- 2) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil =  $6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 3)  $s_o$ , dengan  $s_o$  tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

$$s_o = 100 + \frac{350 - 0.5hx}{3}$$

$hx$  = adalah nilai terbesar dari  $x_i$

Pengikat silang berturutan yang memegang batang tulangan longitudinal yang sama mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi kolom yang berlawanan



Dimensi  $x_l$  dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm. Rumus  $h_x$  yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari  $x_l$ .

**Gambar 4. 22 hx pada tulangan transversal kolom**

$$\begin{aligned}
 h_x &= \frac{b.\text{kolom} - 2.\text{cover}}{\text{jumlah.sisi.tul.lentur}} = \frac{800 - 2.40}{6} \\
 &= 120 \text{ mm} \\
 \text{So} &= 100 + \frac{350 - 0.5hx}{3} = 100 + \frac{350 - 0.5 \times 144}{3} \\
 &= 196.67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$150 \text{ mm} > \text{So} < 100 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 196.67 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad (\text{No OK})$$

Maka :

$$\text{So} = 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasi *hoop* ( $s_{\max}$ ) = 150 mm (maksimum) sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom.

Luas tulangan confinement.

Sesuai 2847:2013 Ps.21.6.4.4, untuk daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar antara a, dan b

$$\begin{aligned}
 bc &= \text{lebar inti penampang beton (yang terkekang)} \\
 &= b_w - 2 \times (t + 0,5 \cdot db) \\
 &= 800 \text{ mm} - 2 \times (40 \text{ mm} + 0,5 \cdot 13 \text{ mm}) \\
 &= 733 \text{ mm} \\
 Ach &= \text{Luas penampang inti beton} \\
 &= (b_w - 2 \cdot t) \times (b_w - 2 \cdot t) \\
 &= (800 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm}) \times (800 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm}) \\
 &= 518400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh1}}{s} &= 0,3 \frac{bc \cdot f'c}{fyt} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\
 &= 0,3 \frac{733 \times 35}{420} \left( \frac{800 \times 800}{518400} - 1 \right) \\
 &= 4,3 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh2}}{s} &= 0,09 \frac{bc \cdot f'c}{fyt} \\
 &= 0,09 \frac{733 \times 35}{420} \\
 &= 5,5 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai yang terbesar yakni  $A_{sh}/s = 5,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$   
 Digunakan sengkang (hoop) **4 kaki D13**

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= 4 \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \right) = 530,66 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{530,66 \text{ mm}^2}{5,5 \text{ mm}^2/\text{mm}} = 96,53 \text{ mm} \approx 90 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S &< S_{max} \\
 90 \text{ mm} &< 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan Sengkang **4 kaki D13-90 mm**

Daerah luar sendi plastis kolom

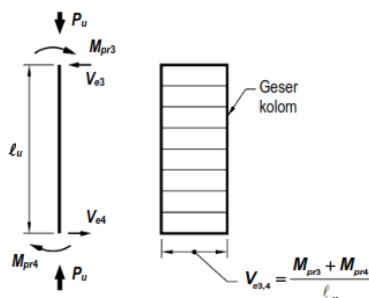
Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi  $l_o$  di masing-masing ujung kolom) diberi *hoops* dengan spasi minimum yang terkecil antara 1 dan 2 sbb: (SNI 2847:2013 Ps.21.6.4.5) :

- 1) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil  
 $= 6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 2) 150 mm

Digunakan Sengkang (hoop) **4D13 – 130 mm**

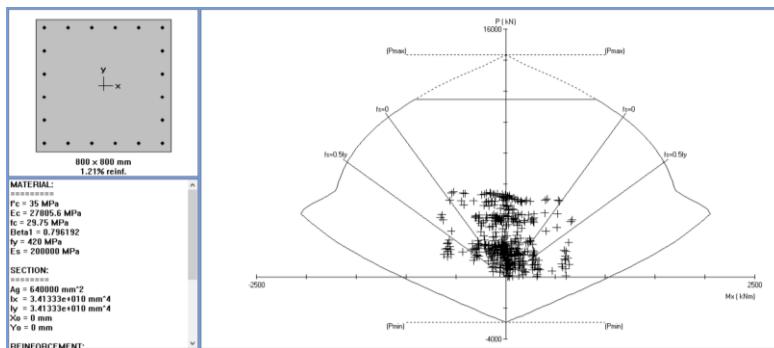
#### **F. Tulangan Transversal Sebagai Penahan Gaya Geser Daerah sendi plastis kolom**

Tulangan transversal sebagai penahan gaya geser harus di desain dengan gaya geser desain  $V_e$  yang diatur dalam SNI 2847:2013 ps.21.5.4.1, dimana nilai  $V_e$  tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor dari analisis struktur. Perhitungan  $V_e$  dihitung dengan ketentuan Pasal 21.6.2.2 seperti Gambar dibawah ini :



**Gambar 4. 23 Gaya Geser Disain untuk Kolom**

Nilai  $M_{pr}$  didapat dari diagram interaksi kolom yang menghasilkan nilai momen terfaktor terbesar akibat beban  $P_u$  terfaktor yang bekerja dengan menggunakan  $f_s = 1.25 f_y$  dan  $\phi=1$  dan dengan  $l_n=3,4 \text{ m}$  (lantai dasar). perhitungan  $M_{pr}$  dengan beban aksial terfaktor di-input dari Tabel beban menggunakan spColumn, hasil dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



**Gambar 4. 24** Diagram Interaksi Kolom  $f_s=1,25f_y$

166	5512.67	-524.25	<b>-2572.76</b>	4.908	319	749	0.00404	1.000
167	5476.52	-158.04	<b>-2568.04</b>	16.249	317	749	0.00408	1.000
168	5440.37	-189.83	<b>-2563.29</b>	13.503	316	749	0.00411	1.000

**Gambar 4. 25** Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Atas dan Bawah  $f_s = 1,25 f_y$

$$M_{pr} \text{ atas} = 2572.76 \text{ kNm}$$

$$M_{pr} \text{ bawah} = 2563.29 \text{ kNm}$$

Maka  $V_e$  dapat dihitung :

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{(M_{pr} \text{ atas} + M_{pr} \text{ bawah}) \times 0.5}{\ln} \\ &= \frac{(2572.76 + 2563.29) \times 0.5}{3.4} \\ &= 1510.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u \text{ dari SAP} = 19.719 \text{ kN}$$

#### Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser

Nilai  $V_c=0$  untuk daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom bila mana syarat keduanya (a) dan (b) terpenuhi

( SNI 2847:2013 ps. 11.2.1) :

- a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$ .

$$50\% \times V_e > V_u$$

$$\begin{aligned} 50\% \times 3021.2 \text{ kN} &> 19.72 \text{ kN} \\ 755.30 \text{ kN} &> 19.72 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- b) Gaya tekan Aksial terfaktor termasuk gaya aksial gempa tidak melampaui  $A_g f'_c / 20$ . (nilai  $P_u$  diambil nilai dari gaya terfaktor terkecil table 7.1)
- $$\begin{aligned} P_u &< A_g f'_c / 20 = 0,8 \times 0,8 \times 35 (1000) / 20 \\ 5512.672 \text{ kN} &> 1120 \text{ kN} \quad (\text{NOT}) \end{aligned}$$

Maka diambil nilai  $V_c$  diperhitungkan :

$$d = bw - \text{cover} - D \text{ Sengkang} - D \text{ lentur}/2$$

$$d = 800 - 40 - 13 - 22/2 = 736 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0.17 \left( 1 + \frac{5512.672}{14 \times 800 \times 800} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 800 \times 736 \\ &= 956.51 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besarnya nilai  $V_s$  dihitung berdasarkan tulangan sengkang terpasang dari hasil perhitungan *confinement* yaitu 4 kaki D13-90 mm

$$A_{sh} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (13)^2 = 530.66 \text{ mm}^2$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} V_{spasang} &= \frac{A_{sh} \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{530.66 \times 420 \times 736}{90} \\ &= 1822640.213 \text{ N} = 1822.64 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka ;

$$\begin{aligned} \varphi(V_c + V_s) &= 0,75 \times (956.51 \text{ kN} + 1822.64 \text{ N}) \\ &= 2084.37 \text{ kN} > 1510.6 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Maka, tulangan transversal penahan geser hasil perhitungan tulangan transversal sebagai *confinement* aman digunakan untuk menahan geser.

### Daerah luar sendi plastis kolom

Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi  $l_o$  di masing-masing ujung kolom) diberi *hoops* dengan spasi minimum (SNI 2847:2013 ps.21.6.4.5) :

- 1) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil  
 $= 6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 2) 150 mm

Digunakan Sengkang (hoop) **4D13 – 130 mm**

### G. Sambungan Lewatan Tulangan Longitudinal Kolom

Perhitungan panjang lewatan sambungan pada kolom mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 12.2.3 yaitu seperti persamaan berikut :

$$\begin{aligned} d_b &= 22 \text{ mm} \\ \Psi_t &= 1,0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.4}) \\ \Psi_e &= 1,0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.4}) \\ \Psi_s &= 1,0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.4}) \\ \lambda &= 1,0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.4}) \\ C_b &= \text{decking} + D_{\text{tul.geser}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul.lentur}} \\ &= 40 + 13 + \frac{1}{2} 22 \\ &= 64 \text{ mm} \\ K_{tr} &= 0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.3}) \end{aligned}$$

$(C_b + K_{tr})/db = (64 + 0)/22 = 2.91 > 2.5$  maka diambil 2.5 Panjang penyaluran tulangan tarik dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 ps. 12.2.3

$$\begin{aligned} l_d &= \left( \frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f'c}} \frac{\Psi_t\Psi_e\Psi_s}{\left( \frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \\ &= \left( \frac{420}{1.1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1 \times 1 \times 1}{(2.5)} \right) \times 22 \\ &= 567.94 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.4.2.3. Rekapitulasi Penulangan Kolom

**Tabel 4. 33 Rekapitulasi penulangan kolom**

Denah (m)	Mutu (MPa)			ρ (%)	Tulangan Lentur	Tulangan geser				lo (mm)	Sambungan Lewatan (mm)
	(f'c)	(fy)	(fyv)			Tumpuan		Lapangan			
K lt 1-5	35	420	420	1.2	20 D 22	4 D 13 -	90	4 D 13 -	130	800	600
K lt 6-10	30	420	420	1.2	20 D 22	4 D 13 -	110	4 D 13 -	130	800	700

#### 4.4.3. Hubungan Balok Kolom (HBK)

##### 4.4.3.1. Cek syarat panjang joint

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar berdasarkan SNI 2847:2013 ps.21.7.2.3

$$b = h = 800 \text{ mm}$$

$$20 \cdot db = 20 \cdot 22 \text{ mm} = 440 \text{ mm} < 800 \text{ mm}$$

##### 4.4.3.2. Menentukan luas efektif joint, $A_j$

$A_j$  merupakan perkalian tinggi joint dengan lebar joint efektif berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 21.7.4.1

$$b_{\text{balok}} = 400 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom}} = 800 \text{ mm}$$

$$x = (800-400)/2 = 200 \text{ mm}$$

Tinggi joint = tinggi keseluruhan kolom,  $h = 800 \text{ mm}$

Lebar joint efektif merupakan nilai terkecil dari :

- $b + h = 400 \text{ mm} + 800 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$
- $b + 2x = 400 \text{ mm} + 2 \cdot 200 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$

$$A_j = \text{tinggi joint} \times \text{lebar efektif joint} = 800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} = 640000 \text{ mm}^2$$

##### 4.4.3.3. Menghitung tulangan transversal untuk confinement

Untuk joint, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom. Spasi vertikal tulangan *confinement* ini diizinkan

untuk diperbesar hingga 150 mm sesuai SNI 2847:2013 ps. 21.7.3.2.

$$\frac{A_{sh}}{s} \cdot jo \text{ int} = 0.5 \cdot \frac{A_{sh}}{s} \cdot \text{kolom}$$

$$\frac{530.66}{90} = 0.5 \times \frac{530.66}{90} = 2.95 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan jarak (*s*) = 150 mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 2.95 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

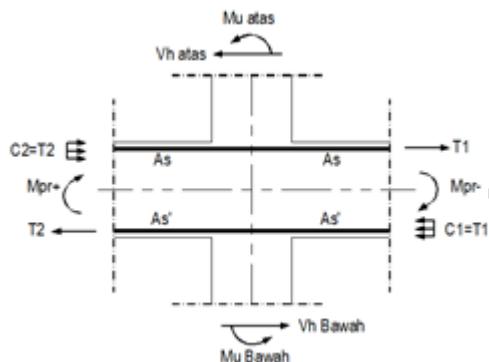
$$A_{sh} = 2.95 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 150 \text{ mm} = 442,217 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang **4 kaki D13 = 530,66 mm<sup>2</sup>**

#### 4.4.3.4. Menghitung gaya geser pada joint

Hitung  $M_e$

Balok yang memasuki joint memiliki  $M_{pr}^{(+)} = 401.10$  kNm, dan  $M_{pr}^{(-)} = 581.57$  kNm. Pada joint, kekakuan kolom atas dan kolom bawah sama.



**Gambar 4. 26 Skema Geser Yang Terjadi Di Joint**

Sehingga :

$$M_e = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{2} = \frac{410.10 + 581.57}{2} = 491 \text{ kNm}$$

- Hitung geser pada kolom atas

$$V_{sway} = \frac{M_e + M_e}{ln} = \frac{491 + 491}{3.4} = 289.02 \text{ kNm}$$

- Menghitung gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri  
 $A_s$  balok kiri **6D22 = 2280.80 mm<sup>2</sup>**

$$T_1 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y = 1.25 \times 2280.80 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa} \\ = 1197.42 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri

$$T_1 = C_1 = 1197.42 \text{ kN}$$

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kanan

$A_s$  balok kanan **6D22 = 2280,80 mm<sup>2</sup>**

$$T_2 = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y = 1.25 \times 2280.80 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa} \\ = 1197.42 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan

$$T_2 = C_2 = 1197.42 \text{ kN}$$

- Hitung gaya geser pada joint

$$V_j = V_{sway} - T_1 - C_2 \\ = 289.02 \text{ kN} - 1197.42 \text{ kN} - 1197.42 \text{ kN} = -2105.814 \text{ kN}$$

#### 4.4.3.5. Cek kuat geser joint

Kuat geser joint yang dikekang di keempat sisinya adalah sesuai SNI 2847:2013 ps 21.7.4.1

$$V_n = 1.7 \sqrt{f'c} \cdot A_j = 1.7 \sqrt{35} \times 640000$$

$$V_n = 6436.69 \text{ kN}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \varphi V_n &\geq V_u \\ 0.75 \times 6436.69 \text{ kN} &\geq 2105,814 \text{ kN} \\ 4827.52 \text{ kN} &\geq 2105,814 \text{ kN} \end{aligned} \quad (\text{OK})$$

Sehingga kuat geser join memenuhi.

#### 4.4.3.6. Rekapitulasi HBK

**Tabel 4. 34** Rekapitulasi tulangan geser hubungan balok kolom

Denah (m)	Mutu (MPa)			Type Kolom (mm)	Tulangan Geser HBK	$\emptyset V_n$	$V_u$	$\emptyset V_n > V_u$
	(f'c)	(fy)	(fyv)					
K lt 1-5	35	420	420	800x80 0	4D 13- 150	4827.52	2105.81	OK
K lt 6-10	30	420	420	800x800	4D 13- 150	4469.4	2105.8	OK

#### 4.5. Desain Balok Prategang

Perencanaan beton prategang pada gedung ini terletak di lantai atap dengan panjang bentang 20 meter. Direncanakan dengan metode pasca tarik (*post-tension*), dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Jadi tendon prategang diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya prategang diberikan. Sebelum dilakukan perhitungan perencanaan balok prategang, akan ditentukan terlebih dahulu spesifikasi mutu bahan, tahap pembebahan, jenis tendon yang digunakan, tegangan izin komponen struktur, kehilangan prategang, serta kontrol struktur yang meliputi kontrol batas layan (*servisibility*), dan penggambaran sebagai output.

##### 4.5.1. Data Perencanaan

Berikut ini adalah data-data perencanaan beton prategang :

Dimensi balok	= 700/1000
Panjang bentang	= 20000 mm
Tebal pelat	= 120 mm
Selimut	= 40 mm
F'c pelat	= 40 MPa
F'c balok	= 40 MPa

##### 4.5.2. Dimensi Penampang Sebelum Komposit

$$Y_{top} = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 1000 = 500 \text{ mm}$$

$$Y_{bot} = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 1000 = 500 \text{ mm}$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot w \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 700 \times 1000^3 = 58333333333 \text{ mm}^4$$

$$W_{top} = \frac{I_b}{Y_t} = \frac{58333333333}{500} = 116666666.7 \text{ mm}^4$$

$$W_{bot} = \frac{I_b}{Y_b} = \frac{58333333333}{500} = 116666666.7 \text{ mm}^4$$

$$Abalok = b \times h = 700 \times 1000 = 700000 \text{ mm}^2$$

#### 4.5.3. Dimensi Penampang Setelah Komposit

Dalam mencari lebar efektif (be), maka digunakan beberapa perumusan yang terdapat didalam SNI 2847:2013 pasal 8.12.2, dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi :

- Delapan kali tebal pelat
- Setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan

Perhitungan lebar efektif diambil terkecil dari :

$$Be_1 = \frac{1}{4} \times L = \frac{1}{4} \times 20000 = 5000 \text{ mm}$$

$$Be_2 = bw + (8tp) \times 2 = 700 + (8 \times 120) \times 2 = 2620 \text{ mm}$$

$$Be_3 = bw + \frac{1}{2} (lx_1 + lx_2) = 3000 \text{ mm}$$

Diambil be minimum = 2620 mm

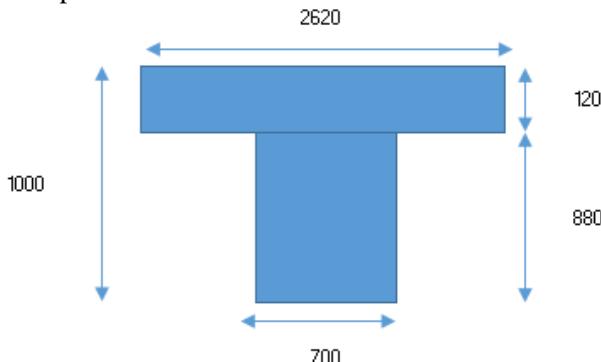
Sehingga nilai  $b_{eff}$  yang terkecil ialah 2.62 meter. Sesuai dengan persyaratan pertama dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, atau sepanjang 5.0 m. Penggunaan lebar efektif didalam perhitungan beton prategang sendiri, sementara untuk perhitungan beban yang ada, lebar yang digunakan ialah sebesar 3.0 m, sesuai dengan jarak antar balok prategang yang sebenarnya.

Sehingga penamoang balok prategang adalah

$$A_{pelat} = tp \times be = 120 \times 2620 = 314400 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = b \times (h - tp) = 700 \times (1000 - 120) = 616000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{pelat}} + A_{\text{balok}} = 930400 \text{ mm}^2$$



**Gambar 4. 27** Penampang balok pratekan

$$Y_t = \frac{616000 \times 560 + 314400 \times 60}{930400} = 391.04 \text{ mm}$$

$$Y_b = h - Y_t = 1000 - 391.04 = 608.96 \text{ mm (cgc)}$$

$$d_t = y_t - tp/2 = 391.04 - 60 = 331.04 \text{ mm}$$

$$d_b = y_b - hp/2 = 608.95 - 440 = 168.96 \text{ mm}$$

setelah didapat data-data diatas, diperlukan nilai batasan letak kabel tendon yang hendak dipasang sebagai daerah limit tendon. Tendon dipasang pada daerah beton mengalami teka dimana daerah tersebut dibatasi oleh nilai dai wilayah kern pada penampang balok, dimana :

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A_{\text{balok}} \times d_b^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 700 \times 880^3 + 616000 \times 168.96^2$$

$$= 57337696087 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \cdot b_{\text{eff}} \cdot t^3 + A_{\text{pelat}} \times dt^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 2620 \times 120^3 + 314400 \times 331.04^2 \\
 &= 34831670127 \text{ mm}^4 \\
 I_c &= I_{\text{balok}} + I_{\text{pelat}} = 92169366213.81 \text{ mm}^4 \\
 W_t &= \frac{I_c}{Y_t} = \frac{92169366313.81}{391.04} = 235702917.7 \text{ mm}^3 \\
 W_b &= \frac{I_c}{Y_b} = \frac{92169366313.81}{608.96} = 151355472.7 \text{ mm}^3 \\
 K_t &= \frac{W_b}{A_{\text{total}}} = \frac{151355372.7}{930400} = 162.68 \text{ mm} \\
 K_b &= \frac{W_t}{A_{\text{total}}} = \frac{235702917.7}{930400} = 253.33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.4. Tegangan Izin Balok

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai  $f_{ci}$  dihitung dengan cara berikut:

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 0.88 \times f'c \\
 &= 0.88 \times 40 \text{ MPa} \\
 &= 35.2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.4.1, tegangan ijin untuk beton pratekan sesaat setelah penyaluran prategang (sebelum kehilangan) adalah sebagai berikut:

Tegangan tekan serat terjauh :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &= 0.6 \times f_{ci} \\
 &= 0.6 \times 35.2 \\
 &= 21.12 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan tekan serat terjauh pada ujung komponen tumpuan :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &= 0.7 \times f_{ci} \\
 &= 0.7 \times 35.2 \\
 &= 24.64 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan tarik:

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= 0.25 \times \sqrt{f'c_i} \\ &= 0.25 \times \sqrt{35.2} \\ &= 1.48 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.4.2, tegangan ijin untuk beton pratekan saat beban layan (setelah kehilangan pratekan) adalah sebagai berikut:

Tegangan tekan akibat beban tetap:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= 0.45 \times f'c \\ &= 0.45 \times 40 \\ &= 18 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan tekan akibat prategang ditambah beban total:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= 0.6 \times f'c \\ &= 0.6 \times 40 \\ &= 24 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan tarik:

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= 0.62 \times \sqrt{f'c} \\ &= 0.62 \times \sqrt{40} \\ &= 3.92 \text{ MPa}\end{aligned}$$

#### **4.5.5. Beban Balok Prategang**

Beban-beban untuk desain balok prategang terdiri dari berat balok, berat sendiri pelat ditambah komponen-komponen yang berada diatas pelat (pelat atap karena letak balok prategang berada paling atas). Beban hidup yang bekerja dihitung sebesar  $96 \text{ kg/m}^2$  pada tiap luasan pelat yang mampu menampung beban hidup yang terjadi.

#### **Beban saat transfer**

$$\begin{aligned}\text{Balok} &= 2400 \times 0.7 \times 0.88 &= 1478.4 \text{ kg/m} \\ \text{Pelat} &= 2400 \times 2.62 \times 0.12 &= 754,56 \text{ kg/m} \\ && qd &= 2232.96 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

#### **Beban saat service**

Beban mati :

$$\text{Balok} = 2400 \times 0.7 \times 0.88 = 1478.4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Plafond} = 2400 \times 0.12 = 288 \text{ kg/m}^2$$

Beban mati tambahan :

$$\text{Penggantung} = 11 = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plumbing} = 7 = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{M & E} = 25 = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$q \text{ trapesium kr} = 424.77 \text{ kg/m}$$

$$q \text{ trapesium kn} = 424.77 \text{ kg/m}$$

$$q \text{ balok} = 1478.4 \text{ kg/m}$$

$$qd = 2327.94 \text{ kg/m}$$

$$\text{beban hidup} = 96 \text{ kg/m}^2$$

$$q \text{ trapesium kr} = 109.91 \text{ kg/m}$$

$$q \text{ trapesium kn} = 109.91 \text{ kg/m}$$

$$ql = 219.83 \text{ kg/m}$$

### Momen saat transfer (1D)

$$M_{\text{max tum}} = 1/12 \times q \times L^2 = 1/12 \times 2232.96 \times 20^2 = 74432 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{max lap}} = 1/24 \times q \times L^2 = 1/24 \times 2232.96 \times 20^2 = 37216 \text{ kgm}$$

### Momen saat service (1D + 1L)

$$M_{\text{max tum}} = 93977.62 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{max lap}} = 79845.32 \text{ kgm}$$

### 4.5.6. Desain Pendahuluan Gaya Prategang Awal

Preliminary gaya prategang dilakukan dengan merencanakan tendon tunggal sepanjang balok dan merencanakan eksentrisitas untuk kemudian menghasilkan nilai gaya prategang ( $F$ ).

Analisa dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi saat penyaluran gaya prategang dan kondisi layan. Kedua kondisi tersebut dilakukan dengan asumsi bahwa struktur balok adalah *simple beam*. Kemudian nilai  $F$  didapatkan dari kondisi batas berupa tegangan izin beton yang telah dihitung sebelumnya.

Nilai eksentrisitas rencana :

Lapangan

$d' = 150 \text{ mm}$  (posisi tendon dari serat bawah)

$$e = Y_b - d' = 458.96 \text{ mm}$$

tumpuan

$d' = 291 \text{ mm}$  (posisi tendon dari serat atas)

$e = Y_t - d' = 100 \text{ mm}$  (diatas cg)

### 1. Gaya prategang saat transfer

Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok sehingga momen yang digunakan adalah momen balok.

#### a. Daerah tumpuan

- Serat atas

$$\begin{aligned} \sigma_{tk} &\geq -\frac{F_o}{A_{total}} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ -24.6 &\geq -\frac{F_o}{930400} + \frac{F_o \times -100}{235702917.7} - \frac{-744320000}{235702917.7} \\ F_o &= 18543419.76 \text{ N} = 18543.42 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Serat bawah

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &\geq -\frac{F_o}{A_{total}} - \frac{F_o \times e}{W_b} + \frac{M_d}{W_b} \\ 3.0 &\geq -\frac{F_o}{930400} - \frac{F_o \times -100}{151355472.7} + \frac{-744320000}{151355472.7} \\ F_o &= -19038829.01 \text{ N} = -19038.83 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b. Daerah lapangan

- Serat atas

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &\geq -\frac{F_o}{A_{total}} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ 1.5 &\geq -\frac{F_o}{930400} + \frac{F_o \times 458.95959}{235702917.7} - \frac{372160000}{235702917.7} \\ F_o &= 3510105.78 \text{ N} = 3510.11 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Serat bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{F_o}{A_{total}} - \frac{F_o \times e}{W_b} + \frac{M_d}{W_b}$$

$$-21.1 \geq -\frac{Fo}{930400} - \frac{Fo \times 458.95959}{151355472.7} + \frac{372160000}{151355472.7}$$

$$Fo = 5740946.995 \text{ N} = 5740.95 \text{ kN}$$

## 2. Gaya prategang saat beban layan

Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok, pelat, beban mati tambahan serta beban hidup. Sehingga momen yang digunakan adalah momen total dari semua beban.

### a. Daerah tumpuan

- Serat atas

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{Fo}{A_{total}} + \frac{Fo \times e}{W_t} - \frac{Mt}{W_t}$$

$$3.9 \geq -\frac{Fo}{930400} + \frac{Fo \times -100}{235702917.7} - \frac{-939776200}{235702917.7}$$

$$Fo = 43958.82 \text{ N} = 43.96 \text{ kN}$$

- Serat bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{Fo}{A_{total}} - \frac{Fo \times e}{W_b} + \frac{Mt}{W_b}$$

$$-24.0 \geq -\frac{Fo}{930400} - \frac{Fo \times -100}{151355472.7} + \frac{-939776200}{151355472.7}$$

$$Fo = 42961829.34 \text{ N} = 42961.83 \text{ kN}$$

### b. Daerah lapangan

- Serat atas

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{Fo}{A_{total}} + \frac{Fo \times e}{W_t} - \frac{Mt}{W_t}$$

$$3.9 \geq -\frac{Fo}{930400} + \frac{Fo \times 458.95959}{235702917.7} - \frac{798453200}{235702917.7}$$

$$Fo = 8377877.054 \text{ N} = 8377.88 \text{ kN}$$

- Serat bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{Fo}{A_{total}} - \frac{Fo \times e}{W_b} + \frac{Mt}{W_b}$$

$$-24.0 \geq -\frac{F_o}{930400} - \frac{F_o \times 458.95959}{151355472.7} + \frac{798453200}{151355472.7}$$

$$F_o = 7127924.21 \text{ N} = 7127.93 \text{ kN}$$

Dari kondisi saat transfer dan beban layan diambil gaya paling minimum :

- Tumpuan  
Fo = 43.96 kN
- Fo = 40 kN
- Lapangan  
Fo = 3510,11 kN  
Fo = 3500 kN

Dari daerah tumpuan dan lapangan diambil gaya paling maksimum yaitu fo = 3500 kN

#### 4.5.7. Penentuan Jumlah Strand

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.5, tegangan tarik baja prategang tidak boleh melebihi:

- Akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang sebesar 0.94 f<sub>py</sub> tetapi tidak lebih besar dari 0.80 f<sub>pu</sub>.
- Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur dan kopler (couplers), sesaat setelah transfer gaya sebesar 0.70 f<sub>pu</sub>.

Data kabel strand yang direncanakan sebagai baja prategang diperoleh dari tabel *fressynet* (tabel terlampir) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Standard	Nominal tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Nominal diameter mm	Nominal steel area mm <sup>2</sup>	Nominal mass kg/m	Minimum breaking strength kN	Proof stress at 0.1 % strain kN	Maximum initial force*		
							Eurocode 2	French code BPEL 91	AASHTO 96 Code
pr EN 10138-3	1 770	16	150	1 170	265	228	191.25	205.2	185.5 (41 700 lbf)
	1 860	16	150	1 170	279	240	201.45	216	195.3 (43 903 lbf)
BS 6804-1980	1 770	15.7	150	1 180	265	225	191.25	202.5	185.5 (41 700 lbf)
	1 820**	15.2	145	1 295	300	265	216.75	229.5	210 (47 208 lbf)
ASTM A 416-96a (270 kpsi) (0.6 in) <sup>2</sup>	1 860	15.24	140	1 102	260.7	234.6	195.50	208.5	182.5
							[52 740 lbf]	[43 950 lbf]	[46 870 lbf]

Spesifikasi strand adalah sebagai berikut :

- Tipe Strand = ASTM A 416-96 Grade 270
- Diameter = 15.24 mm
- Luas Penampang, A<sub>p</sub> = 140 mm<sup>2</sup>

- Minimal breaking load = 260.7 kN
- Kuat Tarik,  $f_{pu}$  =  $\frac{260700}{140} = 1862.143 \text{ MPa}$
- Kuat Leleh,  $f_{py}$  =  $0.9 \times f_{pu}$   
=  $0.9 \times 1862.143 \text{ MPa}$   
=  $1675.93 \text{ MPa}$

Tegangan tarik baja tidak boleh melebihi :

- Saat penarikan (jacking) :
 
$$0.94 f_{py} = 0.94 \times 1675.93$$

$$= 1575.373 \text{ MPa}$$
- Sesaat setelah transfer gaya :
 
$$0.8 f_{pu} = 0.8 \times 1862.143$$

$$= 1489.714 \text{ MPa}$$

Diambil nilai tegangan tarik baja terkecil yaitu  $f_{st} = 1303.5 \text{ MPa}$ .

Luas tendon yang dibutuhkan :

$$A_{ps} = \frac{F_o}{f_{st}} = \frac{3500000}{1303.5} = 2685.08 \text{ mm}^2$$

Jumlah strand yang dibutuhkan :

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{2685.08}{140} = 20 \text{ buah}$$

Dari data kabel strand yang diperoleh maka direncanakan balok pratekan menggunakan 1 buah tendon. Adapun spesifikasi tendon sesuai tabel *fressynet* adalah sebagai berikut :

Tipe tendon = 22C15

Jumlah strand = 20 buah (strand tipe ASTM)

Luas area ( $A_p$ ) =  $3080 \text{ mm}^2$

Kontrol tegangan Tendon terpasang,  $f_{si}$  :

$$f_{si} \leq f_{st}$$

$$\frac{F_o}{A_p} \leq 1303.5 \text{ MPa}$$

$$\frac{3500000}{3080} \leq 1303.5 \text{ MPa}$$

$$1136.36 \text{ MPa} \leq 1303.5 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.5.8. Perhitungan Kehilangan Prategang

Kehilangan pratekan terdapat 2 macam, yaitu kehilangan langsung dan kehilangan tak langsung. Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok pratekan. Sedangkan kehilangan tak langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan yang terjadi secara bertahap dalam waktu yang relative lama. Berikut ini adalah macam-macam kehilangan langsung dan kehilangan tak langsung pada balok pratekan.

Kehilangan Langsung:

- Perpendekan Elastis Beton
- Gesekan
- Pengangkuran
- Kekangan Kolom

Kehilangan Tak Langsung:

- Rangkak Beton
- Susut Beton
- Relaksasi Baja

Berikut ini adalah perhitungan kehilangan pratekan langsung dan tak langsung:

##### 1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton

Beton mengalami perpendekan akibat gaya tekan dan kabel juga ikut memendek sehingga menyebabkan berkurangnya gaya pratekan awal. Pada metode post tensioned, apabila hanya menggunakan 1 kabel saja, maka tidak terdapat kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis beton.

Jumlah tendon = 1 buah

ES = 0

Dimana:

ES = kehilangan akibat perpendekan elastis beton

$$\% = \frac{0}{1303.5} \times 100 = 0\%$$

## 2. Kehilangan Akibat Gesekan (wobble effect)

Tendon yang dipasang parabola atau lengkung, akan menimbulkan gesekan antara sistem penarik dan angkur. Sehingga tegangan yang ada pada tendon atau kabel prategang akan lebih kecil daripada bacaan pada alat baca tegangan. Kehilangan pratekan akibat gesekan dipengaruhi oleh:

- Efek gerakan/goyangan dari selongsong (wobble) kabel pratekan, untuk itu dipergunakan koefisien wobble  $K$
- Kelengkungan tendon/kabel pratekan, untuk itu digunakan koefisien gesekan  $\mu$

$$\Delta fpF = F_i (\mu\alpha + KL)$$

Dimana:

$$\Delta fpF = \text{besarnya gaya kehilangan pratekan akibat gesekan}$$

$$F_i = 1303.5$$

$$L = \text{panjang balok pratekan} = 20.0 \text{ m}$$

$$\alpha = \text{sudut kelengkungan tendon} = 8e/L \\ = (8 \times 458.95959)/20000 \text{ mm} = 0.183$$

$$\mu = \text{koefisien kelengkungan} = 0,15 \text{ (strand untaian 7 kawat)}$$

$$K = \text{koefisien wobble} = 0,0016/\text{m} \text{ (strand untaian 7 kawat)}$$

$$\Delta fpF = 77.61 \text{ MPa}$$

$$\% = \frac{\Delta fpF}{\sigma_{izin}} \times 100 = \frac{77.61}{1303.5} \times 100 = 5.95\%$$

## 3. Kehilangan Akibat Pengangkuran

Pada saat tendon dilepas dari mesin penarik (dongkrak), pada metode paasca tarik setelah pemberian gaya pratekan dan alat jacking dilepas maka angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi sehingga dapat menyebabkan tendon tergelincir. Rumus kehilangan pratekan akibat slip angkur dapat dihitung dengan perumusan berikut.

$$X = \sqrt{\frac{ES \times g}{f_{\text{pakai}} \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}$$

$$\Delta f_{pa} = 2fst \times \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) X$$

Dimana:

ES = modulus elastisitas baja = 200000 MPa

g = 0.8

f <sub>pakai</sub> = 1303.5 MPa

$\mu$  = 0.15

K = 0.0016

$\alpha$  = 0.184

L = panjang nalok pratekan = 20000 mm

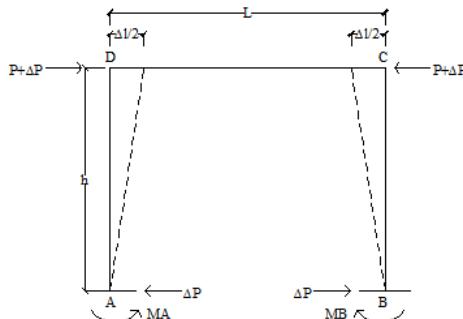
X = 6241.32 < 10000 (OK)

$\Delta f_{pa}$  = 49.834 MPa

% =  $\frac{49.834}{1303.5} = 3.823\%$

#### 4. Kehilangan Akibat Kekangan Kolom

Beton yang dicor monolit dengan kolom harus diperhitungkan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom. Hal ini dikarenakan gaya perlawanan yang diberikan kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom menyebabkan berkurangnya gaya pratekan karena sebagian gaya pratekan digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.



**Gambar 4. 28** Kehilangan Pratekan Akibat Kekangan Kolom

$$\Delta P = \frac{M_B - M_A}{h} = \frac{-25732.39 - 14519.03}{4} = 10062.855 \text{ kg}$$

$$= 100628.55 \text{ N}$$

Dimana:

$\Delta f_{pa}$  = kehilangan pratekan akibat kekangan kolom

$M_A$  = momen di kolom A akibat gaya pratekan

$M_B$  = momen di kolom B akibat gaya pratekan

$h$  = tinggi kolom = 4 m

$$\Delta f_{pa} = \frac{100628.55}{2685.08} = 37.48 \text{ MPa} = 2.87\%$$

Total kehilangan langsung adalah :

$$\begin{aligned}\% \text{ total} &= ES + \Delta fpF + Fpa + \Delta fpa \\ &= 0 + 5.954 + 3.82 + 2.87 \\ &= 12.65\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Teg sisa} &= 1303.5 \times 87.35\% \\ &= 1138.58 \text{ MPa}\end{aligned}$$

## 5. Kehilangan Akibat Rangkak Beton

Kehilangan Gaya Prategang yang diakibatkan oleh Creep (Rangkak) dari beton ini merupakan salah satu kehilangan gaya

prategang yang tergantung pada waktu (time dependent loss of stress) yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian. Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya pratekan. Bagian dari regangan tekan awal disebabkan pada beton segera setelah peralihan gaya pratekan dikurangi oleh regangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati permanen.

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana :

$CR$  = kehilangan pratekan akibat rangkak beton

$K_{cr} = 1,6$  (*post-tensioned*)

$E_s$  = modulus elastisitas baja = 200000 MPa

$$\begin{aligned}
 E_c &= \text{modulus elastisitas beton} = 4700 \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \sqrt{40} \\
 &= 29725.41 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$f_{cpi}$  = gaya pratekan yang sudah dikurangi kehilangan pratekan langsung = 3292094.235

$f_{cir}$  = besarnya tegangan di garis berat tendon akibat berat sendiri sesaat setelah transfer

$f_{cds}$  = besarnya tegangan di garis berat tendon akibat beban tambahan pelat

$M_D$  = momen akibat beban sendiri = 372160000 Nmm (dari perhitungan mekanika balok pratekan sesaat setelah transfer)

$M_S$  = momen akibat beban mati tambahan  
= 283179456.4 Nmm

$$\begin{aligned}
 f_{cir} &= -\frac{F_{cpi}}{A} - \frac{F_{cpi} \times e^2}{I_c} + \frac{M_D \times e}{I_c} \\
 &= -\frac{3292094.24}{930400} - \frac{3292094.24 \times 458.96^2}{92169366213.81} + \\
 &\quad \frac{372160000 \times 458.96}{92169366213.81} \\
 &= 9.21 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$f_{cds} = \frac{M_S \times e}{I_c} = \frac{283179456 \times 458.96}{92169366213.8} = 1.41 \text{ MPa}$$

$$CR = 83.96 \text{ MPa}$$

## 6. Kehilangan Akibat Susut Beton

Besarnya susut beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, tipe perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian pratekan, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan.

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times Es \left(1 - 0.0236 \times \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

Dimana:

$SH$  = kehilangan pratekan akibat susut beton

$K_{sh}$  = koefisien jangka waktu setelah perawatan sampai  
penerapan pratekan (diambil masa 7 hari)  
= 0,77

$E_s$  = modulus elastisitas baja = 200000 MPa

$\frac{V}{S}$  = perbandingan volume terhadap luas permukaan balok  
= 124.02 mm

$RH$  = prosentase kelembapan untuk daerah padang = 80%

$SH$  = 48.67 MPa

#### 7. Kehilangan Akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja prategang terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang ini akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara prategang awal ( $f_{pi}$ ) dan prategang akhir ( $f_{pu}$ ).

$$RE = (K_{re} - J \times (SH + CR + ES)) \times C$$

Dimana:

$RE$  = kehilangan pratekan akibat relaksasi baja

$K_{re}$  = koefisien relaksasi = 138 (tabel 4-5 T.Y Lin & Burns)

$J$  = faktor waktu = 0,15 (tabel 4-5 T.Y Lin & Burns)

$SH$  = kehilangan pratekan akibat susut beton

$CR$  = kehilangan pratekan akibat rangkak beton

$ES$  = kehilangan pratekan akibat perpendekan elastic beton

$f_{pi}$  = tegangan tendon terpasang = 1136.36 MPa

$f_{pu}$  = kuat tarik tendon = 1862.143 MPa

$\frac{f_{pi}}{f_{pu}}$  = 0.61

$C$  = faktor relaksasi yang besarnya tergantung pada jenis  
kawat/baja prategang = 0.58

$RE$  = 68.50 MPa

Total kehilangan pratekan langsung dan tak langsung dapat dituliskan sebagai berikut :

**Tabel 4.35 Kehilangan Gaya Prategang**

<b>Macam Kehilangan Prategang</b>	<b>Kehilangan Gaya Prategang</b>	<b>Percentase</b>
	(MPa)	%
<b>Tegangan Efektif</b> Sesudah penarikan 0.7 fpu	1303.5 MPa	100%
<b>Kehilangan Langsung</b> Perpendekan elastis beton Gesekan (wobble effect) Pengangkuran Kekangan kolom	0 MPa 49.834 MPa 77.607 MPa 0.31 MPa	0.00% 3.83% 5.95% 2.87%
<b>Kehilangan Tak Langsung</b> Rangkak beton (creep) Susut beton (shrinkage) Relaksasi baja	83.956 MPa 48.665 MPa 68.502 MPa	6.44 % 3.73% 5.26%
<b>Total Kehilangan Gaya Prategang</b>	328.875 MPa	25.23%
<b>Tegangan Efektif</b>	<b>974.625 MPa</b>	<b>74.77%</b>

#### 4.5.9. Kontrol Tegangan Sesudah Kehilangan

Kontrol tegangan pada daerah tumpuan dan lapangan , tegangan yang terjadi adalah :

Tegangan baja = 974.625 MPa

Jumlah strand = 20 buah

Luas kawat = 140 mm<sup>2</sup>

Feff = 942.303 x 20 x 140 = 2728949.14 N

a. Tegangan pada lapangan

- Serat atas

$$f^t = -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_t} - \frac{M_T}{W_t}$$

$$= -\frac{2728949.14}{930400} + \frac{2728949.14 \times 459}{235702917.7} - \frac{798453200}{235702917.7}$$

$$= -1.0 \text{ MPa} > -24 \text{ MPa (OK)}$$

- Serat bawah

$$f^b = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

$$= -\frac{2728949.14}{930400} - \frac{2728949.14 \times 459}{151355472.7} + \frac{798453200}{151355472.7}$$

$$= -5.93 \text{ MPa} < 3.92 \text{ MPa (OK)}$$

b. Tegangan pada tumpuan

- Serat atas

$$f^t = -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_t} - \frac{M_T}{W_t}$$

$$= -\frac{2728949.14}{930400} + \frac{2728949.14 \times -100}{235702917.7} - \frac{-939776200}{235702917.7}$$

$$= -0.1 \text{ MPa} < 3.92 \text{ MPa (OK)}$$

- Serat bawah

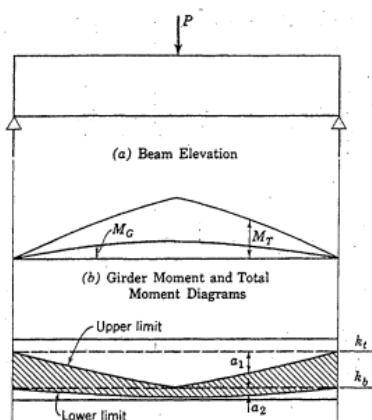
$$f^b = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

$$= -\frac{2728949.14}{930400} - \frac{2728949.14 \times -161}{151355472.7} + \frac{-939.776200}{151355472.7}$$

$$= -7.34 \text{ MPa} > -24 \text{ MPa (OK)}$$

#### 4.5.10. Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel adalah daerah dimana kabel tendon pratekan boleh dipasang tanpa menimbulkan tegangan-tegangan yang menyalahi tegangan yang ijin. Letak titik berat tendon tidak boleh berada di atas kern atas dan tidak boleh berada di kern bawah. a1 diukur dari kern atas ke bawah dan a2 diukur dari kern bawah ke bawah.



**Gambar 4. 29** Daerah Limit Kabel

(Sumber: Desain Struktur Beton Prategang, T.Y.Lins & Burns)

Menghitung jari-jari inersia :

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A_g}} = \sqrt{\frac{92169366213.81}{930400}} = 314.745 \text{ mm}$$

Batas paling atas letak kabel pratekan agar tidak terjadi tegangan tarik serat paling bawah :

$$Kt = \frac{i^2}{Yb} = \frac{314.745^2}{608.96} = 162.6778 \text{ mm}$$

Batas paling bawah letak kabel pratekan agar tidak terjadi tegangan tarik serat paling atas :

$$Kb = \frac{i^2}{Yt} = \frac{314.745^2}{391.04} = 253.335 \text{ mm}$$

Mencari daerah limit kabel :

$M_T$  = momen total akibat beban mati dan beban hidup hasil SAP 2000

$M_G$  = momen akibat berat sendiri balok prategang

$F$  = gaya prategang setelah terjadi kehilangan prategang

$F_0$  = gaya awal prategang

Lapangan :

$$a_1 = \frac{M_T}{F} = \frac{783.0151}{2728.95} = 0.287 \text{ m} = 286.93 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{M_G}{F_0} = \frac{364.964}{3500} = 0.1043 \text{ m} = 104.3 \text{ mm}$$

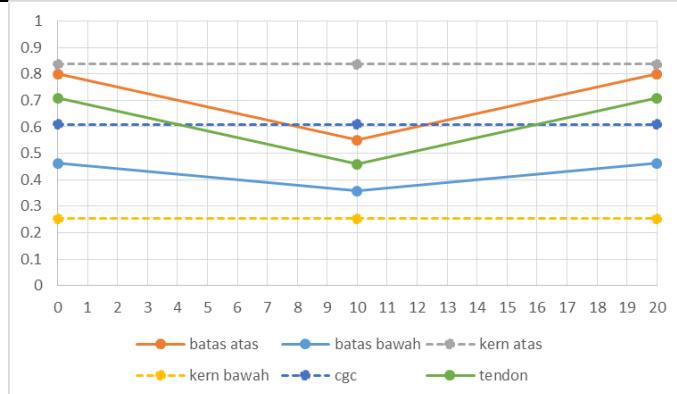
Tumpuan :

$$a_1 = \frac{M_T}{F} = \frac{921.61}{2728.95} = 0.338 \text{ m} = 337.7 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{M_G}{F_0} = \frac{729.934}{3500} = 0.208 \text{ m} = 208.55 \text{ mm}$$

**Tabel 4. 36** daerah limit kabel

jarak	Mg (kgm)	Mt (kgm)	a1	a2
0	74432	93977.62	0.799	0.462
10	37216	79845.32	0.550	0.358
20	74432	93977.62	0.799	0.462



**Gambar 4. 30** Daerah limit kabel

#### 4.5.11. Posisi Tendon

Bentuk lintasan tendon yang dipakai adalah berbentuk parabola. Untuk mengetahui posisi tendon digunakan persamaan garis lengkung.

$$Y_i = \frac{4 \times f \times X_i \times (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana:

$Y_i$  = ordinat tendon yang ditinjau

$X_i$  = absis tendon yang ditinjau

$L$  = panjang bentang = 20000 mm

$f$  = tinggi puncak parabola maksimum = 558.96

$Y_t$  = titik berat dari serat atas beton = 391.04 mm

$Y_b$  = titik berat dari serat bawah beton = 608.96 mm

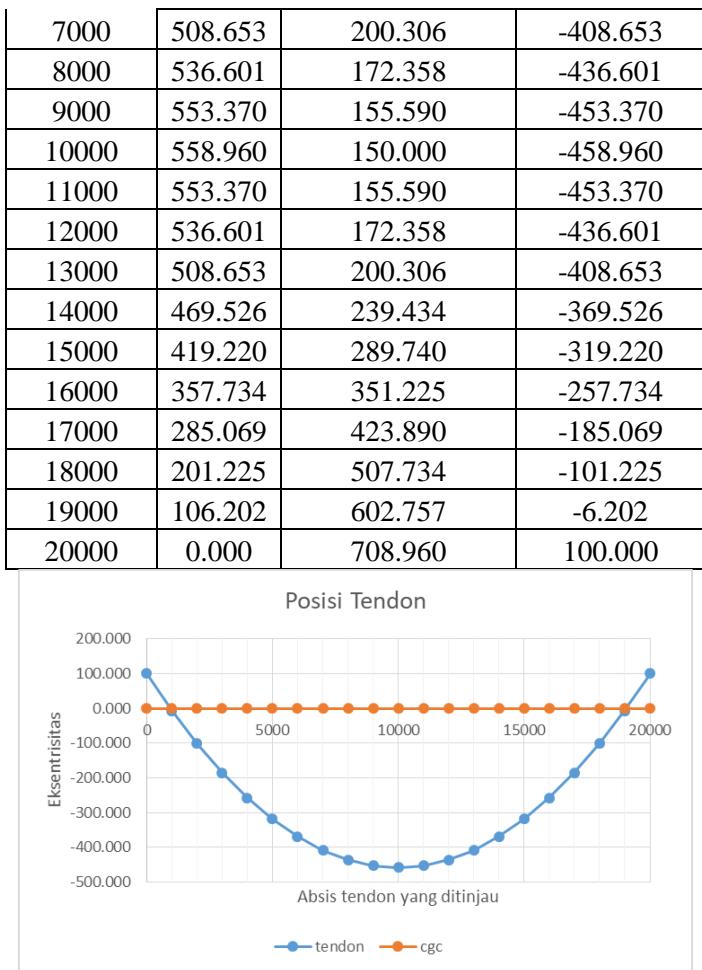
$e_{tump}$  = eksentrisitas di tumpuan = 100 mm

$e_{lap}$  = eksentrisitas di lapangan = 458.96 mm

sehingga perhitungan posisi tendon dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 37** Letak posisi tendon

Jarak tinjau $X_i$ (mm)	$Y_i$ (mm)	Letak tendon dari serat bawah	Letak tendon dari garis netral (mm)
		$c = Y_b + e_{tump}$ - $Y_i$	$d = c - Y_b$
(a)	(b)	(c)	(d)
0	0.000	708.960	100.000
1000	106.202	602.757	-6.202
2000	201.225	507.734	-101.225
3000	285.069	423.890	-185.069
4000	357.734	351.225	-257.734
5000	419.220	289.740	-319.220
6000	469.526	239.434	-369.526



Gambar 4. 31 Posisi tendon

#### 4.5.12. Momen retak

Perhitungan kuat ultimate dari balok prategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus cukup untuk dapat menghasilkan beban terfaktor paling sekitar 1.2

beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak  $fr = 0.62\sqrt{f'c}$ , sehingga didapat  $\phi Mu \geq 1.2 M_{cr}$  dengan nilai  $\phi = 0.9$ .

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok prategang dihitung dengan teori elastis dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tarik pada serat beton mencapai modulus keruntuhannya. Harus diperhatikan pula bahwa modulus keruntuhan hanyalah merupakan ukuran permulaan retak rambut pertama seringkali tidak terlihat oleh mata telanjang. Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \left( \frac{Fe}{A} \times \frac{I}{Yb} \right) + \left( \frac{Fe \times e \times Yb}{I} \times \frac{I}{Yb} \right) - \left( fr \times \frac{I}{Yb} \right) \\ &= \left( \frac{Fe}{A} \times Wb \right) + (Fe \times e) - (fr \times Wb) \\ &= \left( \frac{2728949.14}{930400} \times 151355472.7 \right) + (2728949.14 \times 100) - \\ &\quad (3.9 \times 151355472.7) \end{aligned}$$

$$M_{cr} = 123335738.5 \text{ Nmm}$$

$$1.2 M_{cr} = 148002886.2 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mu = 4284951141 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mu \geq 1.2 M_{cr}$$

$$4284951141 \geq 148002886.2 \text{ (Memenuhi)}$$

#### **4.5.13. Kontrol Lendutan**

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari prilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton prategang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan disyaratkan.

Lendutan ijin pada beton pratekan harus memenuhi syarat seperti pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.4 yaitu lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar :

$$\Delta_{\text{izin}} = \frac{L}{480} = \frac{20000}{480} = 41.67 \text{ mm}$$

Kontrol lendutan pada balok pratekan dihitung berdasarkan 2 kondisi, yaitu sesaat setelah penyaluran pratekan dan saat beban layan.

### 1. Lendutan Awal saat jacking

Pada saat awal transfer gaya prategang nilai lendutan yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Lendutan akibat tekanan tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke atas. Sedangkan syarat izin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{L^2} = \frac{8 \times 3500000 \times 458.96}{20000^2} = 32.13 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 32.13 \times 20000^4}{384 \times 29725.41 \times 5833333333} \\ = -38.59 \text{ mm } (\uparrow)$$

- Akibat eksentrisitas tepi balok

Eksentrisitas tepi balok terhadap cgc pada letak tendon menyebabkan lendutan kearah bawah (karena menyebabkan momen negatif). Besarnya lendutan ini dipengaruhi oleh momen akibat gaya dan eksentrisitas tepi balok terhadap cgc.

$$\Delta l_{me} = \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} = \frac{3500000 \times 100 \times 20000^2}{8 \times 29725.41 \times 5833333333} \\ = 10.09 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan akibat berat sendiri

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk kebawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah.

$$\Delta l_{q0} = \frac{5 \times q_0 \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 22.33 \times 20000^4}{384 \times 29725.41 \times 58333333333} \\ = 26.83 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan pada saat awal transfer gaya prategang sebesar (dengan mengasumsikan tanda (-) adalah lendutan ke atas, karena berlawanan arah dengan arah terjadinya lendutan).

$$\Delta_{tr} = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{q0} \\ = -38.59 + 10.09 + 26.83 \\ = -1.68 \text{ mm } (\uparrow)$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr} \\ 41.67 \text{ mm} > 1.68 \text{ mm } (\text{OK})$$

## 2. Lendutan saat beban bekerja

Saat beban bekerja sepenuhnya bekerja gaya prategang yang terjadi berupa gaya prategang efektif setelah terjadi berbagai tahap dan macam kehilangan. Lendutan yang terjadi antara lain:

- Lendutan akibat tekanan tendon ( $F_{eff}$ )

$$P_o = \frac{8 \times F_{eff} \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2728949.14 \times 458.96}{20000^2} \\ = 25.05 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 25.05 \times 20000^4}{384 \times 29725.41 \times 58333333333} \\ = -30.09 \text{ mm } (\uparrow)$$

- Lendutan akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_{eff} \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} = \frac{2728949.14 \times 100 \times 20000^2}{8 \times 29725.41 \times 58333333333} \\ = 7.87 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan akibat beban yang bekerja

$$\Delta l_{q0} = \frac{5 \times q_D \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 23.28 \times 20000^4}{384 \times 29725.41 \times 58333333333} \\ = 27.97 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan Total

$$\begin{aligned}\Delta_{tr} &= \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qO} \\ &= -30.09 + 7.87 + 27.97 \\ &= 5.75 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\Delta_{izin} &> \Delta_{tr} \\ 41.67 \text{ mm} &> 5.74 \text{ mm } (\text{OK})\end{aligned}$$

#### 4.5.14. Penulangan Lunak Tambahan

Penulangan lunak tambahan diperlukan pada bagian tumpuan balok untuk menerima beban gempa yang terjadi dan pada daerah lapangan untuk menerima berat sendiri saat balok masih belum ditarik.

Dari hasil program SAP didapat momen tumpuan dan lapangan akibat beban gempa comb envelope sebagai berikut :

$$\text{Momen tumpuan} = 1158.2809 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 974.9262 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ tumpuan} = 392.424 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ lapangan} = 390.96 \text{ kN}$$

$$\text{Torsi} = 190.3492 \text{ kNm}$$

##### 4.5.14.1. Tinggi Manfaat Rencana

- $d = h - \text{decking} - \text{sengkang} - (1/2 D.\text{lentur})$   
 $= 1000 - 40 - 13 - (1/2 \times 25)$   
 $= 934.5 \text{ mm}$
- $d' = h - d$   
 $= 1000 - 934.5$   
 $= 66 \text{ mm}$
- $\beta_1 = (\text{SNI 1726:2012 Ps. 10.2.7.3})$   
 $= 0.85 - \frac{f'c - 28}{7} \times 5\% = 0.85 - \frac{40 - 28}{7} \times 5\% = 0.8$
- $\rho_{max} = 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.8 \times 40}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$

$$= 0.0273 \text{ (SNI 2847:2013 lampiran B 10.3.3)}$$

- $\rho_{min} = (\text{SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1})$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0.25 \times \sqrt{40}}{420} = 0.00376$$

- $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$

- $m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12.3529$

#### 4.5.14.2. Perhitungan Penulangan Torsi

Kontrol kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir. Ukuran penampang balok yang dipakai 40/60.

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 700 \times 1000$$

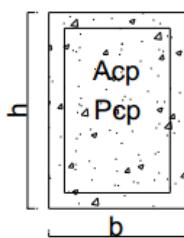
$$= 700000 \text{ mm}^2$$

- Keliling luar irisan penampang beton

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (700 + 1000)$$

$$= 3400 \text{ mm}$$



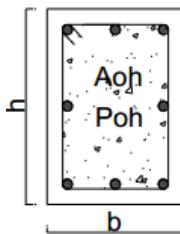
**Gambar 4. 32** Luasan ( $A_{cp}$ ) dan keliling ( $P_{cp}$ )

- Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) \times (h_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang})$$

$$\begin{aligned}
 &= (700 - 2 \times 40 - 13) \times (1000 - 2 \times 40 - 13) \\
 &= 550549 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- $\text{Ph} = 2 \times (\text{b}_{\text{balok}} - 2 \cdot \text{selimut} - \phi_{\text{sengkang}}) + (\text{h}_{\text{balok}} - 2 \cdot \text{selimut} - \phi_{\text{sengkang}})$   
 $= 2 \times (700 - 2 \times 40 - 13) + (1000 - 2 \times 40 - 13)$   
 $= 3028 \text{ mm}$



**Gambar 4.33** Luasan (Aoh) dan keliling (Poh)

- Momen puntir ultimate  
 $T_u = 190349200 \text{ Nmm}$
- Momen puntir nominal  
 $T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{190349200}{0.75} = 253798933 \text{ Nmm}$
- Periksa kebutuhan tulangan puntir  
 Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor ( $T_u$ ) besarnya kurang dari :

$$\begin{aligned}
 T_{u \min} &= \phi 0.083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) (\text{SNI 2847:2013 Ps 11.5.1}) \\
 &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{40} \left( \frac{700000^2}{3400} \right) \\
 &= 56739631.96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$T_{u \max} = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) (\text{SNI 2847:2013 Ps. 11.5.2.2})$$

$$= 0.75 \times 0.33 \times 1 \times \sqrt{40} \left( \frac{700000^2}{3400} \right)$$

$$= 225591307.8 \text{ Nmm}$$

- Periksa persyaratan pengaruh momen puntir  
 $T_u \min > T_u \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir  
 $T_u \min < T_u \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir  
 $56739631.96 < 190349200 \rightarrow$  maka memerlukan tulangan puntir
- Tulangan puntir untuk lentur  
 Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$At = \frac{At}{s} Ph \left( \frac{fyt}{fy} \right) \cot^2 \theta \text{ dengan } \frac{At}{s} \text{ dihitung sesuai dengan SNI}$$

2847:2013 Ps. 11.5.3.6 berasal dari persamaan dibawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times At \times fyt}{s} \cot \theta$$

Dimana :

Untuk beton non prategang  $\theta = 37.5^\circ$

$$A_o = 0.85 \times A_{oh} = 0.85 \times 550549 = 467966.65 \text{ mm}^2$$

Sehingga :

$$\frac{At}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times fyt \times \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{253798933.3}{2 \times 467966.65 \times 420 \times \cot 37.5}$$

$$\frac{At}{s} = 0.496 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\frac{At}{s} > \frac{0.175b}{fy}$$

$$0.496 > \frac{0.175 \times 700}{420}$$

$0.496 > 0.292$  (memenuhi)

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$Al = \frac{At}{s} Ph \left( \frac{fyt}{fy} \right) \cot^2 \theta$$

$$\begin{aligned} Al &= 0.496 \times 3028 \times \frac{420}{420} \cot^2 37.5 \\ &= 2547.833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2013 Ps. 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} Al &= \frac{0.42 \times \sqrt{f'c} \times Acp}{fy} - \frac{At}{s} ph \left( \frac{fyt}{fy} \right) \\ &= \frac{0.42 \times \sqrt{40} \times 700000}{420} - 0.496 \times 3028 \left( \frac{420}{420} \right) \\ &= 2927.05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa :

$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\text{min}} \rightarrow$  maka digunakan  $Al_{\text{min}}$

$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\text{min}} \rightarrow$  maka digunakan  $Al_{\text{perlu}}$

$2547.833 \leq 2927.05 \rightarrow$  maka digunakan  $Al_{\text{min}}$

- Luasan tulangan puntir

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok :

$$\frac{Al}{4} = \frac{2927.05}{4} = 731.57 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{731.57}{\text{luasan.D.puntir}} = \frac{731.57}{201.062} = 3.64 = 4 \text{ buah}$$

maka dipasang tulangan 4D16 disetiap sisi samping kiri dan kanan balok baik sepanjang tumpuan maupun lapangan.

#### 4.5.14.3. Perhitungan Tulangan Lentur

##### A. Daerah tumpuan negatif

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 420} \times 934.5 = 549.7 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0.75 \times X_b = 0.75 \times 549.7 = 412.28 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 65.5 \text{ mm}$$

- Direncanakan  $X = 150 \text{ mm}$

- Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0.85 \times f'c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 40 \times 700 \times 0.8 \times 150}{420} \\ &= 6496.43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Gaya momen nominal tulangan

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \\ &= 6496.43 \times 420 \times 934.5 - \frac{0.8 \times 150}{2} \\ &= 2393391732 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$M_u \text{ tumpuan} = 1158280900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1158280900}{0.9} = 1286978778 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 1286978778 - 2393391732$$

$$= -1106402954 \text{ Nmm}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$A_s \text{ min} = \frac{0.25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d$$

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{40}}{420} \times 700 \times 934.5$$

$$= 2463 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1.4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 700 \times 934.5}{420} = 2181 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w \times d^2} = \frac{1286978778}{700 \times 934.5^2} = 2.11$$

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

$$= \frac{1}{12.353} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.353 \times 2.11}{420}} \right)$$

$$= 0.0052$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0.0035 < 0.0052 < 0.025$$

Digunakan  $\rho_{perlu} = 0.0052$

$$A_{perlu} = \rho \times b_w \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.0052 \times 700 \times 934.5 \\
 &= 3387.35 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \text{As} + \text{At} \\
 &= 3387.35 + 731.762 \\
 &= 4119.111 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{4119.111}{490.87} = 8.4 = 9 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 4417.87 &> 4119.11 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{se lim ut} - 2 \cdot \phi_{\text{sengkang}} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1} \\
 &= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 9 \times 25}{8 - 1} \\
 &= 46.125 \geq 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Jadi dipakai tulangan 9D25**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{\text{As.pakai} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b_w} = \frac{4417.87 \times 420}{0.85 \times 40 \times 700} = 77.96 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \text{As pakai} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 4417.87 \times 420 \times \left( 934.5 - \frac{77.96}{2} \right) \\
 &= 1661638041 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mn perlu} = 1286978778 \text{ Nmm}$$

Cek :

$$\begin{array}{ll} \text{Mn pasang} & > \text{Mn perlu} \\ 1661638041 & > 1286978778 \quad (\text{OK}) \end{array}$$

#### B. Daerah tumpuan positif

$$\begin{aligned} \text{As}' &= \frac{1}{2} \times \text{As} \\ &= \frac{1}{2} \times 4417.87 \\ &= 2209 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{2208.93}{490.87} = 4.5 = 5 \text{ buah}$$

$$\begin{array}{ll} \text{As pasang} & > \text{As perlu} \\ 2454.37 & > 2209 \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned} s &= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 25}{5 - 1} \\ &= 117.25 \geq 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### **Jadi dipakai tulangan 5D25**

#### C. Penulangan Lapangan

- Momen lentur nominal

$$Mu = 974926200 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{974926200}{0.9} = 1083251333 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$Mns > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 1083251333 - 2393381732 \\ &= -1310130399 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{bw \times d^2} = \frac{1083251333}{700 \times 934.5^2} = 1.8$$

$$\rho = \frac{1}{12.353} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.353 \times 1.8}{420}} \right)$$

$$= 0.0043$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0.0035 < 0.0043 < 0.025$$

Digunakan  $\rho_{perlu} = 0.0043$

- Tulangan lapangan bawah

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= \rho \times bw \times d \\ &= 0.0043 \times 700 \times 934.5 \\ &= 2835.881 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= As + At \\ &= 2835.881 + 731.762 \\ &= 3567.643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{3567.643}{490.87} = 7.3 = 8 \text{ buah}$$

As pasang > As perlu

$$3926.99 > 3567.64 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 8 \times 25}{8 - 1}$$

$$= 56.28 \geq 25 \text{ mm}$$

### Jadi dipakai tulangan 8D25

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{As \cdot pakai \times fy}{0.85 \times f'c \times bw} = \frac{3926.99 \times 420}{0.85 \times 40 \times 700} = 69.3 \text{ mm}$$

$$Mn = As \text{ pakai} \times fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 3926.99 \times 420 \times \left( 934.5 - \frac{69.3}{2} \right)$$

$$= 1484155262 \text{ Nmm}$$

$$Mn \text{ perlu} = 1083251333 \text{ Nmm}$$

Cek :

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &> Mu \text{ perlu} \\ 1484155262 &> 1083251333 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Tulangan lapangan atas

$$\begin{aligned} As' \text{ perlu} &= \frac{1}{2} As + At \\ &= \frac{1}{2} \times 3926.99 \\ &= 1963.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{1963.5}{490.87} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 1963.49 &> 1963.49 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 25}{4 - 1}$$

$$= 164.67 \geq 25 \text{ mm}$$

### **Jadi dipakai tulangan 4D25**

#### **4.5.14.4. Perhitungan Tulangan Geser**

Penulangan geser pada balo prategang berfungsi untuk menanggulangi gaya geser akibat beban luar yang terjadi pada balok. Kemampuan menahan gaya geser ditentukan oleh kekuatan penampang badan dan tulangan geser terpasang. Retak yang terjadi akibat gaya geser adalah retak geser pada badan dekat tumpuan dan retak lentur geser miring dekat tengah bentang. Besarnya gaya yang mengakibatkan retak geser badan dekat tumpuan dan retak lentur geser miring dekat tengah bentang dalam SNI 2847:2013 ps. 11.3.3.1 dan 11.3.3.2 dengan syarat batas spasi sesuai pasal 11.4.5.

Data Perencanaan :

$$Vud = 223296 \text{ N}$$

$$Vui = 392424 \text{ N}$$

$$Md \text{ tumpuan} = 729928572.8 \text{ Nmm}$$

$$Md \text{ lapangan} = 364964286.4 \text{ Nmm}$$

$$Mmax \text{ tumpuan} = 1158280900 \text{ Nmm}$$

$$Mmax \text{ lapangan} = 974926200 \text{ Nmm}$$

Keterangan :

Vud = gaya geser akibat beban mati tidak terfaktor

Vui = gaya geser akibat kombinasi yang menghasilkan momen Maksimum

Md = momen akibat beban mati

Mmax = momen akibat kombinasi beban maksimum

#### **Kuat geser yang disumbangkan beton**

Untuk komponen balok prategang nilai  $\phi Vc$  diambil nilai terkecil antara  $Vci$  dan  $Vcw$  sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.3.3

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser ( $Vci$ )

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'c}}{20} bw \times d + Vd + \frac{Vi \times M_{cre}}{M_{max}} \text{ dengan}$$

$$M_{cre} = \left( \frac{I}{Yt} \right) \left( \frac{\sqrt{f'c}}{2} + fpe - fd \right)$$

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang ( $V_{cw}$ )

$$V_{cw} = 0.3(fpc + \sqrt{f'c}) \times bw \times d + Vp$$

### Kuat geser daerah tumpuan

$$x = \text{diambil } 0.5 \times b_{kolom} = 0.5 \times 800 = 400 \text{ mm}$$

$$p' = \frac{8 \times F \times e}{L^2} = \frac{8 \times 3500000 \times 100}{20000^2} = 7 \text{ N/mm}$$

$$Vp' = \frac{L}{2} \times p' = \frac{20000}{2} \times 7 = 70000 \text{ N}$$

- Kuat geser badan ( $V_{cw}$ )

$$V_{cw} = 0.3(fpc + \sqrt{f'c}) \times bw \times d + Vp$$

$$fpc = \frac{F_o}{A_c} = \frac{3500000}{930400} = 3.76 \text{ N/mm}^2$$

$$Vp = \frac{0.5L - x}{0.5L} Vp' = \frac{0.5(20000) - 400}{0.5(20000)} \times 70000 \\ = 67200 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0.3(3.76 + \sqrt{40}) \times 700 \times 934.5 + 67200 \\ = 2046601.3 \text{ N}$$

- Kuat geser lentur

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'c}}{20} bw \times d + Vd + \frac{Vui \times M_{cre}}{M_{max}}$$

$$fpe = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \times e_t}{W_b} = \frac{2728949.14}{930400} + \frac{2728949.14 \times 100}{151355472.7}$$

$$= 4.74 \text{ Mpa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{729928572.8}{151355472.7} = 4.82 \text{ MPa}$$

$$M_{cre} = \left( \frac{92169366213.81}{391.04} \right) \left( \frac{\sqrt{40}}{2} + 4.74 - 4.82 \right)$$

$$= 724966921.2 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{40}}{20} 700 \times 934.5 + 223296 + \frac{392424 \times 724966921.2}{1158280900}$$

$$= 675774.204 \text{ N}$$

$$V_{ci} \geq V_{ci_{min}}$$

$$675774.204 \geq 0.17 \times \sqrt{40} \times 700 \times 934.5$$

$$675774.204 \leq 703325.3 \text{ (Not OK)}$$

Dipakai  $V_{ci_{min}} = 703325.3 \text{ N}$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.3.3 tulangan geser yang disumbangkan oleh beton diambil yang terkecil antara  $V_{ci}$  dengan  $V_{cw}$ . Sehingga diambil nilai 703325.3 N sebagai kuat geser yang disumbangkan beton untuk daerah tumpuan.

- Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser adalah :

$$V_s = (V_u - \emptyset V_c) / \emptyset$$

$$= ((V_d + V_i + V_p) - \emptyset V_c) / \emptyset$$

$$= \frac{(223296 + 392424 + 67200) - (0.75 \times 703325.5)}{0.75}$$

$$= 207234.66 \text{ N}$$

- Perencanaan tulangan geser

$$\text{Mutu baja (f_y)} = 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan geser} = 13 \text{ mm}$$

$$S \text{ rencana} = 150 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ kaki}$$

$$d = 934.5 \text{ mm}$$

$$Av \text{ perlu} = \frac{Vs \times s}{f_y \times d} = \frac{207234.66 \times 150}{420 \times 934.5} = 79.199 \text{ mm}^2$$

Luas minimum sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari :

$$Av \text{ perlu} \geq 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{bw \times s}{f_y t}$$

$$79.199 \geq 0.062 \sqrt{40} \frac{700 \times 150}{420}$$

$$79.199 \geq 98.03 \text{ (NOT OK)}$$

$$Av \text{ perlu} \geq 0.35 \frac{bw \times s}{f_y t}$$

$$79.199 \geq 0.35 \frac{700 \times 150}{420}$$

$$79.199 \geq 87.5 \text{ (NOT OK)}$$

Maka digunakan  $Av \text{ min} = 98.03 \text{ mm}^2$  untuk  $Av \text{ perlu}$

$$\begin{aligned} Av \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2 \\ &= 265.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan :

$$Av \text{ pakai} \geq Av \text{ perlu}$$

$$265.46 \geq 98.03 \quad (\text{memenuhi})$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2 memberi syarat bahwa sengkang tertutup pertama harus diempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari berikut ini :

- $d/4 \geq S$   
 $934.5/4 = 234 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (memenuhi)}$
- $6D \geq S$   
 $6 \times 25 = 150 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (memenuhi)}$
- $150 \text{ mm} \geq S$

150 mm                             $\geq 150$  mm (memenuhi)  
 Dipasang tulangan 2D13 ( $A_v = 265.45 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak  
 150 mm.

### Kuat Geser daerah lapangan

Diperhitungkan pada muka kolom di luar daerah sendi plastis dengan jarak sebesar:

$$x = 2 \times b_{\text{kolom}} = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

$$p' = \frac{8 \times F \times e}{L^2} = \frac{8 \times 3500000 \times 458.96}{20000^2} = 32.127 \text{ N/mm}$$

$$Vp' = \frac{L}{2} \times p' = \frac{20000}{2} \times 32.127 = 321271.7 \text{ N}$$

- Kuat geser badan ( $V_{cw}$ )

$$fpc = \frac{F_o}{A_c} = \frac{3500000}{930400} = 3.76 \text{ N/mm}^2$$

$$Vp = \frac{0.5L - x}{0.5L} Vp' = \frac{0.5(20000) - 1600}{0.5(20000)} \times 321271.7 \\ = 269868.24 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0.3 \left( 3.76 + \sqrt{40} \right) \times 700 \times 934.5 + 269868.24 \\ = 2249269.53 \text{ N}$$

- Kuat geser lentur

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} bw \times d + V_d + \frac{V_{ui} \times M_{cre}}{M_{max}}$$

$$V_d = \frac{0.5L - xt}{0.5L} Vd' = \frac{0.5(20000) - 1600}{0.5(20000)} \times 223296 \\ = 187568.6 \text{ N}$$

$$V_{ui} = \frac{0.5L - xt}{0.5L} Vui' = \frac{0.5(20000) - 1600}{0.5(20000)} \times 392424 \\ = 329636.2 \text{ N}$$

$$fpe = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \times e_t}{Wb} = \frac{2728949.1}{930400} + \frac{2728949.1 \times 458.9}{151355472.7}$$

$$= 11.21 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{364964286.4}{15113554727} = 2.41 \text{ MPa}$$

$$M_{cre} = \left( \frac{92169366213.81}{391.04} \right) \left( \frac{\sqrt{40}}{2} + 11.21 - 2.41 \right)$$

$$= 2818803269 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{40}}{20} 700 \times 934.5 + 187568.6 + \frac{329636.2 \times 2818803269}{974926200}$$

$$= 1347505.774 \text{ N}$$

$$V_{ci} \geq 0.17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$1347505.774 \geq 0.17 \times \sqrt{40} \times 700 \times 934.5$$

$$1347505.774 \geq 703325.3 \text{ (OK)}$$

Dipakai  $V_{ci} = 1347505.774 \text{ N}$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.3.3 tulangan geser yang disumbangkan oleh beton diambil yang terkecil antara  $V_{ci}$  dengan  $V_{cw}$ . Sehingga diambil nilai 1347505.774 N sebagai kuat geser yang disumbangkan beton untuk daerah lapangan.

- Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser adalah :

$$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$= ((V_d + V_i + V_p) - \phi V_c) / \phi$$

$$= \frac{(187568.6 + 329636.2 + 269868.24) - (0.75 \times 1347505.774)}{0.75}$$

$$= -298075.06 \text{ N}$$

Maka tidak perlu tulangan geser, sehingga dipasang tulangan geser minimum.

- Perencanaan tulangan geser

$$\text{Mutu baja (f_y)} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan geser} = 13 \text{ mm}$$

$$S \text{ rencana} = 2000 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll} n & = 2 \text{ kaki} \\ d & = 934.5 \text{ mm} \end{array}$$

$$A_v \text{ min} = 0.35 \times b_w \times \frac{S}{f_y} = 0.35 \times 700 \times \frac{200}{420} = 116.67 \text{ mm}^2$$

Luas minimum sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari :

$$A_v \text{ perlu} \geq 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w \times s}{f_y t}$$

$$116.67 \geq 0.062 \sqrt{40} \frac{700 \times 200}{420}$$

$$116.67 \geq 130.7 \text{ (NOT OK)}$$

$$A_v \text{ perlu} \geq 0.35 \frac{b_w \times s}{f_y t}$$

$$116.67 \geq 0.35 \frac{700 \times 200}{420}$$

$$116.67 \geq 116.67 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2 \\ &= 265.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan :

$$A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu}$$

$$265.46 \geq 116.67 \quad (\text{memenuhi})$$

Dipasang tulangan 2D13 ( $A_v = 265.45 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak 200 mm.

#### 4.5.15. Kontrol Momen Nominal

Setelah ditentukan jumlah tulangan lunak terpasang untuk masin-masing tumpuan dan lapangan maka dilakukan pengecekan momen nominal balok terhadap momen ultimate dan batas lauan yaitu momen retak. Desain balok prategang terhadap momen nominalnya harus memenuhi kontrol momen batas yang disyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.7

Data perhitungan momen nominal :

$$F_u = \text{minimum breaking load} = 260.7 \text{ kN} = 260700 \text{ N}$$

$$A_{\text{strand}} = 140 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 20 \times 140 = 2800 \text{ mm}^2$$

$$f_{pu} = \frac{\text{minimum breaking load}}{A_s} = \frac{260700}{140} = 1862.14 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0.9 f_{pu} = 0.9 \times 1862.14 = 1675.9 \text{ MPa}$$

Sehingga didapat nilai  $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$  sebagai berikut :

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1675.9}{1862.1} = 0.9$$

Karena  $\frac{f_{py}}{f_{pu}}$  bernilai  $\geq 0.9$  maka diambil  $\gamma_p = 0.28$  dan  $\beta_1 = 0.76$

### Daerah Tumpuan

Penampang pada daerah tumpuan dimana tendon berada didaerah batas kern atas (dearah arsiran) dengan eksentrisitas sebesar 100 mm dari cgc. Pada serat atas dipasang 9D25 ( $A_s = 4417.86 \text{ mm}^2$ ) untuk melawan gaya gempa dan menanggulangi tegangan tarik. Sedangkan pada serat bawah dipasang tulangan lunak 5D25 ( $A_s = 2454.37 \text{ mm}^2$ ).

$$d_p = e_{\text{tumpuan}} + Y_b = 100 + 608.96 = 708.96 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} \text{ dimana } A_{ps} \text{ adalah luas penampang baja prategang}$$

sehingga didapat :

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{2800}{700 \times 708.96} = 0.005642$$

Syarat I :

selimut beton  $\leq 0.15 \times d_p$  (SNI2847:2013 Ps. 18.7.2)

$$40 \text{ mm} \leq (0.15 \times 708.96)$$

$$40 \text{ mm} \leq 106.344 \text{ mm (OK)}$$

Syarat II :

$$X_o = \rho p \frac{f_{pu}}{f'c} + \frac{d}{dp} (\omega - \omega') > 0.17$$

Dimana :

$\rho p$  = ratio tulangan prategang terpasang

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f'c}$$

$\rho'$  = ratio tulangan tekan terpasang

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f'c}$$

$\rho$  = ratio tulangan tarik terpasang

sehingga didapat nilai  $\omega$  dan  $\omega'$  sebagai berikut :

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f'c} = \frac{0.0068 \times 420}{40} = 0.071$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f'c} = \frac{0.0038 \times 420}{40} = 0.039$$

$$\begin{aligned} X_o &= 0.005642 \times \frac{1862.1}{40} + \frac{934.5}{708.96} \times (0.071 - 0.039) \\ &= 0.304 > 0.17 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma p}{\beta l} \times X_o \right) = 1862.1 \left( 1 - \frac{0.28}{0.76} \times 0.304 \right) \\ &= 1644.868 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_{ps} \times f_{pu}) + (A_s \times f_y)}{0.85 \times f'c \times b_e} \\ &= \frac{(2800 \times 1862.14) + (4417.86 \times 420)}{0.85 \times 40 \times 2620} \\ &= 79.361 \text{ mm} \end{aligned}$$

pada tumpuan balok dianggap sebagai balok persegi karena daerah yang mengalami tarik adalah bagian bawah serat.

Sehingga didapat nilai momen nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2800 \times 1644.868 \left( 708.96 - \frac{79.361}{2} \right) + 4417.86 \times 420 \\ &\quad \left( 934.5 - \frac{79.361}{2} \right) \\ &= 4761056823 \text{ Nmm} = 4761.06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times M_n > 1.2 M_{cr}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \times 4761.06 > 1.2 M_{cr} \\ &= 4284.95 \text{ kNm} > 869.96 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Prestressing partial ratio

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n}$$

$M_{np}$  = momen nominal beton prategang

$$\begin{aligned} M_{np} &= A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2800 \times 1644.868 \left( 708.96 - \frac{79.361}{2} \right) \\ &= 3100.72 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n} = \frac{3100.72}{4761.06} = 0.65 = 65\% < 80\% \quad (\text{OK})$$

### Daerah Lapangan

Penampang pada daerah lapangan dimana tendon berada didaerah limit kabel dengan eksentrisitas sebesar 458.96 cm dari cgc. Pada serat bawah dipasang 8D25 ( $A_s = 3926.99 \text{ mm}^2$ ) untuk melawan gaya gempa dan menanggulangi tegangan tarik.

Sedangkan pada serat atas dipasang tulangan lunak 4D25 (As = 1963.49 mm<sup>2</sup>).

$$dp = e_{lapangan} + Y_t = 458.96 + 391.04 = 850 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times dp} \text{ dimana } A_{ps} \text{ adalah luas penampang baja prategang}$$

sehingga didapat :

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times dp} = \frac{2800}{700 \times 850} = 0.0047$$

Syarat I :

$$\text{selimut beton} \leq 0.15 \times d_p (\text{SNI}2847:2013 \text{ Ps. 18.7.2})$$

$$40 \text{ mm} \leq (0.15 \times 850)$$

$$40 \text{ mm} \leq 127.5 \text{ mm (OK)}$$

Syarat II :

$$X_o = \rho_p \frac{f_{pu}}{f'c} + \frac{d}{dp} (\omega - \omega') > 0.17$$

sehingga didapat nilai  $\omega$  dan  $\omega'$  sebagai berikut :

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f'c} = \frac{0.006 \times 420}{40} = 0.063$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f'c} = \frac{0.003 \times 420}{40} = 0.032$$

$$\begin{aligned} X_o &= 0.0047 \times \frac{1862.1}{40} + \frac{934.5}{850} \times (0.063 - 0.032) \\ &= 0.253 > 0.17 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga didapat :

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \times X_o \right) = 1862.1 \left( 1 - \frac{0.28}{0.76} \times 0.253 \right)$$

$$= 1689.05 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{(A_{ps} \times f_{pu}) + (A_s \times f_y)}{0.85 \times f'c \times b_e}$$

$$= \frac{(2800 \times 1862.14) + (3926.99 \times 420)}{0.85 \times 40 \times 2620}$$

$$= 77.047 \text{ mm}$$

pada tumpuan balok dianggap sebagai balok persegi karena daerah yang mengalami tarik adalah bagian bawah serat.

Sehingga didapat nilai momen nominal :

$$\begin{aligned} M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2800 \times 1689.05 \left( 850 - \frac{77.047}{2} \right) + 3926.99 \times 420 \\ &\quad \left( 934.5 - \frac{77.047}{2} \right) \\ &= 5315514768 \text{ Nmm} = 5315.52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times M_n > 1.2 M_{cr}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 5315.52 > 1.2 M_{cr}$$

$$= 4783.96 \text{ kNm} > 3382.56 \text{ kNm (OK)}$$

Kontrol Prestressing partial ratio

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n}$$

$M_{np}$  = momen nominal beton prategang

$$\begin{aligned} M_{np} &= A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) = 2800 \times 1689.05 \left( 850 - \frac{77.047}{2} \right) \\ &= 3837.75 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n} = \frac{3837.75}{5315.52} = 0.72 = 72\% < 80\% \quad (\text{OK})$$

### Rekapitulasi Momen Kapasitas

**Tabel 4. 38** Momen nominal atas

	jarak	dp	pps	Xo	fps	a	Mn (kNm)
Tp	0	708.960	0.006	0.304	1654.615	79.361	4761.057
	1	602.757	0.007	0.358	1618.050	79.361	4211.381

	2	507.734	0.008	0.425	1572.367	79.361	3721.006
	3	423.890	0.009	0.509	1515.051	79.361	3290.211
	4	351.225	0.011	0.614	1443.241	79.361	2919.316
	5	289.740	0.014	0.744	1354.346	79.361	2608.607
Lp	6	239.434	0.017	0.901	1247.655	67.789	1460.737
	7	200.306	0.020	1.077	1127.623	67.789	1268.120
	8	172.358	0.023	1.251	1008.520	67.789	1133.702
	9	155.590	0.026	1.386	916.520	67.789	1055.001
	10	150.000	0.027	1.438	881.283	67.789	1029.201
	11	155.590	0.026	1.386	916.520	67.789	1055.001
	12	172.358	0.023	1.251	1008.520	67.789	1133.702
	13	200.306	0.020	1.077	1127.623	67.789	1268.120
	14	239.434	0.017	0.901	1247.655	67.789	1460.737
	15	289.740	0.014	0.744	1354.346	79.361	2608.607
Tp	16	351.225	0.011	0.614	1443.241	79.361	2919.316
	17	423.890	0.009	0.509	1515.051	79.361	3290.211
	18	507.734	0.008	0.425	1572.367	79.361	3721.006
	19	602.757	0.007	0.358	1618.050	79.361	4211.381
	20	708.960	0.006	0.304	1654.615	79.361	4761.057

**Tabel 4. 39** Momen nominal bawah

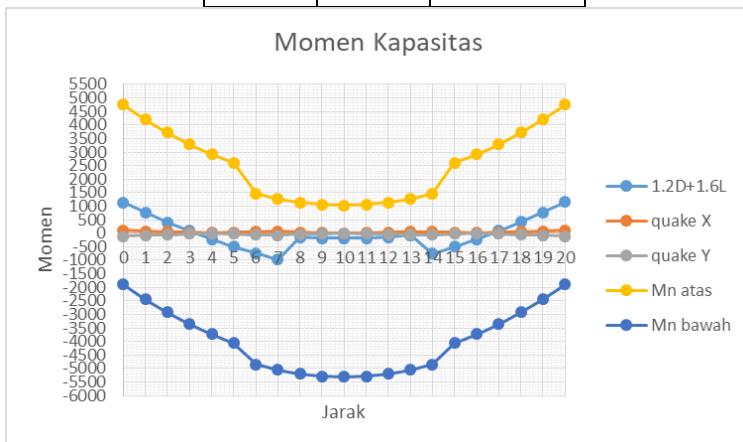
	jarak	dp	pps	Xo	fps	a	Mn (kNm)
Tp	0	291.040	0.014	0.741	1356.615	70.104	-1899.561
	1	397.243	0.010	0.543	1491.767	70.104	-2440.035
	2	492.266	0.008	0.438	1563.262	70.104	-2928.469
	3	576.110	0.007	0.374	1606.759	70.104	-3361.362
	4	648.775	0.006	0.332	1635.363	70.104	-3737.429
	5	710.260	0.006	0.304	1654.995	70.104	-4056.088
Lp	6	760.566	0.005	0.284	1668.696	77.047	-4851.404
	7	799.694	0.005	0.270	1678.161	77.047	-5054.392

	8	827.642	0.005	0.261	1684.374	77.047	-5199.443
	9	844.410	0.005	0.255	1687.904	77.047	-5286.494
	10	850.000	0.005	0.254	1689.050	77.047	-5315.515
	11	844.410	0.005	0.255	1687.904	77.047	-5286.494
	12	827.642	0.005	0.261	1684.374	77.047	-5199.443
	13	799.694	0.005	0.270	1678.161	77.047	-5054.392
	14	760.566	0.005	0.284	1668.696	77.047	-4851.404
Tp	15	710.260	0.006	0.304	1654.995	70.104	-4056.088
	16	648.775	0.006	0.332	1635.363	70.104	-3737.429
	17	576.110	0.007	0.374	1606.759	70.104	-3361.362
	18	492.266	0.008	0.438	1563.262	70.104	-2928.469
	19	397.243	0.010	0.543	1491.767	70.104	-2440.035
	20	291.040	0.014	0.741	1356.615	70.104	-1899.561

**Tabel 4. 40** Momen ultimate beban dan gempa

Mu Qx	Mu Qy	Mu beban
104.8	-104.8	1141.4217
78.64	-78.64	763.87316
52.47	-52.47	411.35858
26.51	-26.51	84.242003
10.49	-10.49	-217.4766
26.42	-26.42	-493.7971
52.59	-52.59	-744.7197
78.79	-78.79	-970.2443
38.93	-38.93	-143.3707
21.6	-21.6	-181.4256
5.139	-5.139	-193.9993
21.1	-21.1	-181.0917
38.35	-38.35	-142.703
56.06	-56.06	-78.83309

54.23	-54.23	-747.828
27.39	-27.39	-495.3318
10.02	-10.02	-217.4375
26.86	-26.86	85.854676
53.47	-53.47	414.5449
80.31	-80.31	768.63314
107.2	-107.2	1147.7554



**Gambar 4. 34** Momen kapasitas batas

#### 4.5.16. Angkur Ujung

Zona angkur dapat didefinisikan sebagai volume beton dimana gaya prategang yang terpusat pada angker menyebar kearah transversal menjadi terdistribusi linier diseluruh tinggi penampang disepanjang bentang.

Penulangan pengekang diseluruh zona angkur harus sedemikian hingga mencegah pembelahan dan *bursting* yang merupakan hasil dari gaya tekan terpusat besar yang disalurkan melalui alat angkur. Metode perhitungan perancangan daerah pengangkuran global menurut SNI 2847:2013 pasal 18.13

mensyaratkan untuk mengalihkan gaya tendon dengan faktor beban sebesar 1.2.

$$F_o = 3500 \text{ kN}$$

$$P_u = 1.2 \times F_o = 4200 \text{ kN}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0.25 \sum P_u \times \left(1 - \frac{a}{h}\right) = 0.25 \times 4200000 \times \left(1 - \frac{330}{1000}\right) \\ = 703500 \text{ N}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0.5(h - 2e) = 0.5(1000 - 2 \times 100) = 464 \text{ mm}$$

Keterangan :

$\sum P_u$  = Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

a = tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

e = eksenstrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif)

h = tinggi penampang pada arah yang ditinjau

didapat nilai :

$$a = 330 \text{ mm (angkur dengan strand 22C15)}$$

$$e = 100 \text{ mm (eksentrisitas pada tumpuan)}$$

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

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{703500}{420} = 1675 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 ( $A_v = 265.5 \text{ mm}^2$ ) maka dibutuhkan tulangan sengkang sebanyak

$$n = \frac{A_{vp}}{A_v} = \frac{1675}{265.5} = 6.3 \approx 7 \text{ buah}$$

dengan spasi antar sengkang disepanjang daerah angkur adalah

$$s = \frac{d_{\text{pencar}}}{n} = \frac{464}{7} = 66 \text{ mm}$$

sehingga dipasang 7D13 – 66 mm

#### 4.5.17. Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran terdapat beberapa macam yaitu panjang penyaluran dalam kondisi tarik, panjang penyaluran dalam kondisi tekan, dan penyaluran kait standar dalam kondisi tarik.

3. Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik (ld)

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.1)

$$db = 25 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1.0 \quad (\text{SNI 2847:2013 Ps.12.2.4})$$

$$\psi_e = 1.0$$

$$\psi_s = 1.0$$

$$\lambda = 1.0$$

$$\begin{aligned} C_b &= \text{decking} + D_{\text{tul.geser}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul.lentur}} \\ &= 40 + 13 + \frac{1}{2} 25 \\ &= 65.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 12.2.3})$$

$$(C_b + K_{tr})/db = (65.5 + 0)/25 = 2.62 > 2.5 \text{ maka diambil } 2.5$$

Panjang penyaluran tulangan tarik dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3

$$\begin{aligned} ld &= \left( \frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f'_c}} \times \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left( \frac{C_b + K_{tr}}{db} \right)} \right) db \\ &= \left( \frac{420}{1.1 \times 1 \times \sqrt{40}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{(2.5)} \right) 25 \\ &= 603.71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai = 700 mm

4. Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm (SNI 2847:2013 Ps. 12.3.1)

$$ldc1 = \left( \frac{0.24fy}{\lambda\sqrt{f'c}} \right) db = \left( \frac{0.24 \times 420}{1.0 \times \sqrt{40}} \right) \times 25 = 398.4 \text{ mm}$$

$$ldc2 = (0.043fy)db = (0.043 \times 420) \times 25 = 451.5 \text{ mm}$$

Maka dipakai = 500 mm

#### 5. Panjang kait

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 12.5.1 panjang penyaluran Idh untuk tulangan dengan kain standar  $90^\circ$  dalam beton berat normal adalah sbb :

$$ldh = 8db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$ldh = 150 \text{ mm}$$

$$ldh = \left( \frac{0.24 \cdot \psi e \cdot fy}{\sqrt{fy}} \right) db = \left( \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{\sqrt{40}} \right) \times 25 = 398.4 \text{ mm}$$

Maka dipakai = 400 mm

Panjang kait :

$$12 db = 12 \times 25 = 300 \text{ mm, diambil } 300 \text{ mm}$$

### 4.6. Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan struktur utama yang merupakan struktur bagian bawah yang menerima semua beban dari struktur atas. Dalam merencanakan pondasi, yang perlu diperhitungkan adalah daya dukung ijin tanah, perencanaan kebutuhan tiang (konfigurasi ting), dan penulangan pile cap.

#### 4.6.1. Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *spun pile* Produk dari PT. Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang K-600 (*concrete cube compressive strength is 600 kg/cm<sup>2</sup>*).

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang digunakan :

- Kedalaman rencana : 15 m
- Diameter *outside* (D) : 600 mm

- Thickness : 100 mm
  - Kelas : A1
  - $P_{izin}$  : 252.7 ton
  - Berat tiang pancang :  $393 \text{ kg/m} = 0.393 \text{ t/m}$
  - Luas tiang (Ap) :  $\frac{1}{4}\pi x 600 \text{ mm}$   
:  $282743.34 \text{ mm}^2$
  - Luas selimut beton (Ast) :  $\pi x 600 \text{ mm}$   
:  $1884.96 \text{ mm}^2$

**Tabel 4. 41 Brosur Tiang Pancang WIKA Beton**

## **PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION**

*Concrete Compressive Strength  $f_c' = 52 \text{ MPa}$  (Cube 600 kg/cm $^2$ )*

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Section Inertia (cm <sup>4</sup> )	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack *	Ultimate (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
1400 ***	170	6,250.00	10,250,000.00	1,500	A1	150.00	220.00	880.00	270.00	6 - 24
					A2	160.00	235.00	865.00	290.00	6 - 24
					A3	175.00	255.00	850.00	305.00	6 - 24
					B	200.00	300.00	835.00	320.00	6 - 24

Note : \*) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles).

**\*\*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position**

\*\*\*) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

#### 4.6.2. Data Tanah dan Daya Dukung Tiang Izin ( $P_{izin}$ )

Data tanah yang diambil adalah data tanah dari lokasi gedung Asrama LPMP Sumatera Barat. Perhitungan daya dukung tanah pada pondasi ( $Q_L$ ) ini dilakukan berdasarkan hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*) dengan menggunakan metode Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

$Q_L$  = daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_P$  = *Resistance ultimate* didasar pondasi

$Q_S$  = *Resistance ultimate* akibat lekatan lateral

$$Q_P = qp \cdot Ap = N_p \cdot K \cdot Ap$$

Dimana :

$N_p$  = harga rata-rata SPT disekitar  $4B$  diatas hingga  $4B$   
dibawah dasar tiang pondasi ( $B$  = diameter pondasi)

$K$  = koefisien karakteristik tanah didasar pondasi

$$= 12 \text{ t/m}^2 \text{ (lempung)}$$

$$= 20 \text{ t/m}^2 \text{ (lempung berlanau)}$$

$$= 25 \text{ t/m}^2 \text{ (pasir berlanau)}$$

$$= 40 \text{ t/m}^2 \text{ (pasir)}$$

$Ap$  = luas penampang tiang

$qp$  = tegangan diujung tiang

$$Q_S = qs \cdot As = (Ns/3 + 1) \cdot As$$

Dimana :

$qs$  = tegangan akibat lekatan lateral dalam  $\text{t/m}^2$

$N_s$  = harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan  
batasan  $3 \leq N \leq 50$

$As$  = keliling x panjang tiang yang terbenam

Pada perhitungan pondasi diambil pada kedalaman 15 m

$K$  =  $40 \text{ t/m}^2$  (pasir)

$qp$  =  $N_p \times K$

$$= \frac{20 + 29 + 37 + 41 + 46 + 50 + 50 + 50 + 50 + 46 + 42}{11} \times 40$$

$$= 1676.36 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Ap &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 0.6 = 0.28 \text{ m}^2 \\
 Q_p &= qp \times Ap = 1676.36 \times 0.28 = 473.98 \text{ ton} \\
 N_s &= \frac{\sum N_i}{i} = \frac{658}{30} = 21.93 \text{ t/m}^2 \\
 A_s &= \pi \times D \times h_i = \pi \times 0.6 \times 15 = 28.27 \text{ m}^2 \\
 Q_s &= \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s = \left( \frac{21.93}{3} + 1 \right) \times 28.27 = 235 \text{ ton} \\
 Q_L &= Q_p + Q_s = 473.98 + 235 = 709 \text{ ton} \\
 SF &= 3 \\
 Q_{\text{izin}} &= \frac{Q_L}{SF} = \frac{709}{3} = 236.32 \text{ ton/tiang}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.3. Kapasitas cabut tiang (Qu)

$$\begin{aligned}
 Q_U &= (q_s \times A_s) / SF + W_p \\
 q_s &= \text{tegangan akibat lekatan lateral (t/m}^2\text{)} \\
 A_s &= \text{keliling} \times \text{panjang tiang yang terbenam} \\
 W_p &= \text{berat tiang (ton)} \\
 Q_U &= (8.3 \times 28.27) / 3 + (0.393 \text{ t/m} \times 15 \text{ m}) \\
 &= 84.23 \text{ ton/tiang}
 \end{aligned}$$

Untuk daya dukung tiang pancang tunggal dikedalaman lain bisa dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 4. 42** Tabel Q izin tanah pada setiap kedalaman

No	Dept h (m)	N SPT	Np	K (t/m <sup>2</sup> )	qp (t/m <sup>2</sup> )	Qp (T)	Ns	As (m <sup>2</sup> )	Qs	QL	Q ijin	KET
0	0.0	0	0	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00	Tak pakai
1	0.5	2	1	20	19.09	5.40	2.33	0.94	1.7	7.1	2.36	Tak pakai
2	1.0	5	1	20	25.45	7.20	3.50	1.88	4.1	11.3	3.76	Tak pakai
3	1.5	7	13	20	263.64	74.54	4.67	2.83	7.2	81.8	27.26	Tak pakai
4	2.0	14	17	20	336.36	95.10	7.00	3.77	12.6	107.7	35.89	Tak pakai
5	2.5	21	20	20	397.58	112.41	9.80	4.71	20.1	132.5	44.17	Tak pakai
6	3.0	28	22	25	559.09	158.09	12.83	5.65	29.8	187.9	62.64	Tak pakai
7	3.5	32	24	25	601.52	170.07	15.57	6.60	40.8	210.9	70.31	Tak pakai
8	4.0	36	25	25	628.03	177.57	18.13	7.54	53.1	230.7	76.89	Tak pakai
9	4.5	40	26	40	1021.82	288.91	20.56	8.48	66.6	355.5	118.50	Tak pakai
10	5.0	34	25	40	996.36	281.72	21.87	9.42	78.1	359.8	119.95	Tak pakai
11	5.5	27	24	40	964.85	272.80	22.36	10.37	87.7	360.5	120.15	Tak pakai
12	6.0	21	23	20	463.64	131.09	22.25	11.31	95.2	226.3	75.43	Tak pakai
13	6.5	16	22	20	447.27	126.46	21.79	12.25	101.3	227.7	75.91	Tak pakai
14	7.0	12	21	20	416.36	117.72	21.07	13.19	105.9	223.6	74.53	Tak pakai
15	7.5	7	19	20	370.91	104.87	20.13	14.14	109.0	213.9	71.30	Tak pakai
16	8.0	12	16	20	329.70	93.22	19.65	15.08	113.8	207.0	69.02	Tak pakai
17	8.5	18	15	20	300.61	84.99	19.53	16.02	120.3	205.3	68.44	Tak pakai
18	9.0	23	14	20	283.64	80.20	19.72	16.96	128.5	208.7	69.56	Tak pakai
19	9.5	19	14	20	275.76	77.97	19.68	17.91	135.4	213.4	71.12	Tak pakai
20	10.0	15	15	20	291.52	82.42	19.45	18.85	141.1	223.5	74.49	Tak pakai
21	10.5	11	17	20	330.91	93.56	19.05	19.79	145.5	239.0	79.67	Tak pakai
22	11.0	11	19	20	375.76	106.24	18.70	20.73	150.0	256.2	85.40	Tak pakai
23	11.5	12	21	20	418.79	118.41	18.39	21.68	154.6	273.0	90.99	Tak pakai
24	12.0	12	23	20	460.00	130.06	18.13	22.62	159.3	289.3	96.45	Tak pakai
25	12.5	20	26	20	516.36	146.00	18.21	23.56	166.6	312.6	104.20	Tak pakai
26	13.0	29	29	20	580.00	163.99	18.62	24.50	176.6	340.5	113.52	Tak pakai
27	13.5	37	33	40	1301.82	368.08	19.30	25.45	189.1	557.2	185.73	Tak pakai
28	14.0	41	36	40	1442.42	407.84	20.08	26.39	203.1	610.9	203.63	Tak pakai
29	14.5	46	39	40	1567.27	443.14	20.97	27.33	218.3	6615	220.49	Tak pakai
30	15.0	50	42	40	1676.36	473.98	21.93	28.27	235.0	709.0	236.32	Pakai

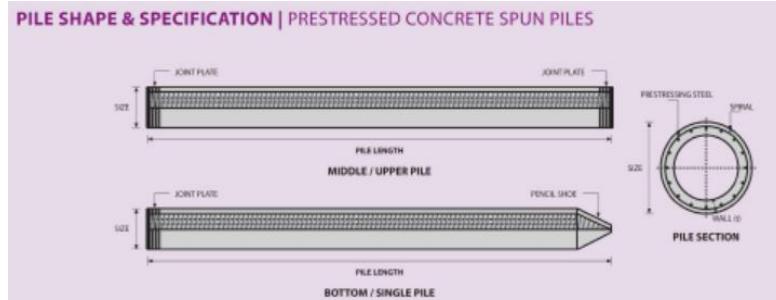
31	15.5	50	44	40	1740.61	492.14	22.84	29.22	251.6	743.8	247.93	Tak pakai
32	16.0	50	44	40	1747.88	494.20	23.69	30.16	268.3	762.5	254.16	Tak pakai
33	16.5	50	42	40	1698.18	480.15	24.48	31.10	284.9	765.1	255.03	Tak pakai
34	17.0	46	40	40	1606.06	454.10	25.12	32.04	300.3	754.4	251.48	Tak pakai
35	17.5	42	38	40	1500.61	424.29	25.60	32.99	314.5	738.8	246.25	Tak pakai
36	18.0	38	35	20	690.91	195.35	25.94	33.93	327.4	522.7	174.23	Tak pakai
37	18.5	31	32	20	632.73	178.90	26.07	34.87	337.9	516.8	172.28	Tak pakai
38	19.0	23	29	20	572.73	161.93	26.00	35.81	346.2	508.1	169.38	Tak pakai
39	19.5	16	26	20	510.91	144.46	25.74	36.76	352.2	496.6	165.54	Tak pakai
40	20.0	17	23	20	454.55	128.52	25.52	37.70	358.4	486.9	162.29	Tak pakai
41	20.5	17	21	20	412.12	116.52	25.32	38.64	364.7	481.3	160.42	Tak pakai
42	21.0	18	19	20	383.64	108.47	25.14	39.58	371.3	479.8	159.94	Tak pakai
43	21.5	17	19	20	375.15	106.07	24.95	40.53	377.6	483.7	161.23	Tak pakai
44	22.0	16	19	20	378.18	106.93	24.75	41.47	383.6	490.5	163.51	Tak pakai
45	22.5	15	20	20	392.73	111.04	24.53	42.41	389.2	500.3	166.76	Tak pakai
46	23.0	19	20	20	404.24	114.30	24.41	43.35	396.1	510.3	170.12	Tak pakai
47	23.5	22	21	20	416.36	117.72	24.36	44.30	404.0	521.7	173.91	Tak pakai
48	24.0	26	21	20	429.09	121.32	24.40	45.24	413.1	534.4	178.15	Tak pakai
49	24.5	25	22	20	445.45	125.95	24.41	46.18	421.9	547.9	182.62	Tak pakai
50	25.0	24	23	20	462.42	130.75	24.40	47.12	430.4	561.1	187.05	Tak pakai
51	25.5	23	24	20	480.00	135.72	24.37	48.07	438.6	574.3	191.43	Tak pakai
52	26.0	24	24	20	489.70	138.46	24.37	49.01	447.0	585.5	195.17	Tak pakai
53	26.5	25	25	20	494.55	139.83	24.38	49.95	455.8	595.7	198.56	Tak pakai
54	27.0	26	25	20	494.55	139.83	24.41	50.89	465.0	604.8	201.60	Tak pakai
55	27.5	25	25	20	498.18	140.86	24.42	51.84	473.9	614.7	204.90	Tak pakai
56	28.0	25	25	20	504.55	142.66	24.43	52.78	482.5	625.2	208.40	Tak pakai
57	28.5	24	21	20	412.73	116.70	24.42	53.72	491.0	607.7	202.58	Tak pakai
58	29.0	25	18	20	369.09	104.36	24.43	54.66	499.8	604.2	201.40	Tak pakai
59	29.5	26	16	20	323.64	91.51	24.46	55.61	508.9	600.4	200.15	Tak pakai
60	30.0	27	14	20	276.36	78.14	24.50	56.55	518.4	596.5	198.83	Tak pakai
Syaris	Pijin tanah	<	P bahan		236.32	<	252.7	OK				

#### 4.6.4. Jumlah Kebutuhan Tiang Pancang

Tipe pondasi = tiang pancang

Bentuk pondasi = lingkaran

P<sub>izin tanah</sub> = 236.32 ton



Gambar 4. 35 Spesifikasi Tiang Pancang

Perhitungan beban Pondasi (P) sebelum ditambah berat sendiri poer.

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{izin}} = \frac{\text{Nilai.P.diambil.dari.hasil.SAP}}{Q_{izin} \cdot \tan \alpha \cdot \text{kedalaman.15.m}}$$

**Tabel 4. 43** Jumlah kebutuhan tiang pancang pada setiap titik kolom

Joint	P max (Ton)	n Tiang Pancang	n koreksi
1	305.3978	2	4
3	149.22	1	2
7	443.0216	2	4
9	429.8635	2	4
11	280.2587	2	4
13	136.3658	1	2
15	356.6533	2	4
17	494.654	3	4
19	493.3878	3	4
21	358.9525	2	4
23	364.0741	2	4
25	491.3753	3	4
27	502.5896	3	4
29	372.1126	2	4
45	174.0547	1	2
47	338.314	2	4
49	441.9979	2	4
51	452.6544	2	4
53	347.2207	2	4
55	178.2515	1	2
57	165.648	1	2
59	188.5366	1	2

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa ada 2 jenis pondasi dalam perencanaan bangunan gedung asrama LPMP padang, yaitu pondasi dengan kebutuhan tiang pancang sebanyak 2 dan 4 buah.

#### **4.6.5. Perencanaan Pondasi 2 buah tiang**

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambah berat sendiri poer :

P terbesar diantara kombinasi yang ditinjau  $P_{\max} = 188.54$  ton

Letak pondasi yang ditinjau = joint 59

Posisi Poer = berdiri

Arah X = 1 buah

Arah Y = 2 buah

##### **4.6.5.1. Perencanaan Dimensi Poer**

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam kelompok antar tiang pancang (S), menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya mekanika tanah dalam praktek rekyasa, jilid 2 disebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar tiang pancang (s) :

$$2.5D < S > 3D$$

$$150 \text{ cm} < S > 180 \text{ cm}$$

Menggunakan nilai s = 150 cm

Perhitungan jarak antar tiang pancang (s'):

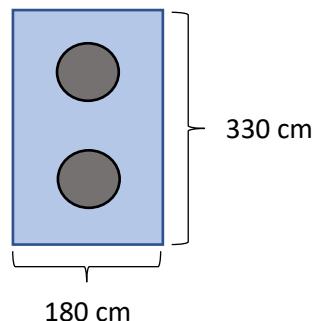
$$1.5D < S' > 2D$$

$$90 \text{ cm} < S' > 120 \text{ cm}$$

Menggunakan nilai s = 90 cm

Arah X = 180 cm

Arah Y = 330 cm



##### **4.6.5.2. Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Pancang**

Tebal poer rencana : 0.8 m

BJ beton : 2400 Kg/m<sup>3</sup>

$P_{\max}$  = 235.4435 ton

$$\begin{aligned}
 \text{Berat poer} &= 3.3 \times 1.8 \times 0.8 \times 2.4 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 11.4048 \text{ ton} \\
 P_{\max}' &= 188.54 + 11.4048 \\
 &= 199.94 \text{ ton} \\
 n &= \frac{P_{\max}'}{p_{\text{izin}}} = \frac{199.94}{236.32} = 1 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Setelah ditambah berat sendiri poer dan tanah dengan dimensi pakai, didapatkan bahwa jumlah tiang pancang yang diperlukan sebanyak 2 buah.

#### 4.6.5.3. Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Efisiensi

Efisiensi aktual ditentukan dengan menggunakan perumusan dari Converce-Labarre, yaitu sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \frac{\arctan \frac{D}{S}}{90} \times \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 m &= \text{banyaknya tiang dalam kolom} = 2 \text{ buah} \\
 n &= \text{banyaknya tiang dalam baris} = 1 \text{ buah} \\
 D &= \text{diameter tiang pancang} = 0.6 \text{ m} \\
 S &= \text{jarak antar As tiang pancang} = 1.5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka nilai efisiensi adalah ( $\eta$ ) = 0.879

$$\begin{aligned}
 p_{\text{izin}} \text{ tanah koreksi} &= \eta \times p_{\text{izin}} \text{ tanah} \\
 &= 0.879 \times 236.32 \\
 &= 207.7 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 p_{\text{izin}} \text{ tanah koreksi} &< p_{\text{izin}} \text{ bahan} \\
 207.70 \text{ ton} &< 252.7 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Karena dimensi penampang poer dan tiang sudah diperoleh semuanya, maka dilakukan pengecekan akhir yaitu  $P_{\max} \leq P_{\text{izin}}$  tanah total.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 188.54 \text{ ton} \\
 \text{Berat poer} &= 3.3 \times 1.8 \times 0.8 \times 2.4 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 11.4048 \text{ ton} \\
 \text{Berat tiang} &= 0.393 \text{ ton/m} \times 15 \text{ m} \times 2 \text{ buah} \\
 &= 11.79 \text{ ton} \\
 P_{\max}, &= 188.54 + 11.4048 + 11.79 \\
 &= 211.73 \text{ ton} \\
 P_{\text{izin}} \text{ tanah total} &= \text{jumlah TP} \times P_{\text{izin}} \text{ tanah efisiensi} \\
 &= 2 \text{ buah} \times 207.7 \\
 &= 415.4012 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{Pu max} &< P_{\text{izin}} \text{ tanah total} \\
 211.7314 \text{ ton} &< 415.4012 \text{ ton} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

#### 4.6.5.4. Perhitungan Daya Dukung tiang dalam kelompok

Berdasarkan output SAP didapatkan gaya-gaya dalam dari joint yang ditinjau :

- Akibat beban tetap (1D + 1L)

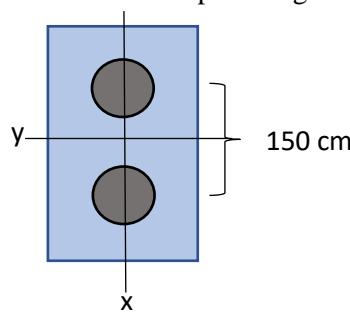
$$P = 133.786 \text{ ton}$$

$$My = 14.93 \text{ ton.m}$$

$$Mx = 11.65 \text{ ton.m}$$

Jarak sumbu tiang ketik berat susunan kelompok tiang :

No.	X	$X^2$
1	0 m	0 m
2	0 m	0 m
	$\Sigma x^2$	0 m
No.	Y	$Y^2$
1	0.75 m	0.5625 m
2	-0.75 m	0.5625 m
	$\Sigma y^2$	1.125 m



Untuk mendapatkan nilai beban yang diterima pada satu tiang pancang dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$P = \frac{Pu}{n} \pm \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma Y^2}$$

$$P_{\max} = 74.66 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = 59.13 \text{ ton}$$

P pakai adalah yang terbesar = 74.66 ton

Kontrol :

$$P \text{ tiang} < P \text{ izin tanah} \times \eta$$

$$74.66 \text{ ton} < 207.7 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan peraturan PPIUG 1983 tabel 1.1 bahwasanya daya dukung yang diizinkan pada tanah keras untuk pembebanan tetap harus lebih dari sama dengan  $5 \text{ kg/cm}^2$

$$P \text{ ijin tanah} \geq 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$9.82 \text{ kg/cm}^2 \geq 5 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{OK})$$

- Akibat beban sementara (1D + 1L + 1Ex)

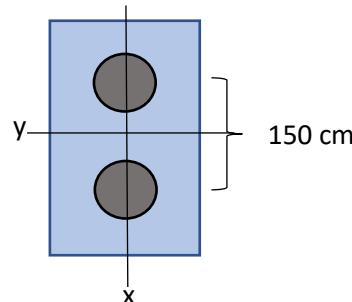
$$P = 188.54 \text{ ton}$$

$$My = 26.204 \text{ ton.m}$$

$$Mx = 52.192 \text{ ton.m}$$

Jarak sumbu tiang ketik ketik berat susunan kelompok tiang :

No.	X	$X^2$
1	0 m	0 m
2	0 m	0 m
$\Sigma x^2$		0 m
No.	Y	$Y^2$
1	0.75 m	0.5625 m
2	-0.75 m	0.5625 m
$\Sigma y^2$		1.125 m



Untuk mendapatkan nilai beban yang diterima pada satu tiang pancang dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$P = \frac{Pu}{n} \pm \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma Y^2}$$

$$P_{\max} = 129.1 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = 59.5 \text{ ton}$$

P pakai adalah yang terbesar = 129.1 ton

Kontrol :

$$\begin{aligned} Qu &< P \text{ 1 tiang} < P \text{ izin tanah } \times \eta \\ 84.23 \text{ ton} &< 129.06 \text{ ton} < 207.70 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Akibat beban sementara (1D + 1L + 1Ey)

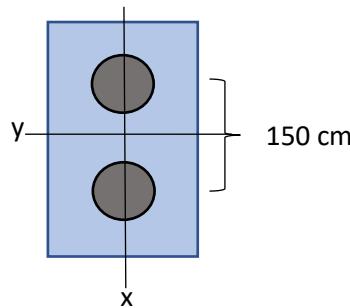
$$P = 183.77 \text{ ton}$$

$$My = 57.13 \text{ ton.m}$$

$$Mx = 13.92 \text{ ton.m}$$

Jarak sumbu tiang ketik berat susunan kelompok tiang :

No.	X	$X^2$
1	0 m	0 m
2	0 m	0 m
	$\Sigma X^2$	0 m
No.	Y	$Y^2$
1	0.75 m	0.5625 m
2	-0.75 m	0.5625 m
	$\Sigma Y^2$	1.125 m



Untuk mendapatkan nilai beban yang diterima pada satu tiang pancang dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$P = \frac{Pu}{n} \pm \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma Y^2}$$

$$P_{\max} = 101.16 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = 82.61 \text{ ton}$$

P pakai adalah yang terbesar = 101.16 ton

Kontrol :

$$\begin{aligned} Qu &< P \text{ 1 tiang} < P \text{ izin tanah } \times \eta \\ 84.23 \text{ ton} &< 101.16 \text{ ton} < 207.7 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### 4.6.5.5. Perhitungan Tebal Poer

- Kontrol geser satu arah pada poer akibat kolom

$$Pu_{\max} = 212.53 \text{ ton}$$

$$\text{Dimensi kolom} = 80 / 80 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal rencana} = 0.8 \text{ m}$$

Selimut beton = 0,075 m (SNI 2847:2013 Ps 7.7.1)

Kontrol :

$$d > 0.3 \text{ m} \text{ (SNI 2847:2013 Ps 15.7)}$$

$$0.8 - 0.075 > 0.3 \text{ m}$$

$$0.725 \text{ m} > 0.3 \text{ m}$$

$V_u = \sigma \cdot b_w \cdot L'$  (gaya geser satu arah pada penampang kritis)

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{212.53}{3.3 \times 1.8} = 35.78 \text{ ton/m}^2$$

$$b_w = \text{panjang pondasi} = 3.3 \text{ m}$$

$$L' = (1/2b_w) - (1/2 \text{ lebar kolom}) - d = 0.525 \text{ m}$$

$$V_u = 61.99 \text{ ton}$$

### Cek kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\lambda = 1$$

$$\phi = 0.75$$

$$V_c = 174.24 \text{ ton}$$

### Kontrol kuat geser beton satu arah

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$61.99 \text{ ton} \leq 130.68 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol geser dua arah pada poer akibat kolom  
Dalam kontrol geser dua arah,  $V_u$  yang terjadi harus lebih kecil dari persamaan yang menghasilkan nilai  $V_c$  terkecil pada SNI 2847:2013 Ps. 11.11.2.1 poin a, b, c.

$$V_u = \sigma \cdot A_t$$

$$\sigma = 44.965 \text{ ton/m}^2$$

$$A_t = (B \times L \text{ poer}) - ((b + h \text{ kolom}) \times t \text{ poer})$$

$$= (3.3 \times 1.8) - ((0.8 + 0.8) \times 0.8)$$

$$= 4.66$$

$$V_u = 166.73 \text{ ton}$$

Persamaan 1 (a)

$$V_c = 0.17 \left( 1 - \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\begin{aligned}
 an &= \text{sisi panjang kolom} &= 800 \text{ mm} \\
 bn &= \text{sisi pendek kolom} &= 800 \text{ mm} \\
 \beta &= an/bn &= 1.00 \\
 d &= \text{tebal pondasi-selimut} &= 725 \text{ mm} \\
 bo &= 2x(b + h) + 4d &= 6100 \text{ mm} \\
 Vc &= 1334.36 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Persamaan 2 (b)

$$Vc = 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{bo} \right) \lambda \sqrt{f'c} bo.d$$

$$Vc = 1466.72 \text{ ton}$$

Persamaan 3 (c)

$$Vc = 0.33 \lambda \sqrt{f'c} bo.d$$

$$Vc = 863.41 \text{ ton}$$

Dipakai kuat geser yang terkecil yaitu = 863.41 ton

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 Vu &\leq \phi Vc \\
 166.73 &\leq 647.56 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Kontrol geser satu arah pada poer akibat tiang pancang

$$Pu (1D + 1L) = 133.786 \text{ ton}$$

$Vu = \sigma.bw.L'$  (gaya geser satu arah pada penampang kritis)

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{133.786}{3.3 \times 1.8} = 22.523 \text{ ton/m}^2$$

$$bw = \text{panjang pondasi} = 3.3 \text{ m}$$

$$L' = (1/2bw) - (1/2 \text{ lebar kolom}) - d = 0.525 \text{ m}$$

$$Vu = 39.02 \text{ ton}$$

### Cek kuat geser beton

$$Vc = 0.17 \lambda \sqrt{f'c} bw.d$$

$$\lambda = 1$$

$$\phi = 0.75$$

$$Vc = 174.24 \text{ ton}$$

Kontrol kuat geser beton satu arah

$$\begin{aligned} Vu &\leq \phi Vc \\ 39.02 \text{ ton} &\leq 130.68 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Kontrol geser dua arah pada poer akibat kolom  
Dalam kontrol geser dua arah, Vu yang terjadi harus lebih kecil dari persamaan yang menghasilkan nilai Vc terkecil pada SNI 2847:2013 Ps. 11.11.2.1 poin a, b, c.

$$Vu = \sigma \cdot At$$

$$\sigma = 22.52 \text{ ton/m}^2$$

$$\begin{aligned} At &= (A \text{ poer}) - (A \text{ pondasi}) \\ &= (3.3 \times 1.8) - (\frac{1}{4} \times \pi \times 0.6^2) \\ &= 5.66 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$Vu = 127.42 \text{ ton}$$

Persamaan 1 (a)

$$Vc = 0.17 \left( 1 - \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \text{ bo.d}$$

$$an = \text{sisi panjang kolom} = 800 \text{ mm}$$

$$bn = \text{sisi pendek kolom} = 800 \text{ mm}$$

$$\beta = an/bn = 1.00$$

$$d = \text{tebal pondasi-selimut} = 725 \text{ mm}$$

$$bo = \pi \times D \text{ tiang} = 4162.61 \text{ mm}$$

$$Vc = 910.56 \text{ ton}$$

Persamaan 2 (b)

$$Vc = 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{bo} \right) \lambda \sqrt{f'c} \text{ bo.d}$$

$$Vc = 1328.78 \text{ ton}$$

Persamaan 3 (c)

$$Vc = 0.33 \lambda \sqrt{f'c} \text{ bo.d}$$

$$Vc = 589.19 \text{ ton}$$

Dipakai kuat geser yang terkecil yaitu = 589.19 ton

Kontrol :

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$127.42 \leq 441.89 \quad (\text{OK})$$

#### **4.6.5.6. Cek Terhadap panjang Penyaluran tulangan Kolom**

Ldc diambil terbesar dari persamaan yang terdapat pada SNI 2847:20113 pasal; 12.3.2

Ldc minimum = 200 m (SNI 2847:2013 Ps. 12.3.1)

Tulangan kolom = D22

Persamaan 1

$$\left( \frac{0.24f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b = 374.84 \text{ mm}$$

Persamaan 2

$$(0.043 f_y) d_b = 397.32 \text{ mm}$$

Ldc diambil terbesar = 397.32 mm > 200 mm (OK)

Syarat :

Tebal poer > panjang penyaluran tul. Kolom

80 cm > 39.73 cm

#### **4.6.5.7. Perencanaan Tulangan Lentur Poer**

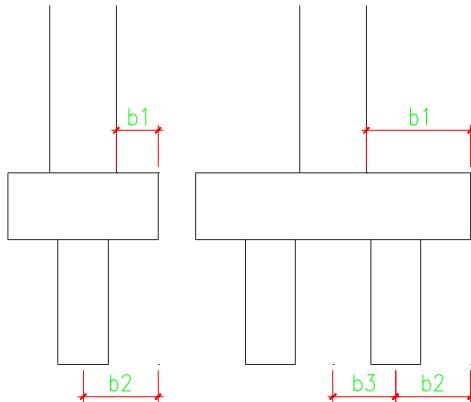
Dalam perhitungan tulangan lentur poer diasumsikan sebagai balok kantilever.

Data perencanaan :

Dimensi poer	= 180 cm x 330 cm
Jumlah tiang	= 2 buah
Dimensi kolom	= 80 cm x 80 cm
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 35 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 420 MPa
Diamter tulangan	= 22 mm
Selimut beton	= 75 mm
Tebal poer	= 800 mm
$\phi$	= 0.9
$\beta$	= 0.81
$d_x$	= $800 - 75 - \frac{1}{2} \times 22$ = 714 mm

$$\begin{aligned} dy &= 800 - 75 - \frac{1}{2} \times 22 - 22 \\ &= 692 \text{ mm} \end{aligned}$$

pembebatan yang terjadi pada poer :



**Gambar 4.36** Poer arah X dan Y

poer arah x :

$$b1 = 500 \text{ mm}$$

$$b2 = 900 \text{ mm}$$

$$b3 = 0 \text{ mm}$$

poer arah y :

$$b1 = 1250 \text{ mm}$$

$$b2 = 900 \text{ mm}$$

$$b3 = 350 \text{ mm}$$

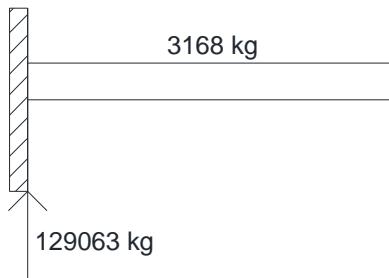
- Penulangan Poer arah X

### Tulangan Tarik

Beban yang terjadi :

Berat poer = 3168 kg

P max = 129063.27 kg



**Gambar 4. 37** Mekanika Teknik Pile cap arah x

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} Mu &= (P \times b3) - (\frac{1}{2} \times 3168 \times b1^2) \\ &= (129063 \times 0) - (\frac{1}{2} \times 3168 \times 0.5^2) \\ &= -396 \text{ kgm} = 3960000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tulangan perlu maksimum dan minimum :

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \times \frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = 14.118$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{3960000}{0.9} = 4400000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4400000}{1800 \times 714^2} = 0.0048$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= 0.000011 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0033$$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0.0033 \times 1800 \times 714$$

$$= 4284 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D22

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{As.\text{perlu}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 1800}{4284}$$

$$= 159.72 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 2h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan D22 – 150

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &> As \text{ perlu} \\ 4561.6 \text{ mm}^2 &> 4284 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

### Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} As' &= \frac{1}{2} \times As \\ &= \frac{1}{2} \times 4561.6 \text{ mm}^2 \\ &= 2281 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

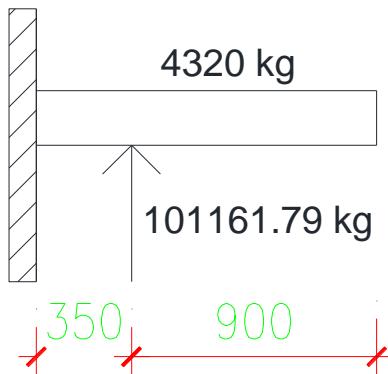
$$Dtul = \left( \frac{S \times As'}{\frac{1}{2} \times \pi \times b} \right)^{0.5} = \left( \frac{150 \times 2281}{\frac{1}{2} \times \pi \times 1.8} \right)^{0.5} = 11 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

- Penulangan Poer arah Y

### Tulangan Tarik :

Beban yang terjadi :

$$\begin{aligned} Berat poer &= 4320 \text{ kg} \\ P_{\max} &= 101161.79 \text{ kg} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 38** Mekanika Teknik Pile cap arah y  
Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 Mu &= (P \times b3) - (\frac{1}{2} \times 3168 \times b1^2) \\
 &= (101161.79 \times 0.35) - (\frac{1}{2} \times 4320 \times 1.25^2) \\
 &= 35406.63 - 3375 \\
 &= 32031.63 \text{ kgm} = 320316253.3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tulangan perlu maksimum dan minimum :

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0.75 \times \frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0.25
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c} = 14.118$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{320316253.3}{0.9} = 355906948.1 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{355906948.1}{3300 \times 692^2} = 0.23$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 0.0005 \\
 \text{ppakai} &= 0.0033 \\
 \text{As perlu} &= \rho.b.d = 0.0033 \times 3300 \times 692 \\
 &= 7612 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D22

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{\text{As.perlu}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 3300}{7612} \\
 = 164.8 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

$$\text{Smax} = 2h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan D22 – 150

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &> \text{As perlu} \\
 8362.9 \text{ mm}^2 &> 4284 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

### Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 \text{As}' &= \frac{1}{2} \times \text{As} \\
 &= \frac{1}{2} \times 8362.92 \text{ mm}^2 \\
 &= 4181 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Dtul} = \left( \frac{S \times \text{As}'}{\frac{1}{2} \times \pi \times b} \right)^{0.5} = \left( \frac{150 \times 2281}{\frac{1}{2} \times \pi \times 1.8} \right)^{0.5} = 11 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

**Tabel 4. 44** Rekapitulasi penulangan poer

Tipe Pondasi	Arah X		Arah Y	
	Tulangan tarik	Tulangan tekan	Tulangan tarik	Tulangan tekan
2 tiang	D22 – 150	D13 – 150	D22 – 150	D13 – 150
4 tiang	D22 – 150	D13 – 150	D22 – 150	D13 – 150
lift	D22 – 150	D13 – 150	D22 – 150	D13 – 150

### 4.6.6. Perencanaan Sloof

Struktur sloof digunakan untuk membuat penurunan secara bersamaan pada pondasi atau sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya.

Adapun beban – beban yang ditimpakan ke sloof meliputi : berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah.

#### **4.6.6.1. Data-data Perencanaan**

Dimensi sloof	= 400/600
Bentang sloof	= 7000 mm
Ln	= 6200 mm
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Selimut beton	= 40 mm
Diameter tul. utama (D)	= 22 mm
Fy tul. Utama	= 420 MPa
Diameter tul. Sengkang	= 12 mm
Fy tul. Sengkang	= 240 MPa
Diameter tul. Puntir	= 16 mm

#### **4.6.6.2. Output Momen Balok Induk 1**

Tumpuan	- = 202.7839 kNm
	+ = 184.984 kNm
Lapangan	= 44.1764 kNm
Vu (envelope)	= 210.23 kN
Vu (1.2D + 1L)	= 93.676 kN
Torsi	= 15.0127 kNm

#### **4.6.6.3. Tinggi Manfaat Rencana**

- $d = h - \text{decking} - \text{sengkang} - (1/2 \times D_{\text{lentur}})$   
 $= 600 - 40 - 12 - (1/2 \times 22)$   
 $= 537 \text{ mm}$
- $d' = h - d$   
 $= 600 - 537$   
 $= 63 \text{ mm}$
- $\beta_1 = (\text{SNI } 1726:2012 \text{ Ps. 10.2.7.3})$   
 $= 0.85 - \frac{f'c - 28}{7} \times 5\% = 0.85 - \frac{35 - 28}{7} \times 5\% = 0.8$
- $\rho_{\max} = 0.75 \times \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$

$$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.8 \times 35}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$$

= 0.025 (SNI 2847:2013 lampiran B 10.3.3)

- $\rho_{min}$  = (SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1)

$$= \frac{0.25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} = 0.0035$$

- $\rho_{min}$  =  $\frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033$

- $m$  =  $\frac{f_y}{0.85 \times f'c} = \frac{420}{0.85 \times 35} = 14.118$

#### 4.6.6.4. Perhitungan Tulangan Torsi

Kontrol kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir. Ukuran penampang balok yang dipakai 40/60.

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 400 \times 600$$

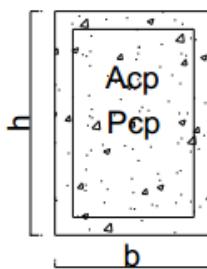
$$= 240000 \text{ mm}^2$$

- Keliling luar irisan penampang beton

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (400 + 600)$$

$$= 2000 \text{ mm}$$

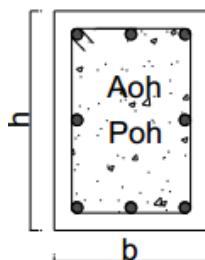


**Gambar 4. 39** Luasan ( $A_{cp}$ ) dan keliling ( $P_{cp}$ )

- Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) \times \\
 &\quad (h_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) \\
 &= (400 - 2 \times 40 - 12) \times (600 - 2 \times 40 - 12) \\
 &= 156464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- $P_h = 2 \times (b_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang}) +$   
 $(h_{balok} - 2 \cdot \text{selimut} - \varnothing_{sengkang})$   
 $= 2 \times (400 - 2 \times 40 - 12) + (600 - 2 \times 40 - 12)$   
 $= 1632 \text{ mm}$



**Gambar 4. 40** Luasan (Aoh) dan keliling (Poh)

- Momen puntir ultimate

$$T_u = 15012700 \text{ Nmm}$$

- Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{15012700}{0.75} = 20016933.33 \text{ Nmm}$$

- Periksa kebutuhan tulangan puntir

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor ( $T_u$ ) besarnya kurang dari :

$$\begin{aligned}
 T_{u \min} &= \phi \cdot 0.083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) (\text{SNI 2847:2013 Ps 11.5.1}) \\
 &= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right) \\
 &= 10606347.84 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tu_{\max} &= \phi 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} c \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) (\text{SNI } 2847:2013 \text{ Ps. 11.5.2.2}) \\
 &= 0.75 \times 0.33 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right) \\
 &= 42169816.69 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Periksa persyaratan pengaruh momen puntir  
 $Tu_{\min} > Tu \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir  
 $Tu_{\min} < Tu \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir  
 $10606347.84 < 15012700 \rightarrow$  maka memerlukan tulangan puntir
- Tulangan puntir untuk lentur  
 Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Al = \frac{At}{s} Ph \left( \frac{fy_t}{f_y} \right) \cot^2 \theta \text{ dengan } \frac{At}{s} \text{ dihitung sesuai dengan SNI}$$

2847:2013 Ps. 11.5.3.6 berasal dari persamaan dibawah :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times fy_t}{s} \cot \theta$$

Dimana :

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

$$Ao = 0.85 \times A_{oh} = 0.85 \times 156464 = 132994.4 \text{ mm}^2$$

Sehingga :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times Ao \times fy_t \times \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{20016933.33}{2 \times 132994.4 \times 420 \times \cot 45}$$

$$\frac{At}{s} = 0.179 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\frac{At}{s} > \frac{0.175b}{f_y t}$$

$$0.179 > \frac{0.175 \times 400}{420}$$

$$0.179 > 0.167 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$Al = \frac{At}{s} Ph \left( \frac{f_y t}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$Al = 0.179 \times 1632 \times \frac{420}{420} \cot^2 45 \\ = 292.42 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847:2013 Ps. 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$Al = \frac{0.42 \times \sqrt{f'c} \times A_{cp}}{f_y} - \frac{At}{s} ph \left( \frac{f_y t}{f_y} \right) \\ = \frac{0.42 \times \sqrt{35} \times 240000}{420} - 0.179 \times 1632 \left( \frac{420}{420} \right) \\ = 1127.44 \text{ mm}^2$$

Periksa :

$Al_{perlu} \leq Al_{min} \rightarrow$  maka digunakan  $Al_{min}$

$Al_{perlu} \geq Al_{min} \rightarrow$  maka digunakan  $Al_{perlu}$

$292.42 \leq 1127.44 \rightarrow$  maka digunakan  $Al_{min}$

- Luasan tulangan puntir

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok :

$$\frac{Al}{4} = \frac{1127.44}{4} = 281.86 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{281.86}{\text{luasan.D.puntir}} = \frac{281.86}{201.062} = 1.40 = 2 \text{ buah}$$

maka dipasang tulangan 2D16 disetiap sisi samping kiri dan kanan balok baik sepanjang tumpuan maupun lapangan.

#### 4.6.6.5. Perhitungan Tulangan Lentur

A. Daerah tumpuan negatif

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 420} \times 537 = 315.9 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0.75 \times X_b = 0.75 \times 315.9 = 236.92 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 63 \text{ mm}$$

- Direncanakan  $X = 85 \text{ mm}$

- Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0.85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 35 \times 400 \times 0.8 \times 85}{420} \\ &= 1926.67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Gaya momen nominal tulangan

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \\ &= 1926.67 \times 420 \times 537 - \frac{0.8 \times 85}{2} \\ &= 407027600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$M_u \text{ tumpuan} = 202783900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{202783900}{0.9} = 225315444.4 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 225315444.4 - 407027600$$

$$= -181712155.6 \text{ Nmm}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} As_{min} &= \frac{0.25\sqrt{f'c}}{fy} bw \times d \\ &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 537 \\ &= 756.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As_{min} = \frac{1.4 \times bw \times d}{fy} = \frac{1.4 \times 400 \times 537}{420} = 716 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_n}{bw \times d^2} = \frac{225315444.4}{400 \times 537^2} = 1.95$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 1.95}{420}} \right) \\ &= 0.0048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &< \rho_{perlu} < \rho_{max} \\ 0.0035 &< 0.0048 < 0.025 \end{aligned}$$

Digunakan perlu = 0.0088

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times bw \times d \\ &= 0.0048 \times 400 \times 537 \\ &= 1034 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As} + \text{At} \\ &= 1034 + 281.86 \\ &= 1316 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{1316}{380.133} = 3.462 = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1520.53 &> 1316 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - 2 \cdot \text{se lim ut} - 2 \cdot \phi \text{engkang} - n \cdot D_{\text{lentur}}}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4 - 1} \\ &= 69.33 \geq 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Jadi dipakai tulangan 4D22**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{\text{As.pakai} \times f_y}{0.85 \times f'c \times bw} = \frac{1520.53 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 53.67 \text{ mm}$$

$$M_n = \text{As pakai} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1520.53 \times 420 \times \left( 537 - \frac{53.67}{2} \right)$$

$$= 325804422.5 \text{ Nmm} = 325.8 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 325.8 = 293.22 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\phi M_n > M_u$$

$$293.22 > 202.783 \quad (\text{OK})$$

#### B. Daerah tumpuan positif

- Momen lentur nominal

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2.2 kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif.

$$M_u = M_n (+) \geq \frac{1}{2} \phi M_n (-)$$

$$= 184.984 \text{ kNm} \geq \frac{1}{2} \times 292.22 \text{ kNm}$$

$$= 184.984 \text{ kNm} \geq 146.61 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan momen lentur hasil SAP.

$$M_u = 184984000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{184984000}{0.9} = 205537777.8 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$$M_{ns} > 0 \rightarrow \text{perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} \leq 0 \rightarrow \text{tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 205537777.8 - 407027600$$

$$= -201489822.2 \text{ Nmm}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$\text{As min} = \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 537 \\ = 756.4 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1.4 \times bw \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 400 \times 537}{420} = 716 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_n}{bw \times d^2} = \frac{205537777.8}{400 \times 537^2} = 1.78$$

$$\rho = \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 1.78}{420}} \right) \\ = 0.0044$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0035 < 0.0044 < 0.025$$

Digunakan  $\rho_{\text{perlu}} = 0.0044$

$$\text{As perlu} = \rho \times bw \times d \\ = 0.0044 \times 400 \times 537 \\ = 940.4 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\text{As perlu} = \text{As} + \text{At} \\ = 940.4 + 281.86 \\ = 1222 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{1222}{380.133} = 3.215 = 4 \text{ buah}$$

$$\text{As pasang} > \text{As perlu} \\ 1520.53 > 1222 \quad (\text{OK})$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4 - 1} \\ = 69.33 \geq 25 \text{ mm}$$

### Jadi dipakai tulangan 4D22

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 \times f'_c \times bw} = \frac{1520.53 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 53.66 \text{ mm}$$

$$M_n = As \cdot f_y \cdot x \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ = 1520.53 \times 420 \times \left( 536 - \frac{53.66}{2} \right) \\ = 325804422.5 \text{ Nmm} = 325.80 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 325.16 = 292.65 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\phi M_n > M_u \\ 292.65 > 184.984 \text{ (OK)}$$

### C. Penulangan Lapangan

- Momen lentur nominal

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2.2 kekuatan momen positif maupun negatif sepanjang balok harus tidak kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada tumpuan.

$$M_u = M_n \geq \frac{1}{4} \phi M_n \\ = 44.1764 \text{ kNm} \geq \frac{1}{4} \times 293.22 \text{ kNm} \\ = 44.1764 \text{ kNm} \geq 73.30 \text{ kNm (NOT OK)}$$

Maka digunakan momen lentur hasil perhitungan kapasitas.

$$M_u = 73305995.06 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{73305995.06}{0.9} = 81451105.63 \text{ Nmm}$$

Periksa momen nominal tulangan lentur rangkap dengan persyaratan berikut :

$$M_{ns} > 0 \rightarrow \text{perlu tulangan lentur tekan}$$

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 81451105.63 - 407027600 \\ &= -325576494.4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} < 0$ , maka tidak perlu tulangan tekan. Analisis perhitungan tulangan balok selanjutnya digunakan perhitungan tulangan tunggal.

- Perencanaan tulangan lentur tunggal

Seperti yang telah ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 harus tersedia tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{0.25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 537 \\ &= 756.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1.4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 400 \times 537}{420} = 716 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_w \times d^2} = \frac{81451105.63}{400 \times 537^2} = 0.71$$

$$\rho = \frac{1}{14.118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.71}{420}} \right)$$

$$= 0.0017$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0.0035 < 0.0017 < 0.025$$

$$\text{Digunakan } \rho_{perlu} = 0.0035$$

- Tulangan lapangan bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b_w \times d \\ &= 0.0035 \times 400 \times 537 \\ &= 756.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir ditambah pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar yaitu :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_t \\ &= 756.4 + 281.86 \end{aligned}$$

$$= 1038 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{1038.27}{380.133} = 2.731 = 3 \text{ buah}$$

As pasang > As perlu

$$1140.39 > 1038.27 \text{ (OK)}$$

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 3 \times 22}{3 - 1} \\ = 115 \geq 25 \text{ mm}$$

### **Jadi dipakai tulangan 5D22**

Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{\text{As.pakai} \times f_y}{0.85 \times f'c \times bw} = \frac{1140.39 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 40.25 \text{ mm}$$

$$\text{Mn} = \text{As pakai} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ = 1140.39 \times 420 \times \left( 537 - \frac{40.25}{2} \right) \\ = 247566336.4 \text{ Nmm} = 247.56 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 247.56 = 222.81 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\phi M_n > M_u$$

$$222.81 > 73.35 \text{ (OK)}$$

- Tulangan lapangan atas

$$\text{As}' \text{ perlu} = \frac{1}{2} \text{ As} + \text{At}$$

$$= \frac{1}{2} (571.19) + 281.86 \\ = 852.06 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan perlu :

$$n = \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} = \frac{852.06}{380.133} = 2.241 = 3 \text{ buah}$$

As pasang > As perlu

1140.4 > 852.06 (OK)

Kontrol jarak tulangan tarik tumpuan :

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1 spasi minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar  $d_b$ , tetapi tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 3 \times 22}{3 - 1} \\ = 115 \geq 25 \text{ mm}$$

### **Jadi dipakai tulangan 3D22**

#### **4.6.6.6. Perhitungan Tulangan Geser**

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.3.2 :

- $d/4 = 536/4 = 134 \text{ mm}$
- $6 \times D.\text{lentur} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Pada daerah lapangan, syarat maksimum tulangan geser menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.3.4

- $d/2 = 536/2 = 268 \text{ mm}$

menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.4.1 bahwa gaya geser rencana  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum ( $M_{pr}$ ) harus dianggap bekerja pada muka tumpuan, dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya. Momen-momen ujung  $M_{pr}$  didasarkan pada tegagan tarik sebesar  $1.25fy$ .

Mpr adalah kuat momen lentur mungkin dari suatu komponen struktur yang ditentukan menggunakan sifat-sifat komponen struktur pada muka join dengan menganggap kuat tarik pada tulangan longitudinal sebesar 1.25fy.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} \pm \frac{W_u \ln}{2}$$

#### A. Kapasitas momen ujung-ujung balok (Mpr)

- Tumpuan Negatif

$$a = \frac{As \times 1.25fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{1520.53 \times 1.25 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 67.08 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= As \text{ pakai} \times 1.25fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1520.53 \times 1.25 \times 420 \times \left( 537 - \frac{67.08}{2} \right) \\ &= 401.9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Tumpuan positif

$$a = \frac{As \times 1.25fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{1520.53 \times 1.25 \times 420}{0.85 \times 35 \times 400} = 67.08 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= As \text{ pakai} \times 1.25fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1520.53 \times 1.25 \times 420 \times \left( 536 - \frac{67.08}{2} \right) \\ &= 401.9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### B. Diagram geser

Reaksi geser diujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur diambil dari output SAP 2000 dengan kombinasi 1.2D + 1L

$$V_g = 93.676 \text{ kN}$$

$$V_g = \frac{W_u \cdot \ln}{2}$$

Total reaksi akibat gempa kiri (Ve)

$$Ve = \frac{401.9 + 401.9}{6.2} + 93.676 = 223.32 \text{ kN}$$

Total reaksi akibat gempa kanan (Ve)

$$Ve = \frac{401.9 + 401.9}{6.2} - 93.676 = 35.97 \text{ kN}$$

Gaya geser total yang menentukan,  $Ve = 223.32 \text{ kN}$

### C. Sengkang untuk gaya geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 21.5.4.2 kontribusi beton dalam menahan gaya geser yaitu  $Vc = 0$  pada perencanaan sendi plastis, apabila :

- Gaya geser akibat gempa  $> 0.5 \times$  gaya geser total  
 $93.676 > 0.5 \times 223.32$   
 $93.676 > 111.66 \text{ (NOT OK)}$

- Gaya aksial tekan  $< Ag \times \frac{f'c}{20}$

Tidak memenuhi sehingga  $Vc$  harus dihitung.

- a. Daerah tumpuan – sendi plastis (2h dari muka kolom)

$$Vc = 0.17 \sqrt{f'c} bw.d \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1)}$$

$$= 0.17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 537$$

$$= 216031.5694 \text{ N} = 216 \text{ kN}$$

$$\phi = 0.75 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.3)}$$

$$Vs = \frac{Ve}{\phi} - Vc = \frac{223.3}{0.75} - 216 = 81.73 \text{ kN} = 81730.19 \text{ N}$$

Dsengkang = 12 direncanakan = 2 kaki

$$Av = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 12^2$$

$$= 226.19 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{226.19 \times 420 \times 537}{81730.19} = 356.68 \text{ mm}$$

Dipasang **2D13 – 200** sepanjang  $2h = 2 \times 600 = 1200$  mm dari muka kolom, dimana tulangan geser pertama dipasang 5 cm dari muka kolom,

b. Daerah lapangan

Gaya geser didaerah lapangan (diluar sendi plastis) yaitu  $2h = 1200$  mm.

$$Vg = 93.676 \text{ kN}$$

$$Vg = \frac{Wu \cdot ln}{2}$$

$$Wu = \frac{Vg \cdot 2}{ln} = \frac{93.676 \times 2}{6.2} = 30.22 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} Vu &= Ve - (Wu \cdot 2h) \\ &= 223.32 - (30.22 \times 1.2) \\ &= 187.06 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0.17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 537 \\ &= 216031.57 \text{ N} = 216 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi = 0.75 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.3)}$$

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc = \frac{187.06}{0.75} - 216 = 33.38 \text{ kN} = 33381.29 \text{ N}$$

Dsengkang = 12 direncanakan = 2 kaki

$$\begin{aligned} Av &= 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 12^2 \\ &= 226.19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{226.19 \times 420 \times 537}{33381.29} = 975.76 \text{ mm}$$

Dipasang **2D13 – 250** pada daerah luar sendi platis.

D. Panjang penyaluran

1. Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik (Id)

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.1)

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1.0 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.12.2.4)}$$

$$\psi_e = 1.0$$

$$\psi_s = 1.0$$

$$\lambda = 1.0$$

$$\begin{aligned} C_b &= \text{decking} + D_{\text{tul.geser}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul.lentur}} \\ &= 40 + 12 + \frac{1}{2} 22 \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$K_{tr} = 0 \text{ (SNI 2847:2013 ps. 12.2.3)}$$

$$(C_b + K_{tr})/db = (64 + 0)/22 = 2.86 > 2.5 \text{ maka diambil } 2.5$$

Panjang penyaluran tulangan tarik dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3

$$\begin{aligned} ld &= \left( \frac{fy}{1.1\lambda\sqrt{f'c}} \times \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left( \frac{C_b + K_{tr}}{db} \right)} \right) db \\ &= \left( \frac{420}{1.1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{(2.5)} \right) 22 \\ &= 568 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai = 600 mm

### 2. Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm (SNI 2847:2013 Ps. 12.3.1)

$$ldc1 = \left( \frac{0.24fy}{\lambda\sqrt{f'c}} \right) db = \left( \frac{0.24 \times 420}{1.0 \times \sqrt{35}} \right) \times 22 = 375 \text{ mm}$$

$$ldc2 = (0.043fy)db = (0.043 \times 420) \times 22 = 397.3 \text{ mm}$$

Maka dipakai = 400 mm

### 3. Panjang kait

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 12.5.1 panjang penyaluran Idh untuk tulangan dengan kain standar 90° dalam beton berat normal adalah sbb :

$$ldh = 8db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

$$ldh = 150 \text{ mm}$$

$$ldh = \left( \frac{0.24 \cdot \psi e \cdot fy}{\sqrt{fy}} \right) db = \left( \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{\sqrt{35}} \right) \times 22 = 375 \text{ mm}$$

Maka dipakai = 400 mm

Panjang kait :

12 db = 12 x 22 = 264 mm, diambil 300 mm

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah ditulis pada bab IV, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang dapat ditulis sebagai berikut ini:

1. Dari hasil perhitungan preliminary desain, didapatkan data-data perencanaan dimensi yang meliputi struktur sekunder, struktur primer non pratekan dan struktur primer pratekan sebagai berikut:
  - Struktur sekunder:
    - Balok anak tipe 1 = 30/45
    - Balok anak tipe 2 = 20/20
    - Balok lift = 30/40
    - Balok bordes = 20/20
    - Tebal pelat (semua tipe pelat) = 12 cm
    - Tebal pelat tangga = 15 cm
    - Tebal pelat bordes = 15 cm
  - Struktur primer:
    - Balok induk tipe 1 = 40/60
    - Balok induk tipe 2 = 30/40
    - Balok pratekan tipe 1,2 = 70/100
    - Kolom lt 1-5 = 80/80
    - Kolom lt 6-10 = 80/80
2. Dari hasil perhitungan penulangan, didapatkan hasil perencanaan struktur sekunder pada Gedung Asrama LPMP Padang yang meliputi pelat lantai, balok anak, tangga, dan balok lift, balok bordes adalah sebagai berikut
  - a. Pelat tipe A
    - Pelat satu arah
    - Dimensi : 600 cm x 300 cm
  - b. Pelat tipe B

Pelat dua arah

- c. Pelat tipe C

Pelat dua arah

Dimensi : 500 cm x 300 cm

- d. Pelat tipe D

Pelat dua arah

Dimensi : 400 cm x 240 cm

Tulangan Tangga (semua tipe):

- Tulangan lentur tangga = D16-150
- Tulangan susut = D10-300
- Tulangan lentur bordes = D16-240
- Tulangan susut = D10-300

Tulangan Balok Anak 1:

- Tulangan lentur tumpuan - = 2D16
- Tulangan lentur tumpuan + = 2D16
- Tulangan lentur lapangan - = 3D16
- Tulangan lentur lapangan + = 5D16
- Tulangan geser tumpuan = Ø10-150
- Tulangan geser lapangan = Ø10-150

Tulangan Balok Anak 2:

- Tulangan lentur tumpuan - = 2D13
- Tulangan lentur tumpuan + = 2D13
- Tulangan lentur lapangan - = 2D13
- Tulangan lentur lapangan + = 2D13
- Tulangan geser tumpuan = Ø10-150
- Tulangan geser lapangan = Ø10-150

Tulangan Balok Lift:

- Tulangan lentur tumpuan - = 2D16
- Tulangan lentur tumpuan + = 2D16
- Tulangan lentur lapangan - = 3D16
- Tulangan lentur lapangan + = 5D16
- Tulangan geser = Ø10-150

Tulangan Balok Bordes:

- Tulangan lentur = 3D16

- Tulangan geser tumpuan = Ø10-150
  - Tulangan geser lapangan = Ø10-150
3. Dari hasil perhitungan penulangan struktur utama non pratekan pada Gedung Asrama LPMP padang yang meliputi balok induk, kolom, dan dinding geser adalah sebagai berikut:

Tulangan balok induk tipe 1:

- Tulangan lentur tumpuan atas = 6D22
- Tulangan lentur tumpuan bawah = 4D22
- Tulanagn lentur lapangan atas = 4D22
- Tulanagn lentur lapangan bawah = 5D22
- Tulangan torsi = 2D16
- Tulangan geser tumpuan = D13-150
- Tulangan geser lapangan = D13-250

Tulangan kolom tipe 1:

- Tulangan utama kolom = 20D22
- Tulanagn geser tumpuan = 4D13-100
- Tulanagn geser lapangan = 4D13-150

4. Dari hasil perhitungan struktur utama prategang pada Gedung Asrama LPMP padang yang meliputi balok prategang pada lantai atap adalah sebagai berikut:

Tulangan balok induk tipe 1:

- Tulangan lentur tumpuan atas = 9D25
- Tulangan lentur tumpuan bawah = 5D25
- Tulanagn lentur lapangan atas = 4D25
- Tulanagn lentur lapangan bawah = 8D25
- Tulangan torsi = 4D16
- Tulangan geser tumpuan = 2D13-200
- Tulangan geser lapangan = 2D13-300
- Tipe Strand = ASTM A 416-06  
Grade 720
- Diameter = 15,24mm
- Luas Penampang,  $A_p$  = 140mm<sup>2</sup>
- Kuat Tarik,  $f_{pu}$  = 1860MPa
- Kuat Leleh,  $f_{py}$  = 1675MPa

- Jumlah Tendon = 1 buah
  - Tipe Tendon = Tendon unit 25C15
  - Jumlah Strand tipe ASTM) = 25 buah (Strand
  - Luas Area Baja,  $A_{ps}$  = 3500mm<sup>2</sup>
  - Min. Breaking Load = 2388kN
  - Kehilangan pratekan = 27,71%
5. Dari hasil perhitungan pondasi pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi, didapatkan hasil sebagai berikut:
- Tipe Tiang Pancang = Kelas A
  - Diameter luar = 450 mm
  - Tebal dinding = 80 mm
  - Allowable Axial Load = 125 ton
  - Panjang tiang = 6-16 meter

## 5.2. Saran

Beberapa saran yang mungkin dapat membantu dalam hal perencanaan struktur Asrama LPMP padang adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan menggunakan beton pratekan sebaiknya memperhatikan dimensi balok dengan gaya pratekan yang terjadi , disesuaikan dengan panjang dan dimensi angkur yang akan dipasang nantinya pada tumpuan.
2. Perencanaan gedung yang dilakukan harus pada zona gempa yang sebenarnya agar ketepatan perhitungan dalam perencanaan lebih efisien dan efektif.
3. Pada perencanaan bangunan harus dipikirkan kemudahan dalam aplikasi di lapangan sehingga pelaksanaan dapat berjalan dengan baik, lancar dan sesuai dengan perencanaan.
4. Penggunaan aplikasi program bantu di maksudkan untuk mempermudah perhitungan perancangan dan pelaksanaan perancangan struktur bangunan.

5. Pengembangan pada teknologi beton pratekan perlu dilakukan peningkatan, agar lebih mudah dalam penggerjaannya, dikarenakan penggunaan pratekan dapat membuat fungsi ruang pada gedung semakin efisien.

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Adan, S.M., dan Hamburger, R.O. 2010. **Steel Special Moment Frames Connection Seismic Requirements.** Structure Magazine, November 2010
- Artiningsih, Titik penta. 2008. **Perilaku Siklik Balok Prategang Parsial Pratarik Akibat Perbedaan Rasio Tulangan.** Jurnal Teknik Sipil, Volume 8, Nomor 3, Juni 2008 : 237-249
- Darmawan. 2009. **Pitting Corrosion Model for Patial Prestressed Concrete (PC) Structures in a Chloride Environment.** The Journal of Technology and Science 20 (Agustus) : 109-114
- Hamburger, R.O., Helmut Krawinkler, James O. Malley, Scott M. Adan. 2009. **NIST GCR 09-917-3 : Seismic Design of Steel Special Moment Frames: A Guide for Practicing Engineers, U.S.** Department of Commerce and The National Institute of Standards and Technology (NIST)
- Imran, I and Pantazopoulou, S.J. 2001. **Plasticity Model for Concrete under Triaxial Compression.** Journal of Engng Mechanics ASCE; Vol. 127, No 3, pp.281-290
- Imran, Iswandi dan Fajar, Hendrik. 2014. **Perencanaan Lanjut Struktur Neton Bertulang : Berdasarkan SNI 03-1726-2012.** Bandung : ITB Press
- Kelvin. 2013. **Perencanaan Portal Bangunan Bertingkat 10 dengan Menggunakan Prestressed Concrete Sesuai dengan ACI 318-05.** Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan

- Lin. T.Y., dan Ned H. Burns. 2000. **Desain Struktur Beton Prategang Ed. 3 Jil.** Diterjemahkan oleh : Mediana. Jakarta : Erlangga.
- Majore, Braien Octavianus dan Steenie. 2015. **Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser.** Jurnal Teknik Sipil Statik Vol.3 No.6 : Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado
- Nawy, Edward G. 2001. **Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar Ed. 3 Jil. 1.** Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga.
- Nawy,Edward G. 2001. **Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Mendasar Ed. 3 Jil. 1.**Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga.
- Pangaribuan, Herri Mangara. 2012. **Kajian Keandalan Struktur Gedung Tahan Gempa yang Menggunakan Balok Prategang**
- Sutaraja, I Nyoman. 2006. **Pengaruh Rangkak, Susut, dan Relaksasi Baja Terhadap Lendutan Balok Jembatan Komposit Beton Prategang.** Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Volume 10, Nomor 1, hal 66-80
- Strandard Nasional Indonesia. 2012. **Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2012.** Badan Standarisasi Nasional, 2012.
- Strandard Nasional Indonesia. 2012. **Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung SNI 7833:2012.** Badan Standarisasi Nasional, 2012.

Strandard Nasional Indonesia. 2013. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013.** Badan Standarisasi Nasional, 2013.

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**

## **LAMPIRAN**

*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\**



**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**  
**LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111.

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



<b>NAMA PEMBIMBING</b>	: Endah Wahyuni, ST. MSc. PhD
<b>NAMA MAHASISWA</b>	: Muhammad Satrya Ageta
<b>NRP</b>	: 03111645000051
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>	: Desain Modifikasi Struktur Gedung Asrama Lembaga Penjaminan Mutu Pendidikan (LIPMP) Sumbar dg SRPMK dan Balok prategong pd Lt. Atap
<b>TANGGAL PROPOSAL</b>	:
<b>NO. SP-MMTA</b>	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	22-5-2018	Preliminary design	Perhitungan struktur sekunder	<u>CS</u>
2	6-6-2018	Penulangan Plat lantai , balok arak	Perbaikan dan kontrol	<u>CS</u>
3	3-5-2018	Kontrol SAP	Perbaiki kontrol gaya geser dasar dan simpangan	<u>CS</u>
4	18-5-2018	Revisi: kontrol dari SAP	- Perhitungan balok prategong - Kehilangan prategong	<u>CS</u>
5	25-5-2018	Perbaikan kehilangan prategong kolumn lantai 1-5 dan 6-10		<u>CS</u>
6	7-6-2018	Penulangan spalik prategong		<u>CS</u>
7	25/6-2018	Perencanaan <del>lantai</del> pondasi	Percobaan gambar poer moven dipasang Penulangan dipasang diperbaiki	<u>CS</u>
8.	26-6-2018	Perbaiki perencanaan pondasi: Gambar hasil 1 perhitungan	- Perbaiki perhitungan Niangan poer - Perbaiki gambar yang tidak sesuai	<u>CS</u>



**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**  
**LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



<b>NAMA PEMBIMBING</b>	Bambang Piscesa, ST. MT
<b>NAMA MAHASISWA</b>	Muhammad Satrya Ageta
<b>NRP</b>	03111645000051
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>	Desain Modifikasi Struktur Gedung Asrama Lembaga Pengembangan Pendidikan (LPMP) Sumbor dg SRPMK dan Balok Prategang pada lantai Atap
<b>TANGGAL PROPOSAL</b>	:
<b>NO. SP-MMTA</b>	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	23-3-2018	Preliminary design	Perhitungan struktur sekunder	<u>R. Alleday</u>
2	5-4-2018	Penulangan Plat lantai, balok anek	Permodelan SAP	<u>R. Alleday</u>
3	3-5-2018	Kontrol SAP		<u>R. Alleday</u>
4	11-5-2018	Cek Uspek		<u>R. Alleday</u>
5	4-6-2018	Tenda prategang	Pelajari konsep dasar prategang	<u>R. Alleday</u>
6	8-6-2018	Konsep dasar prategang Tenda prategang		<u>R. Alleday</u>
7	22-6-2018		Buatkan diagram momen envelope batas atas dan bawah	<u>R. Alleday</u>

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN**  
**PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR**  
**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS**

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN  
SEMINAR DAN LISAN  
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini Kamis tanggal 12 Juli 2018 jam 09.00 WIB telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000051	Muhammad Satrya Ageta	Desain Modifikasi Struktur Gedung Asrama Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) Sumatera Barat Menggunakan SRPMK Dan Balok Prategang Pada Lantai Atap

Dengan Hasil :

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan             | <input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan | <input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan             |

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

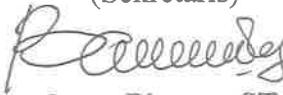
- Cek Cabut pd tang pancang .
- Jarak tulangan pelat & genapkan dan dicek hitungannya
- Pemutusan tulangan pd balok & betulkan
- Gbr & hitungan lengkap balok & perbaiki .
- Gbr angker mati di perbaiki .
- Gbr hal 2FO ~ 272 dipergesek
- Gbr 9 - 10 untuk peulangan pelat dipertahankan
- Jarak peulangan pelat dipertahankan

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Data Iranata, ST. MT. PhD	
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS	

Surabaya, 12 Juli 2018  
Dosen Pembimbing I  
(Ketua)

  
Endah Wahyuni, ST. MSc. PhD

Dosen Pembimbing 2  
(Sekretaris)

  
Bambang Piscesa, ST. MT

Dosen Pembimbing 3  
(Sekretaris)

# BORING LOG

PROJECT NAME : RETROFIT GEDUNG KANTOR GUBERNUR				LOCATION : JL. JENDRAL SUDIRMAN PADANG				GROUND LEVEL (GL) : - 0,30 m thd jl.kawasan.				GROUND WTR LEVEL : - 2,60 m. GL.				BOR No. : DB. 1				DRILLER : Alamsyah				DATE : 16 - 18 Maret. '09			
SCALE	DEPTH, M.	ELEVATION, M.	THICKNESS, M.	LOG SYMBOL	GENERAL SOIL DESCRIPTION				FIELD SAMPLING AND TESTING Depth Below Existing Ground Level in M.				STANDARD PENETRATION TEST														
1	0,60		0,60		Urugan . Lempung kelanaan, konsistensi sedang, coklat kemerahan.				N - 1				N - 2				N - 3				N - VALUE						
2	2,10		1,50		Lempung kelanaan/kepasiran, konsistensi sedang, abu-abu kekuningan dan hitam.				1				1,00 ~ 1,50				2				3						
3	3,60		2,10		Lanau kepasiran, konsistensi sangat teguh, abu-abu dan hitam bintik putih.				1				1,50 ~ 1,95				7										
4	4,20		1,50		Pasir kasar campur gravels, sedikit Lanau, padat, hitam bintik putih.				2				3,00 ~ 3,45				5				11						
5	5,50		1,50		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu kecoklatan campur kuning.				3				4,50 ~ 4,95				8				16						
6	7,00		1,50		Lanau kelempungan/kepasiran, konsistensi sedang, coklat kekuningan campur abu-abu .				4				6,00 ~ 6,45				5				8						
7	8,50		1,50		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu kekuningan bintik hitam coklat.				2				7,00 ~ 7,50				3				21						
8	10,30		1,50		Lanau kelempungan, konsistensi teguh, coklat gelap campur organic.				5				7,50 ~ 7,95				2				3						
9	12,00		1,50		Lanau kelempungan, konsistensi teguh, abu-abu kehitaman.				6				9,00 ~ 9,45				5				9						
10	13,40		1,40		Pasir bergradasi kasar kelanaan, padat, hitam bintik abu-abu dan kuning.				7				10,50 ~ 10,95				3				4						
11	14,60		1,20		Pasir bergradasi halus, sangat padat, mulai membantu, hitam.				8				12,00 ~ 12,45				3				5						
12	15,00		3,20		Lanau kelempungan, konsistensi keras, abu-abu kekuningan campur hitam.				9				13,50 ~ 13,95				8				14						
13	16,50		1,70		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				10				15,00 ~ 15,31				11				28						
14	18,00		1,70		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				11				16,50 ~ 16,66				32				5/1						
15	19,50		1,70		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				12				18,00 ~ 18,45				8				15						
16	22,00		2,50		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				13				19,50 ~ 19,95				4				7						
17	23,60		1,60		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				14				21,00 ~ 21,45				5				7						
18	25,20		1,50		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				15				22,50 ~ 22,95				3				5						
19	26,80		3,20		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				16				24,00 ~ 24,45				6				11						
20	28,40		2,05		Lanau kelempungan, konsistensi sangat teguh, abu-abu gelap campur coklat dan kuning.				17				25,50 ~ 25,95				5				10						
21	30,45				Akhir Boring : 30,45 m.GL.				18				27,00 ~ 27,45				6				11						
22									19				28,50 ~ 28,95				4				10						
23									20				30,00 ~ 30,45				5				12						
24																											
25																											
26																											
27																											
28																											
29																											
30																											
31																											
32																											
33																											



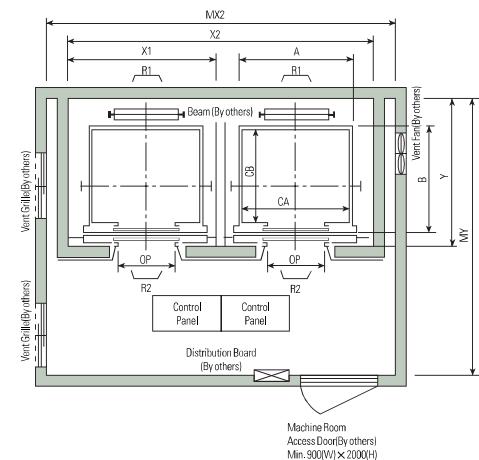
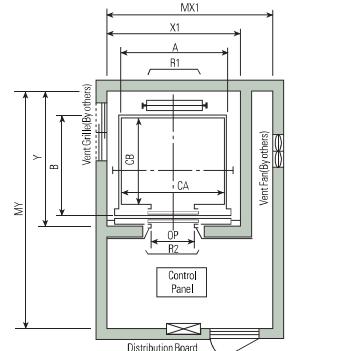
PT. INDECO PRIMA  
Investigation, Design Consultants

Thin Wall Tube Sample (TW)  
Standard Penetration Test (SPT).  
Core Sample

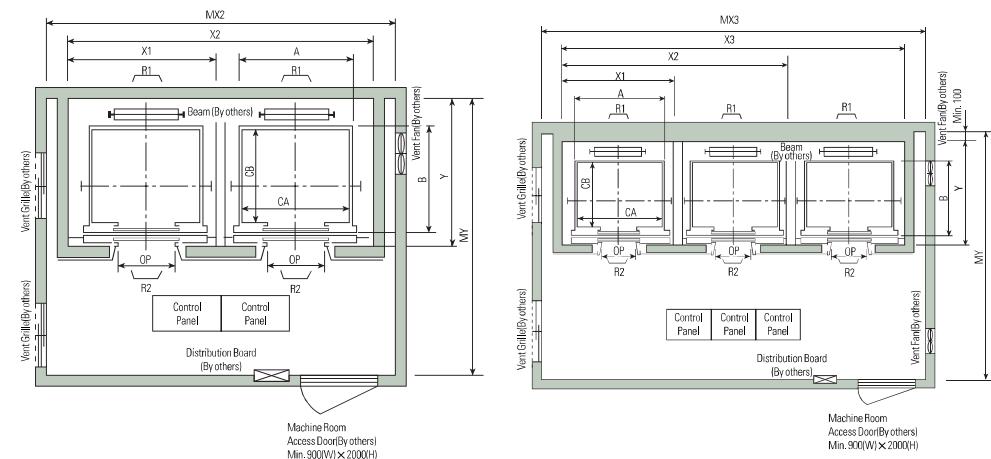
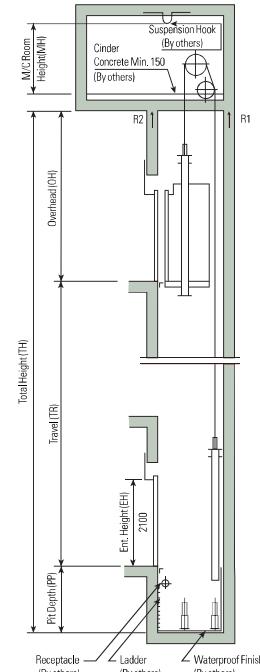
No. : 5448032009  
Fig. :

## Layout Plan – Geared Elevators 1~1.75m/sec

### Plan of Hoistway & Machine Room



### Section of Hoistway



### Standard Dimensions & Reactions

Speed (m/sec)	Capacity		Clear Opening	Car		Hoistway				M/C Room			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)		
				Internal	External	1Car	2Cars	3Cars	Depth	1Car	2Cars	3Cars	Depth	MY	R1	R2	R3
	Persons	kg	OP	CA × CB	A × B	X1	X2	X3	Y	MX1	MX2	MX3	MY	R1	R2	R3	R4
1	6	450	800	1400×850	1460×1005	1800	3700	5600	1430	2000	4000	6000	3200	3600	2000	5200	4300
	8	550	800	1400×1030	1460×1185	1800	3700	5600	1610	2000	4000	6000	3400	4050	2250	5800	4700
	9	600	800	1400×1130	1460×1285	1800	3700	5600	1710	2000	4000	6000	3500	4100	2450	6100	4900
	10	700	800	1400×1250	1460×1405	1800	3700	5600	1830	2000	4000	6000	3600	4200	2700	6600	5200
	11	750	800	1400×1350	1460×1505	1800	3700	5600	1930	2000	4000	6000	3700	4550	2800	6900	5400
	13	900	900	1600×1350	1660×1505	2050	4200	6350	1980	2300	4400	6800	3750	5100	3750	7900	6100
1.5	15	1000	900	1600×1500	1660×1655	2050	4200	6350	2130	2300	4400	6800	3850	5450	4300	8400	6400
	17	1150	1000	1800×1500	1900×1670	2350	4800	7250	2180	2600	4900	7500	3900	6600	5100	10800	8500
1.75	17	1100	2000×1350	2100×1520	2550	5200	7850	2030	2800	5250	8300	3800	4000	7800	6000	11800	9100
	20	1350	1000	1800×1700	1900×1870	2350	4800	7250	2380	2600	4900	7500	4200				
24	1600	1100	2000×1750	2100×1920	2550	5200	7850	2430	2900	5400	8300	4300	4200	8500	6800	13100	9900
			2150×1600	2250×1770	2700	5500	8300	2280	3000	5550	8700						

**Notes:** 1. Above hoistway dimensions are based on 15-story buildings. For application to over 15-story buildings, the hoistway dimensions shall be at least 5% larger considering the sloping of the hoistways.

2. Above dimensions are based on center opening doors. For applicable dimensions with side opening doors, consult Hyundai.

3. When non-standard capacities and dimensions are required to meet the local code, consult Hyundai.

4. The capacity in persons is calculated at 65kg/person, (EN81-75kg/person)

5. Above dimensions are applied in case the door is standard. In case fire protection door that the clear opening is over 1000mm is applied, hoistway size for 1 car should be applied above X1 dimension plus 100mm.

Speed (m/sec)	Overhead (OH)	Pit (PP)	M/C Room Height (MH)	
			1	1.5
1	4600	1500	2200	
1.5	4800	1800	2400	
1.75	5000	2100	2400	

**Notes:** 1. The minimum hoistway dimensions are shown on the above table. Therefore, some allowances should be made considering the sloping of the hoistways.

2. Machine room temperature should be maintained below 40°C with ventilating fan and/or air conditioner (if necessary) and humidity below 90%.

3. The minimum machine room height should be 2800mm in case of the traction machine with double isolation pad.

# Prestressing steel

The table below gives the main characteristics of the most common strands which may be used with the C range:

Standard	Nominal tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Nominal diameter mm	Nominal steel area mm <sup>2</sup>	Nominal mass kg/m	Minimum breaking strength kN	Proof stress at 0.1% kN	Maximum initial force*		
							Eurocode 2	French code BPEL 91	AASHTO 96 Code
pr EN 10138-3	1 770	16	150	1 170	265	228	191.25	205.2	185.5 (41 700 lbf)
	1 860	16	150	1 170	279	240	201.45	216	195.3 (43 903 lbf)
BS 5896 1980	1 770	15.7	150	1 180	265	225	191.25	202.5	185.5 (41 700 lbf)
	1 820**	15.2	165	1 295	300	255	216.75	229.5	210 (47 208 lbf)
ASTM A 416-96a	1 860	15.24	140	1 102	260.7	234.6	195.50	208.5	182.5
	(270 ksi)	(0.6 in)	(0.217 in <sup>2</sup> )	(0.74 lb/ft)	(58 600 lbf)	(52 740 lbf)	(43 950 lbf)	(46 870 lbf)	(41 026 lbf)

\* The maximum initial force is

- the prestressing force after transfer from the jack to the tendon after:

- Eurocode 2 (the smaller of 0.75 f<sub>pk</sub> and 0.85 f<sub>p0.1k</sub>),
- AASHTO code (0.7 f<sub>p0.1k</sub>).

- the stressing force after:

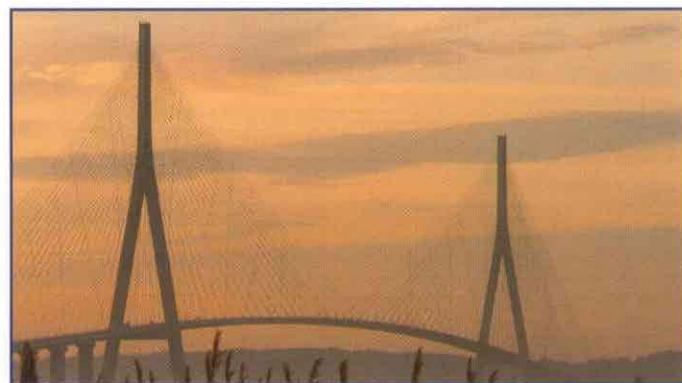
- French code BPEL (the smaller of 0.8 f<sub>pk</sub> and 0.9 f<sub>p0.1k</sub>).

- the characteristic elongation at maximum load

for all strands is > 3.5 %,

- the maximum relaxation at 1 000 hours under 0.7 f<sub>pk</sub> for all strands < 2.5 %.

\*\* Drawn strand.



## C Range Tendon Schedule

Tendon size number of strands	Type of strand											
	pr EN and BS* 1 770 grade			pr EN 10138-3 1 860 grade			BS 5896-80 1 820 grade, drawn strand			ASTM A-416-96 0.6" 270 grade		
	steel area mm <sup>2</sup>	mass* kg/m	UTS kN	steel area mm <sup>2</sup>	mass kg/m	UTS kN	steel area mm <sup>2</sup>	mass kg/m	UTS kN	steel area mm <sup>2</sup>	mass kg/m	UTS kN
3	450	3.54	795	450	3.54	837	495	3.89	900	420	3.306	782
4	600	4.72	1 060	600	4.72	1 116	660	5.18	1 200	560	4.41	1 043
7	1 050	8.26	1 855	1 050	8.26	1 953	1 155	9.07	2 100	980	7.71	1 825
9	1 350	10.62	2 385	1 350	10.62	2 511	1 485	11.66	2 700	1 260	9.92	2 346
12	1 800	14.16	3 180	1 800	14.16	3 348	1 980	15.54	3 600	1 680	13.22	3 128
13	1 950	15.34	3 445	1 950	15.34	3 627	2 145	16.84	3 900	1 820	14.33	3 389
19	2 850	22.42	5 035	2 850	22.42	5 301	3 135	24.61	5 700	2 660	20.94	4 953
22	3 300	25.96	5 830	3 300	25.96	6 138	3 630	28.49	6 600	3 080	24.24	5 735
25	3 750	29.5	6 625	3 750	29.5	6 975	4 125	32.38	7 500	3 500	27.55	6 518
27	4 050	31.86	7 155	4 050	31.86	7 533	4 455	34.97	8 100	3 780	29.75	7 039
31	4 650	36.58	8 215	4 650	36.58	8 649	5 115	40.15	9 300	4 340	34.16	8 082
37	5 550	43.66	9 805	5 550	43.66	10 323	6 105	47.92	11 100	5 180	40.77	9 646
55	8 250	64.9	14 575	8 250	64.9	15 345	9 075	71.23	16 500	7 700	60.61	14 339

\*Masses given correspond to BS 5896-80. For prEN multiply by 0.991.

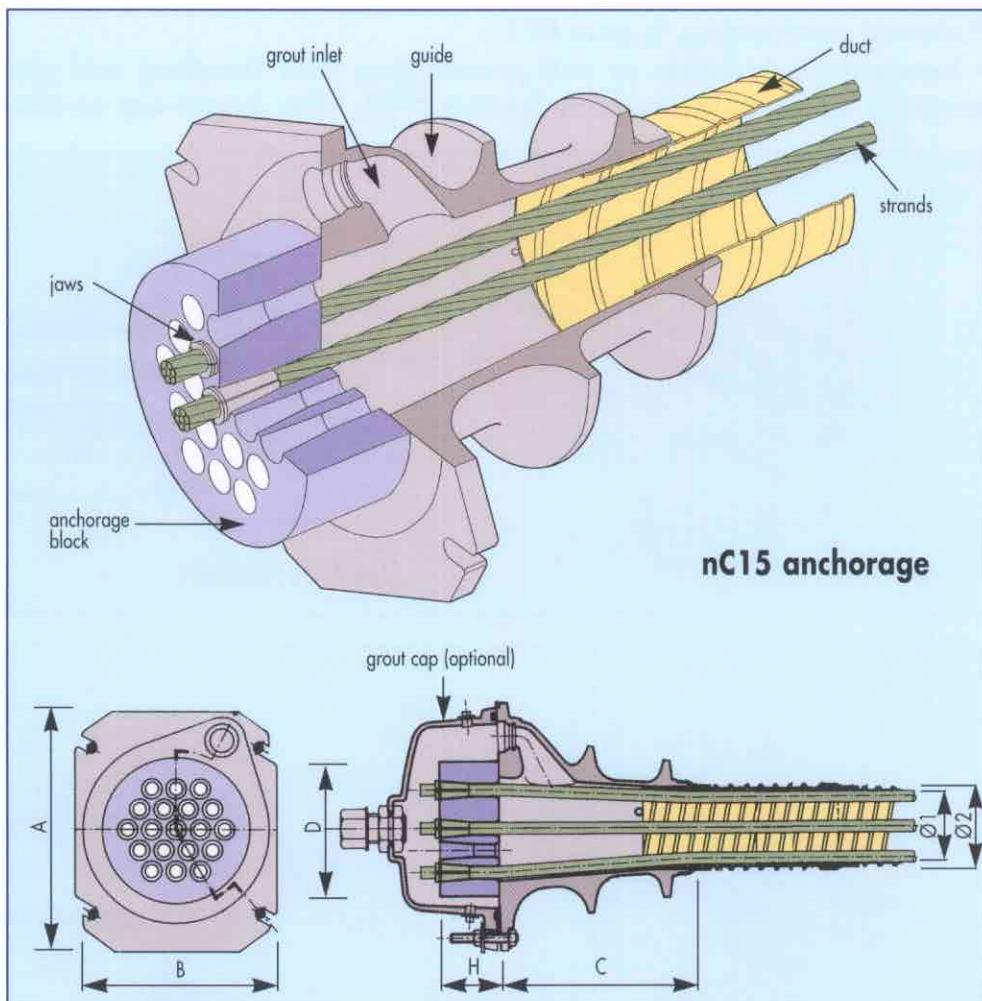
# Active anchorages for the C range system

## Used for :

- Internal prestressing with grout, grease or wax protection;
- Partially bonded external prestressing with grout protection (non replaceable);
- Unbonded external prestressing, grease or wax injected.

## ■ Range of anchorages

	3C15*
	4C15*
	7C15
	9C15*
	12C15*
	13C15
	19C15
	22C15*
	25C15
	25C15P*
	27C15*
	31C15
	37C15
	55C15



Size	A	B	C	D	H	Ø1*	Ø2**
3C15	150	110	120	85	50	40	45
4C15	150	120	125	95	50	45	50
7C15	180	150	186	110	55	60	65
9C15	225	185	260	150	55	65	70
12C15	240	200	165	150	65	80	85
13C15	250	210	246	160	70	80	85
19C15	300	250	256	185	80	95	100
22C15	330	275	430	220	90	105	110
25C15	360	300	400	230	95	110	115
25C15P	350	290	360	220	95	110	115
27C15	350	290	360	220	100	115	120
31C15	385	320	346	230	105	120	125
37C15	420	350	466	255	110	130	135
55C15	510	420	516	300	145	160	165

\*Distribution of strands in the anchorage with no central strand.  
See page 18 for selecting the stressing jack accordingly.

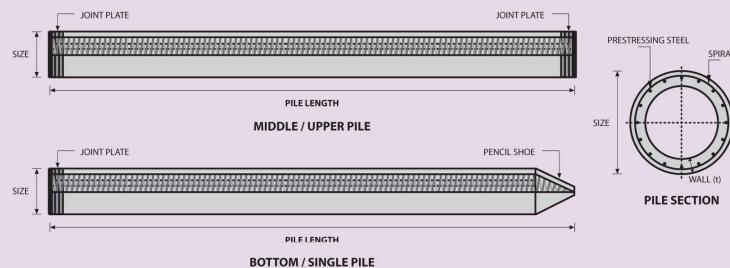
All dimensions in mm.

\* Thickness of sheath to be checked against applicable regulation.

\*\*Sheath connection sleeve.

\* and \*\* Minimum recommended dimensions.

## PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



## PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength  $f_c' = 52 \text{ MPa}$  (Cube 600 kg/cm<sup>3</sup>)

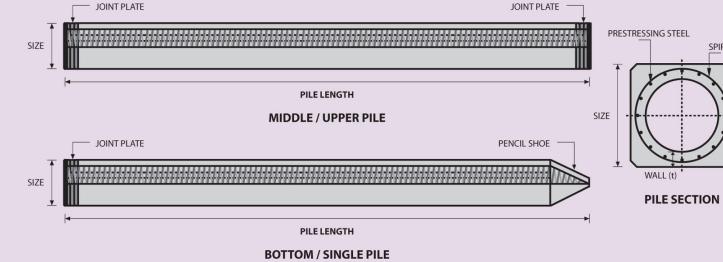
Size (mm)	Thickness Wall (t) (mm)	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Section Inertia (cm <sup>4</sup> )	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment	Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86
					B	3.50	6.30	67.50	41.96
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50
					B	5.00	9.00	86.40	49.93
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51
					B	7.50	13.50	114.40	70.27
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	15.00	27.00	174.90	94.13
					A2	17.00	34.00	169.00	122.04
					C	25.00	30.00	134.90	100.45
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	17.00	25.50	252.70	70.52
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94
1000***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	25.00	45.00	238.30	131.10
					A2	29.00	58.00	229.50	163.67
					C	65.00	130.00	368.17	290.82
1200***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	75.00	112.50	613.52	169.81
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19
1400***	160	6,188.01	11,368.85	1,437	A1	105.00	189.00	575.33	311.26
					A2	120.00	240.00	555.23	385.70
					C	170.00	306.00	751.90	409.60
1600***	170	7,428.01	13,718.85	1,637	A1	120.00	180.00	802.80	221.30
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00
1800***	180	8,668.01	16,068.85	1,837	A1	170.00	306.00	751.90	409.60
					A2	190.00	336.00	771.50	432.20
					C	200.00	400.00	721.50	522.20

Note : \*) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

\*\*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

\*\*\*) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

## PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES



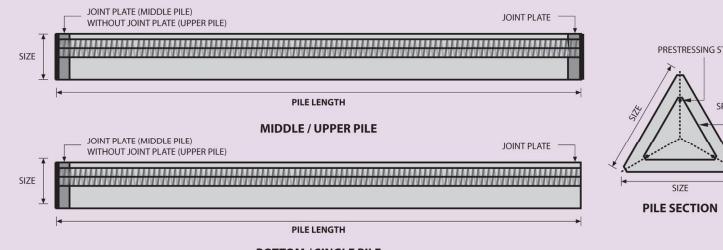
## PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength  $f_c' = 52 \text{ MPa}$  (Cube 600 kg/cm<sup>3</sup>)

Size (mm)	Thickness Wall (t) (mm)	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Section Inertia (cm <sup>4</sup> )	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment	Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile * (m)
						Crack * (ton.m)			
400 X 400	75	1109.13	194,159	277	A2	6.50	10.00	182.63	38.00
					A3	8.00	12.00	180.62	45.30
					B	10.00	18.00	173.15	63.15
					C	11.00	22.00	169.49	91.70
450 X 450	80	1364.48	307,000	341	A1	8.50	12.50	227.01	38.20
					A2	11.00	17.00	222.95	52.90
					A3	13.00	20.90	219.05	67.10
					B	13.50	24.00	215.32	80.90
500 X 500	90	1,714.48	415,000	407	A1	9.00	14.00	245.00	45.30
					A2	11.00	18.00	240.00	63.15
					A3	13.00	22.00	235.00	91.70
					C	14.00	26.00	230.00	114.00

Note : \*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

## PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES

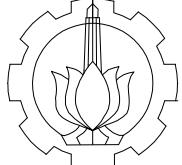


## PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength  $f_c' = 42 \text{ MPa}$  (Cube 500 kg/cm<sup>3</sup>)

Size (mm)	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Section Inertia (cm <sup>4</sup> )	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment	Allowable Compression (ton)	Length of Pile * (m)
					Crack * (ton.m)		
280	318.7	9,080.50	79.7	A	0.66	0.92	42.26
				B	0.90	1.77	39.50
320	422.6	16,188.90	105.7	A	0.89	1.11	57.02
				B	1.20	2.15	54.10

Note : \*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

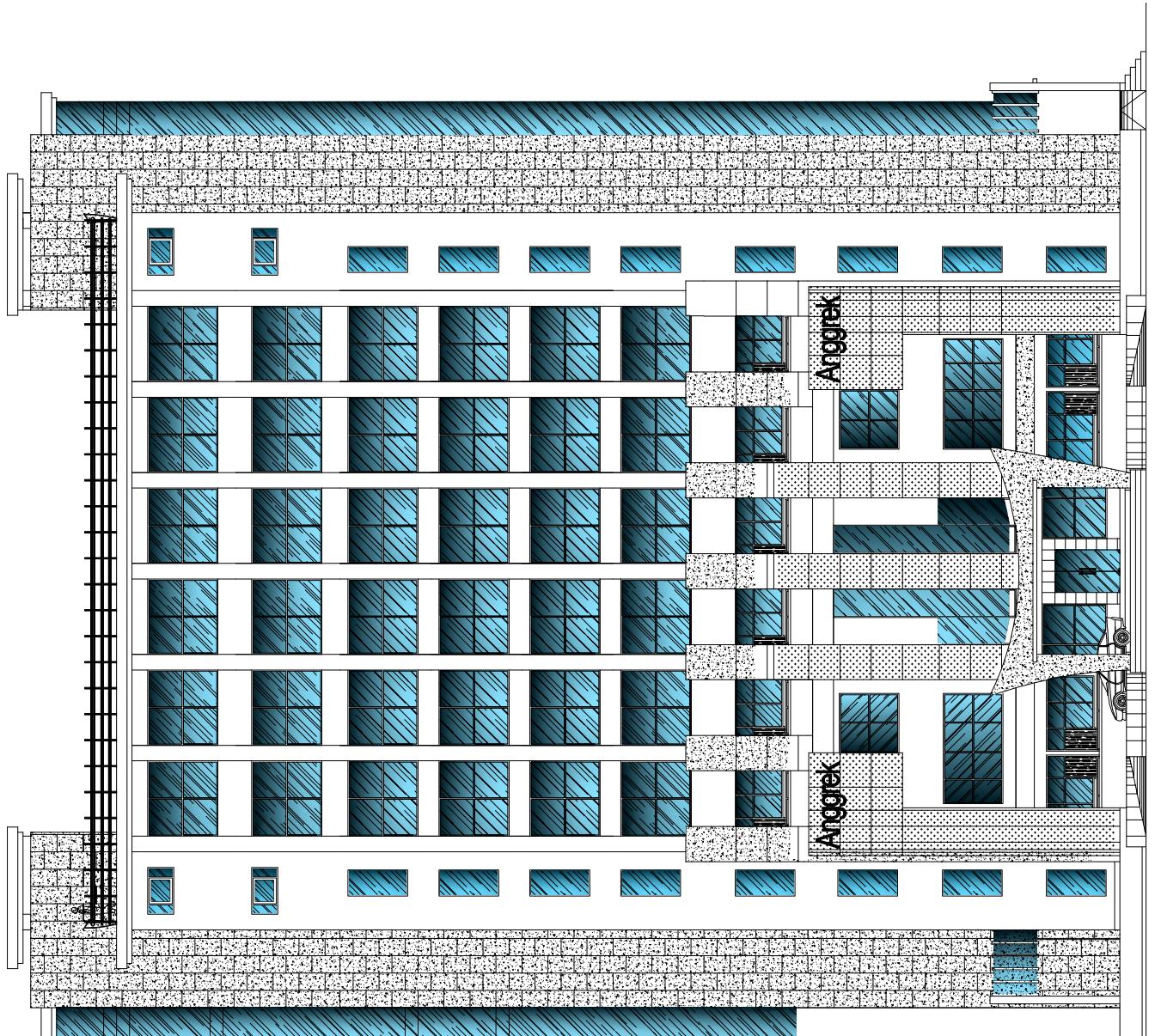
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

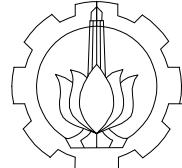
NAMA GAMBAR SKALA

1. TAMPAK DEPAN 1: 250

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

ARS 1 9





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

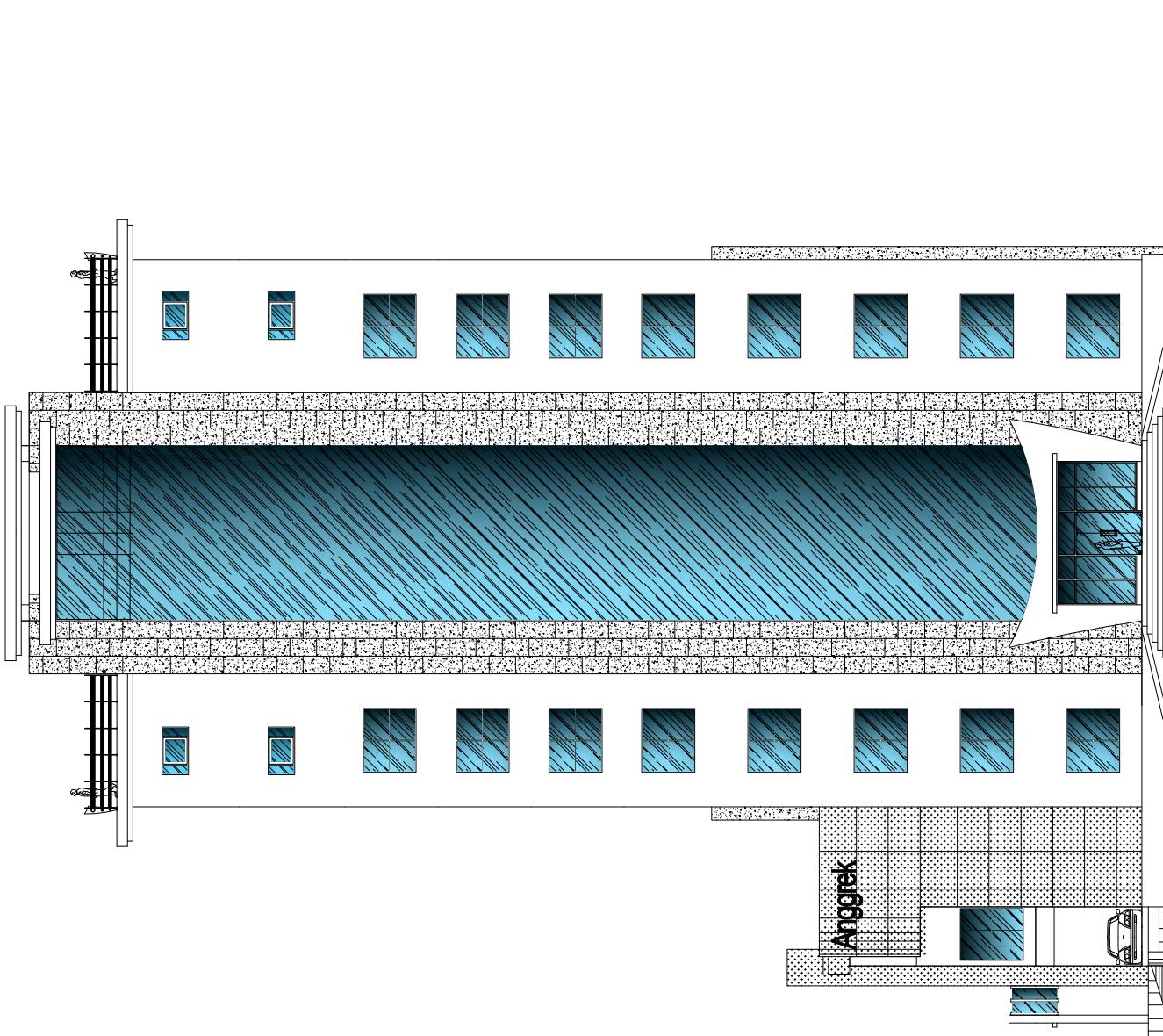
Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

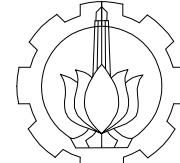
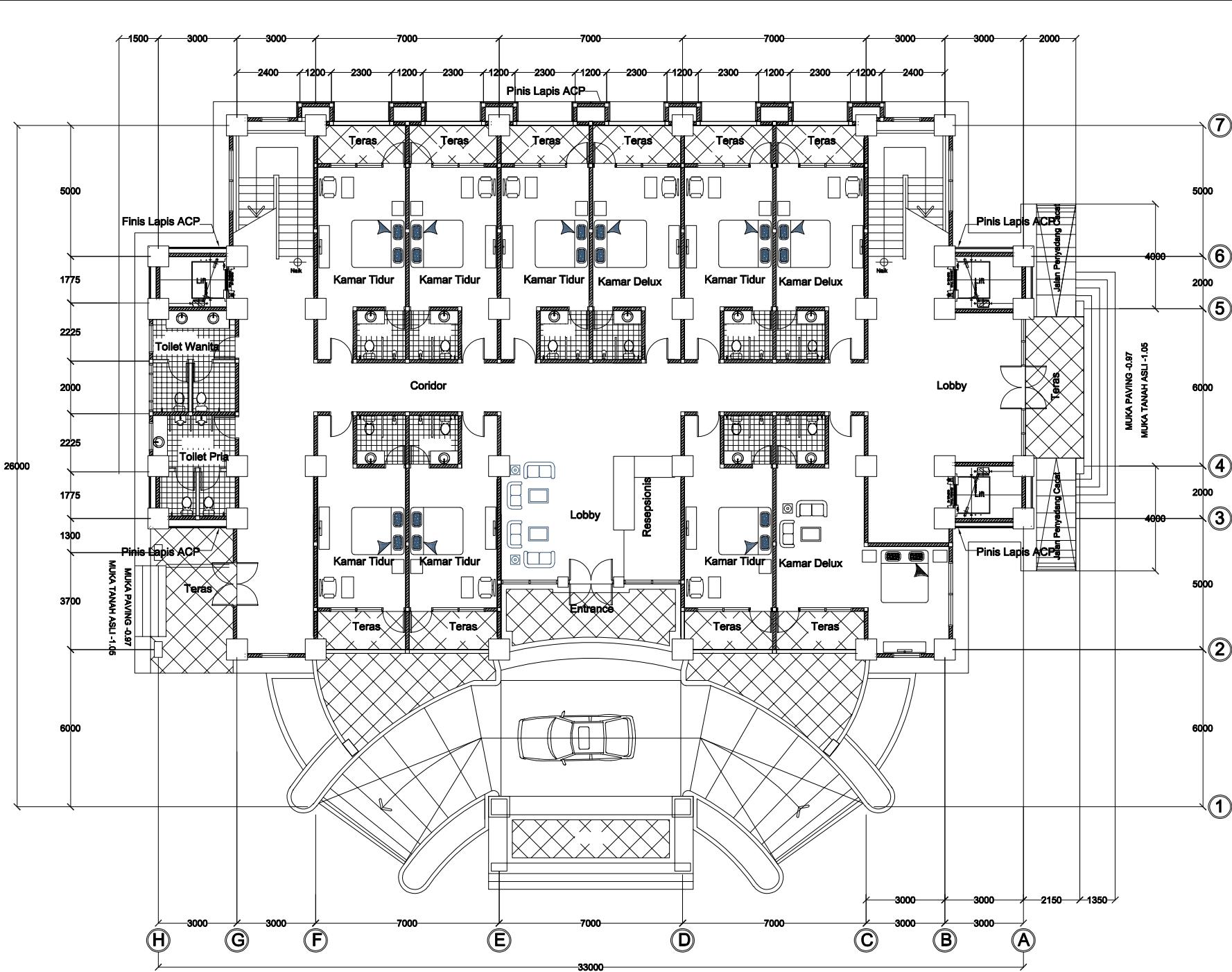
Tampak Samping Kanan  
Skala 1 : 250



1. TAMPAK SAMPING KANAN	1: 250
-------------------------	--------

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

ARS	2	9
-----	---	---



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

## KETERANGAN

---

REVISI

## JUDUL TUGAS AKHIR

## DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

## FUNGSI BANGUNAN

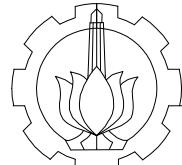
## APARTEMEN

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT..PhD

NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA	
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
1. DENAH LANTAI 1		1: 200
ARS	3	9



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

##### APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

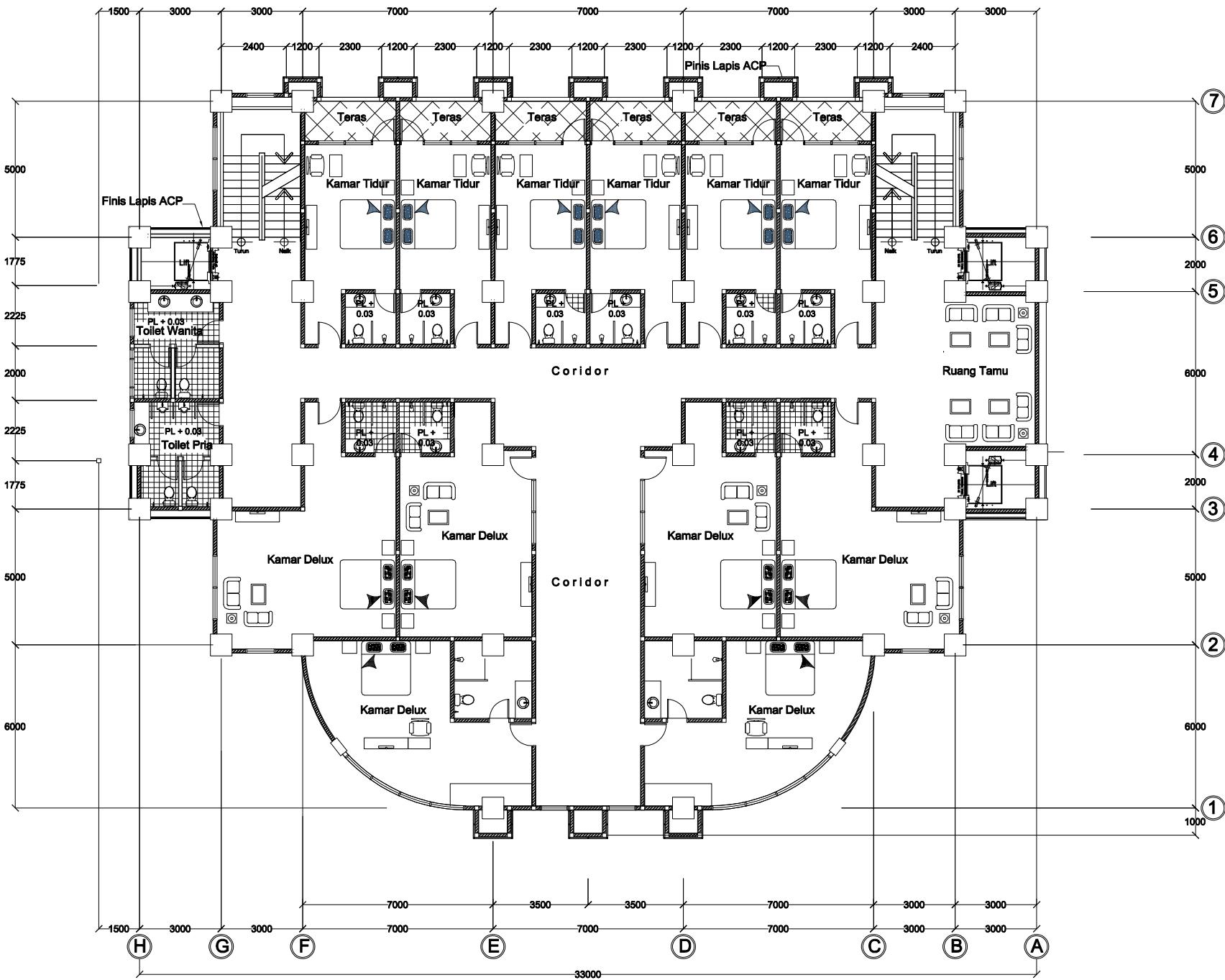
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

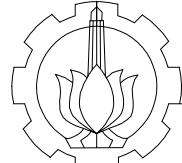
NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. DENAH LANTAI 2-3 1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

ARS 4 9





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

##### APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

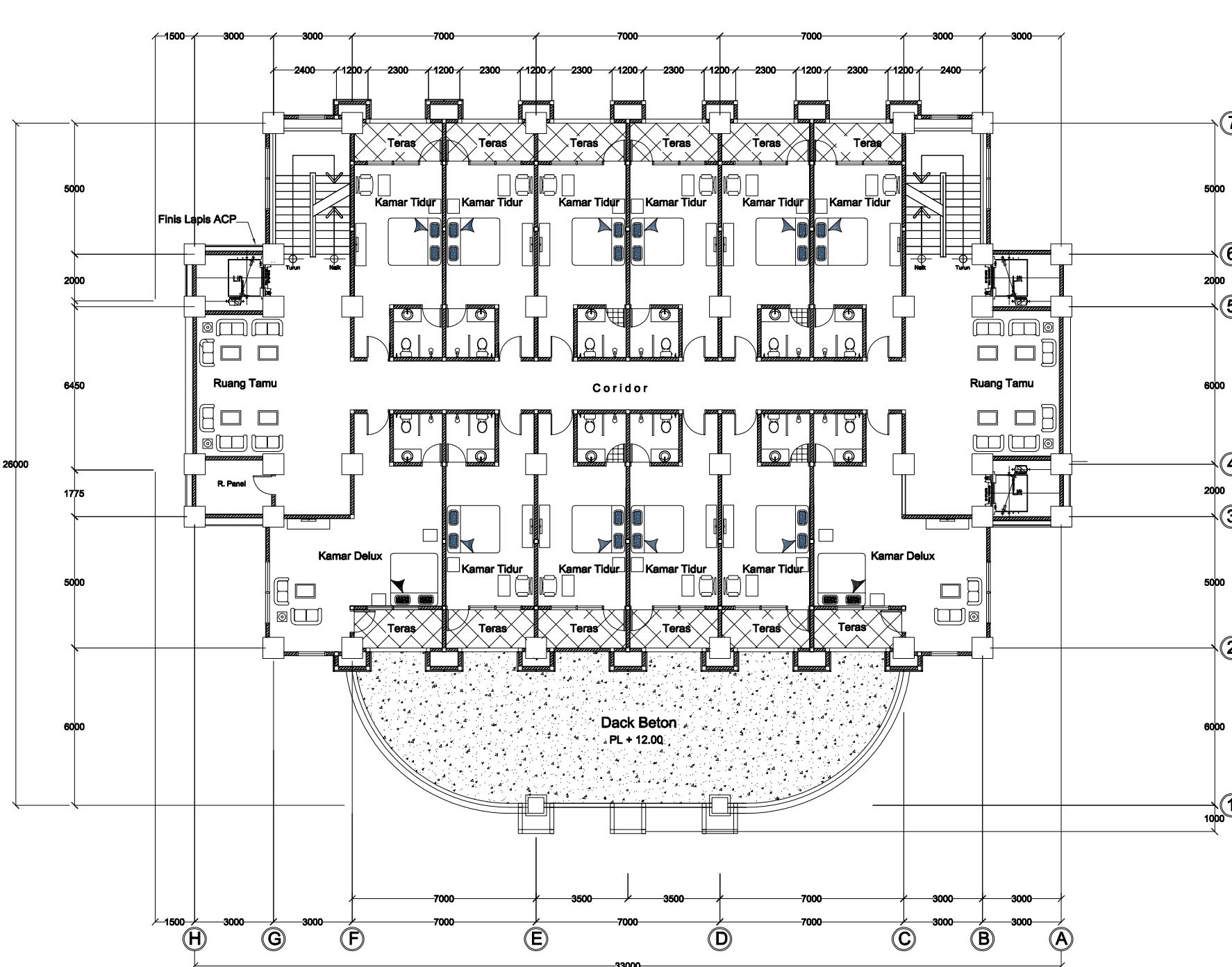
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

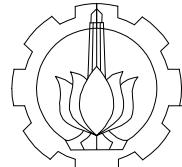
NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. DENAH LANTAI 4 1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

ARS 5 9





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

##### APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

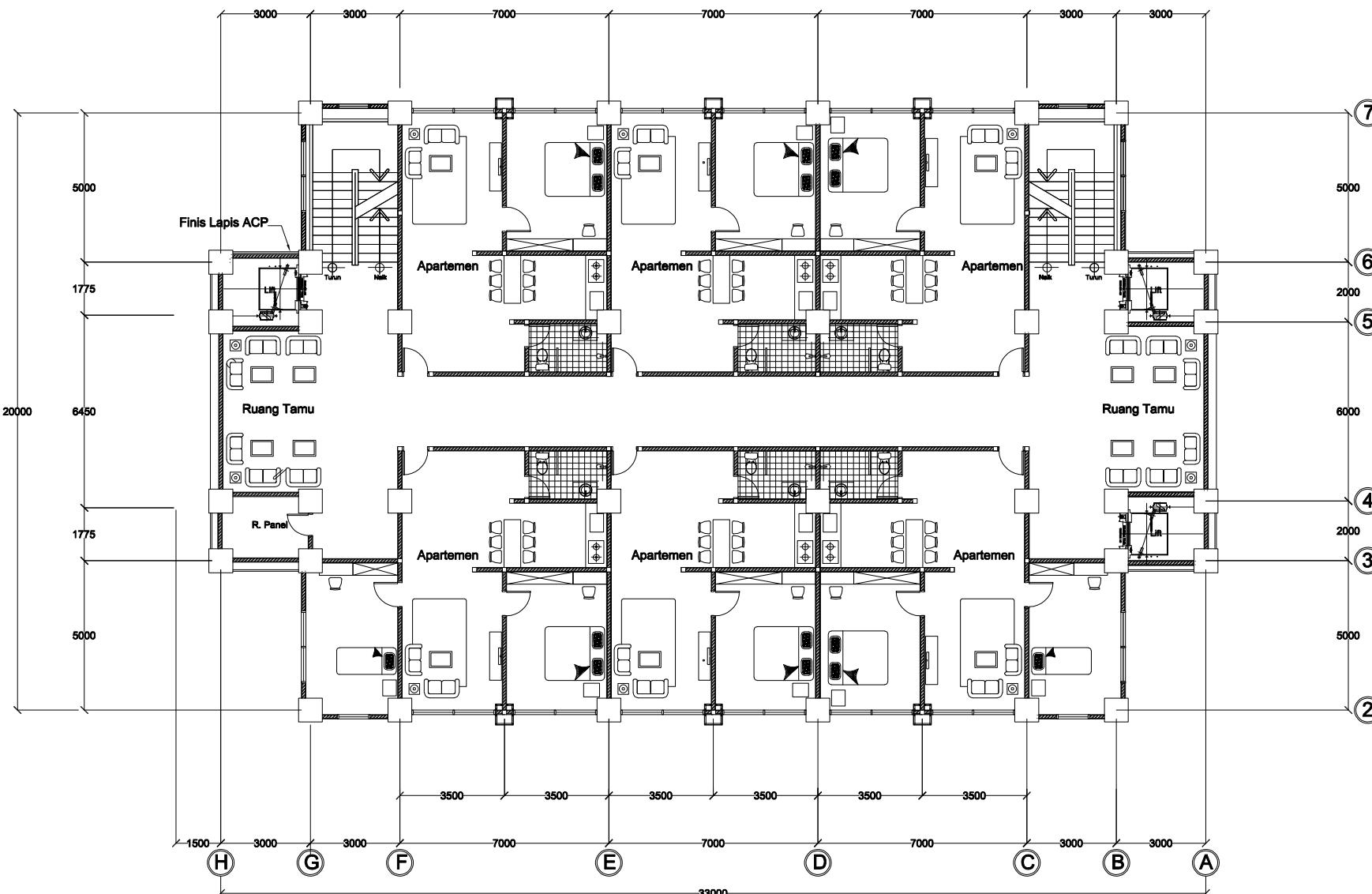
Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

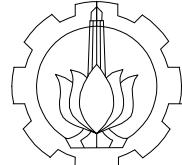
#### NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
1. DENAH LANTAI 5-8	1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
ARS	6	9





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

##### APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

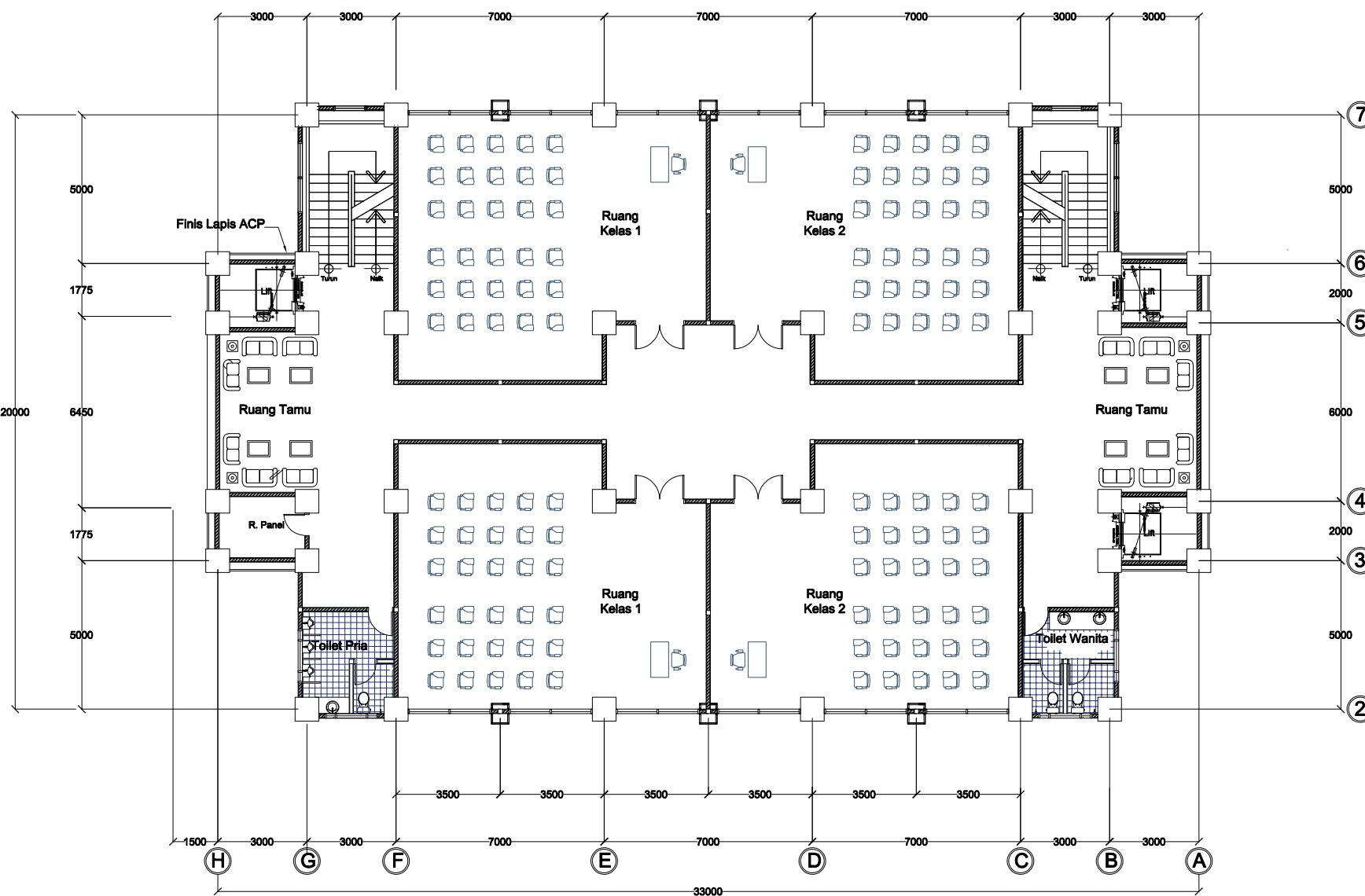
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

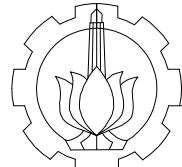
NAMA GAMBAR	SKALA

1. DENAH LANTAI 9 1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR

ARS 7 9





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

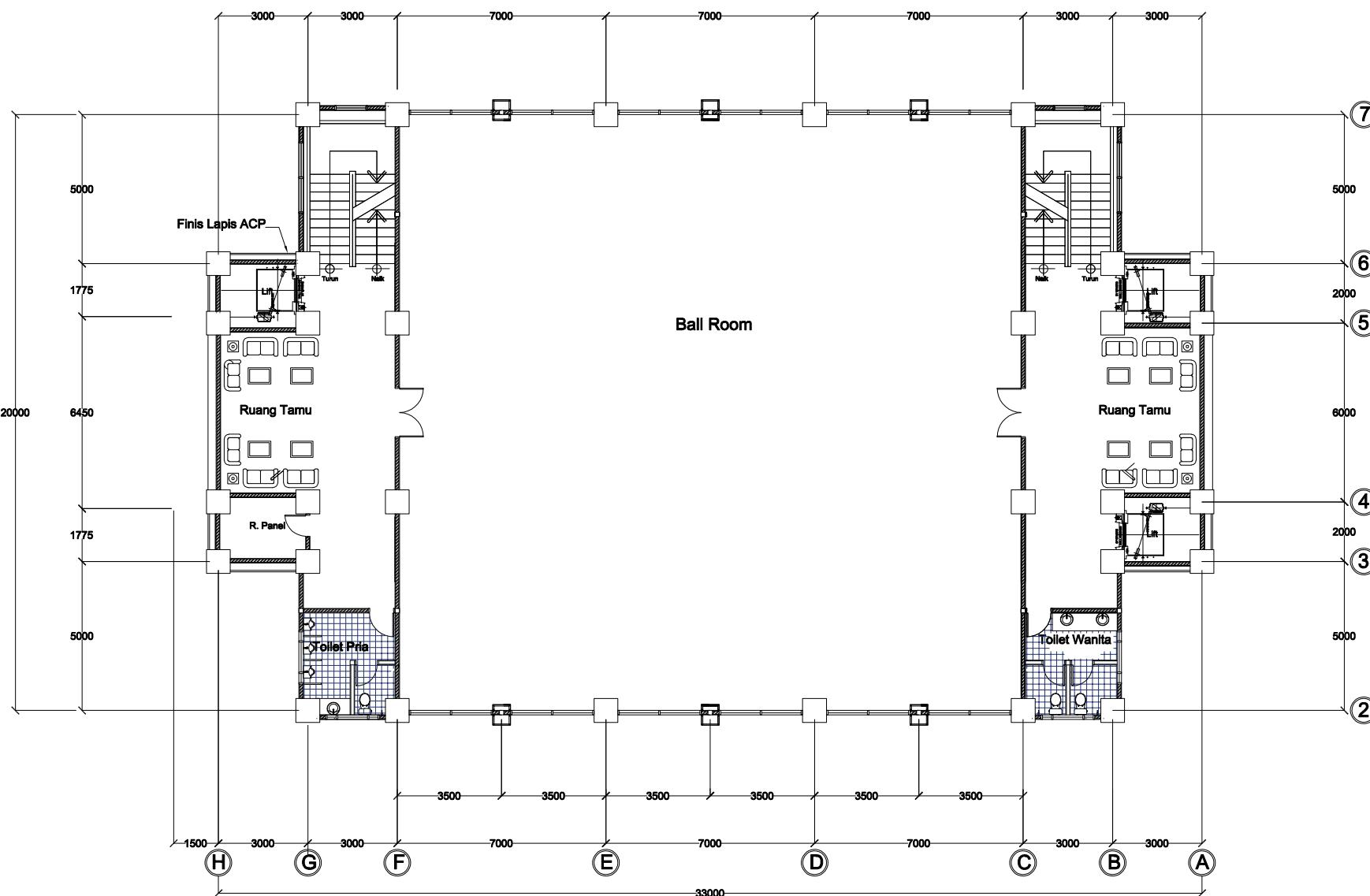
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

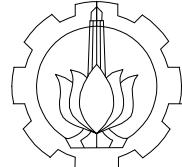
NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. DENAH LANTAI 10 1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

ARS	8	9
-----	---	---





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

#### APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

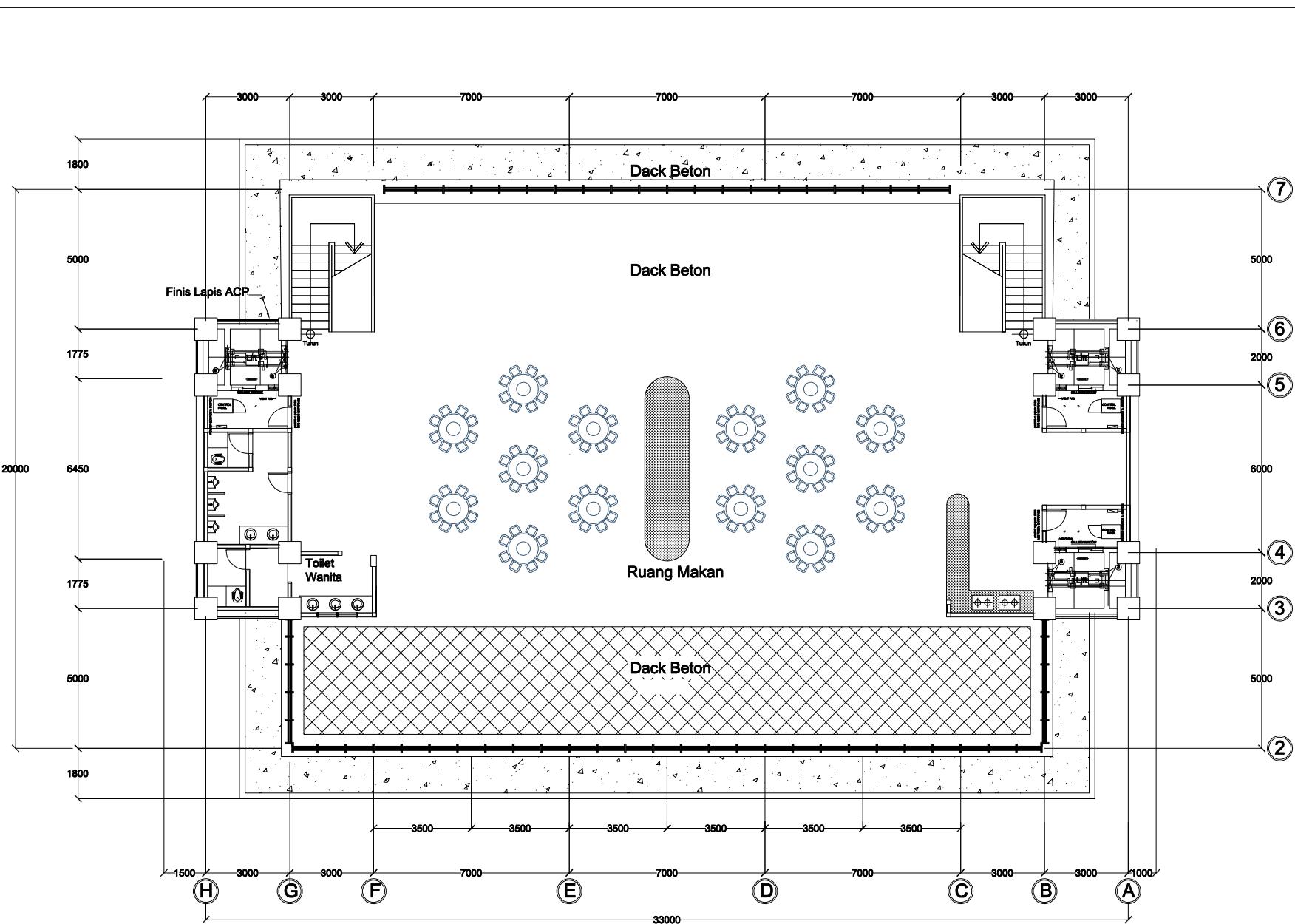
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

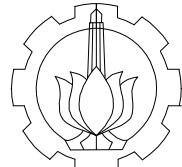
NAMA GAMBAR	SKALA

1. DENAH LANTAI ATAP 1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR

ARS	9	9
-----	---	---





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

1. Potongan Struktur A-A 1: 250

KOLON TYPE	SIZE
K1(L=1-8)	80x100
K2(L=9-10)	80x100

KODE GAMBAR NO. LMBR JML.LEMBAR

STR 1 28

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

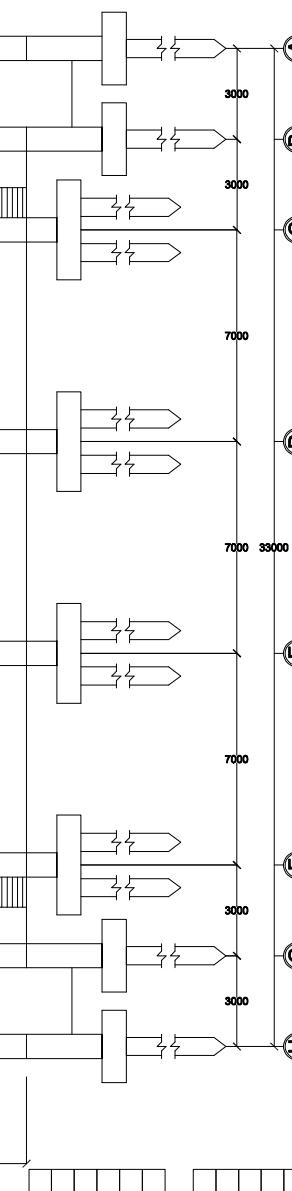
V

W

X

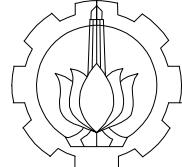
Y

Z



PELAT	T = 120	
	A1(4MM)	B1(2MM)
B1 = BALOK INDUK 1	400x100	300x400
B2 = BALOK INDUK 2		300x400
B3 = BALOK ANK 1	300x400	
B4 = BALOK ANK 2	200x200	300x400
B5 = BALOK LIFT		200x200
B6 = BALOK Bordes		

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML.LEMBAR
STR	1	28



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

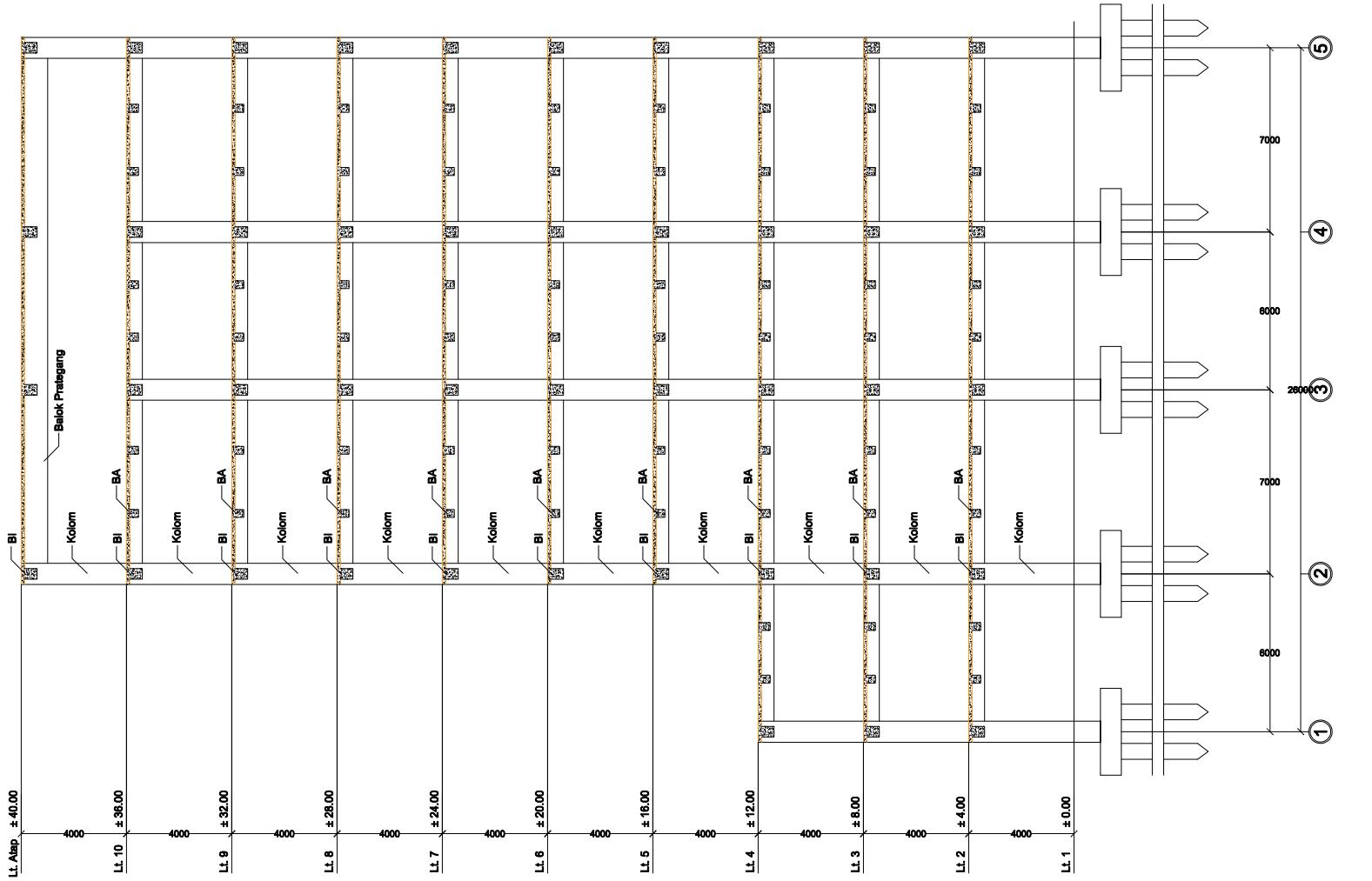
#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
1. Potongan Struktur B-B	1: 250



POTONGAN STRUKTUR B - B

Skala

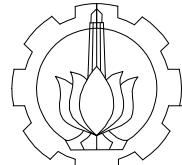
1 : 250

PELAT	
A(1x1m)	T = 12
B(2x2m)	T = 12
C(2x2m)	T = 12
D(2x2m)	T = 12
TMCSA	T = 12

BALOK	
BI = BALOK INDUK 1	400 x 600
BI 2 = BALOK INDUK 2	300 x 400
BA = BALOK ANAK 1	300 x 400
BA 1 = BALOK ANAK 2	200 x 200
BA 2 = BALOK LIFT	300 x 400
BB = BALOK Bordes	200 x 200

KOLOM TYPE	
K1 (Lt.1-5)	80 x 800
K2 (Lt.6-10)	80 x 800

STR	2	28
-----	---	----



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

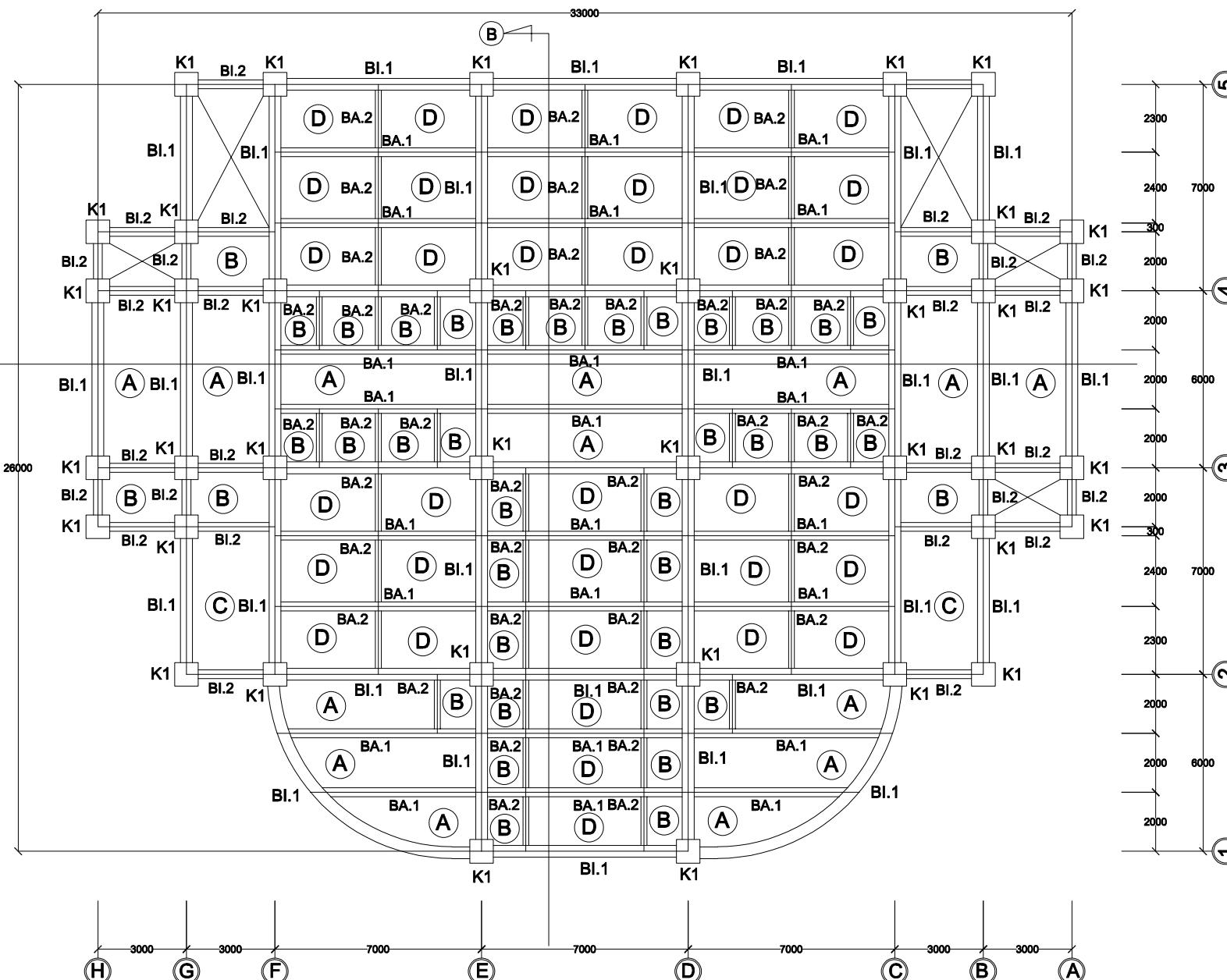
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

1. DENAH STRUKTUR LANTAI 2-3 1: 200

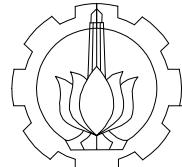
KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

STR 3 28



DENAH STRUKTUR LANTAI 2-3

1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

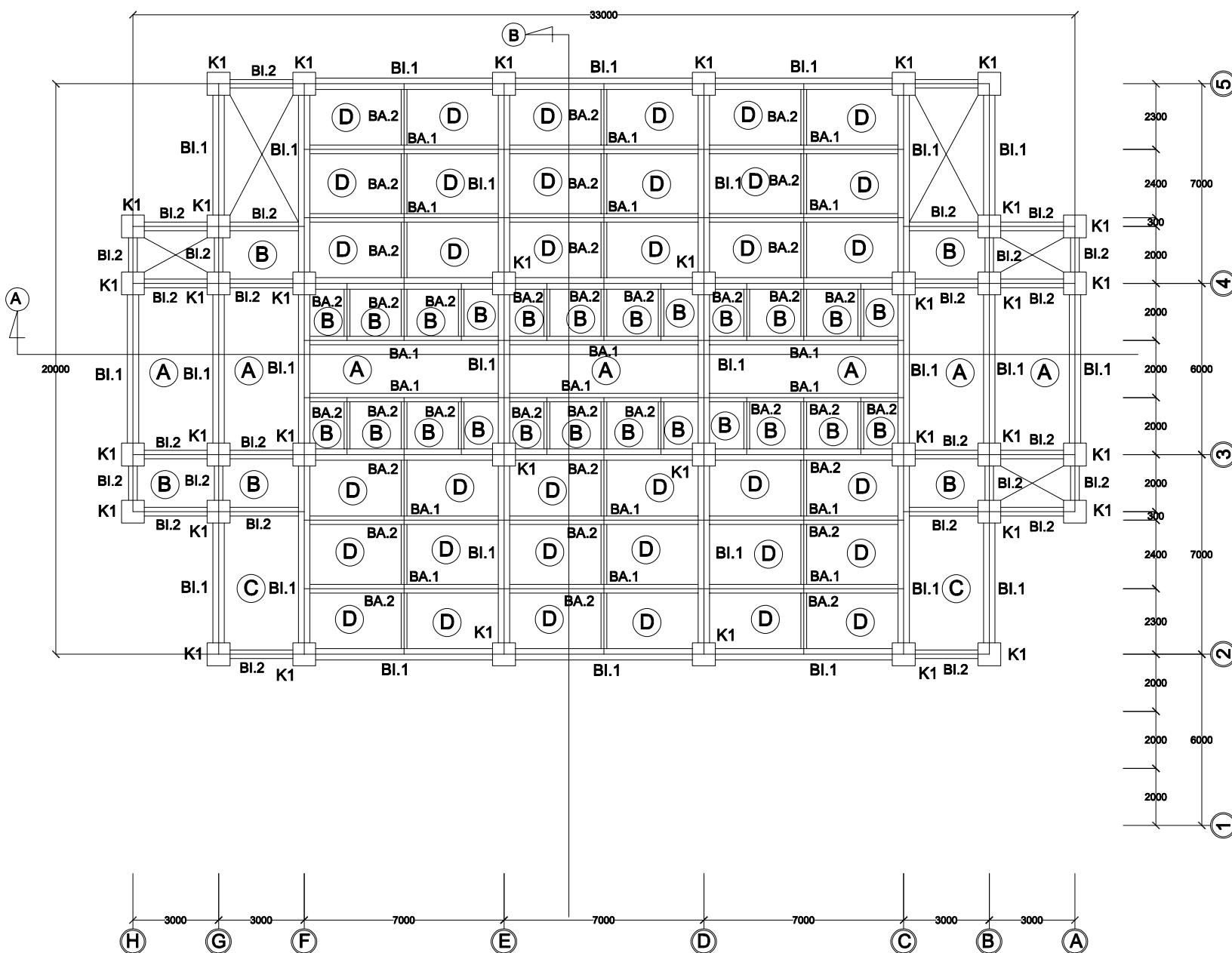
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

1. DENAH STRUKTUR LANTAI 4 1: 200

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

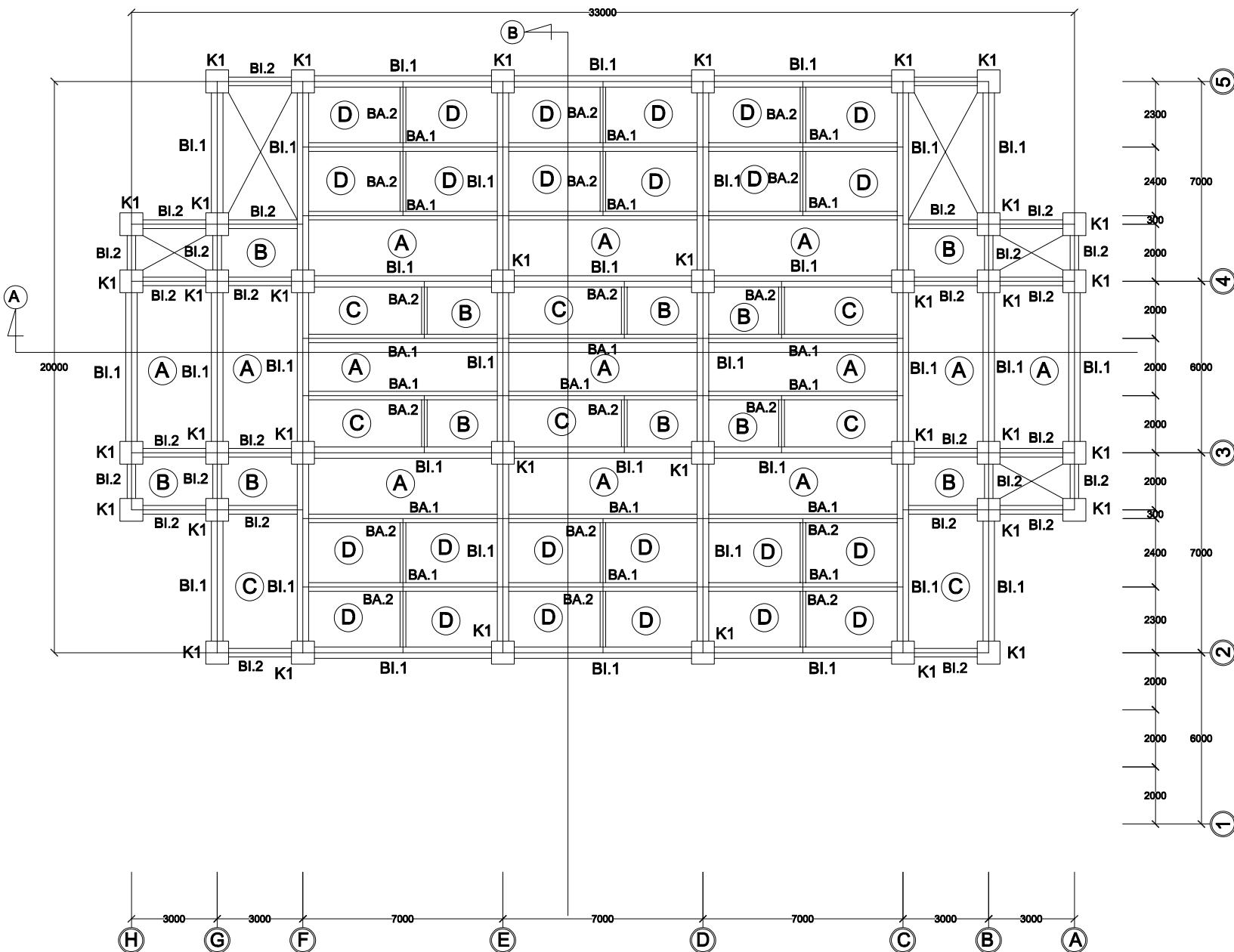
STR 4 28



DENAH STRUKTUR LANTAI 4

Skala

1 : 200

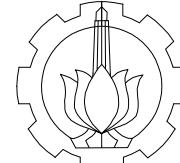


## DENAH STRUKTUR LANTAI 5-8

---

Skala

1:200



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

## KETERANGAN

---

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

## DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

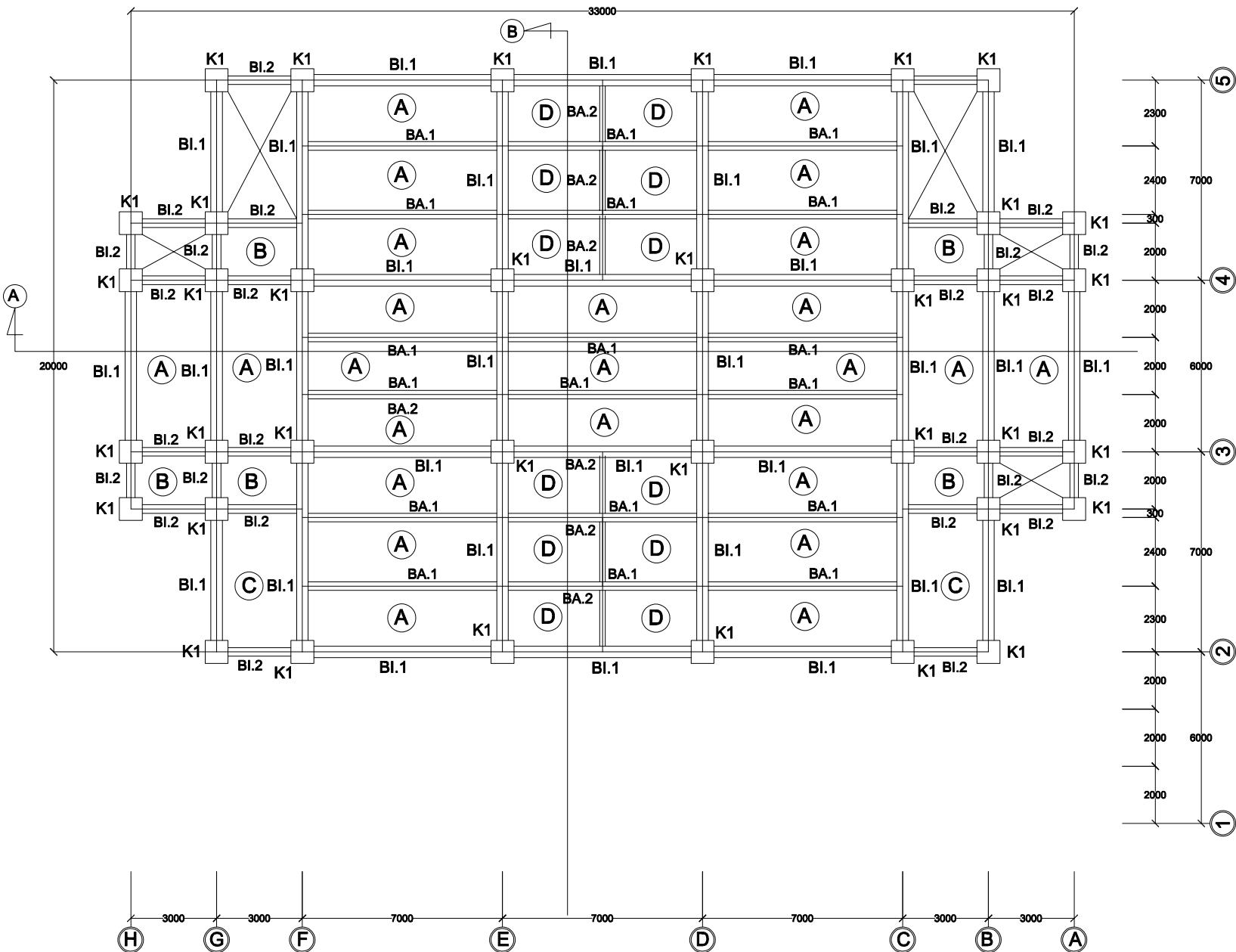
APARTEMEN

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA	
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
1. DENAH STRUKTUR LANTAI 5-8	1: 200	
STR	5	28

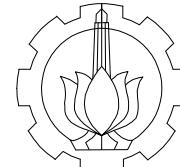


## DENAH STRUKTUR LANTAI 9

---

Skala

1:200



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

## KETERANGAN

---

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

## DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

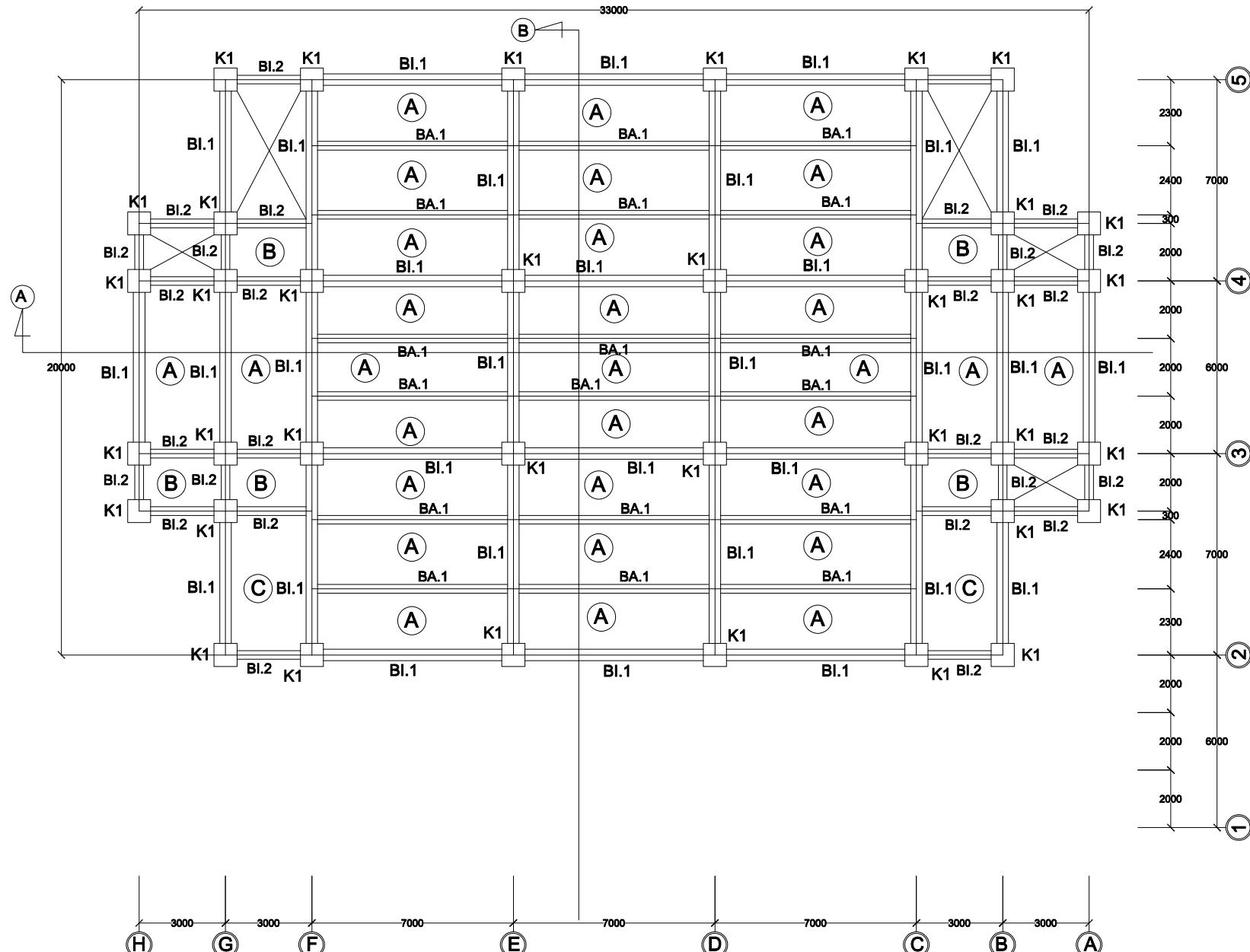
DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA	
1. DENAH STRUKTUR LANTAI 9	1: 200	
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
STR	6	28

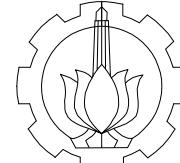


DENAH STRUKTUR LANTAI 10

---

Skala

1:200



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

## KETERANGAN

---

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

## DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

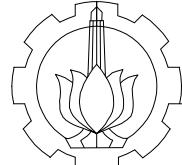
APARTEMEN

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA	
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
1. DENAH STRUKTUR LANTAI 10		1: 200
STR	7	28



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

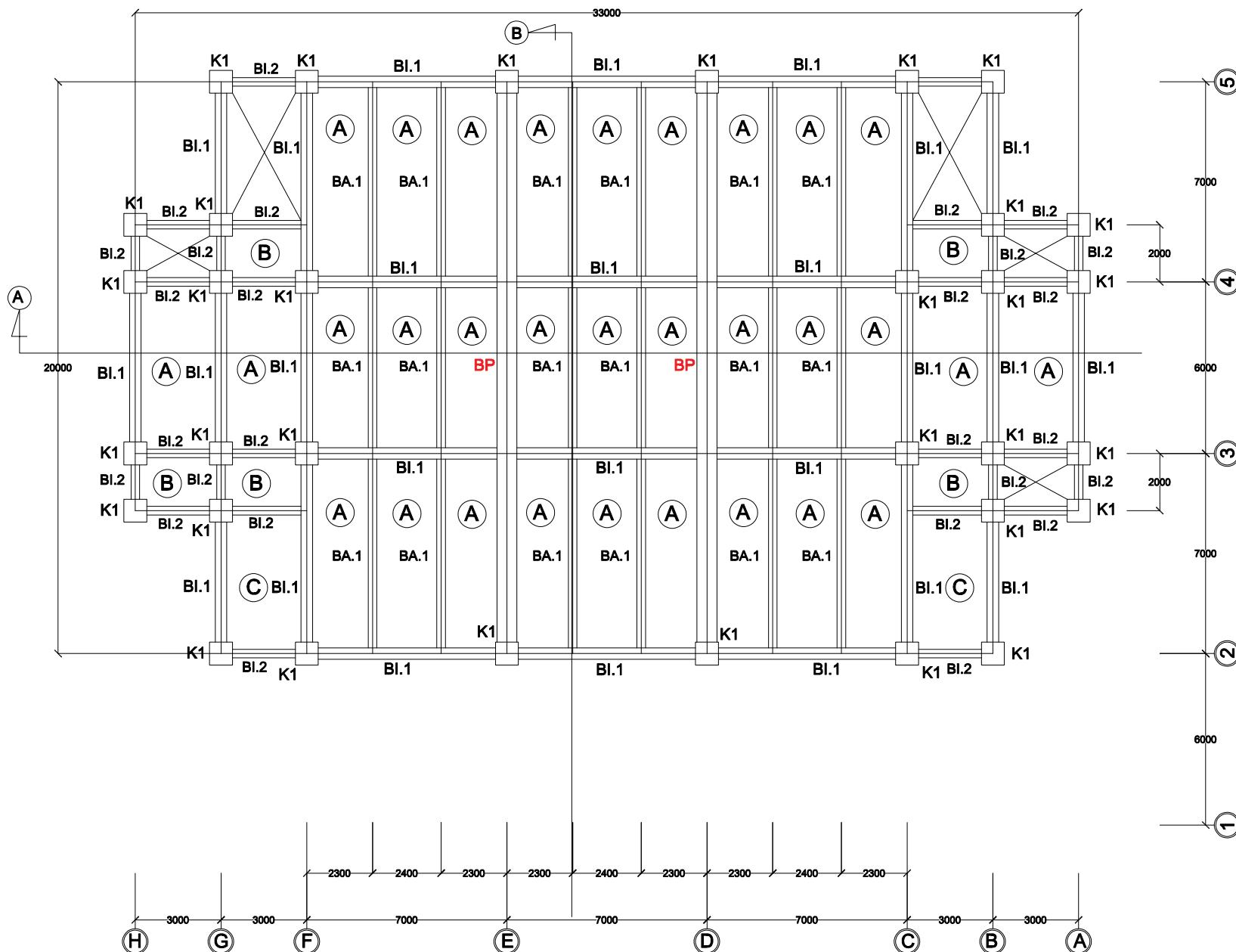
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. DENAH STRUKTUR LANTAI ATAP	1: 200
-------------------------------	--------

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

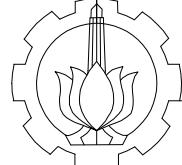
STR	8	28
-----	---	----



DENAH STRUKTUR LANTAI ATAP

Skala

1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

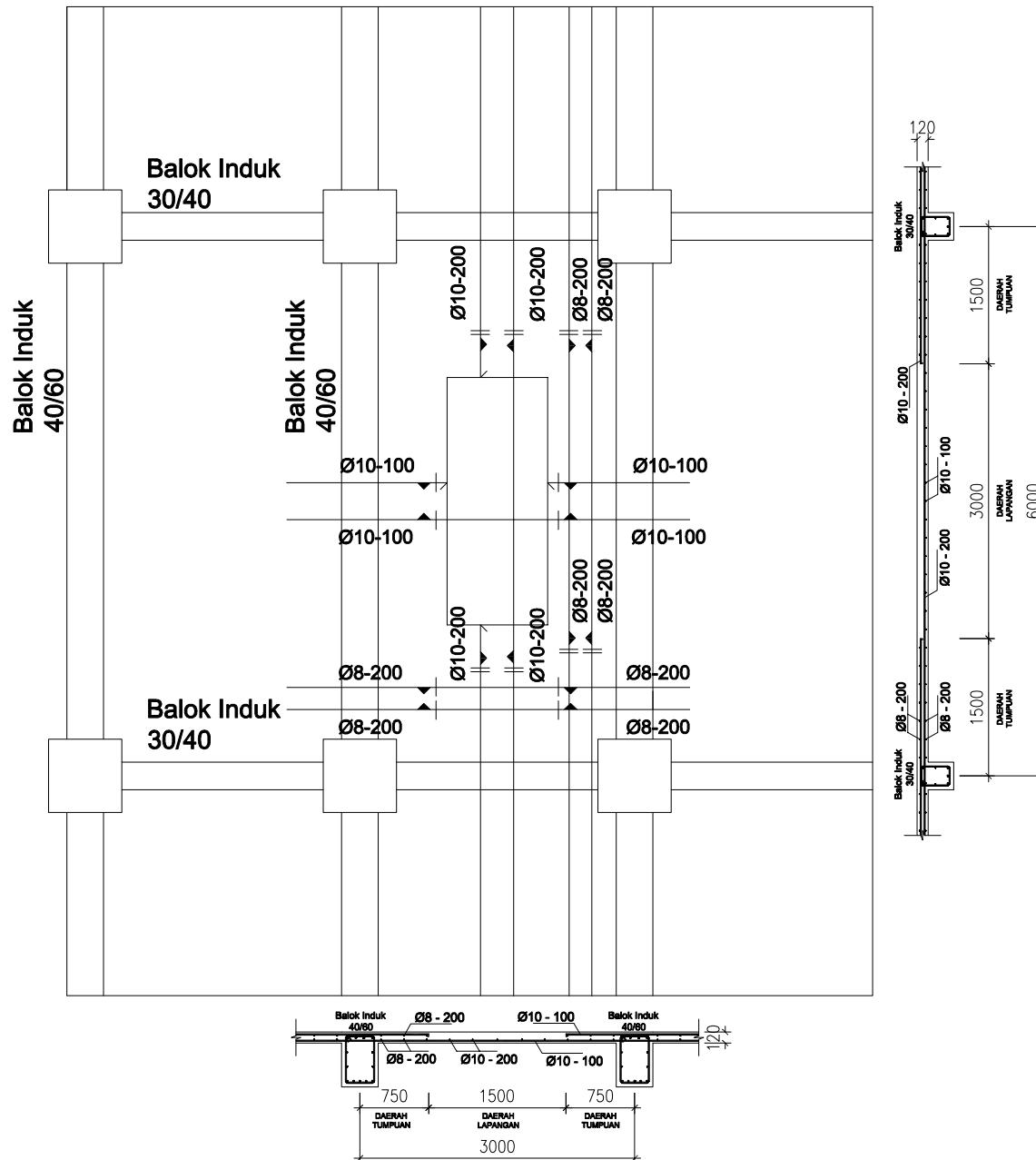
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

1. DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE A 1: 75

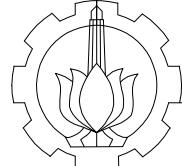
KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

STR 9 30



DETAIL PENULANGAN PELAT A

SKALA 1:75



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

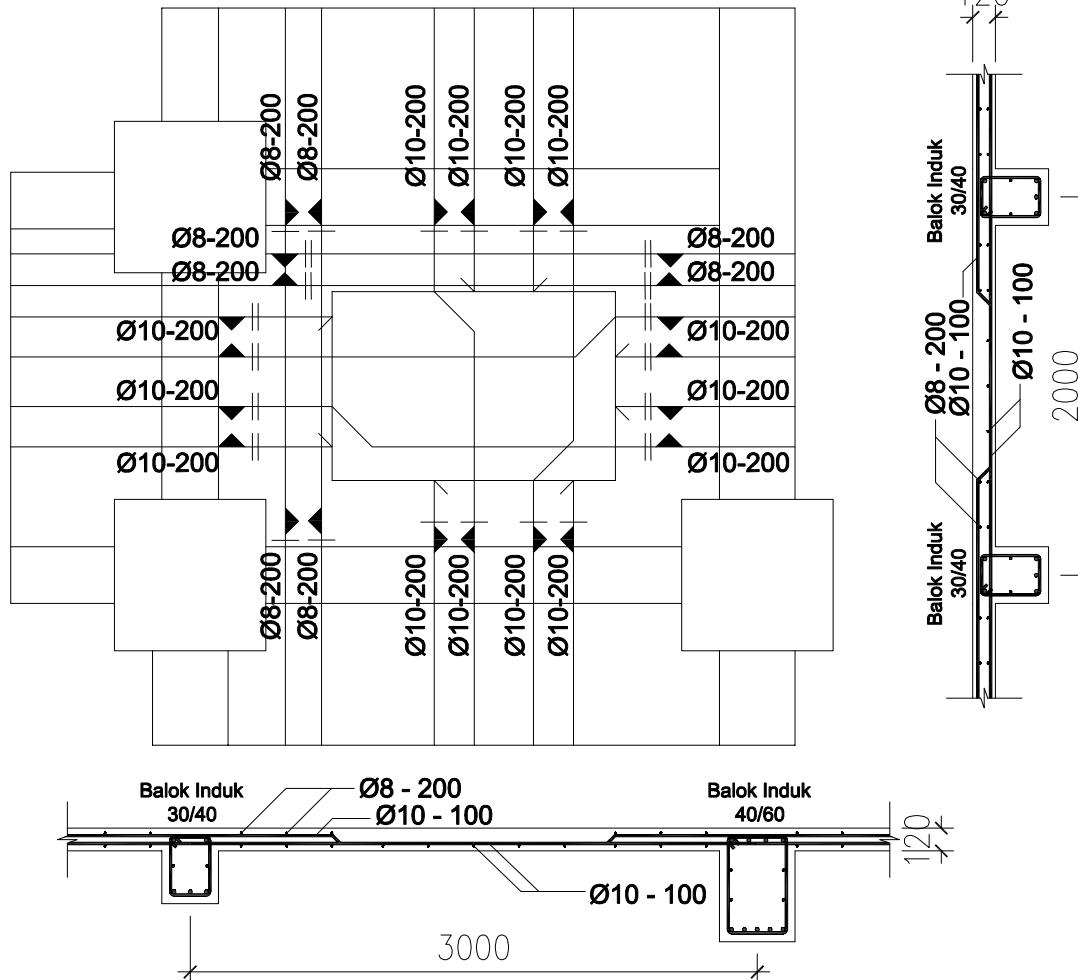
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA

1. DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE B 1: 40

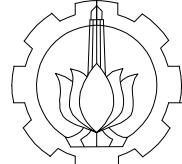
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR

STR	10	30
-----	----	----



**DETAIL PENULANGAN PELAT B**

SKALA 1:40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

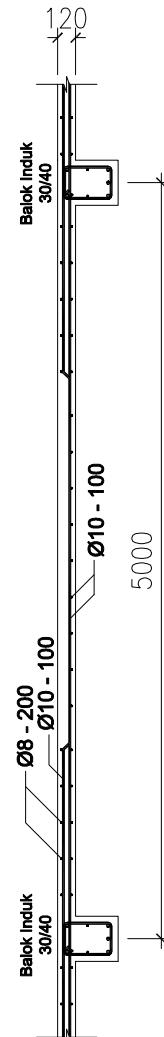
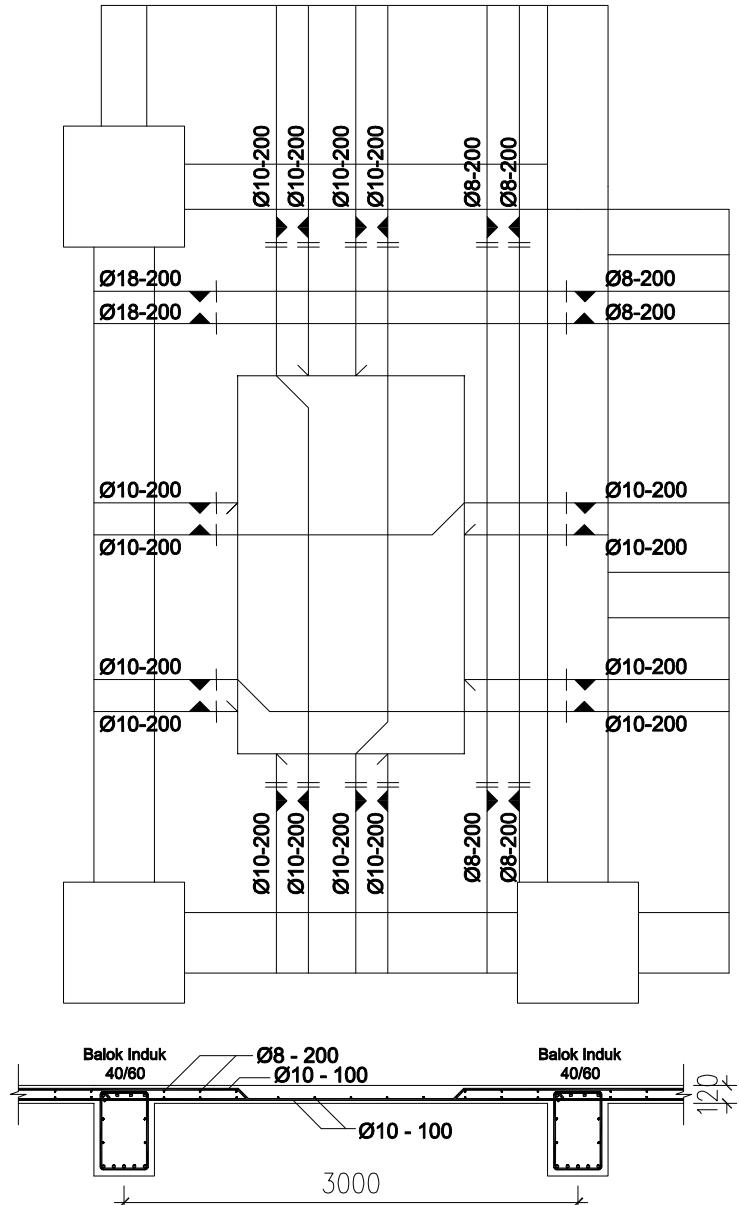
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

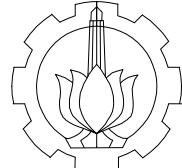
1. DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE B 1: 50

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

STR 11 30



**DETAIL PENULANGAN PELAT C**  
SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPPM) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

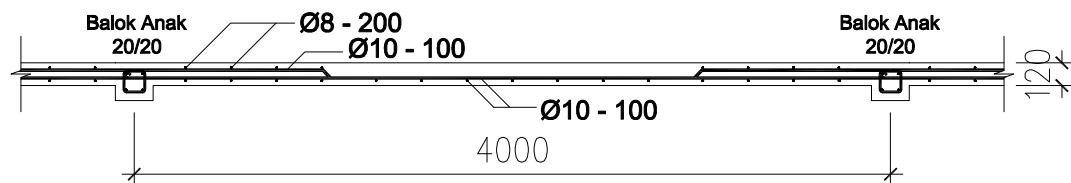
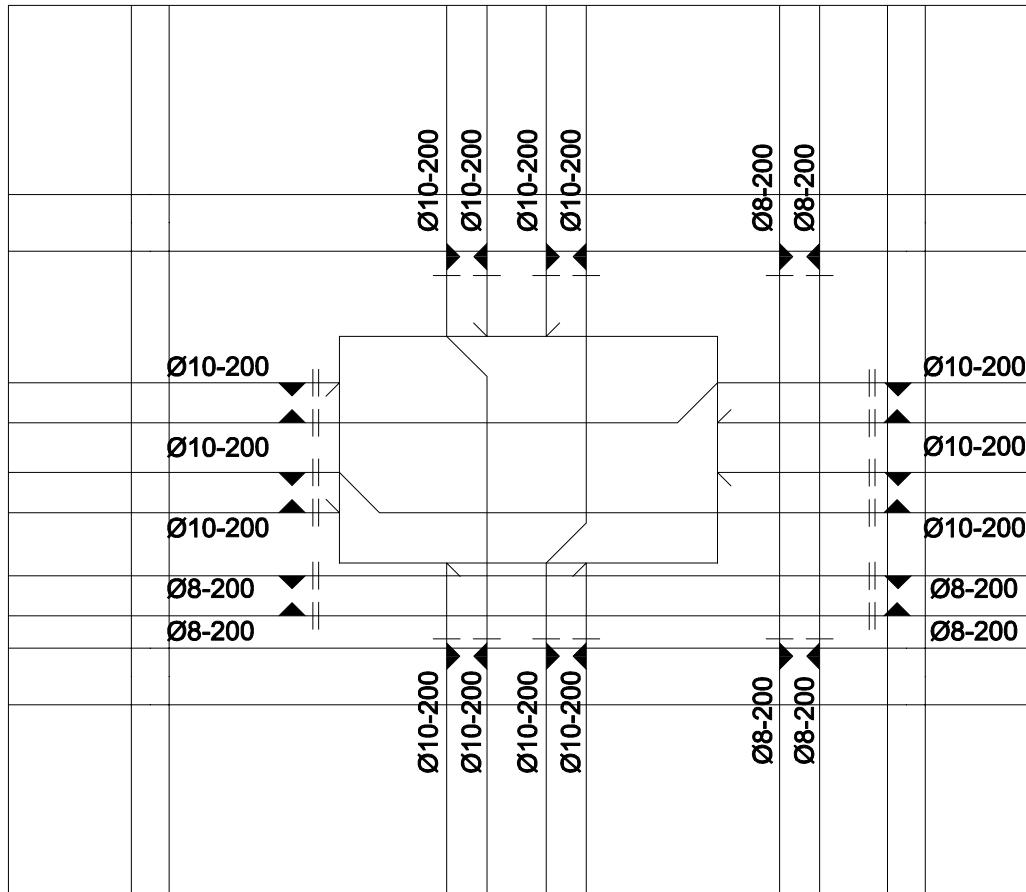
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA

1. DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE D	1: 40
-----------------------------------	-------

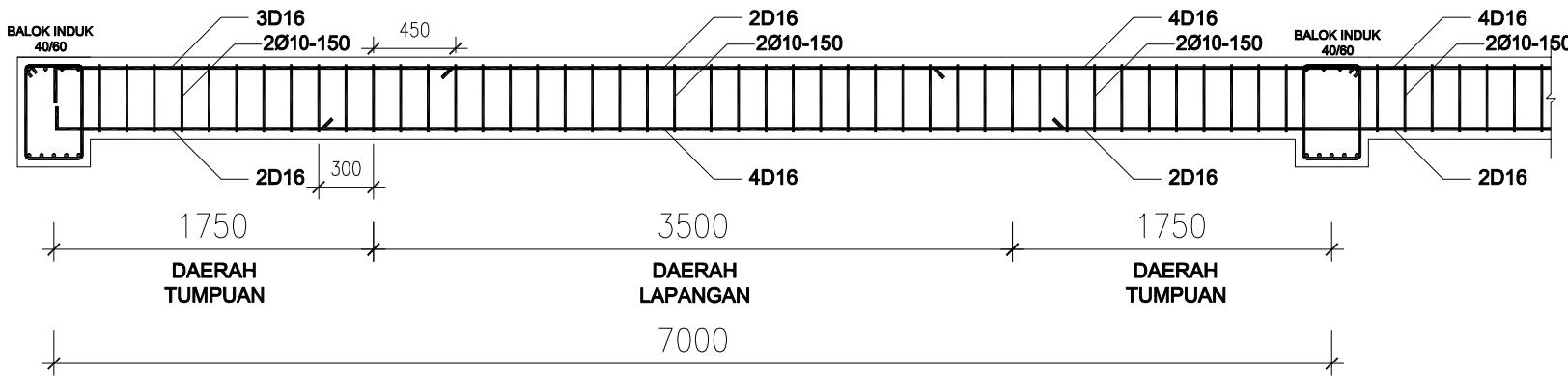
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	12	30
-----	----	----



DETAIL PENULANGAN PELAT D

SKALA 1:40



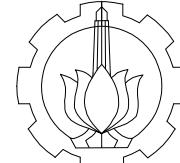
## PENULANGAN BALOK ANAK 1 BENTANG TEPI

SKALA 1:40

TYPE BALOK	BALOK ANAK (BA)		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Balok Anak 1 $f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 240 \text{ MPa}$			
	SELIMUT BETON = 40 mm	SELIMUT BETON = 40 mm	SELIMUT BETON = 40 mm
DIMENSI	300 x 450		
TUL. ATAS	3 D 16	2 D 16	4 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16	4 D 16	2 D 16
TUL. SENKANG	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150

## DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK

SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

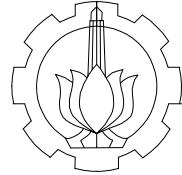
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

- |                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK 1 | 1: 40 |
| 2. DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK    | 1: 30 |

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

STR 13 30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**KETERANGAN**

**REVISI**

**JUDUL TUGAS AKHIR**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

**FUNGSI BANGUNAN**

APARTEMEN

**DOSEN PEMBIMBING**

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

**NAMA MAHASISWA**

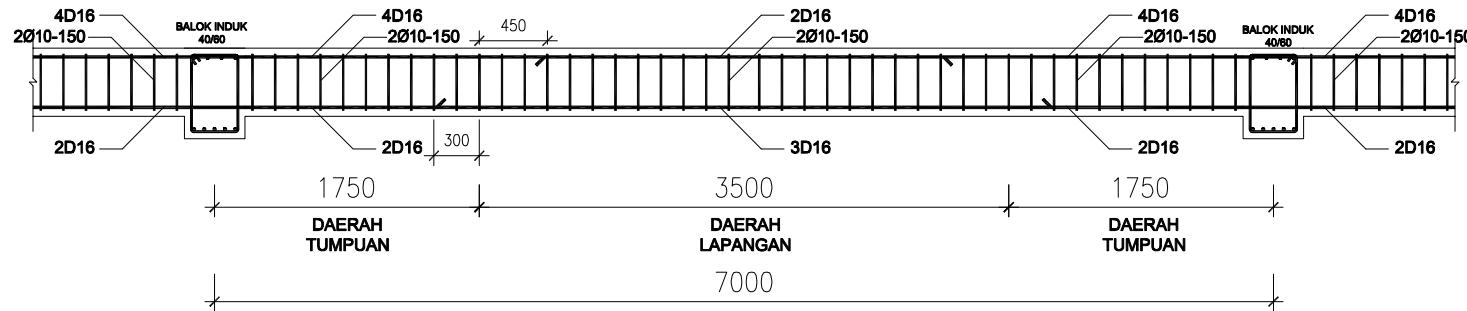
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

- |   |                |
|---|----------------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK 1<br>2. DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK | 1: 50<br>1: 30 |
|---|----------------|

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	14	30
-----	----	----



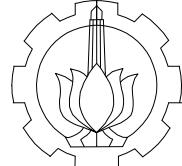
**PENULANGAN BALOK ANAK 1 BENTANG TENGAH**

SKALA 1:50

TYPE BALOK	BALOK ANAK (BA)		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Balok Anak 1 $f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 240 \text{ MPa}$			
	SELIMUT BETON = 40 mm	300 x 450	SELIMUT BETON = 40 mm
DIMENSI	300 x 450		
TUL. ATAS	4 D 16	2 D 16	4 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16	3 D 16	2 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150

**DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK**

SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**KETERANGAN**

**REVISI**

**JUDUL TUGAS AKHIR**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

**FUNGSI BANGUNAN**

APARTEMEN

**DOSEN PEMBIMBING**

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

**NAMA MAHASISWA**

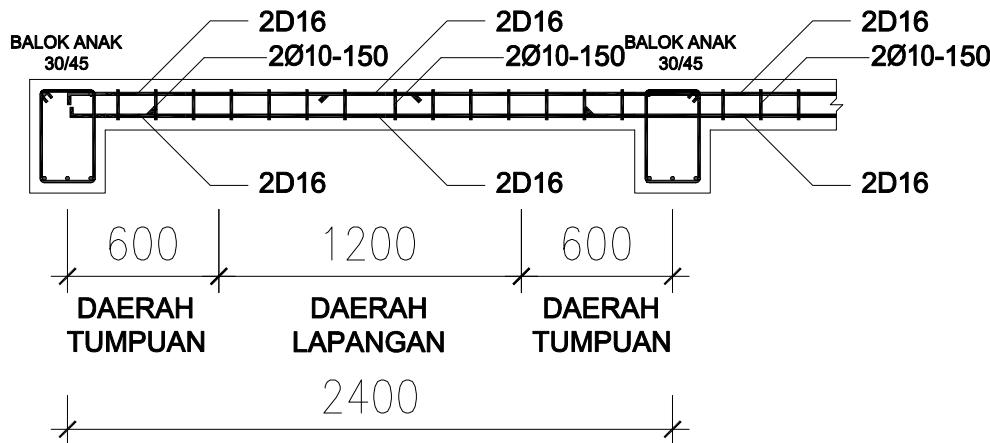
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

**NAMA GAMBAR** **SKALA**

- |                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK 2 | 1: 30 |
| 2. DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK    | 1:30  |

**KODE GAMBAR** **NO. LMBR** **JML. LEMBAR**

**STR** **15** **30**



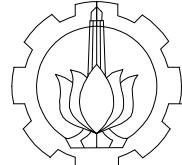
**PENULANGAN BALOK ANAK 2 BENTANG TEPI**

**SKALA 1:30**

TYPE BALOK	BALOK ANAK (BA)		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Balok Anak 2 $f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 240 \text{ MPa}$			
	SELIMUT BETON = 40 mm		
DIMENSI	200 x 200		
TUL. ATAS	2 D 16	2 D 16	2 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16	2 D 16	2 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150

**DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK**

**SKALA 1:30**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**KETERANGAN**

**REVISI**

**JUDUL TUGAS AKHIR**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

**FUNGSI BANGUNAN**

APARTEMEN

**DOSEN PEMBIMBING**

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

**NAMA MAHASISWA**

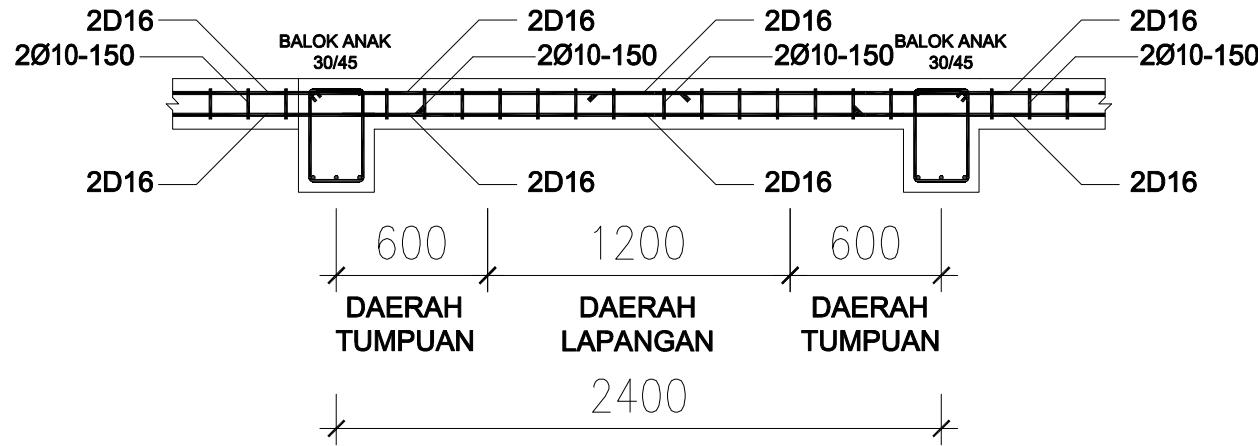
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

- |                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK 2 | 1: 30 |
| 2. DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK    | 1:30  |

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

STR 16 30



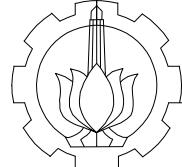
**PENULANGAN BALOK ANAK 2 BENTANG TENGAH**

**SKALA 1:30**

TYPE BALOK	BALOK ANAK (BA)		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
Balok Anak 2 $f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 240 \text{ MPa}$			
	SELIMUT BETON = 40 mm		
DIMENSI	200 x 200		
TUL. ATAS	2 D 16	2 D 16	2 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16	2 D 16	2 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150

**DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK**

**SKALA 1:30**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**KETERANGAN**

**REVISI**

**JUDUL TUGAS AKHIR**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

**FUNGSI BANGUNAN**

APARTEMEN

**DOSEN PEMBIMBING**

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

**NAMA MAHASISWA**

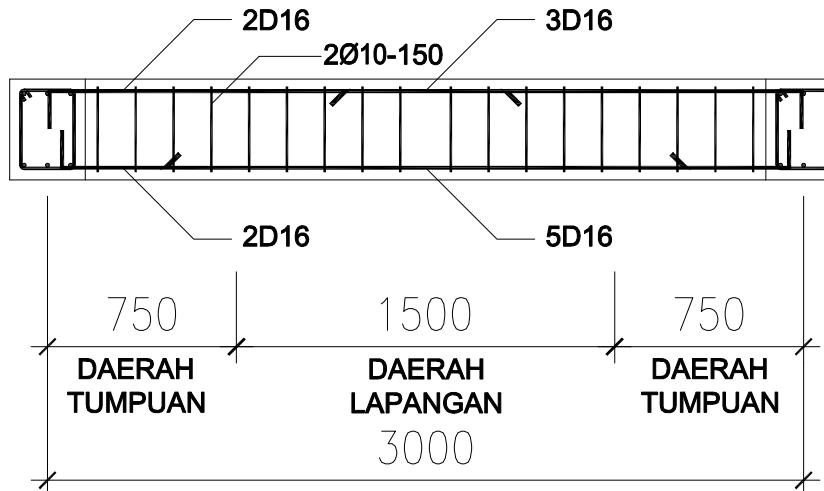
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

- |                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK LIFT | 1: 30 |
| 2. DETAIL PENAMPANG BALOK LIFT  | 1:30  |

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	17	30
-----	----	----



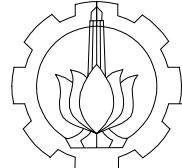
## PENULANGAN BALOK LIFT

SKALA 1:30

TYPE BALOK	BALOK LIFT (BL)	
	TUMPUAN	LAPANGAN
$f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ Pa}$		
	SELIMUT BETON = 40 mm	
DIMENSI	300 x 400	
TUL. ATAS	2 D 16	3 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16	5 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150

## DETAIL PENAMPANG BALOK LIFT

SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

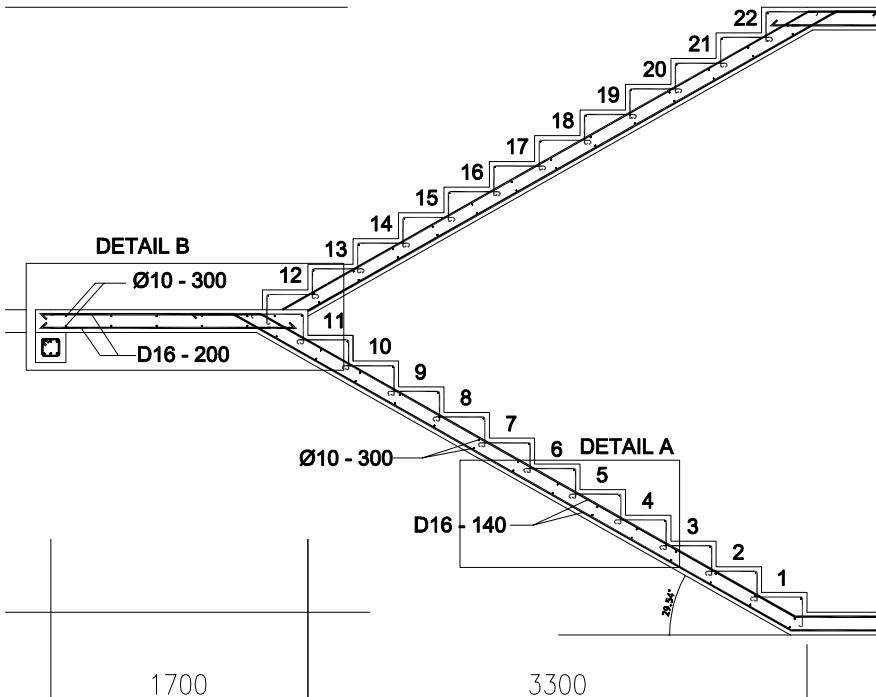
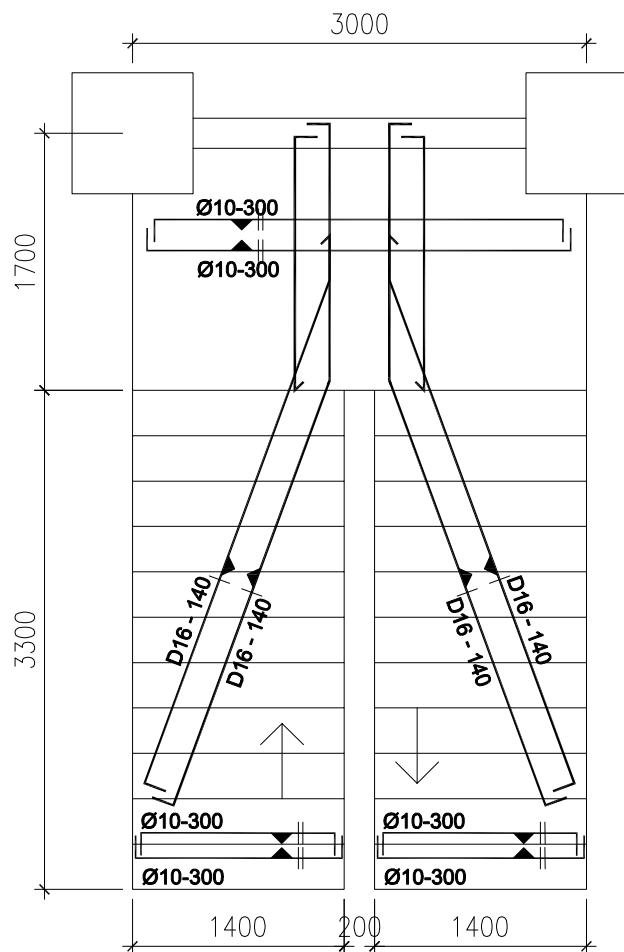
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

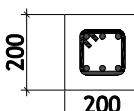
NAMA GAMBAR	SKALA

1. DENAH PENULANGAN TANGGA 2. POTONGAN PENULANGAN TANGGA	1: 50 1:50
---	---------------

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	18	30
-----	----	----

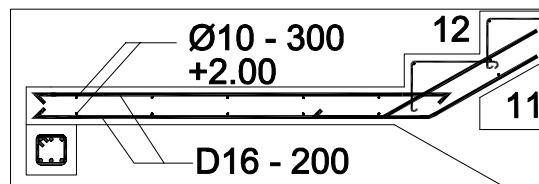


TYPE BALOK	BALOK Bordes (BB)
	TUMPUAN DAN LAPANGAN
$f'_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{ys} = 240 \text{ MPa}$	
	SELIMUT BETON = 40 mm
DIMENSI	200 X 200
TUL. ATAS	3 D 16
TUL. BAWAH	3 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø10 - 150

### DETAIL PENAMPANG BALOK Bordes

SKALA 1:20

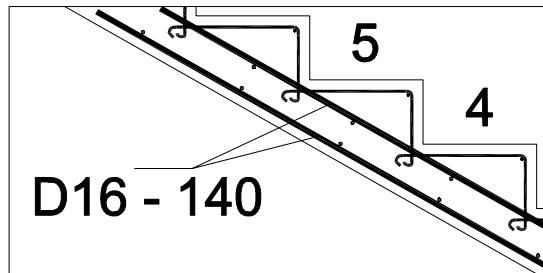
#### DETAIL B



#### DETAIL B ATAS

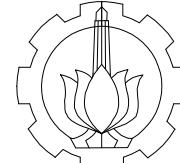
SKALA 1:30

### DETAIL A



#### DETAIL A

SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

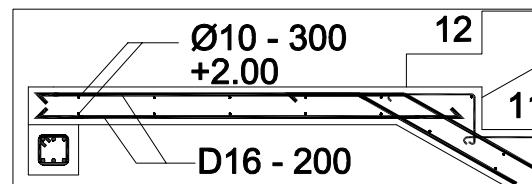
NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

- |                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENAMPANG BALOK Bordes | 1: 20 |
| 2. DETAIL A TANGGA               | 1:20  |
| 3. DETAIL B TANGGA               | 1:30  |

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML.LEMBAR
-------------	----------	------------

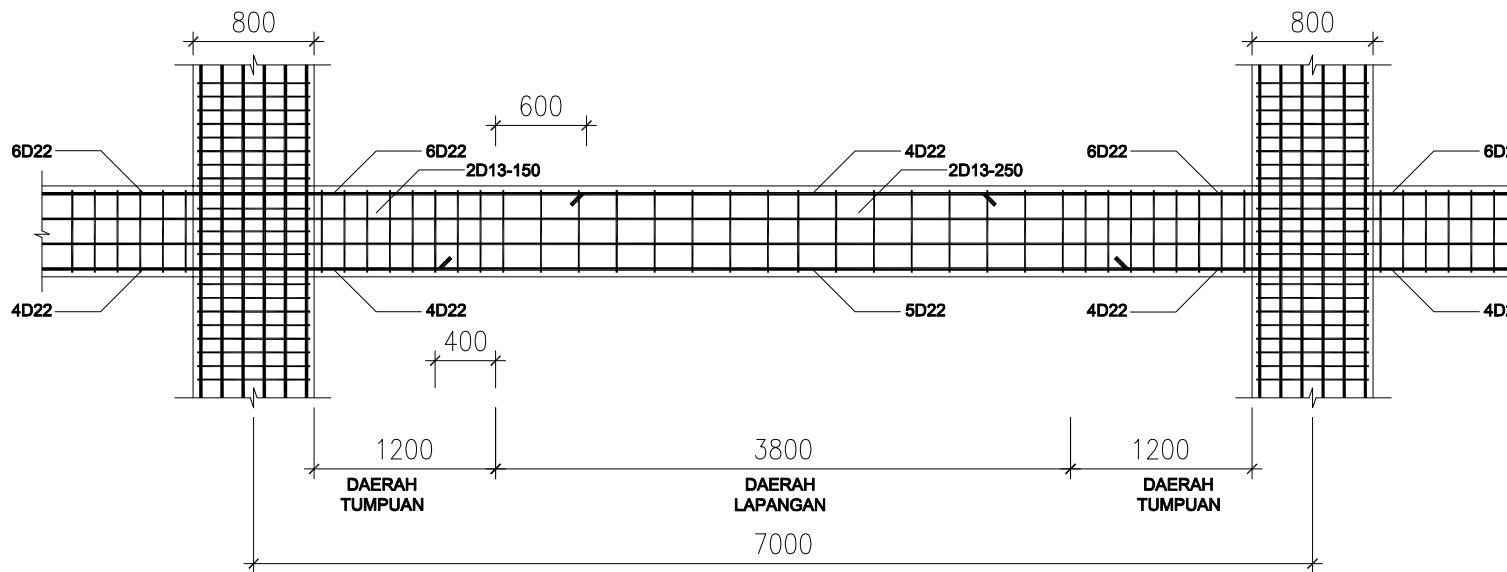
STR	19	30
-----	----	----

#### DETAIL B



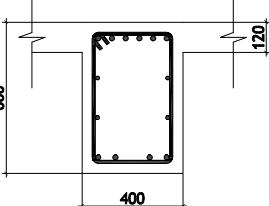
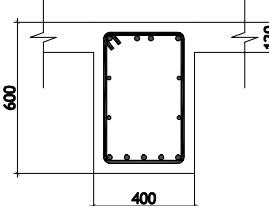
#### DETAIL B BAWAH

SKALA 1:30



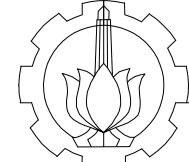
## PENULANGAN BALOK INDUK 1

SKALA 1:50

TYPE BALOK	BALOK INDUK (BI)	
	TUMPUAN	LAPANGAN
Balok Induk 1 $f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$		
DIMENSI	400 x 600	
TUL. ATAS	6 D 22	4 D 22
TUL. BAWAH	4 D 22	5 D 22
TUL. TORSI	4 D 16	4 D 16
TUL SENGKANG	2 D 13 - 150	2 D 13 - 250

## DETAIL PENAMPANG BALOK INDUK

SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

### KETERANGAN

### REVISI

### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

### NAMA MAHASISWA

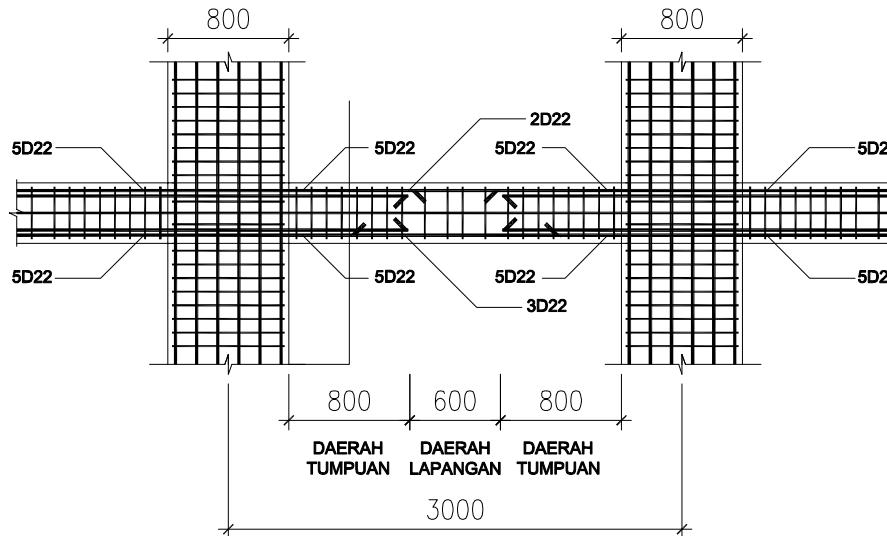
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

- |                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK<br>INDUK 1 | 1: 50 |
| 2. DETAIL PENAMPANG BALOK<br>INDUK    | 1:30  |

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	20	30
-----	----	----



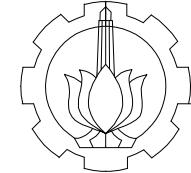
## PENULANGAN BALOK INDUK 2

SKALA 1:50

TYPE BALOK	BALOK INDUK (BI)	
	TUMPUAN	LAPANGAN
Balok Induk 2 $f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 420 \text{ MPa}$	<p>SELIMUT BETON = 40 mm</p>	<p>SELIMUT BETON = 40 mm</p>
DIMENSI	$300 \times 400$	
TUL. ATAS	5D 22	2D 22
TUL. BAWAH	5D 22	3D 22
TUL. TORSI	2D 16	2D 16
TUL. SENGKANG	2 D 13 - 100	2 D 13 - 150

## DETAIL PENAMPANG BALOK INDUK 2

SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

### KETERANGAN

### REVISI

### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

### NAMA MAHASISWA

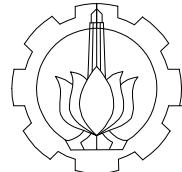
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 1. DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK 2 | 1: 50 |
| 2. DETAIL PENAMPANG BALOK INDUK 2  | 1:30  |

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	21	30
-----	----	----



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

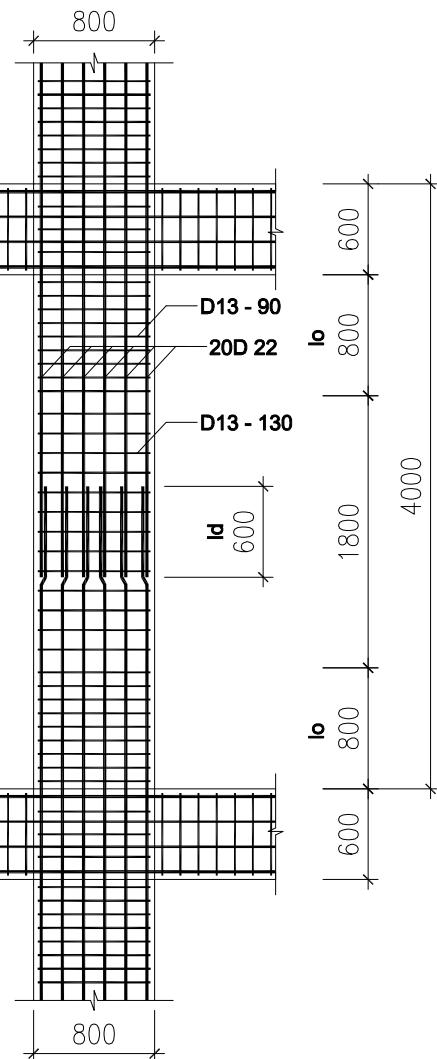
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. PENULANGAN KOLOM LANTAI 1-5 2. DETAIL PENAMPANG KOLOM 3. DETAIL KAIT SENGKANG KOLOM	1: 50 1:30 1:30
--	-----------------------

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	22	30
-----	----	----



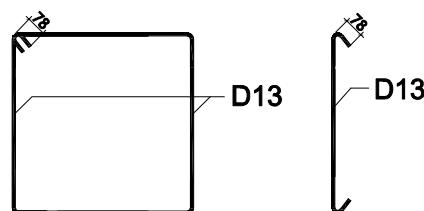
#### PENULANGAN KOLOM LANTAI 1-5

SKALA 1:50

TYPE KOLOM	KOLOM LANTAI 1-5
$f'_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 420 \text{ MPa}$ Type Kolom 800x800	
	SELIMUT BETON = 40 mm
DIMENSI	800 X 800
TUL. UTAMA	22 D 22
TUL SENGKANG TUMPUAN	4 D13 - 90
TUL SENGKANG LAPANGAN	4 D13 - 130

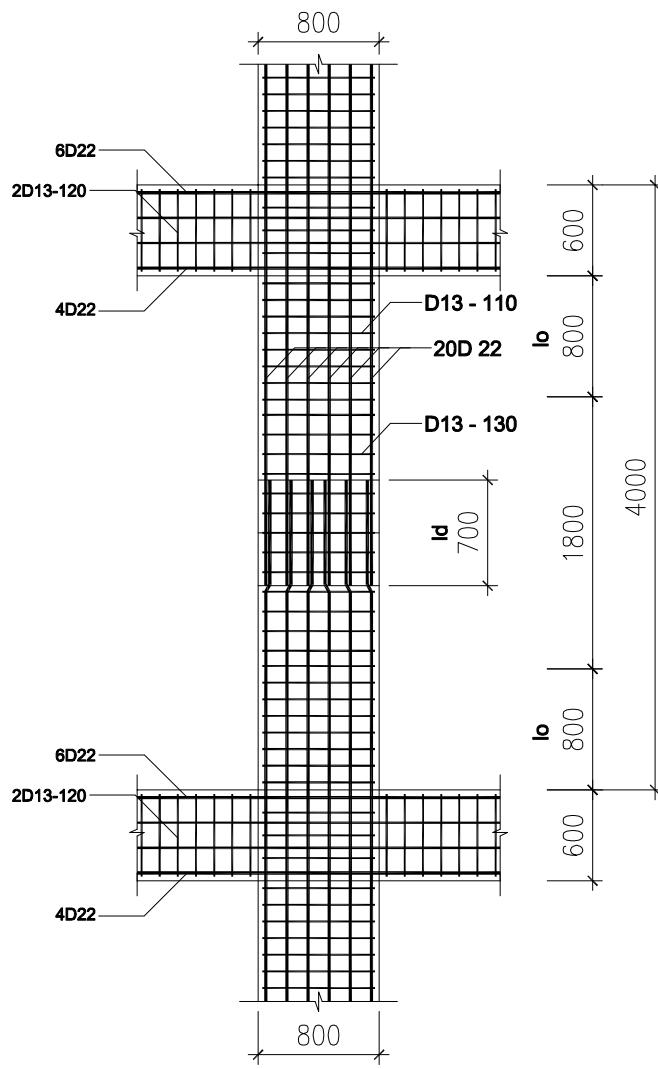
#### DETAIL PENAMPANG KOLOM

SKALA 1:30



#### DETAIL KAIT SENGKANG KOLOM

SKALA 1:30



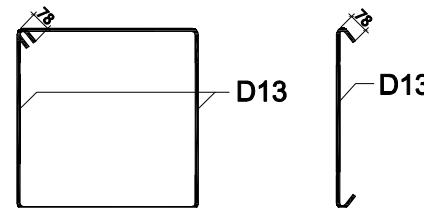
**PENULANGAN KOLOM LANTAI 6-10**

SKALA 1:50

TYPE KOLOM	KOLOM LANTAI 6-10
$f_c = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 420 \text{ MPa}$ Type Kolom 800x800	
SELIMUT BETON = 40 mm	
DIMENSI	800 X 800
TUL. UTAMA	22 D 22
TUL SENGKANG TUMPUAN	4 D13 - 110
TUL SENGKANG LAPANGAN	4 D13 - 130

### **DETAIL PENAMPANG KOLOM**

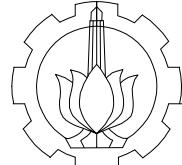
**SKALA 1:30**



### **DETAIL KAIT SENGKANG KOLOM**

**SKALA 1:30**

	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER			
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN			
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL				
<b>KETERANGAN</b>				
I S				
<b>REVISI</b>				
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>				
DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP				
<b>FUNGSI BANGUNAN</b>				
APARTEMEN				
<b>DOSEN PEMBIMBING</b>				
Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD Bambang Piscesa ST., MT.,PhD				
<b>NAMA MAHASISWA</b>				
Muhammad Satrya Ageta 0311 16 45 000 051				
<b>NAMA GAMBAR</b>		<b>SKALA</b>		
1. PENULANGAN KOLOM LANTAI 6-10		1: 50		
2. DETAIL PENAMPANG KOLOM		1:30		
3. DETAIL KAIT SENGKANG KOLOM		1:30		
<b>KODE GAMBAR</b>	<b>NO. LMBR</b>	<b>JML. LEMBAR</b>		
STR	23	30		



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

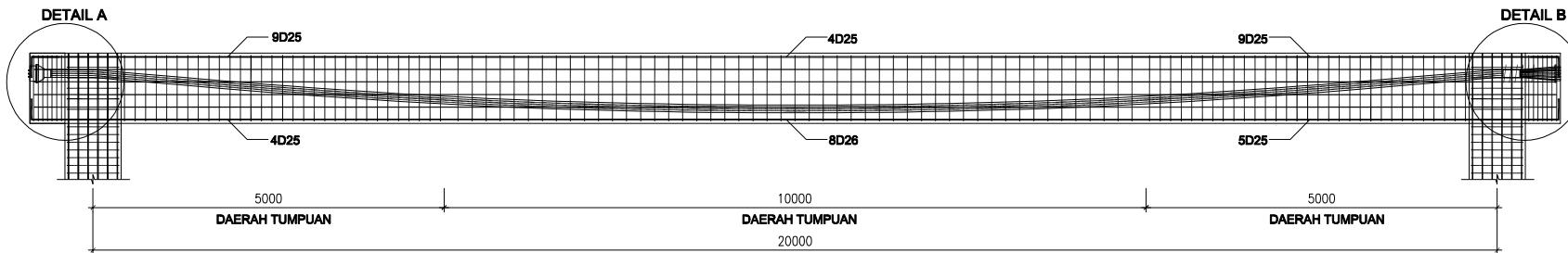
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEGANG
2. DETAIL A
3. DETAIL B
4. DETAIL PENAMPANG BALOK PRATEGANG

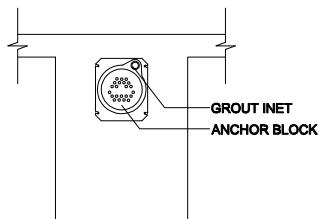
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	24	30
-----	----	----

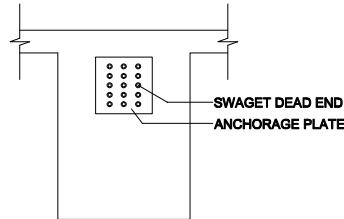


#### DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEGANG BP1

SKALA 1: 100



**DETAIL A**  
SKALA 1: 40

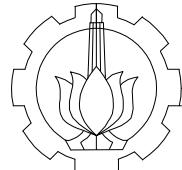


**DETAIL B**  
SKALA 1: 40

TYPE BALOK	BALOK PRATEGANG (BP)	
	TUMPUAN	LAPANGAN
Balok Prategang $f_c = 40 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$	 SELIMUT BETON = 40 mm	 SELIMUT BETON = 40 mm
DIMENSI	700 x 1000	
TUL. ATAS	8 D 25	4 D 25
TUL. BAWAH	5 D 25	8 D 25
TUL. TORSI	8 D 16	8 D 16
TUL. SENGKANG	2 D 13 - 150	2 D 13 - 200

#### DETAIL PENAMPANG BALOK PRATEGANG

SKALA 1:40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

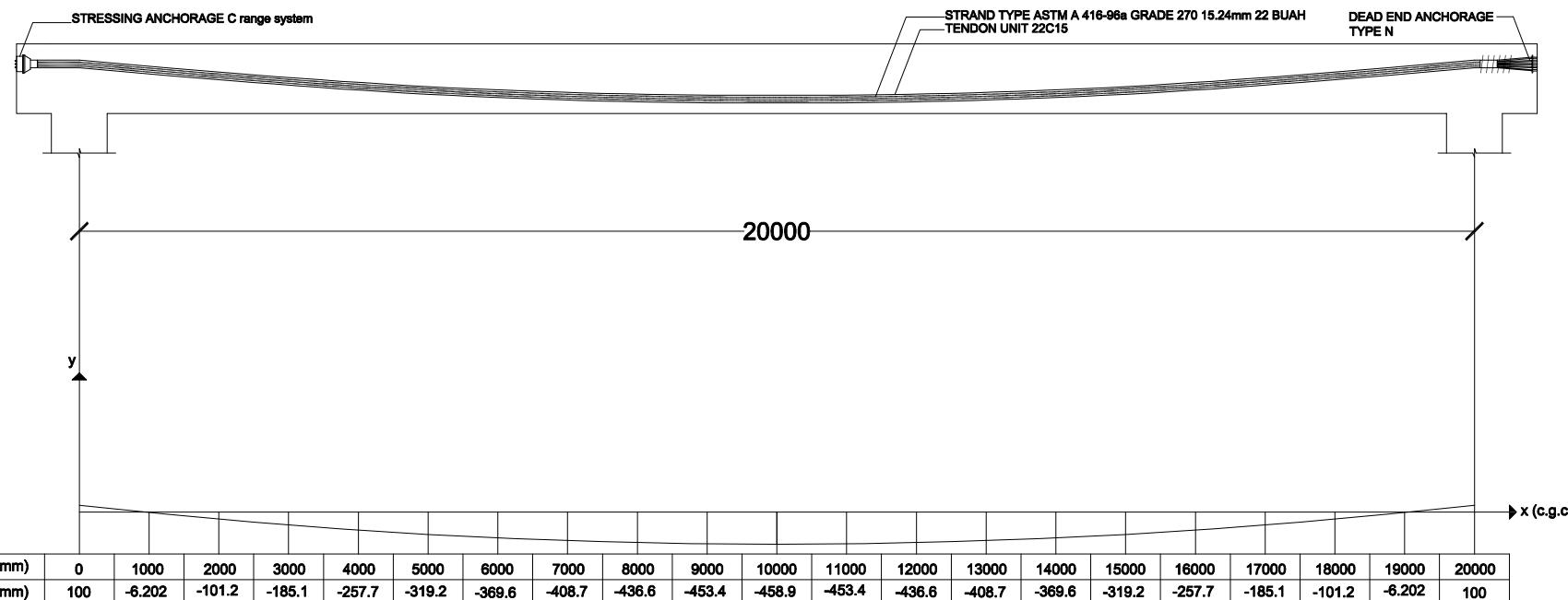
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR SKALA

1. LETAK TENDON BALOK PRATEKAN 1: 100

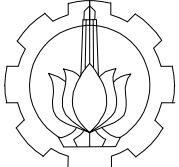
KODE GAMBAR NO. LMBR JML.LEMBAR

STR 25 30



**LETAK TENDON BALOK PRATEKAN**

SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

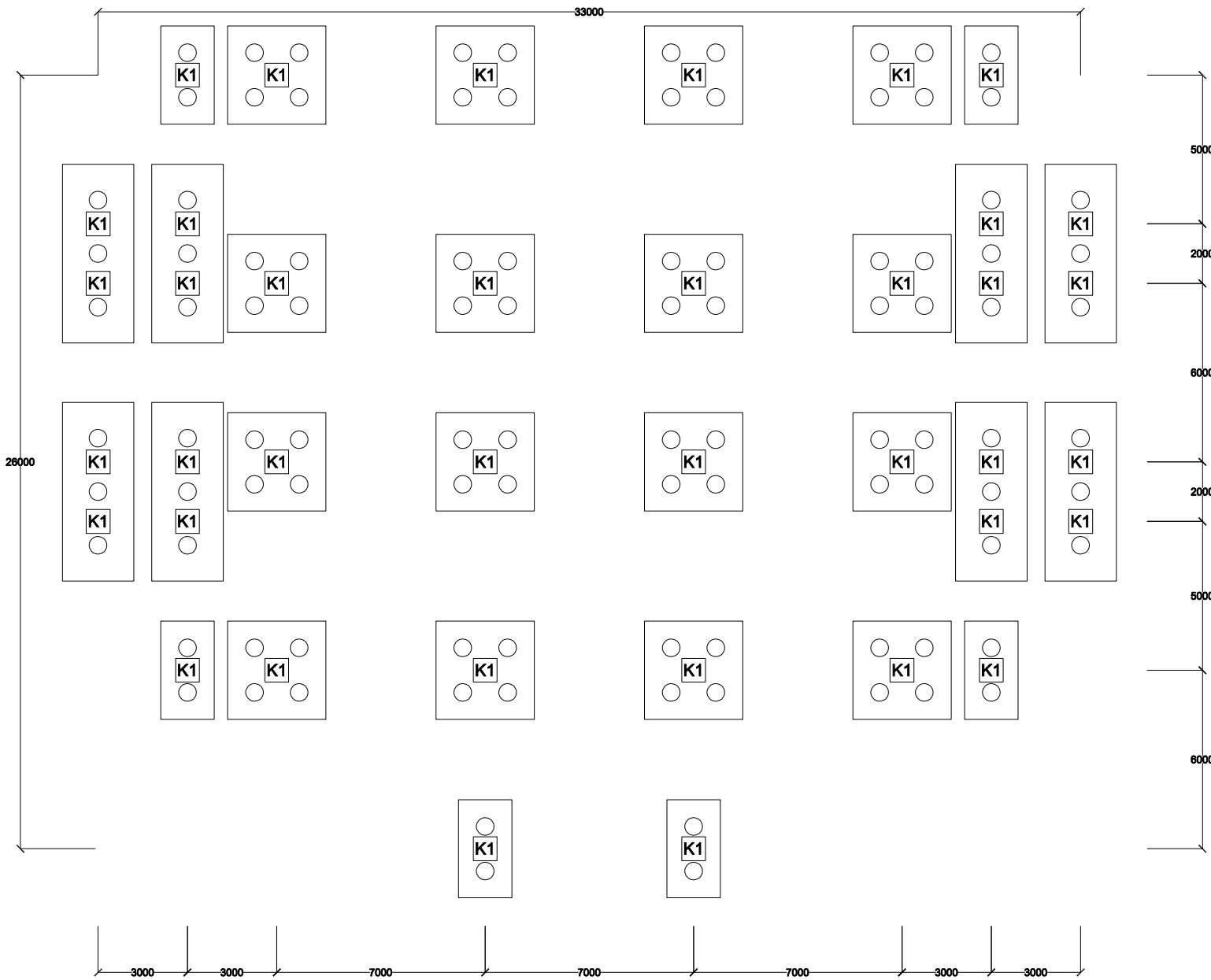
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA

1. DENAH PONDASI DAN PILE CAP 1: 200

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR

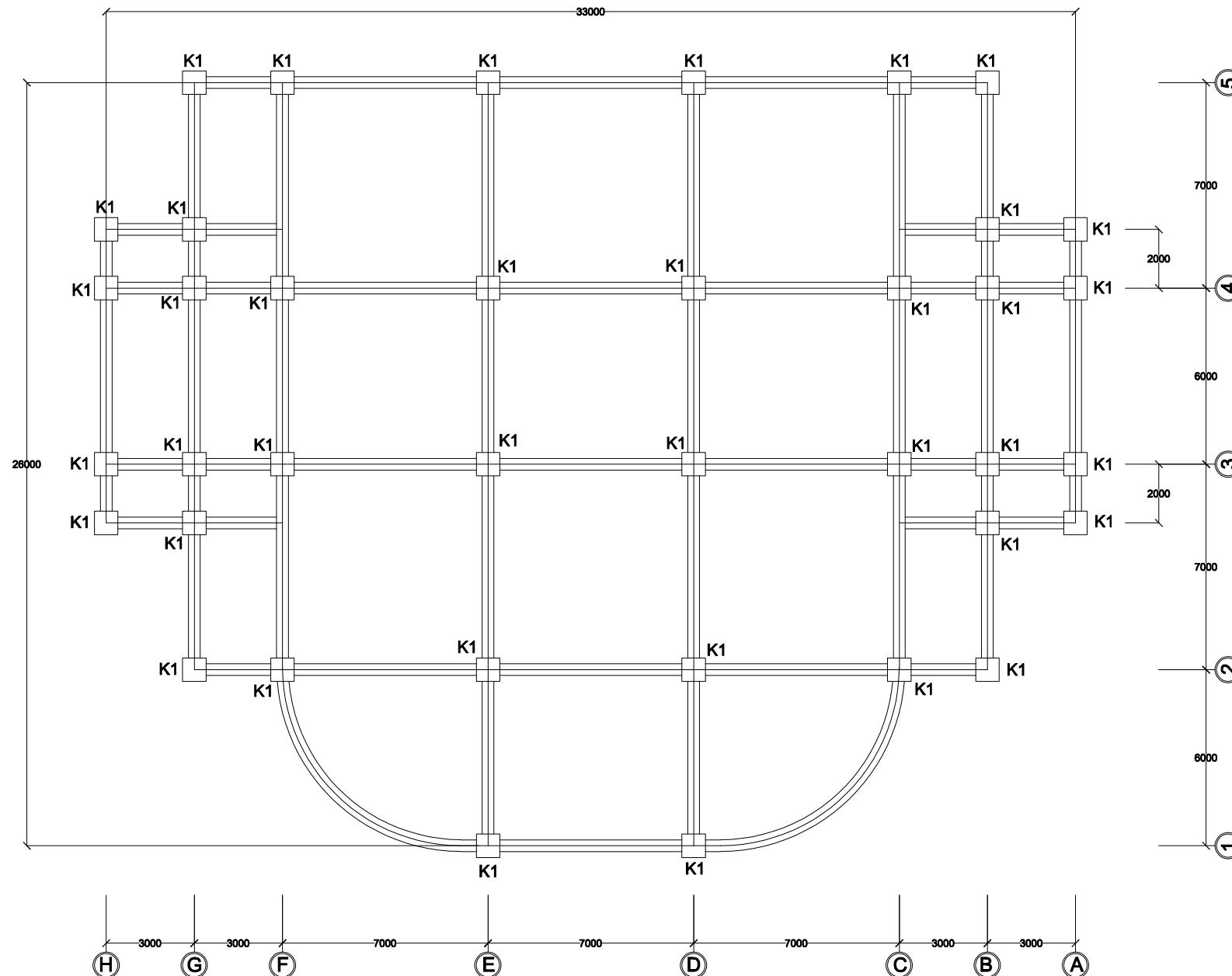
STR	26	30
-----	----	----



DENAH PONDASI DAN PILE CAP

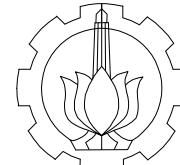
Skala

1 : 200



DENAH STRUKTUR SLOOF LANTAI DASAR

1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

NAMA MAHASISWA

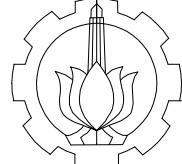
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. DENAH STRUKTUR SLOOF LANTAI DASAR	1: 200
---	--------

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	27	30
-----	----	----



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

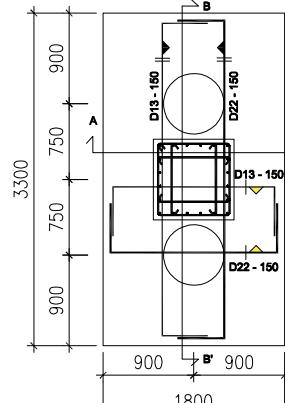
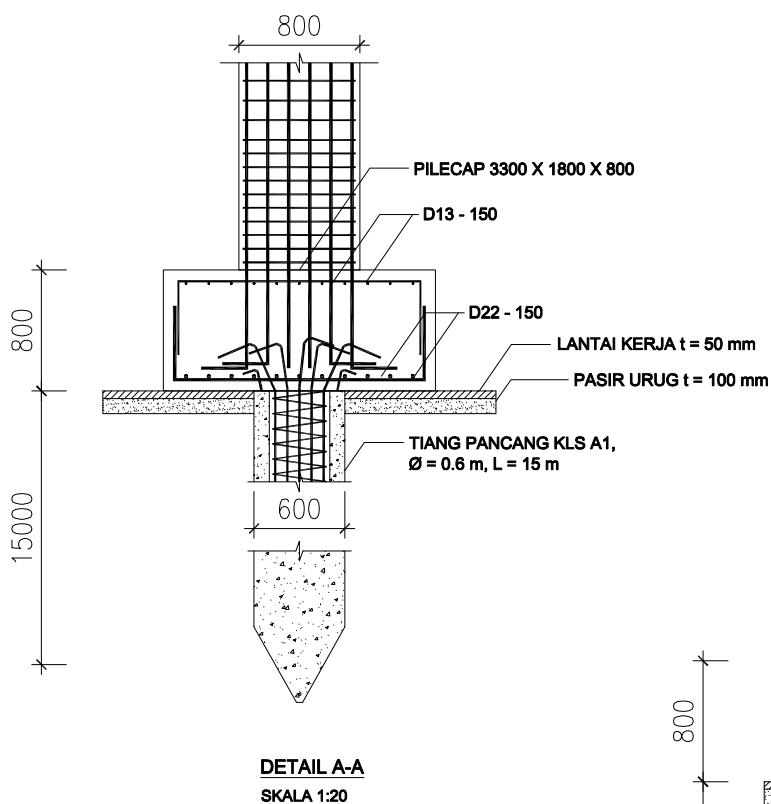
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

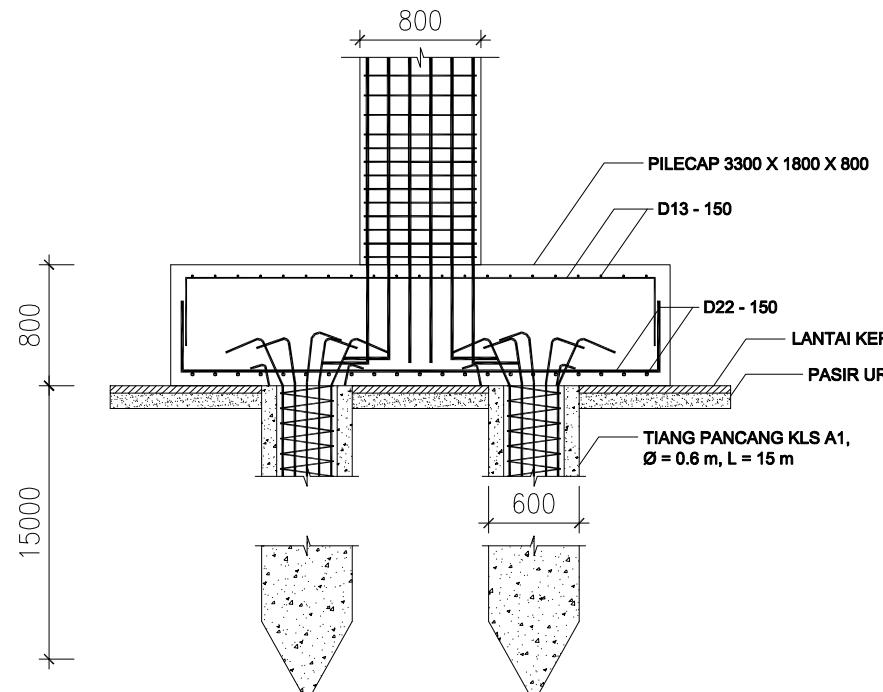
1. POER 2 TIANG	1: 50
2. DETAIL A-A	1:50
3. DETAIL B-B	1:50

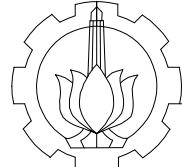
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	28	30
-----	----	----



POER 2 TIANG  
SKALA 1:50





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

#### KETERANGAN

#### REVISI

#### JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG ASRAMA LEMBAHA PENJAMIN  
MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA  
BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN  
BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

#### FUNGSI BANGUNAN

APARTEMEN

#### DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

#### NAMA MAHASISWA

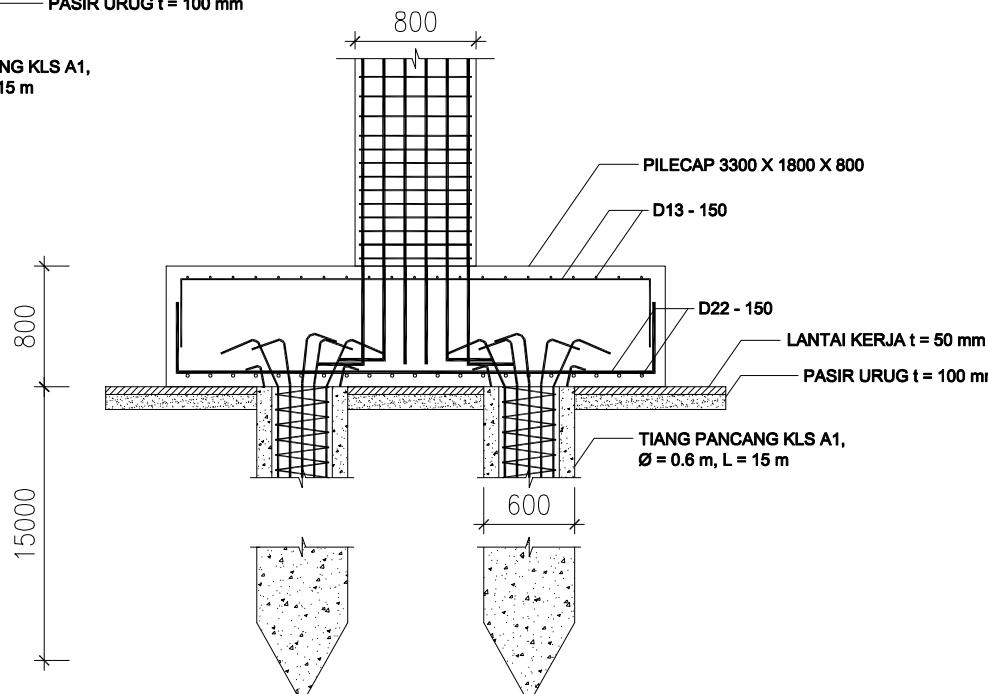
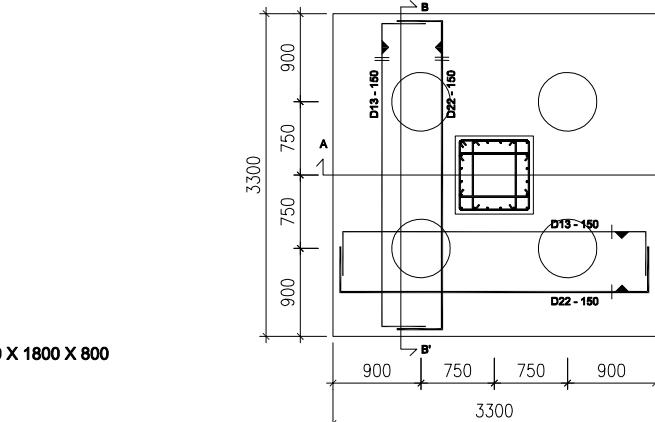
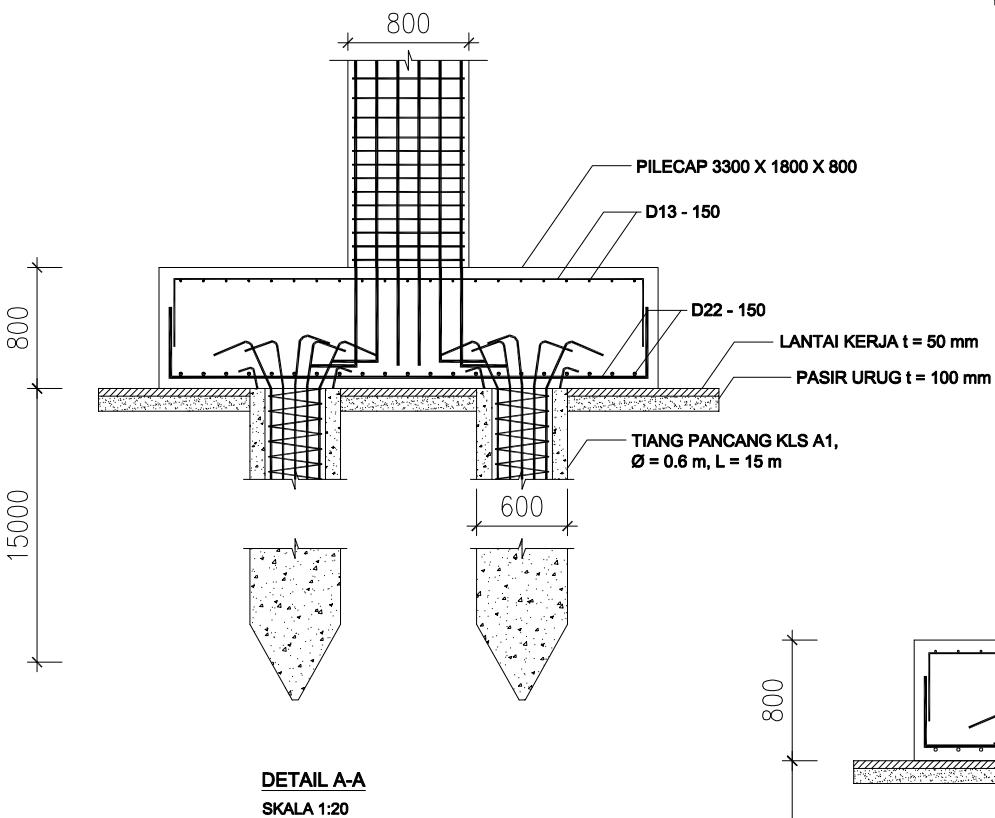
Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

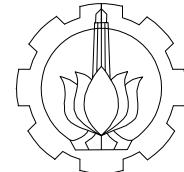
NAMA GAMBAR	SKALA

1. POER 4 TIANG 2. DETAIL A-A 3. DETAIL B-B	1: 50 1:50 1:50
---	-----------------------

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

STR	29	30
-----	----	----





**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

## KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

## DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG ASRAMA LEMBAGA PENJAMIN MUTU PENDIDIKAN (LPMP) SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN SRPMK DAN BALOK PRATEGANG PADA LANTAI ATAP

## FUNGSI BANGUNAN

## APARTEMEN

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni ST.,MSc.,PhD  
Bambang Piscesa ST., MT.,PhD

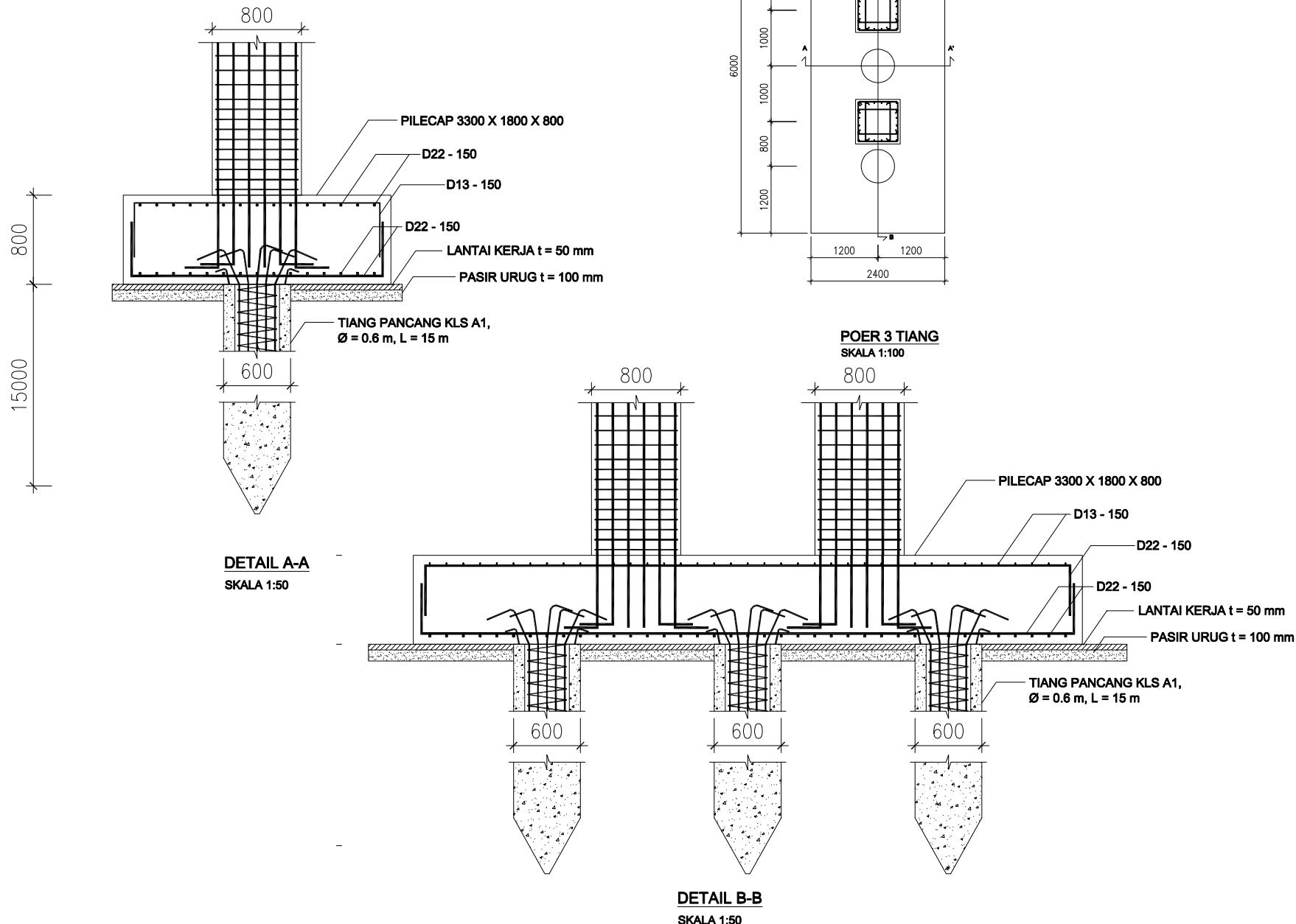
NAMA MAHASISWA

Muhammad Satrya Ageta  
0311 16 45 000 051

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

1. POER 3 TIANG 1: 100  
2. DETAIL A-A 1:50  
3. DETAIL B-B 1:50

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML.LEMBAR
STR	30	30



## **BIODATA PENULIS**



Penulis lahir pada tanggal 17 November 1994 dan merupakan anak tunggal. Penulis bernama lengkap Muhammad Satrya Ageta ini merupakan lulusan dari SD Islam Budi Mulia, juga pernah bersekolah di SMP Semen Padang, dan SMAN 14 Padang yang kemudian pada tahun 2012 melanjutkan studinya di Diploma III Politeknik Negeri Padang. Setelah Lulus pada tahun 2015 dari program studi Diploma III Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang, Penulis Melanjutkan studinya ke Program Sarjana dengan mengambil program Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis juga hobby jalan-jalan dan menonton film.

*Contact Person :*

**MUHAMMAD SATRYA AGETA, ST**

*Student Departement of Civil Engineering*

*Faculty of Civil Engineering, Environtmen, and Geology (FTSLK)*

*Sepuluh Nopember Institute of Technologi (ITS)*

*Email : satrya.ageta94@gmail.com*