



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

# MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG

VIONITA KRISMA MAHARANI  
NRP 3113 041 049

Dosen Pembimbing  
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D  
NIP 19730710 199802 1 002

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



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599**

# **MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG**

**VIONITA KRISMA MAHARANI  
NRP 3113 041 049**

**Dosen Pembimbing  
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D  
NIP 19730710 199802 1 002**

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



**FINAL PROJECT - RC146599**

## **STRUCTURAL MODIFICATION OF 8 FLOORS BUILDING USING PRESTRESSED BEAM**

**VIONITA KRISMA MAHARANI  
NRP 3113 041 049**

**Supervisor  
Ridho Bayuaji, S.T., M.T.,Ph.D  
NIP 19730710 199802 1 002**

**DIPLOMA IV OF CIVIL ENGINEERING  
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF VOCATION  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**“MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI**  
**MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG”**

Diujukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains Terapan  
Pada

Konsentrasi Bangunan Gedung  
Program Studi Diploma IV Teknik Sipil  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Surabaya, 6 Juli 2017

**Disusun Oleh:**

**MAHASISWA**



**VIONITA KRISMA MAHARANI**

**NRP. 3113041049**

*28 JUL 2017*

**Dijetujui Oleh:**

**DOSEN PEMBIMBING**



**RIDHO BAYU AJI, S.T.,M.T.,Ph.D**

**NIP. 19730710 199802 1 002**



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

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

Tanggal : 7/5/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Modifikasi Struktur Gedung 8 Lantai Menggunakan Balok Pratekan		
Nama Mahasiswa	Vionita Krisma M	NRP	3113041049
Dosen Pembimbing 1	Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D. NIP 19730710 199802 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> <li>- gambar potongan dipertajam letak bolon yg dihitung →</li> <li>- ukuran 30 cm. untuk fungsi bilah pratekan .</li> <li>- eksentrisitas dimuat lagi .</li> <li>- Potongan bilah pratekan → tulisan di BP (gambar) → lapangan .</li> <li>- Perhitungan pratekan → Bila senikut .</li> </ul>	 Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. Ph.D. NIP 19630726 198903 1 003
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Check sambungan bajan .</li> <li>- Check perhitungan model atap .</li> <li>- Detil bilah pratekan geer BP .</li> <li>- Denah bilah (gambar = )</li> </ul>	 R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detail metode pelaksanaan bilah pratekan di gedung (flowchart) .</li> <li>- Atap desain purnakan .</li> <li>- Kendutan atap dicheck .</li> </ul>	 Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. Ph.D. NIP 19630726 198903 1 003	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001	- NIP -
Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan			Dosen Pembimbing 1 Dosen Pembimbing 2
			Ridho Bayu Aji, ST., MT., Ph.D. NIP 19730710 199802 1 002
			- NIP -



### ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. VIONITA KRISMA M 2  
NRP : 1 3113 041 049 2  
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : RIDHO BAYU AJI, ST, MT, Ph.d

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
1.	November 2016	- Lantai diatas dibuat aula (prategang) Denah langsung dimodif dg fungsi t sama Cari kontak VSL & brosur VSL Minta data tanah SPT / conus sekitar Sukolilo		B C K
2.	11 November 2016	Mendetaillkan denah → renov. denah sesuai prategang		
3.	24 November 2016	Pendetaillan gambar mana yang harus di prategang ... → tdk merubah fungsi arsitektur - bikin SAP (ced. cuci) yg sesuai dg revisi prategang		B C K
4.	2 Desember 2016	- Hit. kerakuan strukturnya - Cari literatur tentang balok prategang pasca sedang yg efisien → sekalian mat prategang		B C K
5.	21 Februari 2017	- Cari referensi dari freyssinet untuk metode pelaksanaan		B C K
6.	3 APRIL 2017	- Jml: blk pratekan dg struktur utama ? - Kontrol sumpangan kuantitas (cilai)		B C K
7.	12 APRIL 2017	- Cek kehilangan akibat kekekangan Kotom → jika pakai monolit. (detail ?) Jika konso & tidak pakai kekekangan - Sumpungan dan SAP		B C K

Ket.

- B = Lebih cepat dari jadwal  
C = Sesuai dengan jadwal  
K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS , Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

### ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama	:	1	2
NRP	:	1	2
Judul Tugas Akhir	:		

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
8.	26 Mei 2017	- Pemodelan utuh vs pemodelan prategangan cek gempa → misal besarkan dimensi		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Bikin Flowchart SRPMK		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Sptk proyek → pengetahuan blk prategangan		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Gambar + contoh perhitungan SRPMK		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
				<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K

Ket:

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

# **MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG**

**Nama Mahasiswa : Vionita Krisma Maharani**  
**NRP : 3113041049**  
**Program Studi : D IV Teknik Sipil FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ridho Bayuaji, ST., MT.,Ph.D**

## **ABSTRAK**

*Gedung yang digunakan sebagai referensi Tugas Akhir Terapan ini merupakan sebuah gedung perkuliahan yang terletak di Kota Surakarta, Jawa Tengah. Gedung ini mempunyai 4 lantai fungsi dengan tinggi bangunan  $\pm 16$  meter ditambah satu lantai basement yang difungsikan sebagai area parkir sedalam  $\pm 3$  meter dibawah permukaan lantai dasar. Gedung ini direncanakan akan dibangun di Kota Surabaya dengan menambahkan 4 lantai fungsi serta menambahkan Ruang Aula pada lantai 8. Dengan menghilangkan kolom interior pada Ruang Aula maka direncanakan bentang balok  $\pm 20$  meter menggunakan balok prategang. Penggunaan balok prategang ini mempertimbangkan ukuran dimensi balok jika menggunakan balok beton konvensional akan menjadi lebih besar. Metode penarikan pada beton prategang menggunakan metode post-tensioned (pasca tarik). Pada perhitungan struktur ini dirancang dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dimana sistem ini dirancang untuk daerah rawan gempa sesuai SNI 1726-2012 dan pembebanan sesuai peraturan SNI 2847-2013. Beban gempa dihitung dengan metode beban gempa dinamis response spectrum dan analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000.*

**Kata Kunci : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Balok Beton Prategang.**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **STRUCTURAL MODIFICATION OF 8 FLOORS BUILDING USING PRESTRESSED BEAM**

**Name Student : Vionita Krisma Maharani**  
**NRP : 3113041049**  
**Department : D IV Teknik Sipil FTSP-ITS**  
**Counsellor Lecturer : Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D**

## **ABSTRACT**

*The building used as the reference of this applied final assignment is a college building placed in Surakarta, Central Java. It is a four stories building with the height of 16 meters, with a basement below as high as 3 meters that functioned as a parking area. This building is planned to be built in Surabaya with an additional of 4 stories and there will be a hall built on the 8th floor. A 20 meters long beam span using a prestressing beam is planned after removing the interior column. The use of this prestress is considered by the dimensions of the beam, noted that using conventional beam concrete will be greater in size. The tensing method used in prestressing beam is post-tensioned method. The calculation of this structure is designed using a SRPMK system, in which the system is designed for earthquake prone areas in accordance with SNI 1726-2012 and the loading according to SNI 2874-2013. The earthquake load is calculated by dynamic earthquake load method called response spectrum method, and structural analysis is done by using SAP 2000.*

**Keyword:** Special Moment Resisting Frame System and Prestressed Beam.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur terpanjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam. sehingga proposal Proyek Akhir Terapan ini dapat terselesaikan.

Tersusunnya proposal 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 terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta ,sebagai semangat, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil, terutama doa.
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT. selaku koordinator Program Studi Diploma Teknik Sipil
3. Bapak Ridho Bayuaji, S.T.,M.T.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
4. Bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS selaku dosen wali.
5. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih atas bantuan dan saran selama proses penggerjaan Proyek Akhir Terapan ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan proposal tugas akhir ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proposal Proyek Akhir Terapan ini.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	i
<b>ABSTRACT .....</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	v
<b>DAFTAR ISI .....</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	5
2.1 Umum .....	5
2.2 Komponen Lentur SRPMK.....	6
2.2.1 Persyaratan Detailing Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial. .....	6
2.2.2 Persyaratan Tulangan Lentur .....	7
2.2.3 Persyaratan Tulangan Transversal .....	8
2.2.4 Persyaratan Kekuatan Geser .....	10
2.2.5 Kekuatan Lentur Minimum Kolom .....	10
2.2.6 Persyaratan Detailing Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial .....	11
2.2.7 Persyaratan Detailing Hubungan Balok-Kolom .....	17
2.2.8 Tulangan Transversal.....	17
2.2.9 Kuat Geser .....	18
2.3 Struktur Beton Prategang .....	19
2.3.1 Prinsip Dasar Beton Prategang .....	19
2.3.2 Konsep Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis oleh Eugene Freyssinet.....	22
2.3.3. Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton .....	23

2.3.4 Material Beton Prategang .....	24
2.3.5 Material Baja Prategang .....	25
2.3.6 Tahapan Pembebaan .....	26
2.3.7 Kontrol Tegangan .....	27
2.3.8 Kehilangan Sebagian Prategang .....	29
2.3.9 Kekuatan Batas Balok Prategang .....	33
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>35</b>
3.1 Pengumpulan Data dan Studi Literatur.....	36
3.2 Modifikasi dan Penentuan Kriteria Desain.....	36
3.3 Preliminary Desain .....	37
3.4 Perhitungan Struktur Sekunder.....	37
3.5 Pemodelan dan Analisa Pembebaan .....	37
3.5.1 Pembebaan Struktur.....	37
3.5.2 Kombinasi Pembebaan .....	39
3.6 Analisa Struktur .....	40
3.7 Perhitungan Penulangan Struktur .....	40
3.7.1 Kontrol Persyaratan Penulangan .....	41
3.8 Penggambaran Hasil Rencana .....	41
3.9 Pengumpulan Data dan Studi Literatur.....	42
3.10 Preliminary Design Balok Prategang.....	42
3.10.1 Pemilihan Jenis Balok Prategang.....	42
3.10.2 Desain Penampang Balok Prategang .....	43
3.11 Pemberian Gaya Prategang.....	43
3.12 Penetapan dan Tata Letak Tendon.....	43
3.13 Kontrol Tegangan .....	43
3.14 Menghitung Kehilangan Prategang .....	43
3.15 Kontrol Lendutan.....	44
3.16 Kontrol Retak .....	44
3.17 Kontrol Geser .....	44
3.18 Blok Angkur Ujung .....	44
3.19 Penulangan Non Prategang.....	45
3.20 Penggambaran Hasil Perencanaan.....	45
3.21 Metode Pelaksanaan .....	45
<b>BAB IV PRELIMINARY DESIGN .....</b>	<b>47</b>
4.1 Data Perencanaan.....	47

4.1.1 Preliminary Design Balok.....	47
4.1.2 Preliminary Design Plat .....	49
4.1.3 Preliminary Design Kolom .....	53
4.1.4 Perencanaan Tangga .....	53
<b>BAB V PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR.....</b>	<b>55</b>
5.1    Pembebatan .....	55
5.1.1 Beban Mati (D) .....	55
5.1.2 Beban Hidup (LL).....	59
5.1.3 Beban Angin .....	60
5.1.4 Beban Gempa.....	61
5.2    Analisa Gaya Dalam .....	72
5.2.1 Analisa Gaya Dalam Plat.....	72
5.2.2 Analisa Gaya Dalam Balok.....	72
5.2.3 Analisa Gaya Dalam Balok.....	72
5.3    Analisa Pemodelan.....	72
5.3.1 Pemodelan Struktur Dengan SRPMK.....	72
5.3.2 Kontrol Periode Fundamental .....	76
5.3.3 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur .....	82
5.3.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai.....	88
5.3.5 Pengecekan Gaya yang Terjadi.....	93
<b>BAB VI PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER .....</b>	<b>103</b>
6.1    Perhitungan Struktur Plat Lantai .....	103
6.1.1 Pembebatan Struktur Plat.....	103
6.1.2 Pemodelan Plat Lantai .....	104
6.1.3 Analisis Struktur Plat Lantai.....	104
6.1.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Plat .....	105
6.2    Desain Struktur Tangga .....	130
6.2.1 Desain Struktur Plat Tangga dan Plat Bordes.....	131
6.2.2 Pembebatan Tangga .....	131
6.2.3 Pemodelan Tangga.....	132
6.2.4 Analisis Struktur Plat Tangga dan Plat Bordes....	132
6.2.5 Perhitungan Tulangan Plat Tangga.....	133
6.2.6 Perhitungan Tulangan Plat Bordes .....	134
6.3    Desain Balok Penggantung Lift .....	135
6.4    Perhitungan Struktur Atap .....	139

6.4.1 Perhitungan Gording .....	139
6.4.2 Perhitungan Penggantung Gording.....	150
6.4.3 Perhitungan Ikatan Angin .....	152
6.4.4 Perhitungan Kuda-Kuda .....	155
6.4.5 Perhitungan Kolom Baja .....	166
6.4.6 Perhitungan Sambungan .....	174
6.4.7 Rekap Profil Struktur Atap .....	194
<b>6.5 Perhitungan Struktur Balok Anak.....</b>	<b>195</b>
6.5.1 Analisis Struktur Balok anak.....	195
6.5.2 Perhitungan Kebutuhan Longitudinal.....	196
6.5.3 Perhitungan Kebutuhan Transversal.....	198
<b>BAB VII PERHITUNGAN STRUKTUR PRIMER.....</b>	<b>200</b>
7.1 Umum .....	200
7.2 Desain Struktur Balok.....	201
7.2.1 Data Perencanaan .....	202
7.2.2 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa.	202
7.2.3 Perhitungan Penulangan Lentur Balok .....	202
7.2.4 Perhitungan Penulangan Geser Balok .....	211
7.2.5 Perhitungan Penulangan Torsi Balok .....	217
7.2.6 Kontrol Retak Balok .....	221
7.2.7 Perhitungan Cut-Off Points .....	222
7.2.8 Panjang Penyaluran .....	223
7.3 Desain Struktur Kolom .....	225
7.3.1 Data Perencanaan .....	225
7.3.2 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa.	226
7.3.3. Menentukan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur .....	226
7.3.4 Cek Syarat “Strong Column Weak Beam” .....	227
7.3.5 Kebutuhan Tulangan Transversal sebagai Confinement .....	229
7.3.6 Kebutuhan Tulangan Geser .....	231
7.3.7 Kebutuhan Sambungan Lewatan .....	234
7.4 Desain Hubungan Balok-Kolom (HBK).....	235
<b>BAB VIII PERHITUNGAN BALOK PRATEKAN.....</b>	<b>238</b>
8.1 Data Perencanaan.....	238

8.2 Penentuan Tegangan Ijin Beton .....	238
8.3 Perhitungan Momen .....	239
8.4 Daerah Limit Kabel dan Gaya Pratekan Awal .....	239
8.5 Analisa Gaya Pratekan .....	242
8.6 Penentuan Strand dan Tendon yang Digunakan .....	246
<b>8.7 Kontrol gaya akibat stressing dengan Momen Nominal</b>	<b>248</b>
8.7.1 Kontrol Plat Lantai .....	248
8.7.2 Kontrol Balok Anak .....	248
8.7.3 Kontrol Balok Induk .....	249
8.8 Kehilangan Gaya Pratekan .....	250
8.9 Momen Retak .....	265
8.10 Kontrol Lendutan .....	266
8.11 Posisi Tendon .....	268
8.12 Penulangan Lunak Tambahan .....	269
8.12.1 Data Perencanaan .....	269
8.12.2 Penulangan Lentur Akibat Gempa daerah Tumpuan .....	269
8.13 Kontrol Momen Nominal .....	272
8.14 Penulangan Geser .....	276
8.15 Pengangkuran Ujung .....	281
<b>BAB IX METODE PELAKSANAAN BALOK PRATEKAN .....</b>	<b>284</b>
9.1 Umum .....	284
9.2 Material dan Alat yang Digunakan .....	284
9.3 Metode Pekerjaan .....	288
9.3.1 Metode Pekerjaan Pra Konstruksi .....	288
9.3.2 Metode Pelaksanaan Pekerjaan .....	289
<b>BAB X PENUTUP .....</b>	<b>296</b>
10.1 Kesimpulan .....	296
10.2 Saran .....	298
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>300</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>302</b>

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1.Ketentuan Dimensi Penampang Balok .....	6
Gambar 2. 2.Persyaratan Tulangan Lentur .....	8
Gambar 2. 3.Contoh sengkang tertutup saling tumpuk dan ilustrasi batasan pada spasi horizontal maksimum batangan tulangan longitudinal yang ditumpu .....	9
Gambar 2. 4.Persyaratan Tulangan Transversal .....	10
Gambar 2. 5.Geser design untuk balok dan kolom.....	11
Gambar 2. 6.Persyaratan Geometri Kolom.....	12
Gambar 2. 7.Kekekangan Sengkang Tertutup .....	15
Gambar 2. 8.Contoh Pemasangan Tulangan Transversal pada Kolom .....	16
Gambar 2. 9.Geser Rencana Kolom .....	17
Gambar 2. 10.Tendon Ditarik dan Diangkur .....	20
Gambar 2. 11.Beton Dicor.....	20
Gambar 2. 12. Gaya Prategang Ditransfer ke Beton.....	20
Gambar 2. 13.Beton Dicor dengan Selongsong Tendon Terpasang.....	21
Gambar 2. 14.Penarikan Tendon .....	21
Gambar 2. 15.Gaya Prategang Ditransfer ke Beton.....	21
Gambar 2. 16.Distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus .....	23
Gambar 2. 17.Tendon konsentrис, berat sendiri ditambahkan...	23
Gambar 2. 18.Panjang Proyeksi Tendon .....	32
Gambar 2. 19.Perubahan pada bentuk longitudinal balok. (a) Akibat pemberian prategang. (b) Akibat beban eksternal.....	33
Gambar 4. 1. Gambar Potongan Balok .....	50
Gambar 5. 1.Dimensi Elevator Hyundai.....	57
Gambar 5. 2.Reaksi akibat Beban Lift.....	57
Gambar 5. 3.Reaksi pada Pit Lift.....	58
Gambar 5. 4. Reaksi Pembebanan Balok Lift.....	58
Gambar 5. 5.Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget .....	66
Gambar 5. 6.S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget .....	66

Gambar 5. 7.Spektrum Respons Desain .....	71
Gambar 5. 8.Pemodelan Struktur SRPMK Menggunakan SAP 2000.....	73
Gambar 5. 9.Input Mass Source pada SAP 2000.....	74
Gambar 5. 10. Input untuk Analisa Modal SAP 2000.....	75
Gambar 5. 11.Input Faktor Skala Gaya pada Arah EX .....	76
Gambar 5. 12.Input Faktor Skala Gaya pada Arah EY .....	76
Gambar 5. 13.Tampak Depan Lokasi Pratekan .....	79
Gambar 5. 14.Input Faktor Skala Gaya pada Arah X akibat Faktor Pembesaran.....	84
Gambar 5. 15.Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y akibat Faktor Pembesaran.....	84
Gambar 5. 16.Input Faktor Skala Gaya pada Arah X akibat Faktor Pembesaran.....	87
Gambar 5. 17.Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y akibat Faktor Pembesaran.....	87
Gambar 5. 18.Penentuan Simpangan Antar Lantai .....	89
Gambar 5. 19.Balok yang Ditinjau .....	94
Gambar 5. 20.Tributary Area pada Daerah yang Ditinjau.....	95
Gambar 5. 21.Kolom yang Ditinjau .....	97
Gambar 5. 22.Denah Pembebanan Kolom .....	98
Gambar 6. 1.Pemodelan Plat Lantai .....	104
Gambar 6. 2.Ketentuan Analisa Plat Lantai .....	105
Gambar 6. 3.Plat Tipe 1.....	106
Gambar 6. 4. Penulangan Plat Lantai Tipe 1 .....	118
Gambar 6. 5. Penulangan Plat Lantai Tipe 2 .....	120
Gambar 6. 6.Penulangan Plat Lantai Tipe 3 .....	122
Gambar 6. 7.Penulangan Plat Lantai Tipe 4.....	124
Gambar 6. 8.Penulangan Plat Lantai Tipe 5 .....	126
Gambar 6. 9.Penulangan Plat Lantai Tipe 6 .....	128
Gambar 6. 10.Penulangan Plat Lantai Tipe 7 .....	130
Gambar 6. 11.. Denah Penempatan Tangga pada Lantai Dasar .....	130
Gambar 6. 12.Pemodelan Tangga pada SAP.....	132
Gambar 6. 13.Ukuran dan Dimensi dari Baja Lip Channel....	140

Gambar 6. 14.Perhitungan Beban pada Gording .....	141
Gambar 6. 15.Pengaruh Beban Angin pada Atap .....	142
Gambar 6. 16.Momen yang Terjadi pada Gording .....	143
Gambar 6. 17.Penggantung Gording .....	150
Gambar 6. 18.Profil WF .....	155
Gambar 6. 19.Gaya yang Terjadi pada Kuda-kuda.....	156
Gambar 6. 20. Pu Kuda-Kuda pada SAP 2000.....	157
Gambar 6. 21.Vu Kuda-Kuda pada SAP 2000 .....	157
Gambar 6. 22.Mu Kuda-Kuda pada SAP 2000.....	158
Gambar 6. 23. Kolom Baja yang ditinjau .....	166
Gambar 6. 24.Gaya Aksial yang Terjadi pada Kolom Baja....	167
Gambar 6. 25.Gaya Geser yang Terjadi pada Kolom Baja....	167
Gambar 6. 26.Gaya Momen yang Terjadi pada Kolom Baja..	167
Gambar 6. 27.Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom .....	174
Gambar 6. 28.Gaya yang Terjadi pada Sambungan A.....	174
Gambar 6. 29.Gaya yang Terjadi pada Sambungan A.....	175
Gambar 6. 30.Konfigurasi Baut pada Sambungan A.....	176
Gambar 6. 31.Momen yang Terjadi pada Sambungan Baut... <td>177</td>	177
Gambar 6. 32.Panjang Las pada Sambungan A.....	179
Gambar 6. 33.Sambungan Kuda-kuda dengan Kuda-kuda....	181
Gambar 6. 34.Gaya yang Terjadi pada Sambungan B .....	181
Gambar 6. 35.Gaya yang Terjadi pada Sambungan B .....	181
Gambar 6. 36.Konfigurasi Baut pada Sambungan A.....	183
Gambar 6. 37.Momen yang Terjadi pada Sambungan Baut... <td>184</td>	184
Gambar 6. 38.Panjang Las pada Sambungan A.....	186
Gambar 6. 39.Rencana Dimensi Plat Landas.....	188
Gambar 6. 40.Gaya yang Terjadi pada Plat Landas.....	189
Gambar 6. 41.Tegangan Angkur Akibat Reaksi Plat Landas .	190
Gambar 6. 42.Panjang Penyaluran Angkur.....	192
Gambar 6. 43.Panjang Las pada Sambungan C .....	193
Gambar 6. 44.Momen tumpuan dan lapangan pada balok anak .....	195
Gambar 6. 45.Gaya Geser pada Balok Anak .....	195
Gambar 7. 1 Beban dan Reaksi pada Gording .....	147
Gambar 7. 2 Balok anak yang ditinjau (frame 3075).....	195

Gambar 7. 3.Portal yang Ditinjau. XZ @Y=12.....	200
Gambar 7. 4.Portal yang Ditinjau YZ @X=30.....	201
Gambar 7. 5.Hasil Output SAP Momen Tumpuan Kanan .....	203
Gambar 7. 6.Hasil Output SAP Momen Tumpuan Kiri .....	203
Gambar 7. 7.Hasil Output SAP Momen Lapangan .....	203
Gambar 7. 8. Geser yang Terjadi pada Balok Induk .....	213
Gambar 7. 9.Aksial Balok yang Terjadi .....	214
Gambar 7. 10. Torsi Balok yang Terjadi .....	217
Gambar 7. 11. Gaya Geser yang Terjadi .....	217
Gambar 7. 12.Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar .....	223
Gambar 7. 13. Kolom yang Dittinjau .....	225
Gambar 7. 14. Hasil dari PCACOL .....	226
Gambar 7. 15.Didapatkan hasil dari pcaColumn, konfigurasi penulangan 16-D25 dengan rasio luas tulangan terhadap luas kolom ( $\rho$ ) sebesar 0,0208 sehingga $0,01 < \rho < 0,06$ terpenuhi.	227
Gambar 7. 16.Penampang Komposit Balok Pratekan .....	241
Gambar 7. 17Daerah Limit Kabel .....	245
Gambar 7. 18.Portal Dengan Balok Pratekan.....	253
Gambar 7. 19.Perpendekan Kolom.....	254
Gambar 7. 20.Momen yang Bekerja Akibat Beban Merata ...	255
Gambar 7. 21.Keseimbangan Gaya Prategang dengan Reaksi Perletakan .....	256
Gambar 9. 1. Scaffolding.....	284
Gambar 9. 2.PC Strand dari Freyssinet dengang 7 wire stress, diameter 12,7mm (0,5") ASTM A 416-90a.....	285
Gambar 9. 3.Angkur Hidup .....	285
Gambar 9. 4.Angkur Mati .....	286
Gambar 9. 5.Galvanized Ducting .....	286
Gambar 9. 6.Hydraulic Jack dan Stressing Pump.....	287
Gambar 9. 7.Hydraulic Jack dan Stressing Pump.....	287
Gambar 9. 8.Alat bantu lain.....	288
Gambar 9. 9.Pemasangan Scaffolding dan Balok Suri-Suri...	291

Gambar 9. 10.Pemasangan Bekisting, Pipa Selongsong dan Tendon Balok Pratekan.....	292
Gambar 9. 11.Proses Jacking pada Balok Pratekan Selesai setelah balok dicor dan Mengeras.....	293

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1.Sifat-sifat Strand Stress-Relieve dengan Tujuh Kawat tanpa Pelapisan (ASTM A-416-74) .....	25
Tabel 2. 2.Panjang Proyeksi Tendon (Nawy,2001) .....	32
Tabel 3. 1.Berat sendiri bahan komponen gedung.....	38
Tabel 4. 1.Resume pendimensian balok .....	49
Tabel 6. 1.Momen yang Terjadi dihitung Menggunakan SAP 2000 .....	105
Tabel 6. 2.Perhitungan Plat Lantai Tipe 1 .....	117
Tabel 6. 3.Perhitungan Plat Lantai Tipe 2 .....	119
Tabel 6. 4.Perhitungan Plat Lantai Tipe 3 .....	121
Tabel 6. 5.Perhitungan Plat Lantai Tipe 4 .....	123
Tabel 6. 6.Perhitungan Plat Lantai Tipe 5 .....	125
Tabel 6. 7.Perhitungan Plat Lantai Tipe 6 .....	127
Tabel 6. 8.Perhitungan Plat Lantai Tipe 7 .....	129
Tabel 6. 9.Momen yang Terjadi pada Plat Tangga dan Plat Bordes Menggunakan SAP 2000 v.14 .....	133
Tabel 6. 10.Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Plat Tangga .....	133
Tabel 6. 11.Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Plat Bordes .....	134
Tabel 7. 1.Momen Balok Induk yang Terjadi pada SAP .....	203
Tabel 7. 2.Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan .....	214
Tabel 7. 3. Resume Kehilangan Pratekan .....	263
Tabel 7. 4.Letak Posisi Tendon .....	269

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Perencanaan struktur bertujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, awet, aman, dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti ekonomis dan mudah dilaksanakan. Wilayah Indonesia khususnya Pulau Jawa merupakan wilayah yang rawan akan terjadinya gempa, maka sudah semestinya dalam pembangunan infrastruktur memenuhi syarat tahan gempa. Untuk itu diperlukan perancangan dan pengawasan khusus untuk menekan resiko yang terjadi akibat gempa. Salah satu sistem struktur yang digunakan untuk bangunan tahan gempa tinggi adalah Sistem Rangka Khusus Pemikul Momen (SRPMK).

Gedung yang digunakan data eksistingnya dalam Tugas Akhir Terapan ini terletak di Kota Surakarta yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan dengan 5 lantai. Dalam Tugas Akhir Terapan ini, gedung tersebut akan dimodifikasi menjadi 8 lantai dengan lantai semi basement sebagai syarat batas jumlah lantai untuk penyusunan Tugas Akhir Terapan strata Diploma IV. Selain itu, gedung ini juga dimodifikasi dengan menggunakan balok prategang pada Multifunction Hall nya. Modifikasi dilakukan agar pada lantai aula didapatkan ruang yang luas dengan sedikit kolom. Penggunaan balok prategang dirasa cocok untuk bentang balok yang cukup panjang dan untuk mengurangi penggunaan kolom serta untuk perencanaan kuat terhadap tarik karena selama ini beton bersifat lemah terhadap tarik.

Gedung yang mempunyai panjang 52 meter dan lebar 24 meter direncanakan dibangun menggunakan data tanah Kota Surabaya yang masuk pada Kategori Desain Seismik (KDS) D. Menurut SNI 1726-2012, struktur bangunan beton bertulang yang dikarenakan KDS D, E, atau F harus direncanakan dengan pengaruh gempa rencana periode ulang gempa 2500 tahun. Oleh karena itu bangunan ini dimodifikasi ulang menggunakan Sistem

Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Perhitungan penulangan pada struktur gedung ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2013 tentang perhitungan struktur beton, SNI 03-1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung, dan SNI 7833-2012 tentang Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang ditinjau dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### Perumusan Utama:

1. Bagaimana merencanakan struktur utama bangunan bertingkat yang berada pada zona gempa tinggi dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
2. Bagaimana merencanakan dan melaksanakan struktur utama balok prategang pada lantai teratas

### Perumusan Detail:

1. Bagaimana merencanakan preliminary design struktur
2. Bagaimana asumsi pembebanan setelah modifikasi perancangan menurut SRPMK dan balok prategang.
3. Bagaimana merencanakan elemen struktur primer berupa balok induk, kolom, hubungan. balok kolom dengan SRPMK serta balok prategang dengan metode pasca Tarik(Post Tension).
4. Bagaimana menerapkan design balok beton prategang pada bangunan tersebut.
5. Bagaimana merencanakan metode pelaksanaan balok prategang.
6. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar teknik.

### 1.3 Tujuan

Adapun maksut dan tujuan yang diharapkan dalam tugas akhir ini adalah mendapatkan perancangan modifikasi yang memenuhi persyaratan dan keamanan konstruksi antara lain:

1. Menentukan permodelan struktur dengan asumsi pembebaran sesuai dengan peraturan yang ada.
2. Melakukan perencanaan gedung tersebut dengan adanya modifikasi menggunakan sistem SRPMK dan balok prategang.
3. Merencanakan elemen struktur primer berupa balok induk, kolom, hubungan balok kolom dengan SRPMK serta balok prategang dengan metode Pasca Tarik (Post Tension).
4. Menerapkan desain sistem balok prategang pada bangunan tersebut.
5. Merencanakan metode pelaksanaan balok prategang.
6. Menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar teknik.

### 1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini tidak melebar, maka dalam tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan pada:

1. Perencanaan struktur bangunan terdiri dari 8 lantai.
2. Tugas akhir ini hanya meninjau pelaksanaan pada pekerjaan balok prategang
3. Balok prategang direncanakan pada lantai 7.
4. Dalam perencanaan struktur memperhitungkan struktur atas dan tidak menghitung pondasi bangunan.
5. Perancangan tidak meninjau dari segi Arsitektural Gedung.
6. Perancangan tidak termasuk memperhitungkan sistem utilitas bangunan, perencanaan pembuangan saluran air bersih dan kotor, instalasi listrik, dsb.

### 1.5 Manfaat

Diharapkan dengan berakhirnya Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memahami aplikasi sistem SRPMK pada gedung yang terletak di daerah gempa tinggi dan aplikasi penggunaan beton prategang pada pembangunan gedung bertingkat.
2. Dapat merencanakan gedung bertingkat dengan sistem SRPMK dan penggunaan balok prategang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Struktur tahan gempa adalah struktur yang mampu menahan gaya geser gempa rencana yang muncul akibat gelombang gempa yang berasal dari dalam batuan dasar. Gelombang gempa yang berasal dari alam batuan tersebut akan merambat ke permukaan dan memberikan gaya geser pada bangunan.

Wilayah Indonesia memiliki 6 skala wilayah gempa dimana skala 1 menunjukkan wilayah dengan tingkat kegempaan yang paling rendah dan skala 6 adalah wilayah dengan tingkat gempa yang paling tinggi. Pembagian wilayah ini berdasarkan resiko terjadinya gempa diatas gempa rencana kemungkinan sebesar 2 persen terlampaui dalam 50 tahun. (SNI-1726-2012).

Menurut Moestopo (2012) prinsip dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut:

1. Pada saat gempa kecil tidak diizinkan terjadi kerusakan sama sekali
2. Pada saat gempa sedang diijinkan terjadi kerusakan ringan tanpa kerusakan structural
3. Pada saat gempa besar diijinkan terjadi kerusakan structural tanpa keruntuhan

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka ruang dalam dimana komponen struktur dan joint nya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Di Indonesia ada tiga macam sistem struktur yang digunakan yaitu: Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) (SNI 1727-2012).

## 2.2 Komponen Lentur SRPMK

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

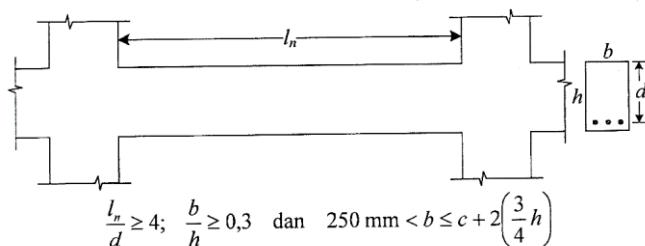
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah suatu sistem rangka dimana komponen struktur dan jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur dimana gaya tekan aksial terfaktor yang bekerja pada penampangnya ( $P_u$ ) tidak boleh melebihi  $A_g f_c' / 10$  (SNI 2847-2013 pasal 21.5.1.1)

$$P_u < 0,1 A_g f_c'$$

Dimana  $A_g$  adalah luas penampang komponen struktur.

Selain gaya tekan aksial terfaktor, secara geometri ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk komponen struktur kolom SRPMK yaitu:

1. Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300mm.
2. Rasio ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.
3. Lebar penampang haruslah:
  - a.  $\geq 250$  mm
  - b.  $\leq$  lebar kolom ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang tidak melebihi  $\frac{3}{4}$  tinggi komponen struktur lentur. Persyaratan ini terkait dengan transfer momen akibat gempa dari elemen struktur balok ke kolom.



Gambar 2. 1.Ketentuan Dimensi Penampang Balok

### 2.2.2 Persyaratan Tulangan Lentur

Beberapa persyaratan tulangan lentur pada perencanaan komponen lentur SRPMK menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 diantaranya adalah:

1. Masing-masing jumlah tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \text{ atau } \frac{0,25 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c}}{f_y}$$

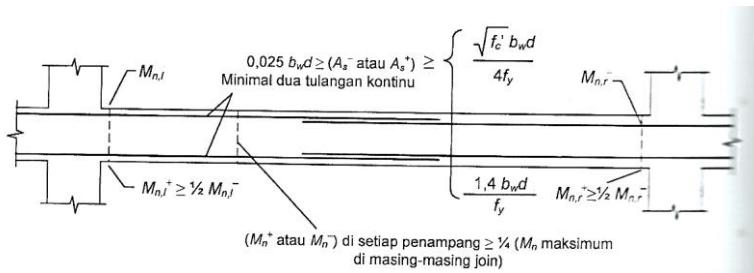
Dimana  $b_w$  adalah lebar dan  $d$  adalah tinggi efektif penampang lentur.

2. Rasio tulangan lentur maksimum ( $\rho_{\max}$ ), tidak boleh melebihi 0,025
3. Paling sedikit 2 batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah
4. Kuat momen lentur positif pada muka joint harus tidak kurang atau sama dengan dari setengah kuat momen lentur negativnya.

$$M_n, l^+ > \frac{1}{2} M_n, l^-$$

5. Dimana kuat momen lentur positif dan negative tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{4}$  kuat lentur momen maksimum pada bentang tersebut (SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2)
6. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan di sepanjang sambungan. Pemasangan sengkang ini penting karena untuk mengekang beton di daerah sambungan dan mengantisipasi terkelupasnya selimut beton pada saat penampang mengalami deformasi inelastic yang signifikan. Spasi tulangan transversal pada sambungan lewatan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari  $d/4$  dan 100mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan:
  - a. Dalam joint (hubungan balok kolom)
  - b. Dalam jarak  $2x$  tinggi balok  $h$  dari muka kolom, dan
  - c. Lokasi-lokasi yang berdasarkan hasil analisis, memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh

lentur akibat perpindahan lateral inelastic struktur portal bangunan. (SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.3)



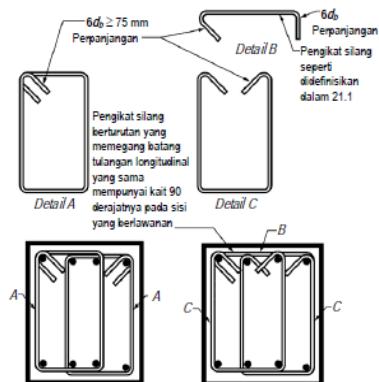
Gambar 2. 2.Persyaratan Tulangan Lentur

### 2.2.3 Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal harus dirancang untuk menahan kuat geser perlu dengan menganggap kontribusi penampang beton dalam menahan geser ( $V_c = 0$ ) selama (SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2):

1. Gaya geser akibat gempa mewakili  $\frac{1}{2}$  atau lebih dari kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut.
2. Gaya aksial tekan terfaktor pada penampang, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari  $A_g f_c' / 20$

Komponen lentur membutuhkan tulangan transversal untuk menahan geser, menekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral bagi batang tulangan lentur dimana dapat terbentuk tegangan leleh. Sengkang yang terpasang harus tertutup seperti pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1 karena pada saat gempa kuat pada daerah sendi plastis dan sekitarnya dapat terjadi pengelupasan selimut beton.



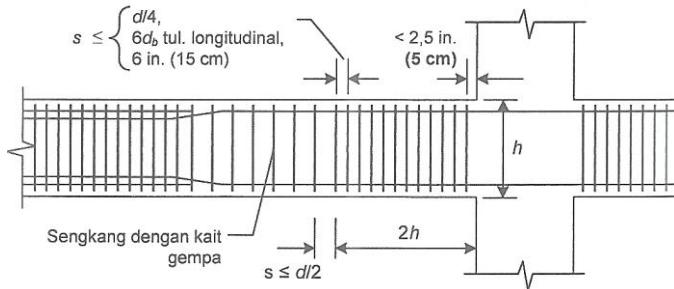
Gambar 2. 3. Contoh sengkang tertutup saling tumpuk dan ilustrasi batasan pada spasi horizontal maksimum batangan tulangan longitudinal yang ditumpu

Sengkang tertutup harus dipasang:

1. Sepanjang suatu panjang hingga 2x tinggi balok diukur dari muka tumpuan
2. Di sepanjang daerah 2x tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang yang berpotensi membentuk sendi plastis.

Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50mm dari muka tumpuan. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi (SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2)

- a.  $d/4$
- b. enam kali diameter terkecil tulangan memanjang
- c. 150mm.



Gambar 2. 4.Persyaratan Tulangan Transversal

#### 2.2.4 Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser desain  $V_e$  untuk perencanaan geser bagi komponen struktur SRPMK harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada komponen struktur antara dua muka tumpuan, yaitu:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{ln} \pm \frac{W_u ln}{2}$$

Dimana

$V_e$  = gaya geser ultimate balok akibat gempa

$M_{pr1}$  = *probable moment* di perletakan 1 akibat goyangan ke kiri (atau ke kanan)

$M_{pr2}$  = *probable moment* di perletakan 2 akibat goyangan ke kiri (atau ke kanan)

$W_u$  = pengaruh beban gravitasi (1,2D + 1,0L)

$ln$  = panjang bentang bersih balok

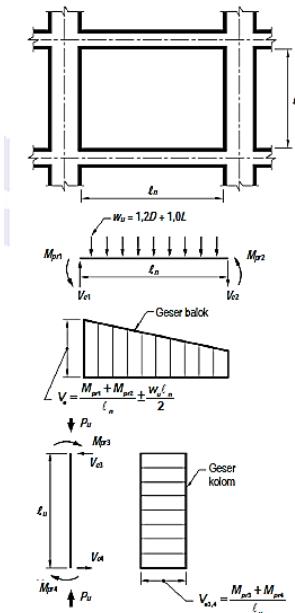
#### 2.2.5 Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi (SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2):

1. Arah gaya geser  $V_e$  tergantung pada besaran relative beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung
2. Momen-momen ujung  $M_{pr}$  berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar 1,25fy adalah kekuatan leleh yang ditetapkan

(Kedua momen ujung harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam).

3. Momen ujung Mpr untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh Mpr balok-balok yang merangka ke dalam joint balok-kolom. Ve tidak boleh kurang dari yang diisyaratkan oleh analisis struktur.



Gambar 2. 5.Geser design untuk balok dan kolom

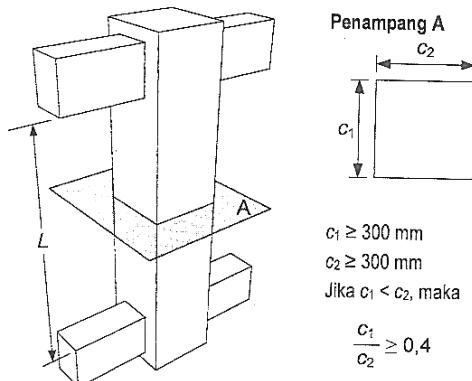
## 2.2.6 Persyaratan Detailing Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial

Komponen ini adalah komponen struktur kolom yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial. Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur dimana gaya tekan aksial terfaktor yang bekerja pada penampangnya (Pu)

tidak boleh melebihi  $A_g f_c' / 10$  (SNI 2847-2013 pasal 21.5.1.1).

Syarat yang harus dipenuhi struktur kolom SRPMK antara lain:

1. Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300mm.
2. Perbandingan antar ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurusnya tidak kurang dari 0.4



Gambar 2. 6.Persyaratan Geometri Kolom

### 2.2.6.1 Perencanaan Lentur

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2,

$$\Sigma M_{nc} \geq \frac{6}{5} \Sigma M_{nb}$$

Dimana,

$\Sigma M_{nc}$  = jumlah  $M_n$  kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom.  $M_n$  harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan  $M_n$  terkecil.

$\Sigma M_{nb}$  = jumlah  $M_n$  balok yang merangka pada HBK. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam keadaan tertarik pada muka kolom, tulangan pelat yang berada dalam daerah lebar efektif pelat harus diperhitungkan dalam menentukan momen nominal balok bila tulangan tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritis lentur.

Untuk perhitungan  $M_n$  pada konstruksi balok-T yang merangka pada hubungan balok kolom, lebar efektif pelat dapat diambil sesuai SNI 2847-2013 pasal 8.12. Lebar efektif pelat pada konstruksi balok-T tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{4}$  panjang bentang balok dan tidak boleh melebihi:

1. Delapan kali tebal pelat, dan
2.  $\frac{1}{2}$  jarak bersih antar balok yang bersebelahan

Untuk balok tepi, lebar efektif dari sisi badan tidak boleh lebih dari:

1.  $\frac{1}{12}$  dari bentang balok
2. Enam kali tebal pelat
3. Setengah  $\frac{1}{2}$  jarak bersih antar balok yang bersebelahan

#### **2.2.6.2 Persyaratan Tulangan Transversal**

Tulangan transversal pada kolom dapat berupa spiral atau tulangan sengkang tertutup dan berfungsi untuk mengekang daerah inti kolom. Jumlah tulangan spiral atau tulangan sengkang tertutup yang dipasang di daerah tertentu kolom yang berpotensi membentuk sendi plastis harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Rasio volumetric tulangan spiral atau tulangan sengkang cincin, tidak boleh kurang dari

$$\rho_s = 0,12 \left( \frac{f_{ct}'}{f_{yt}} \right) \text{ atau } \rho_s = 0,45 \left( \frac{A_s}{A_c} - 1 \right) \frac{f_{ct}'}{f_{yt}}$$

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

Untuk potongan x

$$Ash_x = 0,3 \left( s b c x \frac{f_{ct}'}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \text{ atau } Ash_x = \\ 0,09 \left( s b c x \frac{f_{ct}'}{f_{yt}} \right)$$

Untuk potongan y

$$Ash_y = 0,3 \left( s b c y \frac{f_{ct}'}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \text{ atau } Ash_y = \\ 0,09 \left( s b c y \frac{f_{ct}'}{f_{yt}} \right)$$

Dengan:

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

$Ashy$  = 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

$Ag$  = Luas bruto penampang kolom

$Ach$  = Luas penampang inti kolom dari sisi luar ke sisi luar tulangan sengkang tertutup

$Ac$  = Luas penampang inti kolom dari sisi luar ke sisi luar tulangan spiral

$Fyt$  = Kuat leleh tulangan transversal (maksimum 700 Mpa)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.3, spasi tulangan transversal yang dipasang di sepanjang daerah yang berpotensi membentuk sendi plastis (diujung-ujung kolom) tidak boleh lebih dari :

1.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil komponen struktur
2. Enam kali diameter tulangan longitudinal
3.  $S_x = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3}\right)$  dengan  $100 \leq S_x \leq 150\text{mm}$

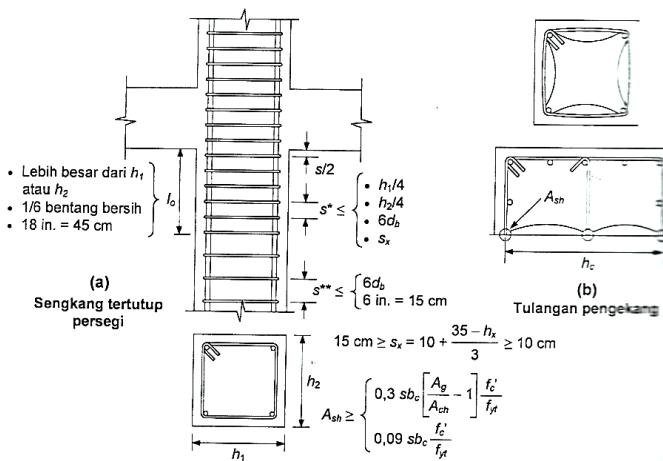
Tulangan transversal dapat berupa tulangan sengkang tunggal atau tumpuk. Pengikat silang yang diameter dan spasinya sama dengan sengkang tertutup juga boleh dipergunakan. Syarat jarak maksimum yang diizinkan antar tulangan longitudinal kolom yang diberi penopang lateral yaitu,  $x \leq 350\text{ mm}$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

Daerah daerah pada kolom yang berpotensi membentuk sendi plastis yang harus dipasangi tulangan transversal dengan luasan dan spasi sesuai ketentuan diatas diatur sebagai berikut:

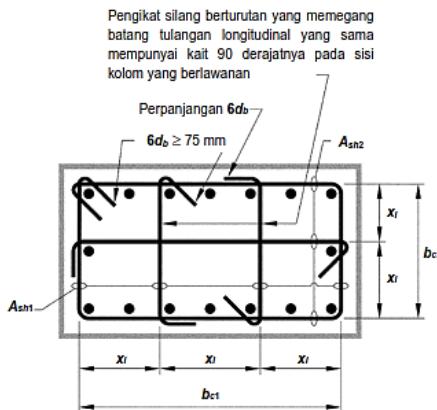
1. Sepanjang  $l_o$  dari tiap muka HBK.

2. Sepanjang  $l_0$  pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk leleh lentur (sendi plastis) akibat deformasi lateral inelastic pada struktur rangka.
3. Sepanjang daerah sambungan lewat tulangan longitudinal kolom
4. Ke dalam kepala fondasi sejauh minimum 300mm
5. Panjang  $l_0$  tidak kurang dari:
  1. Tinggi penampang struktur kolom pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk lentur.
  2.  $1/6$  bentang bersih struktur kolom
  3. 450 mm

Bila gaya-gaya aksial terfaktor pada kolom akibat beban gempa melampaui  $0,1 A_g f_c'$  dan gaya aksial tersebut berasal dari komponen struktur lainnya yang sangat kaku yang didukungnya, misal dinding, maka kolom tersebut harus diberi tulangan transversal sesuai ketentuan diatas pada seluruh tinggi kolom dan batasan tersebut harus ditingkatkan menjadi  $0,25 A_g f_c'$ . (SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.6).



Gambar 2. 7.Kekekangan Sengkang Tertutup



Dimensi  $x_t$  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  $x_t$ .

Gambar 2. 8. Contoh Pemasangan Tulangan Transversal pada Kolom

### 2.2.6.3 Perencanaan Geser

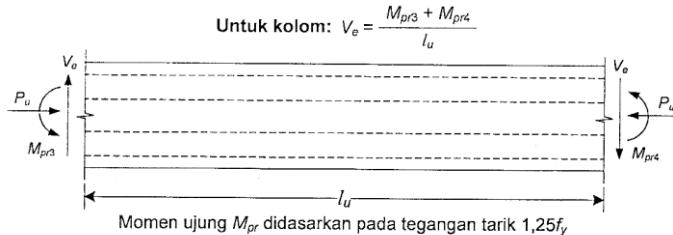
Gaya geser rencana,  $V_e$ , untuk perencanaan geser kolom harus ditentukan berdasarkan gaya lentur maksimum yang dapat terjadi pada muka HBK di tiap ujung komponen struktur. Namun momen  $M_{pr}$  kolom yang digunakan untuk perhitungan  $V_e$  tidak perlu lebih besar daripada  $M_{pr}$  balok yang merangka pada HBK yang sama.  $V_e$  yang digunakan untuk desain tidak boleh lebih kecil daripada nilai gaya geser hasil analisis struktur.

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

1. Gaya geser akibat beban gempa yang dihitung sesuai  $M_{pr}$  mewakili 50% atau lebih kuat geser perlu maksimum pada bagian di sepanjang  $l_o$ ,
2. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui  $0,05 Agfc'$

Karena pada gaya aksial terfaktor yang bekerja pada struktur kolom umumnya lebih besar dari  $0,05 Agfc'$  maka pada dasarnya ketentuan diatas tidak berlaku. Jadi perencanaan di

sepanjang daerah  $l_o$  tetap dapat dilakukan dengan menganggap beton efektif dalam berkontribusi menahan geser.



Gambar 2. 9.Geser Rencana Kolom

### 2.2.7 Persyaratan Detailing Hubungan Balok-Kolom

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 21.7, maka syarat umum untuk hubungan balok-kolom antara lain:

1. Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus diasumsikan bahwa tegangan tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .
2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan dalam kolom harus diteruskan ke muka jauh inti kolom terkekang dan diangkur dalam kondisi tarik (21.7.5) dan kondisi tekan (menurut pasal 12).
3. Untuk beton normal, dimensi kolom pada joint dalam arah parallel tulangan longitudinal balok minimal harus 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar pada balok. Untuk beton ringan dimensinya minimal 26 kali diameter.

### 2.2.8 Tulangan Transversal

Tulangan transversal seperti sengkang tertutup yang dipasang pada daerah sendi plastis kolom harus dipasang juga di daerah HBK, kecuali bila hubungan tersebut dikekang oleh komponen-komponen balok yang merangka pada kolom tersebut. Bila ada balok dengan lebar setidaknya  $\frac{3}{4}$  lebar kolom merangka pada keempat sisi HBK maka tulangan transversal harus dipasang

di daerah joint hanya  $\frac{1}{2}$  dari yang dipasang di daerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal ini harus dipasang mulai dari sisi terbawah balok yang merangka ke hubungan tersebut. Spasi tulangan transversal pada kondisi ini dapat diperbesar menjadi 150mm.

### 2.2.9 Kuat Geser

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 21.7.4 maka persyaratan untuk kuat geser pada Joint antara lain:

1. Untuk beton normal  $V_n$  joint tidak boleh diambil lebih besar dari nilai berikut:
  - a. Untuk joint yang terkekang balok-balok pada semua empat muka

$$1,7 \sqrt{f'_c} A_j$$

- b. Untuk joint yang terkekang balok-balok pada tiga muka atau dua muka berlawanan

$$1,2 \sqrt{f'_c} A_j$$

- c. Untuk kasus-kasus lainnya

$$1,0 \sqrt{f'_c} A_j$$

$A_j$  adalah luas penampang efektif dalam joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif.

Gaya geser horizontal di HBK dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_u = T_{b1} + T_{s1} + T_{s2} + C_{b2} - V_{col1}$$

Dengan:

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

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

$$\alpha = 1,25$$

Untuk ukuran batang tulangan D10mm hingga D36mm, panjang penyaluran lhd untuk batang tulangan Tarik dengan kait standar  $90^\circ$  dalam beton normal tidak boleh diambil lebih kecil dari 8dbr 150mm, dan nilai yang ditentukan oleh:

$$ldh = \frac{fy db}{5,4 \sqrt{fc'}}$$

Boleh digunakan tulangan tanpa kait, untk diameter 10mm hingga D36mm, panjang penyaluran Tarik tidak boleh diambil lebih kecil dari:

- a. 2,5 kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengcoran beton di bawah tulangan kurang dari 300mm,
- b. 3,5 kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengcoran beton di bawah tulangan melebihi 300mm.

## 2.3 Struktur Beton Prategang

Beton prategang adalah struktur yang terbuat dari perpaduan antara beton dan baja. Beton dengan kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknya rendah. Sedangkan baja mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi. Jadi dengan mengkombinasikan kekuatan beton dan baja maka akan menghasilkan struktur yang kuat terhadap beban tekan dan beban tarik.

### 2.3.1 Prinsip Dasar Beton Prategang

Ada tiga konsep yang digunakan untuk menganalisis sifat dasar dari prategang. Selain sistem yang mengkombinasikan beton mutu tinggi dengan baja mutu tinggi, sebelumnya Eugene Freyssinet 1928 menemukan sistem beton prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Selanjutnya ditemukan penemuan baru menurut T.Y Lin 1963 yaitu konsep prategang untuk mencapai pertimbangan beban.

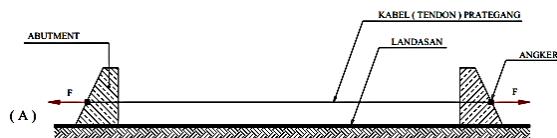
Tegangan permanen di komponen struktur prategang diberikan sebelum seluruh beban mati dan beban hidup bekerja agar tegangan tarik netto yang ditimbulkan oleh beban tersebut dapat dikurangi (maka disebut prategang / prestress). Pada beton bertulang, diasumsikan bahwa kuat tarik beton dapat diabaikan. Pada beton prategang, tulangan (tendon) berfungsi menciptakan

tegangan awal yang nantinya harus mengimbangi tegangan tarik akibat beban.

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

#### A. Pratarik (pre-tensioned method)

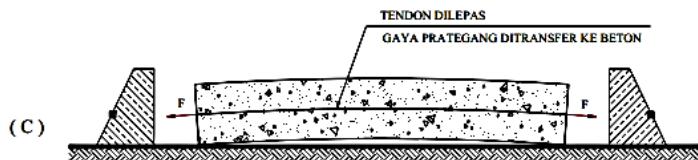
Metode ini adalah cara dimana tendon-tendon diberi gaya prategang terlebih dahulu sebelum beton dicor. Tendon harus diangkur sementara pada abutmen atau lantai penahan pada saat ditarik dan gaya prategangnya dialihkan ke beton setelah beton mengeras.



Gambar 2. 10.Tendon Ditarik dan Diangkur



Gambar 2. 11.Beton Dicor



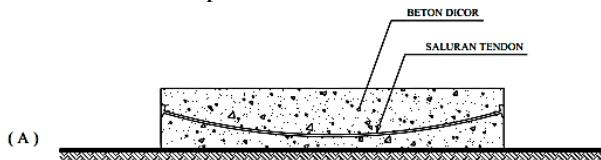
Gambar 2. 12. Gaya Prategang Ditransfer ke Beton

Pada Gambar A, kabel prategang (tendon) ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangkur pada suatu abutmen tetap. Kemudian beton dicor pada formwork dan landasan yang sudah disediakan sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi

gaya prategang dan dibiarkan mengeras seperti pada Gambar B. Lalu setelah beton mengeras dan cukup umur serta kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan lepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton seperti pada Gambar C.

### B. Pasca-tarik (post-tensioned method)

Adalah suatu sistem dimana tendon ditarik setelah beton mengeras. Tendon terlebih dahulu diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya prategang dilakukan. Metode ini dapat dilakukan pada elemen-elemen baik beton pracetak maupun beton cor ditempat.



Gambar 2. 13.Beton Dicor dengan Selongsong Tendon Terpasang



Gambar 2. 14.Penarikan Tendon



Gambar 2. 15.Gaya Prategang Ditransfer ke Beton

Pada Gambar A, terlebih dahulu formwork disiapkan lengkap dengan saluran kabel prategang (*tendon duck*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok beton yang akan dicor. Lalu setelah beton cukup umur dan kuat memikul

gaya prategang, tendon atau kabel prategang akan dimasukkan kedalam *tendon duck* lalu ditarik untuk mendapatkan gaya prategang seperti pada Gambar B. Pada metode ini, salah satu ujung kabel diangkur kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Adapula yang ditarik dua sisi dan diangkur bersamaan. Setelah diangkur kemudian saluran digrouting melalui lubang yang telah disediakan. Pada Gambar C, beton menjadi tertekan setelah diangkur dan gaya prategangnya telah ditransfer ke beton. Karna tendon dipasang melengkung maka tendon memberikan beban merata ke balok yang arahnya ke atas, akibatnya beton melengkung keatas.

### 2.3.2 Konsep Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis oleh Eugene Freyssinet

Apabila balok persegi panjang yang ditumpu sederhana yang mengalami gaya prategang  $P$  *konsentris* maka tegangan tekan di penampang balok tersebut seragam dan mempunyai intensitas (Edwad G. Nawy, Konsep-Konsep Dasar Pemberian Prategang bab 1.3).

$$f = -\frac{P}{Ac}$$

Dimana

$Ac$  = luas penampang balok (bh)

$P$  = gaya prategang

$b$  = lebar balok

$h$  = tinggi total balok

Jika beban transversal bekerja pada balok maka menimbulkan momen  $M$  di tengah bentang, maka tegangannya menjadi

$$ft = -\frac{P}{Ac} - \frac{Mc}{Ig} \text{ dan } fb = -\frac{P}{Ac} + \frac{Mc}{Ig}$$

Dimana

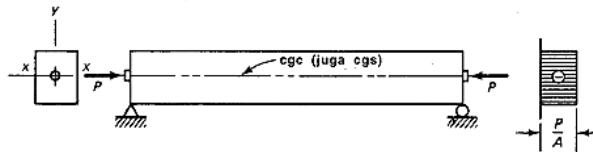
$f_t$  = tegangan serat atas

$f_b$  = tegangan serat bawah

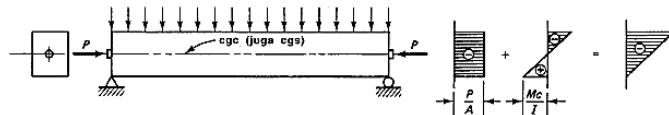
$c$  =  $h/2$  untuk penampang persegi panjang

$I_g$  = momen inersia bruto penampang ( $1/12 bh^3$  dalam hal ini)

$P$  = gaya prategang



Gambar 2. 16.Distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus



Gambar 2. 17.Tendon konsentris, berat sendiri ditambahkan

Jika tendon diletakkan pada eksentrisitas  $e$  dari pusat beton (titik berat penampang beton), disebut garis  $cgc$ , maka timbul momen  $Pe$  dan tegangan di tengah bentang menjadi:

$$ft = -\frac{P}{Ac} + \frac{Pec}{Ig} - \frac{Mc}{Ig} \text{ dan } fb = -\frac{P}{Ac} - \frac{Pec}{Ig} + \frac{Mc}{Ig}$$

### 2.3.3. Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal yang dinamakan Sistem Prategang Untuk Mencapai Perimbangan Beban.

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti plat (slab),

balok, dan gelagar (girder) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebahan yang terjadi.

Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja di sepanjang bentang. Apabila sebuah balok prategang diatas dua tumpuan (*simple beam*) dengan tendon berbentuk parabola maka beban yang terdistribusi merata kearah atas dinyatakan dalam

$$wb = \frac{8 Fh}{L^2}$$

Dimana :

F = gaya prategang

L = panjang bentang

h = tinggi parabola

### 2.3.4 Material Beton Prategang

Menurut Nawy 2001, 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 sampai 84 MPa) rumus modulus elastisitasnya:

$$Ec (\text{psi}) = [40000\sqrt{fc'} + 10^6] \left(\frac{wc}{145}\right)^{1,5}$$

Dimana  $fc'$  dalam MPa dan  $wc$  dalam  $\text{lb}/\text{ft}^3$ .

Pada umumnya pemberian gaya prategang pada suatu elemen dilakukan sebelum beton mencapai kekuatan 28 hari, perlu ditentukan kuat tekan beton  $fci$  pada taraf prategang, begitupula modulus beton  $Ec$  pada berbagai taraf riwayat pembebahan elemen tersebut. Menurut Nawy 2001, rumus umum untuk menghitung kuat tekan adalah sebagai berikut:

$$fci = \frac{t}{\alpha + \beta t} fc'$$

Dimana:

$fc'$  = kuat tekan 28hari

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 dierawat basah. Dan 1.00 untuk semen tipe I yang dirawat uap dan 2.30 untuk semen tipe III yang dirawat dengan uap.
- $\beta$  = faktor yang tergantung pada parameter yang sama dengan nilai masing-masing 0.85; 0,92; 0,95; dan 0,98.

### 2.3.5 Material Baja Prategang

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 dipakai “*Uncoated Seven Wire Stress Relieved For Prestressed Concrete ASTM A-416*”.

Tabel 2. 1.Sifat-sifat Strand Stress-Relieve dengan Tujuh Kawat tanpa Pelapisan (ASTM A-416-74)

Diameter nominal (mm)	Kekuatan Putus (KN)	Luas Nominal Strand (mm <sup>2</sup> )	Beban Minimum pada Pemuaian 1% (KN)
13.2	130	13.2	130
15.2	160	15.2	160
17.8	200	17.8	200
20.5	250	20.5	250
24.0	300	24.0	300
28.6	350	28.6	350
34.2	400	34.2	400

6.35	40,0	Derajat Mpa	1720	34,0
7.94	64,5	23,22		54,7
9.53	89,0	37,42		75,6
11.11	120,11	51,61		102,3
12.70	160,1	69,68		136,2
15.24	240,2	92,90		204,2
		139,35		
9.53	102,3	Derajat 1860 Mpa		87,0
11.11	137,9	54,84		117,2
12.70	183,7	74,19		156,1
15.24	260,7	98,71		221,5
		140,00		

### 2.3.6 Tahapan Pembebanan

#### 1. Tahap Awal

Batang atau struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahapan ini terdiri dari beberapa tahapan:

- a. Sebelum diberi gaya prategang
- b. Pada saat diberi gaya prategang
- c. Pada saat peralihan gaya prategang
- d. Desentering dan penarikan kembali

#### 2. Tahapan Antara

Ini adalah tahapan selama pengangkutan dan pengangkatan. Dilakukan pada komponen struktur pracetak bila diangkut ke lapangan dan dipasang pada tempatnya.

#### 3. Tahap Akhir

Tahapan bila beban kerja yang sesungguhnya bekerja pada struktur.

### 2.3.7 Kontrol Tegangan

#### 2.3.7.1 Tegangan Ijin Pada Baja Prategang

Sesuai SNI 03-7833-2012 pasal 6.5, tegangan Tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi nilai berikut:

1. Akibat gaya pengangkuran baja prategang. Diambil nilai terkecil dari

$$0,94 \text{ fpy} \text{ atau } 0,80 \text{ fpu}$$

Tetapi tidak boleh melebihi dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkur.

2. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang. Diambil dari  
 $0,82 \text{ fpy}$  dan  $\leq 0,74 \text{ fpu}$
3. Tendon pasca-tarik, pada perangkat angkur dan kopel (couplers), segera setelah penyaluran gaya  
 $0,70 \text{ fpu}$

Sesuai SNI 03-7833-2012 pasal 6.3.3, komponen lentur prategang harus diklasifikasikan sebagai Kelas U, Kelas T, dan Kelas C berdasarkan  $f_t$ , tegangan serat Tarik terluar dalam zona Tarik pra-tekan yang dihitung pada tahap beban layan sebagai berikut:

1. Kelas U

$$f_t \leq 0,62 \sqrt{fc'}$$

2. Kelas T

$$0,62 \sqrt{fc'} < f_t \leq 1,0 \sqrt{fc'}$$

3. Kelas C

$$f_t > 1,0 \sqrt{fc'}$$

Sistem pelat prategang dua arah harus didesain sebagai Kelas U dengan

$$f_t \leq 0,50 \sqrt{fc'}$$

Jika analisis kehilangan dengan cara langkah demi langkah dibutuhkan maka inkremen kehilangan pada suatu tahap didefinisikan sebagai:

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left( \frac{f_{pi}}{f_{pe}} - 0,55 \right)$$

Dimana:

$\Delta f_{pR}$  = tegangan yang hilang akibat relaksasi baja

$t_1$  = waktu awal interval tahapan yang dihitung

$t_2$  = waktu akhir interval tahapan yang dihitung, dihitung saat pendongkrakan.

### 2.3.7.2 Syarat Kemampuan Layan Komponen Struktur Lentur

Tegangan beton tidak melampaui nilai-nilai berikut (SNI 03-7833-2012 pasal 6.4). Tegangan beton segera sesudah penyaluran prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang yang tergantung waktu):

1. Tegangan serat tekan terluar kecuali seperti yang diijinkan dalam (b) tidak boleh melebihi  
 $0,60 f'_c$
2. Tegangan serat tekan terluar pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana tidak boleh melebihi  
 $0,70 f'_c$
3. Jika kuat Tarik beton yang dihitung ( $f_t$ ) melebihi  $0,5\sqrt{f'_c}$  pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana atau  $0,25\sqrt{f'_c}$  pada lokasi lainnya, maka harus dipasang tulangan lekatan tambahan dalam zona Tarik untuk menahan gaya Tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi penampang yang tidak retak.

Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang yang diijinkan, untuk komponen lentur prategang kelas U dan Kelas T, tidak boleh melebihi nilai berikut:

1. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, ditambah beban tetap  
 $0,45 f'_c$

2. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, ditambah beban total  

$$0,6 f c'$$

### **2.3.8 Kehilangan Sebagian Prategang**

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibandingkan pada saat stressing. Menurut Nawy 2001, reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori:

1. Kehilangan elastis segera yang terjadi pada saat proses fabrikasi atau konstruksi, termasuk perpendekan beton secara elastis, kehilangan karena pengangkuran dan kehilangan karena gesekan.
2. Kehilangan yang bergantung pada waktu, seperti rangkak susut dan kehilangan yang disebabkan oleh dampak temperature dan relaksasi baja, yang kesemuanya dapat ditentukan dalam kondisi limit tegangan akibat beban kerja di dalam elemen beton prategang.

#### **2.3.8.1 Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton (ES)**

Menurut Lin dan Burns (2000), pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang akan turut memendek bersamanya, jadi ada kehilangan prategang pada baja prategang.

$$f_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o e^2}{I} + \frac{M g e}{I}$$

Dimana:

$F_{cir}$  = tegangan beton pada garis berat baja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton.

Dengan memperhitungakan pengaruh penarikan yang berturut-turut pada kehilangan elastis maka perpendekan elastis dapat digunakan dengan rumus menurut Lin dan Burns (2000) sebagai berikut:

$$ES = K_s K_s \frac{fcir}{Eci}$$

Dimana:

Kes = 1,0 untuk komponen struktur

Kes = 0,5 untuk komponen struktur pasca Tarik bila kabel secara berurutan ditarik dengan gaya yang sama.

### 2.3.8.2 Kehilangan Akibat Rangkak Beton (CR)

Menurut Lin dan Burns (2000), rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya prategang. Rangkak (*creep*) adalah deformasi atau aliran lateral akibat tegangan longitudinal. Deformasi ini berasal dari perilaku yang bergantung pada waktu yang merupakan fungsi dari besarnya beban yang bekerja, lamanya, serta sifat beton yang meliputi proporsi campurannya, kondisi perawatannya, umur elemen pada saat dibebani pertama kali dan kondisi lingkungan. Pada pasca Tarik, kehilangan prategang dipandang seragam disepanjang bentang sehingga nilai rata-rata tegangan beton  $fcs$  diantara titik-titik angker dapat digunakan untuk menghitung rangkak di komponen pasca Tarik.

$$\Delta fpCR = nKcr (fcs - fcsd)$$

Dimana:

n = rasio modulus

Kcr = 2,0 untuk komponen pratarik

Kcr = 1,6 untuk komponen pasca-tarik

Fcds = tegangan beton pada garis berat beton akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang.

Es = modulus elastisitas tendon prategang

Ec = modulus elastisitas beton umur 28hari yang bersesuaian dengan  $fc'$ .

### 2.3.8.3 Kehilangan Akibat Susut Beton (SH)

Faktor yang mempengaruhi susut diantaranya adalah proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, waktu perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian tegangan,

ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan (Nawy, 2001). Untuk komponen pascatarik, kehilangan prategang akibat susut agak lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian pascatarik. Jika kelembaban relative diambil sebagai nilai persen dan efek rasio V/S ditinjau, maka menurut Lin dan Burns (2000) rumus umum *prestressed concrete institute* untuk menghitung kehilangan prategang akibat susut menjadi:

$$\Delta SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{PS} \left( 1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH)$$

Dimana:

$SH$  = tegangan hilang akibat susut

$K_{SH}$  = koefisien susut sebesar 1 untuk pretensioned dan sesuai Tabel 2.12 untuk post tensioned.

$E_{PS}$  = Modulus elastisitas batang prategang  $2 \times 10^5$

$V$  = rasio volume

$S$  = luas permukaan sebagai sumber penguapan bidang (dalam satuan cm)

$RH$  = kelembaban udara relative diambil sekitar 78%

#### 2.3.8.4 Kehilangan Akibat Friksi (Efek Wobble)

Menurut Navy (2001), efek wobble adalah gesekan yang diakibatkam oleh ketidak sempurnaan dalam alinyemen di seluruh panjang tendon. Kehilangan gesekan akibat ketidak sempurnaan alinyemen ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\Delta f_{pF} = - f_1 (\mu \alpha + KL)$$

Dimana:

$\Delta f_{pF}$  = besarnya kehilangan prategang akibat friksi

$F_1$  = gaya prategang awal

$\alpha$  = sudut kelengkungan

$\mu$  = koefisien friksi (gesekan)

$K$  = koefisien *wobble*

$L$  = panjang bersih balok (feet)

Karena rasio tinggi balok terhadap bentangnya kecil maka panjang proyeksi tendon dapat digunakan untuk

menghitung  $\alpha$ . Dengan mengasumsikan bahwa kelengkungan tendon sesuai busur lingkaran, maka sudut pusat  $\alpha$  di sepanjang segmen yang melengkung besarnya dua kali kemiringan diujung segmen.

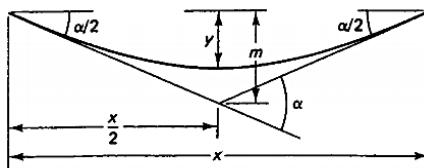
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{m}{x/2} = \frac{2m}{x}$$

Jika

$$y = \frac{1}{2} m \text{ dan } \frac{\alpha}{2} = \frac{4y}{x}$$

maka,

$$\alpha = \frac{8y}{x} \text{ radian}$$



Gambar 2. 18.Panjang Proyeksi Tendon

Tabel 2. 2.Panjang Proyeksi Tendon (Nawy,2001)

Jenis Tendon	Koefisien wobble, K per foot	Koefisien kelengkungan, $\mu$
Tendon di selubung metal fleksibel		
Tendon kawat	0,0010-0,0015	0,15-0,25
Strand 7 kawat	0,0005-0,0020	0,15-0,25
batang mutu tinggi	0,0001-0,0006	0,08-0,30
Tendon di saluran metal yang rigid		
Strand 7 kawat	0,0002	0,15-0,25
Tendon yang dilapisi mastic		
Tendon kawat dan Strand 7 kawat	0,0010-0,0020	0,05-0,15
Tendon yang dilumasi dahulu		
Tendon kawat dan Strand 7 kawat	0,0003-0,0020	0,05-0,15

Sumber: Prestressed Concrete Institute

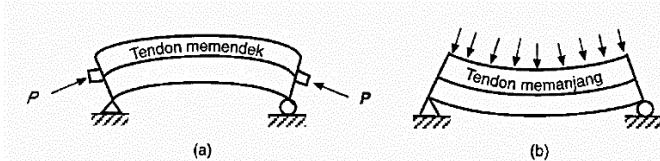
### 2.3.8.5 Kehilangan Akibat Dudukan Angker (A)

Menurut Nawy 2001, kehilangan akibat dudukan angker pada komponen struktur pascatarik diakibatkan adanya blok-blok pada angker. Pada gambar dibawah terlihat perubahan pada bentuk longitudinal balok akibat gaya prategang maupun akibat beban eksternal, dimana ketika balok prategang diberi gaya eksternal maka tendon prategang akan memanjang.

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} E_{PS}$$

Dimana:

- $\Delta f_{pA}$  = kehilangan prategang akibat gelincir angker
- $\Delta A$  = besar gelincir
- L = panjang tendon
- $E_{PS}$  = modulus kawat prategang



Gambar 2. 19. Perubahan pada bentuk longitudinal balok. (a) Akibat pemberian prategang. (b) Akibat beban eksternal.

### 2.3.9 Kekuatan Batas Balok Prategang

Menurut SNI 2847-2013 pasal 18.8.3 mengenai jumlah total baja prategang dan bukan prategang pada komponen struktur, perhitungan kuat ultimate dari balok prategang harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 kali beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar  $0,62 \lambda \sqrt{fc}$  sehingga didapat  $\phi M_n \geq 1,2 M_{cr}$  dengan nilai  $\phi = 0,9$ . Kekuatan batas balok prategang yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai sebagai berikut:

$$1,2M_{cr} \leq M_u \leq \phi M_n$$

Dimana:

- $M_{cr}$  = Momen retak balok prategang
- $M_u$  = Momen ultimate balok prategang
- $\phi M_n$  = Kapasitas penampang balok prategang

Nilai momen retak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan).

$$-f_r = \frac{Fi}{A} + \frac{Fi \times e}{I} \times Y - \frac{M_{Cr} \times Y}{I}$$

$$M_{Cr} = \left( \frac{Fi}{A} \times \frac{I}{Y} \right) + \left( \frac{Fi \times e \times Y}{I} \times \frac{I}{Y} \right) + \left( f_r \times \frac{I}{Y} \right)$$

Dimana:

I = Inersia balok

E = Eksentrisitas dari cgc

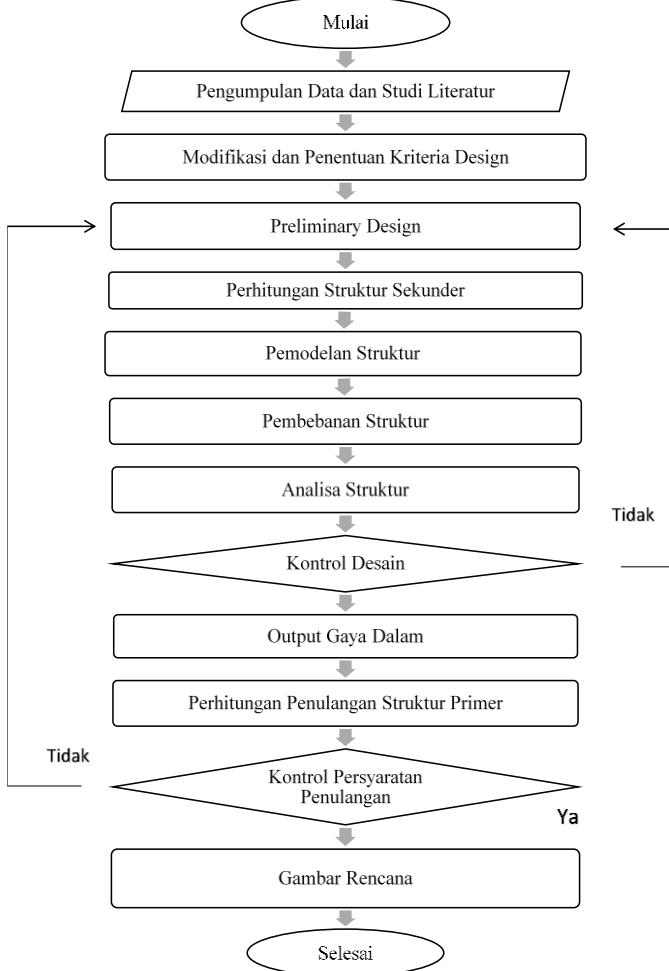
A = Luas penampang balok

Y = Garis netral balok

Fr = Modulus keruntuhan  $0,7 \sqrt{fc}$

### BAB III METODOLOGI

Metodologi dalam perencanaan struktur Gedung 8 Lantai dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah mengikuti bagan alur sebagai berikut:



### 3.1 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Data yang diperlukan dalam modifikasi perancangan bangunan adalah sebagai berikut:

1. Gambar arsitektur dan struktur bangunan
2. Data tanah pada lokasi pembangunan gedung

Studi literature untuk mendapatkan sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi dan acuan penulisan tugas akhir. Studi literature yang didapat antara lain:

1. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)
3. Beban Minimum Untuk Perencangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)

### 3.2 Modifikasi dan Penentuan Kriteria Desain

Keadaan asli bangunan sebelum dimodifikasi merupakan bangunan dengan 4 lantai. Diasumsikan akan dibangun menjadi 8 lantai dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan balok prategang yang digunakan di lantai aula pada lantai teratas. Berikut ini data umum gedung:

Lokasi Bangunan = Jalan Sutorejo no 59, Surabaya

Fungsi Bangunan = Gedung Perkuliahan

Jumlah lantai = Gedung 8 lantai

Luas Bangunan =  $1248 \text{ m}^2 (24\text{m} \times 52\text{m})$

Tinggi Bangunan = 30.40 m

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, dan diasumsikan akan dibangun di wilayah Surabaya maka diperoleh data sebagai berikut:

Tipe Bangunan = Gedung Sekolah (Kategori Resiko IV)

Klasifikasi Situs Tanah = SE (tanah lunak)

Kategori Desain Seismik = D

Untuk itu bangunan ini didesain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

### **3.3 Preliminary Desain**

Berdasarkan SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, penentuan dimensi komponen struktur meliputi:

Struktur primer : balok dan kolom (menentukan dimensi b dan h)

Struktur sekunder : tangga dan plat (menentukan tebal plat)

### **3.4 Perhitungan Struktur Sekunder**

Perhitungan ini dilakukan pada struktur sekunder untuk melihat apakah gaya yang terjadi memenuhi ketentuan atau tidak, meliputi gaya yang terjadi pada struktur sekunder dan perhitungan tulangan plat, tangga dan rangka atap.

### **3.5 Pemodelan dan Analisa Pembebanan**

Pemodelan struktur perencanaan ini menggunakan program bantu SAP 2000 v.14

#### **3.5.1 Pembebanan Struktur**

Konstruksi gedung ini dimodelkan dengan SAP 2000 lalu diberi pembebanan berupa beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan SNI 1727-2013. Jenis beban penting pada konstruksi bangunan gedung:

1. Beban Gravitasi
  - Beban Mati (D)
  - Beban Hidup (L)
  - Beban Hujan (R)
  - Beban Salju (S)
2. Beban Lateral
  - Beban Angin (W)
  - Beban Seismik/Gempa (E)

### 3.5.1.1 Beban Mati (D)

Menurut SNI 1727-2013 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang meliputi dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding, dan komponen arsitektur dan structural lainnya serta peralatan layan yang terpasang lain. Besarnya nilai pembebanan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 3. 1.Berat sendiri bahan 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>

### 3.5.1.2 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 1727-2012 Pasal 4.8 semua beban hidup merata pada lantai dapat direduksi kecuali untuk beban hidup merata pada atap.

$$L = L_o \left( 0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right)$$

Dimana:

L = Beban hidup rencana tereduksi per m<sup>2</sup> 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 ( $m^2$ )

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

### 3.5.1.3 Beban Seismik Gempa (SNI 1726-2012)

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 duktalitas yang dimiliki struktur. 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.

## 3.5.2 Kombinasi Pembebanan

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan program analisis struktur SAP 2000. Kombinasi pembebanan yang dipakai untuk pembebanan pada program analisis struktur adalah sebagai berikut:

1. 1,4D
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$
3.  $1,2D + 1,6L + 0,5R$
4.  $1,2D + 1,6L_r + 1,0L$
5.  $1,2D + 1,6L_r + 0,5W$
6.  $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5L_r$
7.  $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5R$
8.  $0,9D + 1,0W$
9.  $1,2D + 1,0EX + 1,0L$

$$\begin{aligned}
 & 10.1,2D + 1,0EY + 1,0L \\
 & 11.0,9D + 1,0EX \\
 & 12.0,9D + 1,0EY \\
 & 13.(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0\rho)EX + 1,0L \\
 \rightarrow & 1,31D + 1,3EX + 1,0L \\
 14.(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0\rho)EY + 1,0L \\
 \rightarrow & 1,31D + 1,3EY + 1,0L
 \end{aligned}$$

Dimana nilai :

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= 0,567 \\
 \rho &= 1,3 \text{ (SNI 03-1726-2012 Pasal 7.3.4)} \\
 Q_0 &= 2,5
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- W = Beban Angin
- E = Beban Gempa
- R = Beban Air Hujan

### 3.6 Analisa Struktur

Analisa program SAP 2000 akan menghasilkan output gaya yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Gaya tersebut berupa momen (M), nilai gaya geser (D), dan nilai gaya aksial (N). Nilai-nilai tersebut yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan penulangan untuk struktur primer.

### 3.7 Perhitungan Penulangan Struktur

Perhitungan struktur meliputi struktur atap, struktur primer, dan struktur sekunder. Struktur primer meliputi balok dan kolom sedangkan struktur sekunder meliputi atap, sloof, tangga dan plat lantai. Berdasarkan SNI 2847-2013 dengan memperhatikan standart penulangan untuk SRPMK dan berdasar pada output dari program SAP 2000 maka dapat dilakukan perhitungan penulangan pada balok, kolom dan hubungan balok kolom.

### **3.7.1 Kontrol Persyaratan Penulangan**

Setelah melakukan perhitungan penulangan struktur maka dilakukan control kemampuan dan cek syarat penulangan.

### **3.8 Penggambaran Hasil Rencana**

Setelah semua perhitungan perencanaan selesai, maka dilakukan penggambaran gambar struktur bangunan dengan autocad.

### 3.9 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Data yang diperlukan dalam modifikasi perancangan bangunan adalah sebagai berikut:

1. Gambar arsitektur dan struktur bangunan
2. Data tanah pada lokasi pembangunan gedung

Studi literature untuk mendapatkan sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi dan acuan penulisan tugas akhir. Studi literature yang didapat antara lain:

1. Beban Minimum Untuk Perencangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)
2. Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang Untuk Bangunan Gedung (SNI 7833-2012)
3. Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar, Edward G. Nawy, 2001
4. Desain Struktur Beton Prategang, Lin dan Burns, 1996

### 3.10 Preliminary Design Balok Prategang

Penentuan dimensi awal balok prategang.

#### 3.10.1 Pemilihan Jenis Balok Prategang

Melakukan pemilihan jenis beton prategang yang akan digunakan meliputi:

1. Dipilih beton prategang posttensioned (pasca Tarik) karena komponen struktur yang panjang dan berat maka dimaksudkan agar dicor di tempat atau dicor bagian demi bagian dan diprategang dengan sistem pasca-tarik di proyek.
2. Pada perencanaan balok prategang dipilih adanya grouting karena lebih menyatu antara baja dengan beton dan untuk mengurangi kehilangan prategang.
3. Pada perencanaan ini menggunakan komponen prategang sebagian. Prategang sebagian ialah

komponen struktur yang direncanakan dengan mengizinkan terjadinya tegangan Tarik pada beban kerja, dan daerah-daerah Tarik demikian biasanya diberi tulangan tambahan dengan penulangan tidak diprategang. (Lin dan Burns, 1996).

### **3.10.2 Desain Penampang Balok Prategang**

Menentukan jenis penampang balok prategang yang akan dipakai.

### **3.11 Pemberian Gaya Prategang**

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

### **3.12 Penetapan dan Tata Letak Tendon**

Penetapan jenis dan penentuan daerah batas tendon harus memenuhi kriteria perencanaan sesuai dengan persyaratan yang diijinkan. Penetapan jenis tendon dan jumlah tendon menentukan letak tendon dan dimana terdapat batasan syarat yang diijinkan.

### **3.13 Kontrol Tegangan**

Melakukan kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap-tahap yang kritis dalam perancangan, yaitu pada saat *jacking* dan tahap *service* (T.Y. Lin, 2000). Kontrol dilakukan untuk memenuhi apakan dimensi balok mampu menerima tegangan yang diberikan dan tegangan yang diterima telah sesuai dengan perancangan pemberian tegangan.

### **3.14 Menghitung Kehilangan Prategang**

Kehilangan prategang terjadi pada saat transfer dan sesudah transfer secara menerus menurut fungsi waktu. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui gaya prategang efektif. Beberapa kehilangan prategang meliputi:

1. Akibat perpendekan elastis beton

2. Akibat gesekan dan *wobble effect*
3. Akibat dudukan angkur
4. Akibat rangkak
5. Akibat susut
6. Akibat relaksasi baja

### **3.15 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.

### **3.16 Kontrol Retak**

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

### **3.17 Kontrol Geser**

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

### **3.18 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. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengankuran global diisyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.13.2.2. Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencah belah dan pecah yang timbul akibat pengangkuran tendon sesuai pasal 18.13.1.2

### **3.19 Penulangan Non Prategang**

Tulangan non prategang berfungsi untuk menahan terjadinya retak dan menambah kekuatan ultimate pada suatu penampang beton. Perhitungan ini mengacu pada peraturan SNI 2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung pasal 18.8 tentang rasio tulangan non prategang terhadap tulangan prategang dan pasal 18.9 tentang tulangan lekatan minimum.

### **3.20 Penggambaran Hasil Perencanaan**

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.

### **3.21 Metode Pelaksanaan**

Dalam Tugas Akhir Terapan ini metode pelaksaaan yang akan dibahas adalah pelaksanaan pekerjaan struktur balok prategang.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### PRELIMINARY DESIGN

#### 4.1 Data Perencanaan

Data untuk struktur gedung beton bertulang ini adalah sebagai berikut:

Tipe bangunan	: Gedung Perkuliahan
Letak bangunan	: Dekat daerah pantai
Tinggi bangunan	: 30.4 m
Luas bangunan	: 25.4 m x 52 m
Mutu beton (fc)	: 30 MPa
Mutu beton prategang	: 40 MPa
Mutu baja (fy)	: 390 MPa

##### 4.1.1 Preliminary Design Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur. Preliminary ini bertujuan untuk memperkirakan dimensi lebar dan tinggi balok. Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2 atau Tabel 9.5(a) atau Tabel 3.1, estimasi tinggi balok tertumpu sederhana adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{\ell}{16} \text{ mm}$$

Sedangkan estimasi tinggi minimum balok anak adalah:

$$h_{\min} = \frac{\ell}{21} \text{ mm}$$

Sedangkan untuk balok kantilever adalah:

$$h_{\min} = \frac{\ell}{8} \text{ mm}$$

Untuk nilai fy selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + fy/700)$ . Sedangkan untuk lebar balok berkisar antara  $\frac{1}{2}$  sampai  $\frac{2}{3}$  dari tinggi balok.

###### 4.1.1.1 Preliminary Design Balok Induk Memanjang

Dimensi balok induk memanjang dengan bentang (L) = 8m.

$$h_{min} = \frac{800 \text{ cm}}{16} \times \left( 0,4 + \frac{390}{700} \right) = 47,9 \text{ cm}$$

maka digunakan tinggi (h) untuk balok induk memanjang yaitu 60 cm.

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

$$b_{min} = \frac{2}{3} \times 60 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

maka digunakan lebar (b) untuk balok induk memanjang yaitu 45 cm.

Jadi dimensi balok induk memanjang adalah 45/60 cm.

#### **4.1.1.2 Preliminary Design Balok Induk Melintang**

Dimensi balok induk melintang dengan bentang (L) = 8m.

$$h_{min} = \frac{800 \text{ cm}}{16} \times \left( 0,4 + \frac{390}{700} \right) = 47,9 \text{ cm}$$

maka digunakan tinggi (h) untuk balok induk memanjang yaitu 60 cm.

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

$$b_{min} = \frac{2}{3} \times 60 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

maka digunakan lebar (b) untuk balok induk memanjang yaitu 45 cm.

Jadi dimensi balok induk memanjang adalah 45/60 cm.

#### **4.1.1.3 Preliminary Design Balok Anak**

Dimensi balok anak dengan bentang (L) = 8m.

$$h_{min} = \frac{800 \text{ cm}}{21} \times \left( 0,4 + \frac{390}{700} \right) = 36,46 \text{ cm}$$

maka digunakan tinggi (h) untuk balok anak yaitu 40 cm.

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

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times 40\text{cm} = 26,67\text{ cm}$$

maka digunakan lebar (b) untuk balok anak yaitu 30 cm.  
Jadi dimensi balok anak adalah 30/40 cm.

#### 4.1.1.4 Preliminary Design Balok Kantilever

Dimensi balok kantilever dengan bentang ( $L$ ) = 1.4 m.

$$h_{\min} = \frac{140\text{ cm}}{8} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 16,75\text{ cm}$$

maka digunakan tinggi (h) untuk balok kantilever yaitu 20 cm.

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

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times 20\text{cm} = 13,33\text{ cm}$$

maka digunakan lebar (b) untuk balok kantilever yaitu 15 cm.

Jadi dimensi balok kantilever adalah 15/20 cm.

Tabel 4. 1.Resume pendimensian balok

Tipe Balok	Dimensi	
	b	h
B. Induk Memanjang	45	60
B. Induk Melintang	45	60
B. Anak	30	40
B. Kantilever	15	20

#### 4.1.2 Preliminary Design Plat

Untuk preliminary plat lantai diambil satu macam tipe plat yaitu tipe plat dengan dimensi 400cm  $\times$  400cm.

$$L_n = L - \frac{b_{\text{balok induk}}}{2} - \frac{b_{\text{balok anak}}}{2}$$

$$Ln = 400 - \frac{45}{2} - \frac{30}{2} = 362.5\text{cm}$$

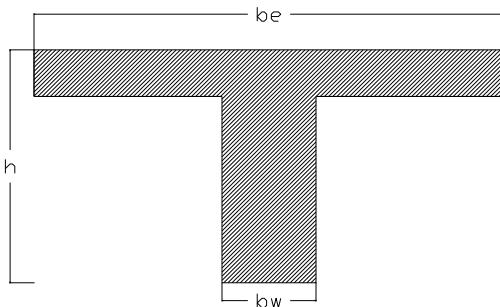
Sedangkan Sn

$$Sn = b - 2 \times \left( \frac{bbalok}{2} \right)$$

$$Sn = 400 - \frac{45}{2} - \frac{45}{2} = 355\text{cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{362.5}{355} = 1,021 < 2 \text{ (Plat satu arah)}$$

1. Menghitung rasio kekakuan ( $\alpha$ ) balok induk memanjang dan balok induk melintang dengan dimensi balok 45/60 cm:



Gambar 4. 1. Gambar Potongan Balok

$$\text{Lebar balok (bw)} = 45 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Asumsi tebal plat (t)} = 12 \text{ cm, maka:}$$

$$be_1 = bw + 8t = 45\text{cm} + 8 \cdot 12\text{cm} = 141\text{cm}$$

$$be_2 = Lb/4 = 400\text{cm}/4 = 100 \text{ cm,}$$

dipilih nilai be yang terkecil yaitu 100cm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{100}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{100}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{100}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,061$$

Momen inersia balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,061 \times 45cm \times (60cm)^3 \\ &= 859114,286cm^4 \end{aligned}$$

Momen inersia plat:

$$\begin{aligned} I_{plat} &= \frac{1}{12} \times t^3 \times L = \frac{1}{12} \times (12cm)^3 \times 400cm \\ &= 57600cm^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap plat:

$$\alpha_1 = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{859114,286}{57600} = 14,92cm^4$$

2. Menghitung kekakuan ( $\alpha$ ) balok anak dengan dimensi balok 30/40cm

$$\text{Lebar balok (bw)} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = 40 \text{ cm}$$

Asumsi tebal plat ( $t$ ) = 12 cm, maka:

$$be_1 = bw + 8t = 30cm + 8 \cdot 12cm = 126 \text{ cm}$$

$$be_2 = Lb/4 = 400cm/4 = 100 \text{ cm},$$

dipilih nilai  $be$  yang terkecil yaitu 100cm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{100}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{100}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{100}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$K = 1,543$$

Momen inersia balok:

$$\begin{aligned} I_{balok} &= \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1,543 \times 30cm \times (40cm)^3 \\ &= 246870,59cm^4 \end{aligned}$$

Momen inersia plat:

$$\begin{aligned} I_{plat} &= \frac{1}{12} \times t^3 \times L = \frac{1}{12} \times (12cm)^3 \times 400cm \\ &= 57600cm^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan balok terhadap plat:

$$\alpha_2 = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{246870,59}{57600} = 4,286cm^4$$

3. Menghitung rata-rata rasio kekakuan:

$$\alpha_M = \frac{2\alpha_1 \times 2\alpha_2}{4} = \frac{(2 \times 14,92) + (2 \times 4,28)}{4}$$

$$= 9,6 > 2(SNI 2847 - 2013 pasal 9.5.3.3)$$

4. Penentuan tebal minimum plat (h min):

Karena nilai  $\alpha_m > 2$ , maka dipakai persamaan:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} = \frac{362,5\left(0,8 + \frac{390}{1400}\right)}{36 + 9 \cdot 1,021}$$

$$= 8,652cm$$

Karena syarat tebal plat lantai tidak boleh kurang dari 9cm maka dipakai tebal plat = 12cm.

#### 4.1.3 Preliminary Design Kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.8.4 kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.

Untuk membuat sifat struktur yang “*strong column weak beam*” maka preliminary design kolom adalah sebagai berikut:

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

$$H_{kolom} = 520\text{cm}$$

$$L_{balok} = 800\text{cm}$$

$$\text{Direncanakan } b_{kolom} = h_{kolom}$$

Maka,

$$\frac{\frac{1}{12}b_{kolom} \times (h_{kolom})^3}{H_{kolom}} = \frac{\frac{1}{12}(h_{balok})^3 \times b_{balok}}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12}b_{kolom} \times (h_{kolom})^3}{520} = \frac{\frac{1}{12}(60)^3 \times 45}{800}$$

$$h_{kolom} = 50.1\text{cm}$$

Sehingga dipakai kolom dengan ukuran dimensi 70/70 cm.

#### 4.1.4 Perencanaan Tangga

1. Data perencanaan:

$$\text{Lebar injakan (i)} = 31.5 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi tanjakan (t)} = 16 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi tangga} = 520 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi bordes} = 260 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang datar tangga} = 470 \text{ cm}$$

2. Perhitungan perencanaan:

a. Panjang miring tangga:

$$L = \sqrt{tinggibordes^2 + panjang\ tan\ gga^2}$$

$$L = \sqrt{(260^2 + 470^2)}$$

$$l = 537,1\text{cm}$$

b. Jumlah tanjakan

$$n_{\tan\ gga} = \frac{tinggibordes}{tinggi\ tan\ jakan} = \frac{260}{16}$$

$$= 17\text{buah}$$

c. Jumlah injakan

$$n_{injakan} = n_{\tan\ gga} - 1$$

$$= 17 - 1$$

$$= 16\text{buah}$$

d. Sudut kemiringan

$$\alpha = arc.\tan\left(\frac{t}{i}\right)$$

$$\alpha = arc.\tan\left(\frac{16}{31,5}\right)$$

$$= 27^\circ$$

e. Syarat sudut kemiringan

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

$$25^\circ \leq 27^\circ \leq 40^\circ (\text{Memenuhi})$$

## **BAB V**

### **PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR**

#### **5.1 Pembebaan**

Sebelum melakukan analisis struktur dengan program bantu analisis SAP 2000, perlu dilakukan perhitungan beban yang hasilnya akan digunakan sebagai data input ke program tersebut. Pada elemen struktur gedung dikenai beban gravitasi yang mengacu pada SNI 1727-2013, ASCE 7-2002, dan brosur material yang ada pada saat ini.

##### **5.1.1 Beban Mati (D)**

Beban mati terdiri dari berat sendiri seluruh elemen struktur dan perlengkapan permanen pada gedung seperti dinding, lantai, atap, plafon, dan partisi. Berat sendiri dari elemen struktur (Self Weight) dihitung secara otomatis oleh program bantu analisis struktur. Beban mati terdiri dari dua macam, antara lain:

- a. Berat sendiri (Self Weight, DL):

Berat beton : 2400 kg/m<sup>3</sup>

- b. Berat Sendiri Tambahan (Superimposed Dead Load, SDL)

- Beban dinding bata ringan : 90 kg/m<sup>2</sup> (brosur)
- Beban keramik : 18 kg/m<sup>2</sup> (brosur)
- Beban spesi keramik : 110 kg/m<sup>2</sup> (ASCE 7-2002 Table c3-1, Ceramic, or quarry tile 19mm on 25mm mortar bed)
- Beban ducting mechanical : 19 kg/m<sup>2</sup> (ASCE 7-2002 Table c3-1, Mechanical Duct Allowance)
- Beban plafond : 5 kg/m<sup>2</sup> (ASCE 7-2002 Table c3-1, Accoustical Fiberboard)
- Beban penggantung plafon : 10 kg/m<sup>2</sup> (ASCE 7-2002 Table c3-1, Suspended Steel Channel System)
- Beban lapisan waterproofing : 5 kg/m<sup>2</sup> (ASCE 7-2002 Table c3-1, Waterproofing Membranes Liquid)

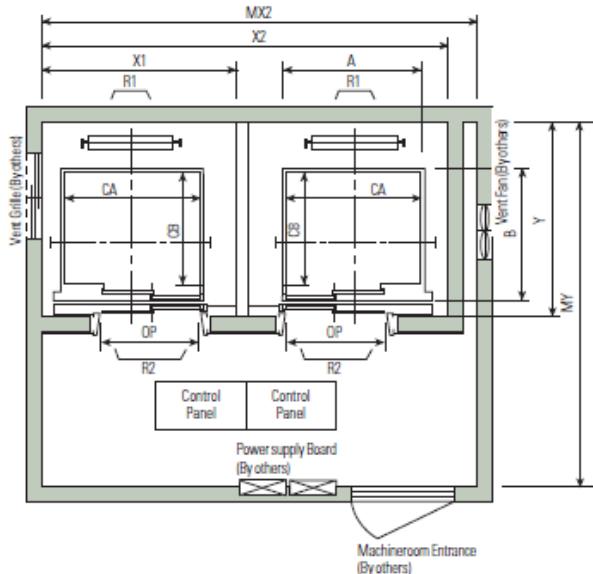
- Berat dinding bata ringan : 600 kg/m<sup>3</sup> (brosur CITICON).  
Dimana untuk dinding dengan tebal 0.15 dan tinggi 4.2 m adalah:  $600\text{kg/m}^3 \times 0.15\text{m} \times 4.2\text{m} = 378\text{ kg/m}$ .  
Dan untuk dinding dengan tebal 0.15m dan tinggi 5.2m adalah:  $600\text{kg/m}^3 \times 0.15\text{m} \times 5.2\text{m} = 468\text{ kg/m}$ .
- Berat dinding partisi : 19 kg/m<sup>2</sup> (brosur). Dimana untuk dinding partisi dengan tinggi 4.2m adalah :  $19\text{ kg/m}^2 \times 4.2\text{m} = 80\text{ kg/m}$   
Dan untuk dinding partisi dengan tinggi 5.2m adalah:  $19\text{ kg/m}^2 \times 5.2\text{m} = 99\text{ kg/m}$
- Beban Lift : dipakai Lift merk Hyundai dengan reaksi sebagai berikut:  
Hyundai Luxen EN81 Standard:

Tabel 5. 1.Spesifikasi Lift Hyundai Luxen EN81

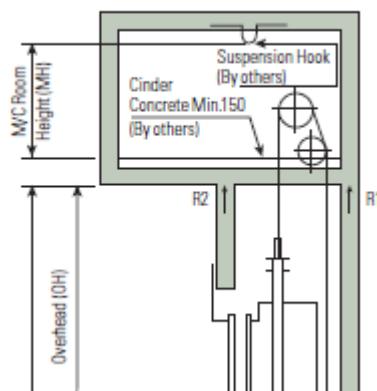
Speed (m/sec)	Capacity (person/kg)	Reaction				Door Opening WxH	
		M/C Room(kg)		Pit(kg)			
		R1	R2	R3	R4		
2	13/1000	12800	6950	9400	8000	1100x2400	

Tabel 5. 2.Spesifikasi Lift Hyundai Luxen EN81

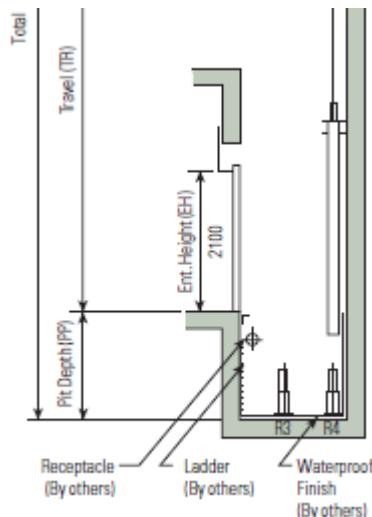
Inside Dimension					
Car		Hoistway		Machine Room	
A	B	X2	Y	MX2	MY
1700	1607	4600	2200	4600	4300



Gambar 5. 1.Dimensi Elevator Hyundai



Gambar 5. 2. Reaksi akibat Beban Lift



Gambar 5. 3.Reaksi pada Pit Lift

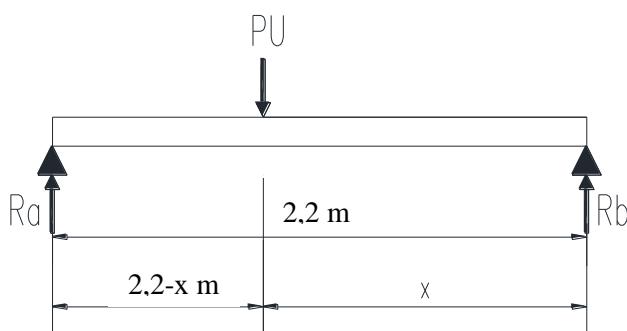
Perhitungan pembebanan pada balok penggantung lift:

Panjang balok penggantung lift= 2.35 meter

Reaksi beban terpusat:

$$Ra = R1 \cdot KLL = R1 \times (1+50\%) = 19200 \text{ kg}$$

$$Rb = R2 \cdot KLL = R2 \times (1+50\%) = 10425 \text{ kg}$$



Gambar 5. 4. Reaksi Pembebanan Balok Lift

$$\sum Mb = 0$$

$$0 = 2,2m \cdot 19200kg - Pu \cdot x$$

$$Pu = \frac{42240kg.m}{x}$$

$$\sum Ma = 0$$

$$0 = 2,2m \cdot 10425kg - Pu \cdot (2,2m - x)$$

$$0 = 22935kg.m - \frac{42240kg.m}{x} (2,2m - x)$$

$$0 = 22935kg.m - \frac{92928kg.m^2}{x} + \frac{(42240kg.m)x}{x}$$

$$x = 1,4m$$

$$Pu = \frac{42240kg.m}{x} = \frac{42240kg.m}{1,4m} = 29625 \text{ kg}$$

### 5.1.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup terdiri dari beban yang diakibatkan oleh pemakaian gedung dan tidak termasuk beban mati, beban konstruksi atau beban akibat fenomena alam. Bergantung pada fungsi ruangnya, maka beban hidup dapat dibedakan sesuai dengan SNI 1727-2013 Tabel 4.1 pada tabel sebagai berikut:

a. Beban hidup (L)

Beban lokasi parkir : 392 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013)

Beban hall (lobby) : 424 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013)

Beban ruang kelas : 192 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013)

Beban ruang computer : 424 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013)

Beban ruang baca 2013)	: 287 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban ruang kantor 2013)	: 240 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban panggung pertemuan 2013)	: 479 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban laboratorium 2013)	: 287 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban koridor lantai 1 2013)	: 479 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban koridor lantai 2 keatas 2013)	: 383 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban gudang 2013)	: 600 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban ruang lain-lain 2013)	: 192 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-
Beban bordes dan anak tangga pasal 4.5.4)	: 133 kg (SNI 1727-2013
Jumlah anak tangga = 17 buah	
Total beban	= 133kg x 17 buah = 2261 kg
Area tangga rencana = lebar tangga x panjang tangga	
	= 4m x 4.7m
	=

- b. Beban hidup atap (Lr)
- |                          |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|
| Beban air hujan<br>2013) | : 110 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727- |
| Beban atap<br>2013)      | : 77 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-  |

### 5.1.3 Beban Angin

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (berupa angin hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negatif dinyatakan dalam satuan gaya per

luas bidang yang terdapat pada SNI 1727:2013 pasal 27.1.5 yaitu beban angin untuk bangunan tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh lebih kecil dari  $0,77 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas dinding bangunan. Sedangkan untuk atap yaitu  $0,38 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas atap bangunan.

#### **5.1.4 Beban Gempa**

Beban gempa adalah semua beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh gerakan tanah yang merupakan akibat dari gempa bumi (baik gempa tektonik maupun vulkanik) yang akan mempengaruhi struktur tersebut.

##### **5.1.4.1 Gempa Rencana**

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, pengaruh gempa rencana yang direncanakan ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

##### **5.1.4.2 Kategori Resiko Bangunan**

Kategori risiko bangunan gedung dibedakan sesuai dengan fungsi dari bangunan tersebut. Banyak faktor yang mempengaruhi dari tingkat kategori risiko bangunan seperti: tingkat risiko terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, potensi menyebabkan dampak ekonomi dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat apabila terjadi kegagalan, serta keharusan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan sesuai SNI 03-1726-2012 Tabel 1.

Tabel 5. 3.Kategori Resiko Bangunan

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
dung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi	<b>I</b>

<p>kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>– Fasilitas sementara</li> <li>– Gudang penyimpanan</li> <li>– Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	
<p>mu 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 perbelanjaaan / mall</li> <li>– Bangunan industri</li> <li>– Fasilitas manufaktur</li> <li>– Pabrik</li> </ul>	II
<p>dung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bioskop</li> <li>– Gedung pertemuan</li> <li>– Stadion</li> <li>– Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>– Fasilitas penitipan anak</li> <li>– Penjara</li> <li>– Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	III
<p>Gedung dan non-gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak</p>	

<p>ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>– Fasilitas penanganan air</li> <li>– Fasilitas penanganan limbah</li> <li>– Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>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 zat 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.</p>	
<p>dung 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 dna fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>– Fasilitas pemadaman kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> </ul>	IV

<ul style="list-style-type: none"> <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 pemandan kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemandan kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non-gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
---	--

#### 5.1.4.3 Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung sesuai SNI 03-1726-2012 Tabel 2, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan ( $I_e$ ).

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 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 di mana parameter respons spektral percepatan

terpetakan pada periода 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 seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, SDS dan SD1.

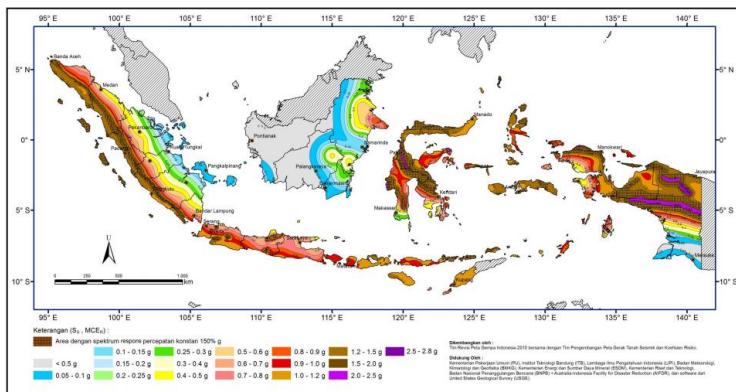
Tabel 5. 4.Faktor Keutamaan Gempa

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

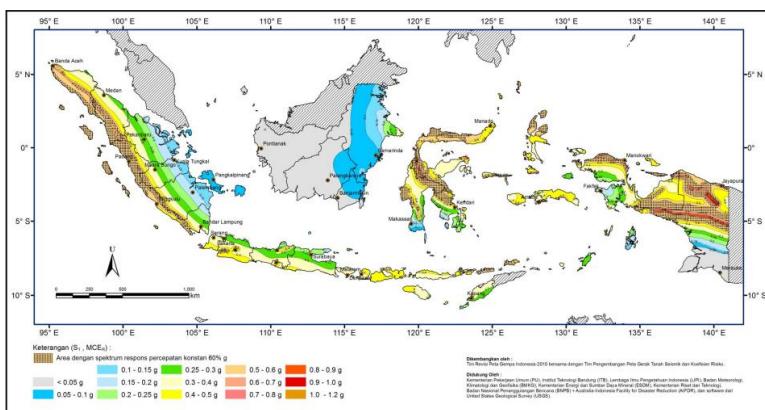
#### 5.1.4.4 Wilayah Gempa dan Struktur Respons

##### 1. Parameter Percepatan Terpetakan

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 persen terlampaui dalam 50 tahun (SNI 03-1726-2012 Gambar 9 dan Gambar 10). Pada peta gempa Indonesia yang terdapat pada SNI 03-1726-2012 Gambar 9 dan Gambar 10 terdapat berbagai macam warna yang dimana setiap warna tersebut nantinya memiliki nilai  $S_s$  dan  $S_1$  yang berbeda-beda sesuai daerah yang ditinjau.



Gambar 5. 5.Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget



Gambar 5. 6.S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget

## 2. Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismic suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 3. Setelah menemukan titik yang sesuai berdasarkan daerah yang ditinjau (Surabaya), maka langkah selanjutnya adalah mengklarifikasi situs, dimana klasifikasi kelas situs tersebut terbagi menjadi: SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE(tanah lunak), dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti).

Tabel 5. Klasifikasi Situs menurut SNI 1726-2012

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_a$	$\tau_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Tabel 3 Klasifikasi situs (lanjutan)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_a$	$\tau_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\tau_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>			
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\tau_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

3. Koefisien-koefisien Situs dan Parameter Response Spektrum Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget

Setelah mengetahui klasifikasi situs, maka selanjutnya menentukan parameter-parameter response spectrum percepatan gempa maksimum MCE<sub>R</sub> di permukaan tanah. Untuk menentukan response tersebut maka diperlukan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran 1 detik (Fv). Dimana:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

$S_{MS}$  = parameter spectrum response percepatan pada periode pendek

$S_{M1}$  = parameter spectrum response percepatan pada periode 1 detik

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

$S_1$  = parameter respons spectral percepatan gempa MCE<sub>R</sub> terpetakan untuk periode 1,0 detik

Fa = Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek.

Fv = Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik.

Koefisien Fa dan Fv ditentukan berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 4 dan tabel 5, sedangkan  $S_s$  dan  $S_1$  adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCE<sub>R</sub> terpetakan untuk periode pendek dan periode 1,0 detik.

Tabel 5. 6.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	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			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 SNI 03-1726-2012 Pasal 6.10.1

Tabel 5. 7.Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_S \leq 0,1$	$S_S = 0,2$	$S_S = 0,3$	$S_S = 0,4$	$S_S \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			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 SNI 03-1726-2012 Pasal 6.10.1

## 4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode singkat ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) dihitung sesuai SNI 03-1726-2012 Pasal 6.3 Pers. 7 dan Pers. 8, yakni sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

## 5. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dari struktur yang ditinjau diambil berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 6.5 Tabel 6, dimana

diambil berdasarkan nilai  $S_{DS}$  dan kategori risiko bangunan yang ditinjau.

*Tabel 5. 8.Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan dan 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

## 6. Spektrum Respon Desain

Bila spektrum respons diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu SNI 03-1726-2012 Gambar 1 dan mengikuti ketentuan berikut:

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

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

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

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

Keterangan:

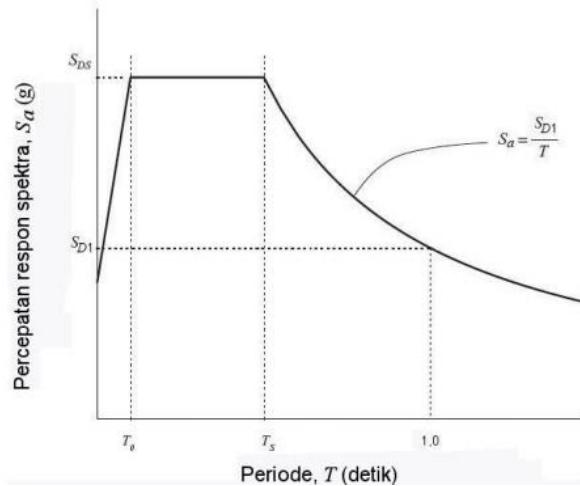
$S_{DS}$  = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

$SD1$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$



Gambar 5. 7.Spektrum Respons Desain

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

Dimana :

$h_n$  = ketinggian struktur

$C_t$  dan  $x$  ditentukan dari SNI 1726-2012 Tabel 15.

Tabel 5. 9.Nilai parameter periode 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 mencegah rangka dari defleksi 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 terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

## **5.2 Analisa Gaya Dalam**

### **5.2.1 Analisa Gaya Dalam Plat**

Untuk perhitungan momen yang terjadi pada plat berdasarkan pada tabel 13.3.1 dan 13.3.2 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971.

### **5.2.2 Analisa Gaya Dalam Balok**

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada balok menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14.

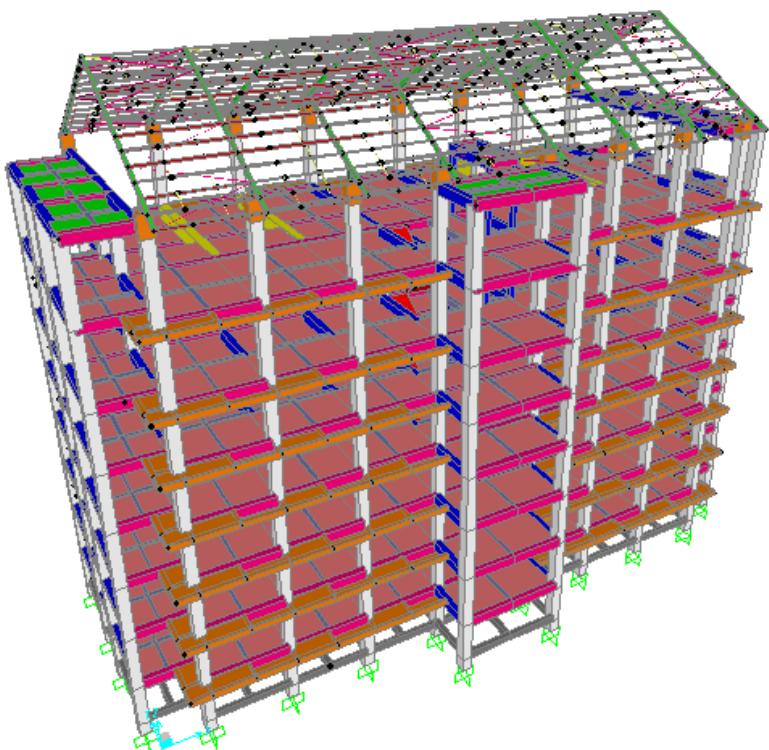
### **5.2.3 Analisa Gaya Dalam Balok**

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada kolom, penulis menggunakan program bantu yakni PCACOL 4.5.

## **5.3 Analisa Pemodelan**

### **5.3.1 Pemodelan Struktur Dengan SRPMK**

Struktur bangunan dengan SRPMK dan balok pratekan ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Pemodelan ini dilakukan menggunakan program bantu SAP 2000.

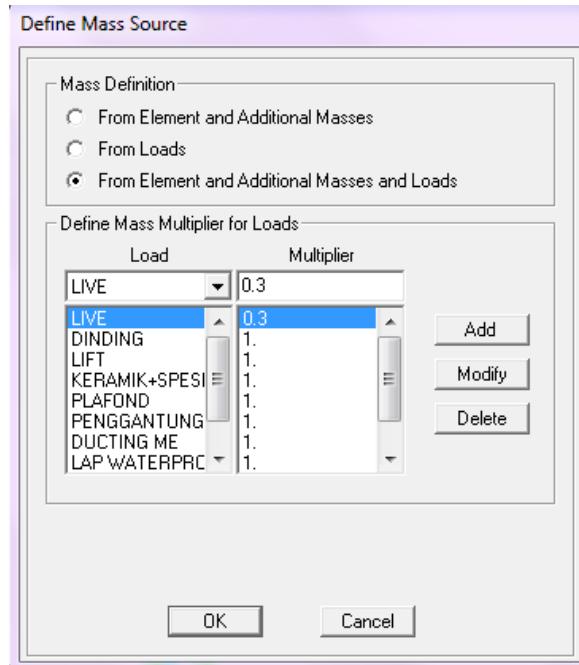


Gambar 5. 8.Pemodelan Struktur SRPMK Menggunakan SAP 2000.

#### 5.3.1.1 Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (mass source) adalah massa struktur pada program bantu SAP 2000 v.14 yang digunakan pada perhitungan untuk analisa *modal* menggunakan pilihan “*mass definition: from element and additional masses and loads*” yang dimana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban tambahan ditambahkan dengan pembesaran sesuai dengan jenis bebannya. Massa-massa beban yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

- Beban mati tambahan (*super dead*) seperti keramik+spesi, plafond, penggantung, ducting ME, lapisan waterproof dengan *Multiplier* 1,0.
- Beban hidup dengan *Multiplier* 0,3



Gambar 5. 9. Input Mass Source pada SAP 2000

### 5.3.1.2 Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa

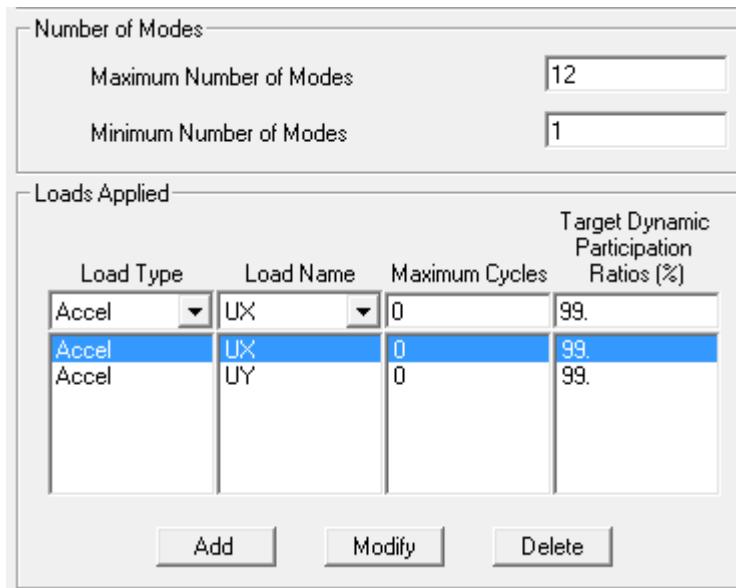
Peninjauan gempa arah horizontal dibagi kedalam dua arah yaitu:

1. Gempa arah x dengan komposisi 100% Ex + 30% Ey
2. Gempa arah y dengan komposisi 30% Ex + 100% Ey

### 5.3.1.3 Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis

Analisis modal menggunakan SAP 2000 diambil sebanyak 5 kali dari jumlah lantai yang dimodelkan. *Maximum*

*Number of Modes* diambil angka 12 karena mengikuti *default*. *Modes Shape* ini untuk menjamin partisipasi massa struktur lebih dari 90% oleh karena itu dari struktur ini diambil partisipasi massa sebanyak 99% terhadap gaya lateral kearah X dan arah Y.



Gambar 5. 10. Input untuk Analisa Modal SAP 2000

#### 5.3.1.4 Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respons Spektrum SAP 2000 untuk SRPMK

Faktor skala gaya diambil dari persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Factor pembebanan} &= \frac{Ie}{R} \cdot g \\ &= \frac{1,5}{8} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,8375 \end{aligned}$$

Factor beban tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan untuk arah yang tegak lurus dari peninjauan

gempa tersebut akan terkena gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau sehingga faktor skala gaya pada arah tegak lurus yang ditinjau adalah  $0,3 \times 1,8375 = 0.55125$ .

Loads Applied				
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	
Accel	U1	RESPON SF	1.8375	
	U1	RESPON SPEK	1.8375	Add
	U2	RESPON SPEK	0.5513	Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

Gambar 5. 11.Input Faktor Skala Gaya pada Arah EX

Loads Applied				
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	
Accel	U1	RESPON SF	0.5513	
	U1	RESPON SPEK	0.5513	Add
	U2	RESPON SPEK	1.8375	Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

Gambar 5. 12.Input Faktor Skala Gaya pada Arah EY

### 5.3.2 Kontrol Periode Fundamental

#### 5.3.2.1 Kontrol Periode Fundamental Struktur Sebelum Modifikasi dengan Balok Pratekan

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 15 sebagai batas bawah sebesar:

$$T_a = C_t \cdot h_n$$

Dimana  $h_n$  : Ketinggian struktur

$C_t$  : Parameter pendekatan tipe struktur

x : Parameter pendekatan tipe struktur

Tabel 5. 10. Tabel 15 SNI 1726-2012

Tipe Struktur	C <sub>t</sub>	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <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 terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Untuk nilai struktur beton SRPMK didapatkan nilai C<sub>t</sub> = 0,0466 dan x = 0,9, sehingga:

$$T_a = 0,0466 \cdot (31,4m)^{0,9} = 1,036 \text{ detik}$$

Dengan batas atas periода fundamental struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 14 sebesar:

Tabel 5. 11. Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S <sub>D1</sub>	Koefisien C <sub>u</sub>
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Karena nilai S<sub>D1</sub> = 0,5, maka didapatkan nilai C<sub>u</sub> = 1,4 sehingga:

$$Cu \cdot Ta = 1,4 \cdot 1,036 \text{ detik} = 1,45 \text{ detik.}$$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan:

Tabel 5. 12.Modal Load Participation Ratio

<b>TABLE: Modal Load Participation Ratios</b>				
<b>OutputCase</b>	<b>ItemType</b>	<b>Item</b>	<b>Static</b>	<b>Dynamic</b>
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	95.9701
MODAL	Acceleration	UY	100	96.6932
MODAL	Acceleration	UZ	0.1727	0.012

Tabel 5. 13.Perioda Struktur pada Modal di Program SAP 2000 untuk 10 Mode Pertama

<b>TABLE: Modal Periods And Frequencies</b>						
<b>OutputCase</b>	<b>StepType</b>	<b>StepNum</b>	<b>Period</b>	<b>Frequency</b>	<b>CircFreq</b>	<b>Eigenvalue</b>
Text	Text	Unitless	Sec	Cvc/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
MODAL	Mode	1	1.276526	0.78338	4.9221	24.227
MODAL	Mode	2	1.211105	0.82569	5.188	26.915
MODAL	Mode	3	1.180566	0.84705	5.3222	28.326
MODAL	Mode	4	0.474469	2.1076	13.243	175.37
MODAL	Mode	5	0.443738	2.2536	14.16	200.5
MODAL	Mode	6	0.403006	2.4814	15.591	243.07
MODAL	Mode	7	0.383598	2.6069	16.38	268.29
MODAL	Mode	8	0.294987	3.39	21.3	453.69
MODAL	Mode	9	0.261255	3.8277	24.05	578.4
MODAL	Mode	10	0.218722	4.572	28.727	825.23
MODAL	Mode	11	0.133706	7.4791	46.993	2208.3
MODAL	Mode	12	0.111143	8.9975	56.533	3195.9

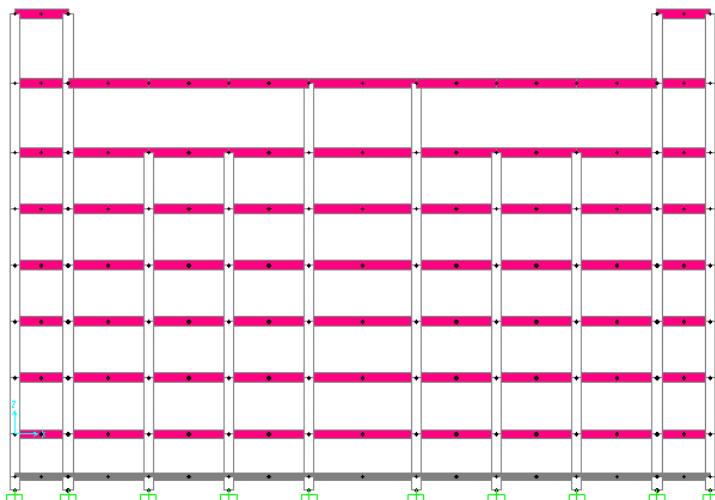
Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut:

$$\begin{array}{ccc} Ta & \leq T & \leq Cu \cdot Ta \\ 1,04 \text{ detik} & \leq 1,276 \text{ detik} & \leq 1,45 \end{array}$$

Karena nilai periode fundamental struktur telah memenuhi persyaratan yang ada maka sistem struktur SRPMK dapat dipakai.

### 5.3.2.2 Kontrol Periode Fundamental Struktur Setelah Modifikasi dengan Balok Pratekan

Model *undeformed shape* struktur bangunan dengan modifikasi balok pratekan pada lantai teratas ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang merupakan permodelan yang dilakukan pada program bantu SAP 2000 v.14.



Gambar 5. 13.Tampak Depan Lokasi Pratekan

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 15 sebagai batas bawah sebesar:

$$T_a = C_t \cdot h_n$$

Dimana  $h_n$  : Ketinggian struktur

$C_t$  : Parameter pendekatan tipe struktur  
 $x$  : Parameter pendekatan tipe struktur

Tabel 5. 14. Tabel SNI 1726-2012 Tabel 15

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <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 terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua 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:

$$Ta = 0,0466 \cdot (31,4m)^{0,9} = 1,036 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 14 sebesar:

Tabel 5. 15.Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

Karena nilai  $S_{D1} = 0,5$ , maka didapatkan nilai  $C_u = 1,4$  sehingga:

$$C_u \cdot T_a = 1,4 \cdot 1,036 \text{ detik} = 1,45 \text{ detik.}$$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan:

Tabel 5. 16. Modal Load Participation Ratio untuk Struktrur dengan Balok Pratekan

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	95.983
MODAL	Acceleration	UY	100	96.6468
MODAL	Acceleration	UZ	0.159	0.0144

Tabel 5. 17.Perioda Struktur pada Modal di Program SAP 2000 untuk 10 Mode Pertama pada Struktur dengan Modifikasi Balok Pratekan

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	1.289873	0.77527	4.8712	23.728
MODAL	Mode	2	1.222444	0.81803	5.1399	26.418
MODAL	Mode	3	1.188982	0.84106	5.2845	27.926
MODAL	Mode	4	0.481598	2.0764	13.047	170.21
MODAL	Mode	5	0.45841	2.1815	13.706	187.87
MODAL	Mode	6	0.411243	2.4317	15.279	233.43
MODAL	Mode	7	0.388437	2.5744	16.176	261.65
MODAL	Mode	8	0.29761	3.3601	21.112	445.72
MODAL	Mode	9	0.263704	3.7921	23.827	567.71
MODAL	Mode	10	0.224764	4.4491	27.955	781.46
MODAL	Mode	11	0.133923	7.467	46.916	2201.2
MODAL	Mode	12	0.113465	8.8133	55.375	3066.4

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll} \text{Ta} & \leq T & \leq C_u \cdot \text{Ta} \\ 1,04 \text{ detik} & \leq 1,289 \text{ detik} & \leq 1,45 \end{array}$$

Karena nilai periode fundamental struktur telah memenuhi persyaratan yang ada maka sistem struktur SRPMK dapat dipakai.

### 5.3.3 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur

#### 5.3.3.1 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur Sebelum Modifikasi dengan Balok Pratekan

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respons spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1. Untuk kontrol gaya gempa dasar dinamis koefisien Cs adalah sebagai berikut:

- Nilai Cs minimum:

$$Cs \min = 0,044 \cdot Sds \cdot I \geq 0,01$$

$$Cs \min = 0,044 \cdot 0,606667 \cdot 1,5 \geq 0,01$$

$$Cs \min = 0,04 \geq 0,01$$

2. Nilai Cs

$$- \quad Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,6067}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,114$$

$$- \quad Cs \max = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,5}{1,27 \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,074$$

Maka Cs yang dipakai ialah 0,074.

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = Cs \cdot W_t$$

Dimana:

Cs = koefisien respons seismic

Wt = Total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup

Tabel 5. 18.Tabel Berat Struktur yang Didapat dari Base Reaction Fz untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan, dan Beban Hidup

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
EX	LinRespSpec	Max	9343.958	2685.121	15.68
EY	LinRespSpec	Max	2819.242	8898.262	43.185
1D+1L	Combination		4.07E-09	-1.3E-08	148139.2

Maka berat struktur total adalah = 148139.2 kN.

Untuk nilai Vstatic:

$$V_{static} = 0,074 \cdot 148139,2 \text{ kN} = 10935,5 \text{ kN}$$

$$0,85 \cdot V_{static} = 0,85 \cdot 10935,5 \text{ kN} = 9295,153 \text{ kN}$$

Sedangkan hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari SAP 2000 terdapat pada tabel 19.

Untuk arah X = 9343,958 kN > 9295,153 kN (OK)

Untuk arah Y = 8898,262 kN < 9295,153 Kn (NO OK)

Ketentuan Vbaseshear > 0,85 V belum memenuhi sehingga diperlukan faktor pembesaran skala gaya gempa sebagai berikut:

- Untuk arah Y

$$\text{Factor pembesaran} = \frac{9295,153kN}{8898,262kN} = 1,04$$

Untuk U1 = 1,8 . 1,04 = 1,92

Untuk U2 = 0,3 . 1,92 = 0,576

Loads Applied			
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RESPON SF	1.8375
Accel	U1	RESPON SPEK	1.8375
Accel	U2	RESPON SPEK	0.5758

Show Advanced Load Parameters

Gambar 5. 14.Input Faktor Skala Gaya pada Arah X akibat Faktor Pembesaran

Loads Applied			
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RESPON SF	0.5513
Accel	U1	RESPON SPEK	0.5513
Accel	U2	RESPON SPEK	1.92

Show Advanced Load Parameters

Gambar 5. 15.Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y akibat Faktor Pembesaran

Setelah pada program bantu SAP 2000 v.14 faktor pembebanan gempa diatas dimasukkan, dapat diperoleh hasil base reaction sebagai berikut:

Tabel 5. 19. 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>	<b>GlobalFZ</b>
Text	Text	Text	KN	KN	KN
EX	LinRespSpec	Max	9343.997	2803.333	16.158
EY	LinRespSpec	Max	2820.7	9297.739	45.117
1D+1L	Combination		4.07E-09	-1.3E-08	148139.2

Untuk arah X = 9343,997 Kn > 9295,153 kN (OK)  
 Untuk arah Y = 9297,739 Kn > 9295,153 kN (OK)

### 5.3.3.2 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur Setelah Modifikasi dengan Balok Pratekan

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan respons spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1. Untuk kontrol gaya gempa dasar dinamis koefisien Cs adalah sebagai berikut:

- Nilai Cs minimum:

$$Cs \min = 0,044 \cdot Sds \cdot I \geq 0,01$$

$$Cs \min = 0,044 \cdot 0,606667 \cdot 1,5 \geq 0,01$$

$$Cs \min = 0,04 \geq 0,01$$

- Nilai Cs

$$- \quad Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,6067}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,114$$

$$- \quad C_s \max = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left( \frac{R}{I} \right)} = \frac{0,5}{1,29 \cdot \left( \frac{8}{1,5} \right)} = 0,073$$

Maka  $C_s$  yang dipakai ialah 0,073.

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana:

$C_s$  = koefisien respons seismic

$W_t$  = Total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup

Tabel 5. 20..Tabel Berat Struktur yang Didapat dari Base Reaction Fz untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan, dan Beban Hidup

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
EX	LinRespSpec	Max	9273.06	2669.769	17.057
EY	LinRespSpec	Max	2799.51	8846.026	45.463
1D+1L	Combination		3.33E-09	-2.5E-09	148981

Maka berat struktur total adalah: 148981 kN

Untuk nilai  $V_{static}$ :

$$V_{static} = 0,073 \cdot 148981 \text{ kN} = 10827,1 \text{ kN}.$$

$$0,85 \cdot V_{static} = 0,85 \cdot 10827,1 \text{ kN} = 9203,04 \text{ kN}.$$

Sedangkan hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari SAP 2000 terdapat pada tabel 21.

Untuk arah X = 9273,06 kN > 9203,04 kN (OK)

Untuk arah Y = 8846,026 kN < 9203,04 kN (NO OK)

Ketentuan  $V_{baseshear} > 0,85 V$  belum memenuhi sehingga diperlukan faktor pembesaran skala gaya gempa sebagai berikut:

- Untuk arah Y

$$\text{Factor pembesaran} = \frac{9203,04 \text{ kN}}{8846,026 \text{ kN}} = 1,04$$

$$\text{Untuk } U_1 = 1,8 \cdot 1,04 = 1,9117$$

$$\text{Untuk } U_2 = 0,3 \cdot 1,92 = 0,5735$$

Loads Applied				
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	
Accel	U1	RESPON SF	1.8375	
Accel	U1	RESPON SPEK	1.8375	
Accel	U2	RESPON SPEK	0.5735	

Show Advanced Load Parameters

Gambar 5. 16.Input Faktor Skala Gaya pada Arah X akibat Faktor Pembesaran

Loads Applied				
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	
Accel	U1	RESPON SF	0.5513	
Accel	U1	RESPON SPEK	0.5513	
Accel	U2	RESPON SPEK	1.9117	

Show Advanced Load Parameters

Gambar 5. 17.Input Faktor Skala Gaya pada Arah Y akibat Faktor Pembesaran

Setelah pada program bantu SAP 2000 v.14 faktor pembebanan gempa diatas dimasukkan, dapat diperoleh hasil base reaction sebagai berikut:

Tabel 5. 21.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>	<b>GlobalFZ</b>
Text	Text	Text	KN	KN	KN
EX	LinRespSpec	Max	9273.099	2776.028	17.497
EY	LinRespSpec	Max	2800.946	9203.203	47.29
1D+1L	Combination		3.33E-09	-2.5E-09	148981

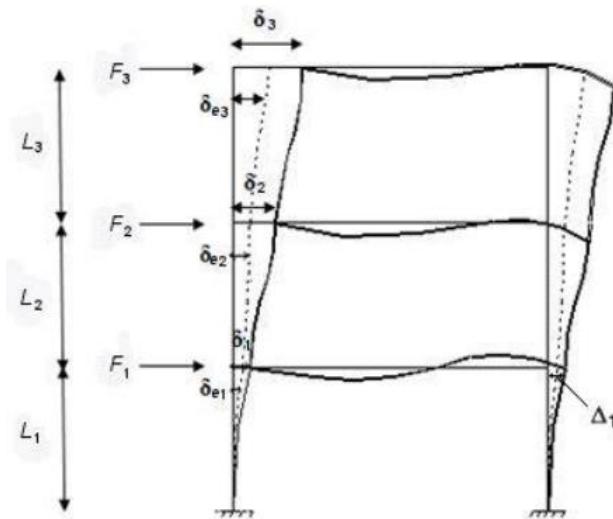
Untuk arah X = 9273,099 Kn > 9203,04 kN (OK)

Untuk arah Y = 9203,203 Kn > 9203,04 kN (OK)

### 5.3.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

#### 5.3.4.1 Kontrol Simpangan Struktur Sebelum Modifikasi Dengan Balok Pratekan

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 di bawahnya. Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan. Defleksi pusat massa di tingkat x ( $\delta_x$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut berdasarkan SNI 03-1726-2012 Gambar 5:



Gambar 5. 18.Penentuan Simpangan Antar Lantai

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.6})$$

Dimana:

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi = 5,5

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lantai x yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = Faktor keutamaan = 1,5

Untuk nilai simpangan antar lantai ijin  $\Delta_i$ , berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 16 didapatkan yakni:

Tabel 5. 22.Simpangan Antar Lantai Ijin

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 dididesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025hsx	0,020hsx	0,015hsx
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010hsx	0,010hsx	0,010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007hsx	0,007hsx	0,007hsx
Semua struktur lainnya	0,020hsx	0,015hsx	0,010hsx

Maka didapatkan nilai  $\Delta_i = 0,010 \text{ hs}_x$

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah X

Tabel 5. 23.Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X

Sumbu X									
No	Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar lantai (m)	$\delta ei$ dr SAP (mm)	$\delta i$ (Cd. $\delta ei$ /Ie) (mm)	$\delta ei - \delta e(i-1)$ (mm)	$\Delta i (\delta ei - \delta e(i-1)) Cd/Ie$ (mm)	$\Delta a (0,020 \text{ hs}_x)/\rho$ (mm)	Ket $\Delta i < \Delta a$
1	atap	31.4	5.2	39.75	145.75	3.87	14.19	104	<b>OKE</b>
2	7	26.2	5.2	35.88	131.56	4.45	16.32	104	<b>OKE</b>
3	6	21	4.2	31.43	115.24	4.14	15.18	84	<b>OKE</b>
4	5	16.8	4.2	27.29	100.06	5.04	18.48	84	<b>OKE</b>
5	4	12.6	4.2	22.25	81.58	5.83	21.38	84	<b>OKE</b>
6	3	8.4	4.2	16.42	60.21	6.36	23.32	84	<b>OKE</b>
7	2	4.2	4.2	10.06	36.89	6.31	23.14	84	<b>OKE</b>
8	1	0	3.2	3.75	13.75	3.42	12.54	64	<b>OKE</b>
9	dasar	-3.2	3.2	0.33	1.21	1.21	4.437	64	<b>OKE</b>

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah Y
- 

Tabel 5. 24.Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y

<b>Sumbu Y</b>										
No	Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar lantai (m)	$\delta ei$ dr SAP (mm)	$\delta i$ ( $Cd \cdot \delta ei / Ie$ ) (mm)	$\delta ei - \delta e(i-1)$ (mm)	$\Delta i (\delta ei - \delta e(i-1)) / Cd/Ie$ (mm)	$\Delta a$ (0.020 $hs x/p$ ) (mm)	Ket $\Delta i < \Delta a$	
1	atap	31.4	5.2	44.28	162.36	4.80	17.60	104	OKE	
2	7	26.2	5.2	39.48	144.76	4.46	16.35	104	OKE	
3	6	21	4.2	35.02	128.41	4.62	16.94	84	OKE	
4	5	16.8	4.2	30.40	111.47	5.69	20.86	84	OKE	
5	4	12.6	4.2	24.71	90.60	6.57	24.09	84	OKE	
6	3	8.4	4.2	18.14	66.51	7.12	26.11	84	OKE	
7	2	4.2	4.2	11.02	40.41	6.97	25.56	84	OKE	
8	1	0	3.2	4.05	14.85	3.70	13.57	64	OKE	
9	dasar	-3.2	3.2	0.35	1.28	0.35	1.28	64	OKE	

#### 5.3.4.2 Kontrol Simpangan Struktur Setelah Modifikasi Dengan Balok Pratekan

Perhitungan control simpangan setelah modifikasi ini sama seperti bab sebelumnya, maka didapat analisa simpangan arah gempa X dan arah gempa Y.

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah X

Tabel 5. 25.Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Dinamis  
Arah X

<b>No</b>	<b>Lantai</b>	<b>Elevasi</b>	<b>Tinggi antar lantai</b>	<b><math>\delta ei</math> dr SAP</b>	<b><math>\delta i</math> (Cd.<math>\delta ei</math>/Ie)</b>	<b><math>\delta ei - \delta e(i-1)</math></b>	<b><math>\Delta i (\delta ei - \delta e(i-1))</math> Cd/Ie</b>	<b><math>\Delta a (0.020 hsx)/\rho</math></b>	<b>Ket <math>\Delta i &lt; \Delta a</math></b>
		m	m	mm	mm	mm	mm	mm	
1	atap	31.4	5.2	73.83	270.71	7.51	27.54	104	<b>OKE</b>
2	7	26.2	5.2	66.32	243.17	8.97	32.89	104	<b>OKE</b>
3	6	21	4.2	57.35	210.28	7.63	27.98	84	<b>OKE</b>
4	5	16.8	4.2	49.72	182.31	9.22	33.81	84	<b>OKE</b>
5	4	12.6	4.2	40.50	148.50	10.64	39.01	84	<b>OKE</b>
6	3	8.4	4.2	29.86	109.49	11.57	42.42	84	<b>OKE</b>
7	2	4.2	4.2	18.29	67.06	11.47	42.06	84	<b>OKE</b>
8	1	0	3.2	6.82	25.01	6.22	22.81	64	<b>OKE</b>
9	dasar	-3.2	3.2	0.6	2.2	0.60	2.200	64	<b>OKE</b>

- Analisa simpangan antar lantai gempa arah Y

Tabel 5. 26.Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis  
Arah Y

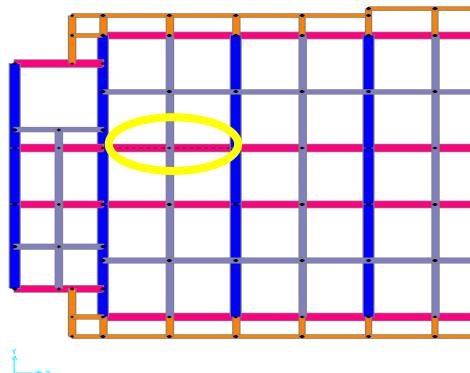
No	Lantai	Elevasi	Tinggi antar lantai	$\delta ei$ dr SAP	Sumbu Y				
					$\delta i$ ( $Cd \cdot \delta ei / I_e$ )	$\delta ei - \delta e(i-1)$	$Ai (\delta ei - \delta e(i-1))$ $Cd/Ie$	$\Delta a (0.020 hsx)/\rho$	Ket $Ai < \Delta a$
		m	m	mm	mm	mm	mm	mm	
1	atap	31.4	5.2	80.04	293.48	9.82	36.01	104	OKE
2	7	26.2	5.2	70.22	257.47	9.11	33.40	104	OKE
3	6	21	4.2	61.11	224.07	8.19	30.03	84	OKE
4	5	16.8	4.2	52.92	194.04	9.94	36.45	84	OKE
5	4	12.6	4.2	42.98	157.59	11.44	41.95	84	OKE
6	3	8.4	4.2	31.54	115.65	12.40	45.47	84	OKE
7	2	4.2	4.2	19.14	70.18	12.10	44.37	84	OKE
8	1	0	3.2	7.04	25.81	6.42	23.54	64	OKE
9	dasar	-3.2	3.2	0.62	2.27333	0.62	2.27	64	OKE

### 5.3.5 Pengecekan Gaya yang Terjadi

Pengecekan gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 diperlukan untuk memastikan permodelan yang ada sudah baik dan benar. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 v.14 dengan gaya yang terjadi dengan dihitung manual.

#### 5.3.5.1 Pengecekan Gaya pada Balok

Pengecekan momen yang terjadi pada balok, dilakukan dengan mengecek pada balok lantai 1 sebagai berikut:



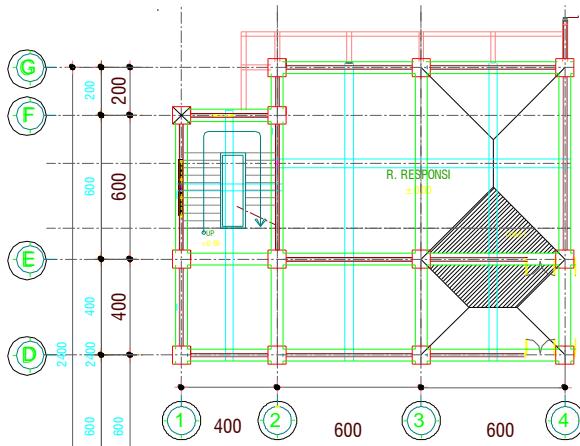
Gambar 5. 19.Balok yang Ditinjau

Untuk gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 pada balok yang ditinjau (frame 23) dengan momen yang terjadi (kombinasi 1,2D+1,6L) adalah sebagai berikut:

Momen lapangan = 92,3 kN/m

Momen tumpuan = 133,61 kN/m

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 20.Tributary Area pada Daerah yang Ditinjau

$$A1 = \frac{6m \times 3m}{2} = 9 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{(6m + 2m) \times 2m}{2} = 8 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total} = A1 + A2 = 17 \text{ m}^2.$$

Bentang balok yang ditinjau  $\ell n = 6\text{m}$ .

- a. Beban mati tidak terfaktor (per satuan panjang)
- Berat sendiri balok =  $(0,5 \times 0,7) \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 8 \text{ kN/m}$
- Berat sendiri plat =  $0,12 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,88 \text{ kN/m}^2$
- Beban mati tambahan
  - Lapisan waterproofing =  $0,05 \text{ kN/m}^2$
  - Keramik+Spesi =  $1,1 \text{ kN/m}^2$
  - Mechanical and Electrical =  $0,19 \text{ kN/m}^2$
  - Penggantung langit-langit =  $0,1 \text{ kN/m}^2$
  - Plafond =  $0,05 \text{ kN/m}^2$

Beban mati tambahan total:

= Beban mati tambahan + berat plat

$$= (0,05 + 1,1 + 0,19 + 0,1 + 0,05) \text{ kN/m}^2 + 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$= 1,49 \text{ kN/m}^2 + 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$= 4,37 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati total (D) per satuan panjang adalah:

$$= \left( \frac{4,37 \text{ kN/m}^2 \cdot 17 \text{ m}^2}{6 \text{ m}} \right) + 8 \text{ kN/m} = 20,782 \text{ kN/m}$$

- b. Beban hidup tidak terfaktor (per satuan panjang)

Beban hidup yang menumpu pada balok yang ditinjau (ruang kelas) = 1,92 kN/m<sup>2</sup> dan (koridor) = 3,83 kN/m<sup>2</sup>.

$$L = \left( \frac{1,92 \text{ kN/m}^2 \cdot 17 \text{ m}^2}{6 \text{ m}} \right) + \left( \frac{4,79 \text{ kN/m}^2 \cdot 17 \text{ m}^2}{6 \text{ m}} \right)$$

$$= 19,01 \text{ kN/m.}$$

- c. Kombinasi beban akibat gaya gravitasi

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

$$Qu = 1,2(20,782 \text{ kN/m}) + 1,6(19,01 \text{ kN/m})$$

$$Qu = 55,36 \text{ kN/m.}$$

Untuk menghitung momen yang terjadi pada balok, digunakan metode analisis berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 8.3.3 dimana:

Momen negatif di muka perletakan interior:

$$M^- = \frac{-qu \cdot \ell n^2}{11} = \frac{-55,36 \text{ kN/m} \cdot (5,25 \text{ m})^2}{11} = 138,71 \text{ kN/m}$$

$$138,71 \text{ kN/m} \approx 133,61 \text{ kN/m}$$

Momen positive di tengah bentang:

$$M^+ = \frac{-qu \cdot \ell n^2}{16} = \frac{-55,36 \text{ kN/m} \cdot (5,25 \text{ m})^2}{16} = 95,36 \text{ kN/m}$$

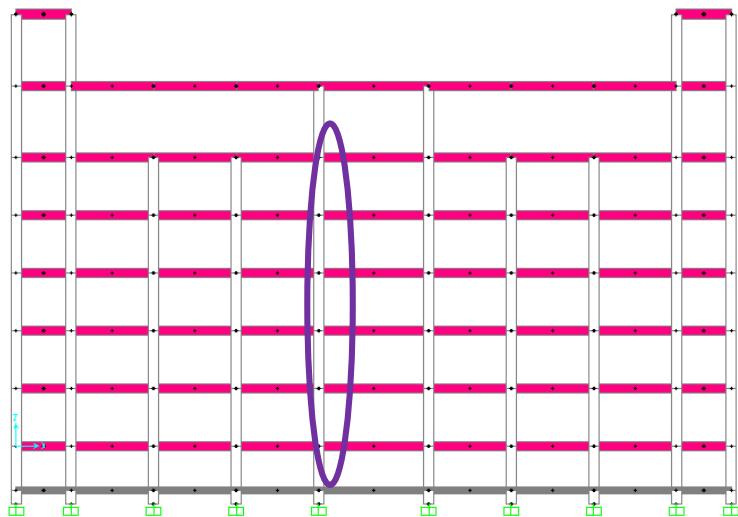
$$95,36 \text{ kN/m} \approx 92,3 \text{ kN/m.}$$

### 5.3.5.2 Pengecekan Gaya pada Kolom

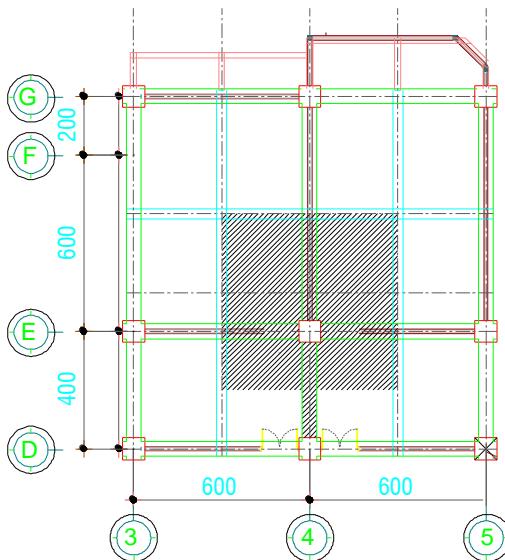
Pengecekan momen yang terjadi pada kolom, dilakukan dengan mengecek pada kolom dengan data perencanaan sebagai berikut:

Dimensi kolom : 0,75 m / 0,75 m

Tinggi kolom	: 4,2 m
Dimensi balok anak	: 0,35 m / 0,5 m
Dimensi balok induk	: 0,5 m / 0,7 m
Tebal plat	: 0,12 m
Beban mati tambahan	: 149 kg/m <sup>2</sup>
Berat dinding partisi	: 79,8 kg/m



Gambar 5. 21.Kolom yang Ditinjau



Gambar 5. 22.Denah Pembebanan Kolom

Untuk gaya yang terjadi pada program bantu SAP 2000 pada kolom yang ditinjau (frame 1834) dengan momen aksial yang terjadi (kombinasi 1D+1L) adalah sebagai berikut:

$$P \text{ aksial kolom} = 292029 \text{ kgm}$$

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 27. Tabel Perhitungan Tributary Area Lantai 6

Lantai 6									
<b>Kolom</b>	=	0.75	0.75	4.2	2400	kg/m3	=	5670	kg
<b>Plat Lantai</b>	=	6	6	0.12	2400	kg/m3	=	10368	kg
<b>Balok induk mel</b>	=	6	0.5	0.7	2400	kg/m3	=	5040	kg
<b>Balok induk mem</b>	=	6	0.5	0.7	2400	kg/m3	=	5040	kg
<b>Balok anak mem</b>	=	6	0.175	0.5	2400	kg/m3	=	1260	kg
<b>Balok anak mel</b>	=	6	0.35	0.5	2400	kg/m3	=	2520	kg
<b>DEAD++</b>	=	6	6	149	kg/m2		=	5364	kg
<b>Dinding</b>	=	4		0	kg/m		=	0	kg
								35262	kg
<b>Live</b>	=	3	4	287	kg/m2		=	3444	kg
	=	3	4	287	kg/m2		=	3444	kg
	=	6	2	287	kg/m2		=	3444	kg
							<b>D+L =</b>	45594	kg

Tabel 5. 28.Tabel Perhitungan Tributary Area Lantai 5

Lantai 5									
<b>Kolom</b>	=	0.75	0.75	4.2	2400	kg/m3	=	5670	kg
<b>Plat Lantai</b>	=	6	6	0.12	2400	kg/m3	=	10368	kg
<b>Balok induk mel</b>	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176	kg
<b>Balok induk mem</b>	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176	kg
<b>Balok anak mem</b>	=	6	0.175	0.38	2400	kg/m3	=	957.6	kg
<b>Balok anak mel</b>	=	6	0.35	0.38	2400	kg/m3	=	1915.2	kg
<b>DEAD++</b>	=	6	6	149	kg/m2		=	5364	kg
<b>Dinding</b>	=	10		79.8	kg/m		=	798	kg
							=	33425	kg
<b>Live</b>	=	3	4	287	kg/m2		=	3444	kg
	=	3	4	192	kg/m2		=	2304	kg
	=	6	2	383	kg/m2		=	4596	kg
							=	43769	kg
							+	45594	kg
							=	89362.8	

Tabel 5. 29.Tabel Perhitungan Tributary Area Lantai 4

Lantai 4									
Kolom	=	0.75	0.75	4.2	2400	kg/m3	=	5670	kg
Plat Lantai	=	6	6	0.12	2400	kg/m3	=	10368	kg
Balok induk mel	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176	kg
Balok induk mem	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176	kg
Balok anak mem	=	6	0.175	0.38	2400	kg/m3	=	957.6	kg
Balok anak mel	=	6	0.35	0.38	2400	kg/m3	=	1915.2	kg
DEAD++	=	6	6	149	kg/m2		=	5364	kg
Dinding	=	10		79.8	kg/m		=	798	kg
							=	33425	kg
Live	=	3	4	287	kg/m2		=	3444	kg
	=	3	4	192	kg/m2		=	2304	kg
	=	6	2	383	kg/m2		=	4596	kg
							=	43769	kg
D+L + beban lantai sebelumnya =							+	89363	kg
							=	133131.6	

Tabel 5. 30.Tabel Perhitungan Tributary Area Lantai 3

Lantai 3									
Kolom	=	0.75	0.75	4.2	2400	kg/m3	=	5670	kg
Plat Lantai	=	6	6	0.12	2400	kg/m3	=	10368	kg
Balok induk mel	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176	kg
Balok induk mem	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176	kg
Balok anak mem	=	6	0.175	0.5	2400	kg/m3	=	1260	kg
Balok anak mel	=	6	0.35	0.5	2400	kg/m3	=	2520	kg
DEAD++	=	6	6	149	kg/m2		=	5364	kg
Dinding	=	10		79.8	kg/m		=	798	kg
							=	34332	kg
Live	=	3	4	287	kg/m2		=	3444	kg
	=	3	4	192	kg/m2		=	2304	kg
	=	6	2	383	kg/m2		=	4596	kg
							=	44676	kg
D+L + beban lantai sebelumnya =							+	133131.6	
							=	177807.6	

Tabel 5. 31.Tabel Perhitungan Tributary Area Lantai 2

Lantai 2								
<b>Kolom</b>	=	0.75	0.75	4.2	2400	kg/m3	=	5670 kg
<b>Plat Lantai</b>	=	6	6	0.12	2400	kg/m3	=	10368 kg
<b>Balok induk mel</b>	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176 kg
<b>Balok induk mem</b>	=	6	0.5	0.58	2400	kg/m3	=	4176 kg
<b>Balok anak mem</b>	=	6	0.175	0.38	2400	kg/m3	=	957.6 kg
<b>Balok anak mel</b>	=	6	0.35	0.38	2400	kg/m3	=	1915.2 kg
<b>DEAD++</b>	=	6	6	149	kg/m2		=	5364 kg
<b>Dinding</b>	=	10		79.8	kg/m		=	798 kg
								33425 kg
<b>Live</b>	=	3	4	287	kg/m2		=	3444 kg
	=	3	4	192	kg/m2		=	2304 kg
	=	6	2	383	kg/m2		=	4596 kg
							=	43769 kg
D+L + beban lantai sebelumnya =								+ 177807.6
							=	221576.4

Tabel 5. 32.Tabel Perhitungan Tributary Area Lantai 1

Lantai 1								
Kolom	=	0.75	0.75	4.2	2400	kg/m3	=	5670 kg
Plat Lantai	=	6	6	0.12	2400	kg/m3	=	10368 kg
Balok induk mel	=	6	0.5	0.7	2400	kg/m3	=	5040 kg
Balok induk mem	=	6	0.5	0.7	2400	kg/m3	=	5040 kg
Balok anak mem	=	6	0.175	0.5	2400	kg/m3	=	1260 kg
Balok anak mel	=	6	0.35	0.5	2400	kg/m3	=	2520 kg
DEAD++	=	6	6	149	kg/m2		=	5364 kg
Dinding	=	10		79.8	kg/m		=	798 kg
								36060 kg
Live	=	3	4	240	kg/m2		=	2880 kg
	=	3	4	192	kg/m2		=	2304 kg
	=	6	2	479	kg/m2		=	5748 kg
								46992 kg
D+L + beban lantai sebelumnya =							+	221576.4
							=	268568.4

Untuk gaya yang terjadi dengan menggunakan perhitungan manual adalah sebesar 268568,4 kgm. Sedangkan perhitungan menggunakan program SAP sebesar 292029 kgm.

## **BAB VI**

### **PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER**

#### **6.1 Perhitungan Struktur Plat Lantai**

Struktur plat lantai yang dihitung pada bab ini merupakan plat yang dikelilingi oleh balok. Plat ini digunakan pada lantai 2 hingga lantai atap.

##### **6.1.1 Pembebaan Struktur Plat**

Beban yang dominan bekerja pada struktur plat lantai adalah beban mati dan beban hidup.

###### **1. Beban mati**

- Berat sendiri plat = tebal plat x  $\gamma$  beton  
 $= 0,12 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3$   
 $= 2,88 \text{ kN/m}^2$ .
  - Lapisan waterproofing  $= 0,05 \text{ kN/m}^2$
  - Keramik+Spesi  $= 1,1 \text{ kN/m}^2$
  - Mechanical and Electrical  $= 0,19 \text{ kN/m}^2$
  - Penggantung langit-langit  $= 0,1 \text{ kN/m}^2$
  - Plafond  $= 0,05 \text{ kN/m}^2$
- $$Qdl = (0,05 + 1,1 + 0,19 + 0,1 + 0,05) \text{ kN/m}^2 + 2,88 \text{ kN/m}^2$$
- $$= 1,49 \text{ kN/m}^2 + 2,88 \text{ kN/m}^2$$
- $$= 4,37 \text{ kN/m}^2$$

###### **2. Beban Hidup**

Beban hall (lobby)	: 424 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban ruang kelas	: 192 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban ruang computer	: 424 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban ruang baca	: 287 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban ruang kantor	: 240 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban panggung pertemuan	: 479 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban laboratorium	: 287 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban koridor lt 1	: 479 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban koridor lt 2 keatas	: 383 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)
Beban gudang	: 600 kg/m <sup>2</sup> (SNI 1727-2013)

Beban ruang lain-lain : 192 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013)

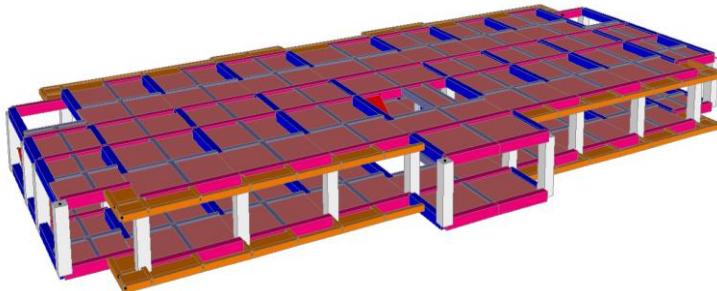
### 3. Beban ultimate

Untuk perhitungan plat, dipakai menggunakan beban hidup yang terbesar, yakni beban hidup ruang pertemuan = 479 kg/m<sup>2</sup>, sehingga:

- $qU = 1,4 qU = 1,4 qDL$   
 $= 1,4 \cdot 4,37 \text{ kN/m}^2 = 6,118 \text{ kN/m}^2$
- $qU = 1,2 qDL + 1,6 qLL$   
 $= 1,2 \cdot 4,37 \text{ kN/m}^2 + 1,6 \cdot 4,79 \text{ kN/m}^2$   
 $= 12,91 \text{ kN/m}^2$

#### 6.1.2 Pemodelan Plat Lantai

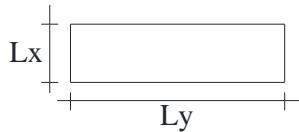
Dalam perhitungan plat lantai, momen yang terjadi pada plat akan diambil dari permodelan plat lantai pada program bantu SAP 2000.



Gambar 6. 1.Pemodelan Plat Lantai

#### 6.1.3 Analisis Struktur Plat Lantai

Perhitungan penulangan plat akan menggunakan momen hasil perhitungan SAP 2000. Untuk analisa struktur plat lantai menggunakan tabel koefisien momen, momen-momen yang terjadi mengikuti ketentuan sebagai berikut:



Gambar 6. 2.Ketentuan Analisa Plat Lantai

Dimana:

$L_x$  = bentang plat pendek

$L_y$  = bentang plat panjang

Untuk momen yang terjadi dihitung menggunakan tabel koefisien momen dan yang dihitung menggunakan SAP 2000 v.14, disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 6. 1.Momen yang Terjadi dihitung Menggunakan SAP 2000

TIPE PLAT	MOMEN SAP (kNm)			
	Mtx	Mlx	Mty	Mly
1	-16.05	7.8399	-20.6	7.549
2	-20.79	9.6528	-21.95	10.157
3	-9.028	4.6243	-12.08	5.9551
4	-7.576	2.7523	-5.237	1.8189
5	-11.35	3.7278	-17.31	5.818
6	-17.26	7.4762	-19.26	5.2989
7	-17.63	7.8218	-9.223	3.2702

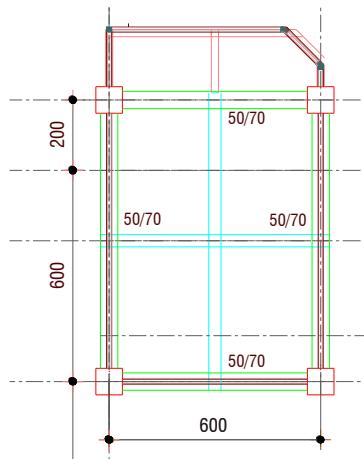
#### 6.1.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Plat

##### 6.1.4.1 Plat Tipe 1 (3000mmx4000mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm



Gambar 6. 3.Plat Tipe 1

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

$$Lx = 3000 \text{ mm}$$

$$Ln = 4000 \text{ mm} - \frac{500 \text{ mm}}{2} - \frac{350 \text{ mm}}{2} = 3600 \text{ mm}$$

$$Sn = 3000 \text{ mm} - \frac{500 \text{ mm}}{2} - \frac{350 \text{ mm}}{2} = 2600 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{3500 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} = 1,4 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

### 1. Perhitungan tulangan arah Lx (bentang pendek)

$$M_{lx} = 7,84 \text{ kNm}$$

$$M_{tx} = -16,05 \text{ kNm}$$

#### a. Perhitungan kebutuhan lapangan

- Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk  $f'_c = 35 \text{ MPa}$ , maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{35-28}{35-28} \right) \cdot 0,05 = 0,8$$

$$dx = t_{plat} - t_{se limit} - D/2$$

$$dx = 120\text{mm} - 20\text{mm} - \frac{10\text{mm}}{2} = 95\text{mm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc} = \frac{400\text{Mpa}}{0,85 \cdot 35\text{Mpa}} = 13,445$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400\text{Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc'}{fy} \cdot \left( \frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35\text{Mpa}}{400\text{Mpa}} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$p_{\max} = 0,0284$$

$$Mlx = 7,84 \text{ kNm} = 7,840,000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{7,840,000 \text{ N.mm}}{0,8} = 9,799,875 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{9,799,875 \text{ N.mm}}{1000\text{mm} \cdot (95\text{mm})^2} = 0,869 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$p = \frac{1}{13,445} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,869 \text{ N/mm}^2}{400\text{Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,002$$

Karena  $p < p_{\min}$ , maka dipakai  $p = 0,0035$

$$As_{perlu} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000\text{mm} \cdot 95\text{mm}$$

$$As_{perlu} = 272,24 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D10-150  $\rightarrow$  As pakai = 602,14 mm<sup>2</sup>

- Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$150\text{mm} < 2 \cdot t_{plat} \rightarrow 150\text{mm} < 2 \cdot 120\text{mm}$$

$$150\text{mm} < 240\text{mm} (\text{OK!})$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

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

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

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

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

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

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

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

Jarak antar tulangan dipakai = 150 mm < 265 mm (OK!)

- Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai  $V_u$  adalah:

$$V_u = \frac{w_u \cdot \ell n}{2} = \frac{12,91\text{kN}/\text{m}^2 \cdot 3,6\text{m}}{2} = 23,24\text{ kN}$$

Nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$Vc = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d$$

Dimana:  $\lambda = 1$  untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1

$$Vc = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm} = 95.544,68 \text{ N}$$

$$\phi \cdot Vc = 0,75 \cdot 95.544,68 \text{ kN} = 71.658,52 \text{ N} = 71,66 \text{ kN}$$

$$23,24 \text{ kN} < 71,66 \text{ kN}$$

$$Vu < \phi \cdot Vc \text{ (OK!)}$$

b. Perhitungan kebutuhan tumpuan

- Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk  $fc' = 35 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{35 - 28}{35 - 28} \right) \cdot 0,05 = 0,8$$

$$dx = t_{plat} - t_{se limit} - \frac{D}{2}$$

$$dx = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 95 \text{ mm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,445$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc'}{fy} \cdot \left( \frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$p_{\max} = 0,0284$$

$$Mtx = 16.05 \text{ kNm} = 16.050.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{16.050.000 N.mm}{0,8} = 20.067.750 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{20.067.750 N.mm}{1000 mm \cdot (95 mm)^2} = 1,779 \text{ N/mm}^2$$

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

$$p = \frac{1}{13,445} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,779 N / mm^2}{400 Mpa}} \right)$$

$$p = 0,0046$$

Karena  $p > p_{\min}$ , maka dipakai  $p = 0,0046$

$$A_s_{\text{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0046 \cdot 1000 mm \cdot 95 mm$$

$$A_s_{\text{perlu}} = 435,93 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D10-150  $\rightarrow A_s \text{ pakai} = 602,14 \text{ mm}^2$

- Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$150 mm < 2 \cdot t_{\text{plat}} \rightarrow 150 mm < 2 \cdot 120 mm$$

$$150 mm < 240 mm (\text{OK!})$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

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

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

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

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

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

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

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

Jarak antar tulangan dipakai = 150 mm < 265 mm (OK!)

- Kontrol ketebalan plat terhadap geser  
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai  $V_u$  adalah:

$$V_u = \frac{w_u \cdot \ell_n}{2} = \frac{12,91 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,6 \text{ m}}{2} = 23,24 \text{ kN}$$

Nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana:  $\lambda = 1$  untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm} = 95.544,68 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 95.544,68 \text{ kN} = 71.658,52 \text{ N} = 71,66 \text{ kN}$$

$23,24 \text{ kN} < 71,66 \text{ kN}$

$$V_u < \phi \cdot V_c \text{ (OK!)}$$

## 2. Perhitungan tulangan arah Ly (**bentang panjang**)

$$M_{lx} = 7,55 \text{ kNm}$$

$$M_{tx} = -20,6 \text{ kNm}$$

- Perhitungan kebutuhan lapangan

- Menghitung kebutuhan tulangan  
Untuk  $f'_c = 35 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{35-28}{35-28} \right) \cdot 0,05 = 0,8$$

$$dx = t_{plat} - t_{selimut} - D - \frac{D}{2}$$

$$dx = 120\text{mm} - 20\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{10\text{mm}}{2} = 85\text{mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400 \text{Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{Mpa}} = 13,445$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35 \text{Mpa}}{400 \text{Mpa}} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$p_{\max} = 0,0284$$

$$M_{ly} = 7.55 \text{ kNm} = 7.549.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{7.549.000 \text{N.mm}}{0,8} = 9.436.250 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{9.436.250 \text{N.mm}}{1000 \text{mm} \cdot (85 \text{mm})^2} = 1,0448 \text{ N/mm}^2$$

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

$$p = \frac{1}{13,445} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,0448 \text{N/mm}^2}{400 \text{Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0026$$

Karena  $p < p_{\min}$ , maka dipakai  $p = 0,0035$

$$As_{perlu} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000mm \cdot 85mm$$

$$As_{perlu} = 297,5mm^2$$

Maka dipakai D10-150 → As pakai = 602,14 mm<sup>2</sup>

- Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$150mm < 2 \cdot t_{plat} \rightarrow 150mm < 2 \cdot 120mm$$

$$150mm < 240mm (\text{OK!})$$

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

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

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

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 400Mpa = 266,67Mpa$$

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

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

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

Jarak antar tulangan dipakai = 150 mm < 265 mm (OK!)

- Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai Vu adalah:

$$Vu = \frac{wu \cdot ln}{2} = \frac{12,91kN/m^2 \cdot 3,6m}{2} = 23,24 \text{ kN}$$

Nilai Vc ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$Vc = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d$$

Dimana:  $\lambda = 1$  untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1

$$Vc = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35Mpa} \cdot 1000mm \cdot 85mm = 85.487,35N$$

$$\phi \cdot Vc = 0,75 \cdot 85.487,35N = 64.115,51N = 64,12 \text{ kN}$$

$$23,24 \text{ kN} < 64,12 \text{ kN}$$

$$Vu < \phi \cdot Vc \text{ (OK!)}$$

b. Perhitungan kebutuhan tumpuan

- Menghitung kebutuhan tulangan  
Untuk  $fc' = 35Mpa$ , maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{35-28}{35-28} \right) \cdot 0,05 = 0,8$$

$$dx = t_{plat} - t_{se\lim ut} - D - D/2$$

$$dx = 120mm - 20mm - 10mm - 10mm/2 = 85mm$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc} = \frac{400Mpa}{0,85 \cdot 35Mpa} = 13,445$$

$$p \min = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400Mpa} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35 Mpa}{400 Mpa} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$p_{\max} = 0,0284$$

$$M_{ty} = 20.60 \text{ kNm} = 20.603.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{20.603.000 N.mm}{0,8} = 25.754.000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{25.754.000 N.mm}{1000 mm \cdot (85 mm)^2} = 2,851 \text{ N/mm}^2$$

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

$$p = \frac{1}{13,445} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 2,8517 N/mm^2}{400 Mpa}} \right)$$

$$p = 0,0035$$

Karena  $p > p_{\min}$ , maka dipakai  $p = 0,0075$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 1000 mm \cdot 85 mm$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 638,2 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D10-150  $\rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 602,14 \text{ mm}^2$

- Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 13.3.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$150 mm < 2 \cdot t_{plat} \rightarrow 150 mm < 2 \cdot 120 mm$$

$$150 mm < 240 mm (\text{OK!})$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

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

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

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

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

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

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

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

Jarak antar tulangan dipakai = 150 mm < 265 mm (OK!)

- Kontrol ketebalan plat terhadap geser  
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3, nilai  $V_u$  adalah:

$$V_u = \frac{w_u \cdot \ell_n}{2} = \frac{12,91 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,6 \text{ m}}{2} = 23,24 \text{ kN}$$

Nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana:  $\lambda = 1$  untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35 \text{ MPa}} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 85 \text{ mm} = 85.487,35 \text{ N}$$

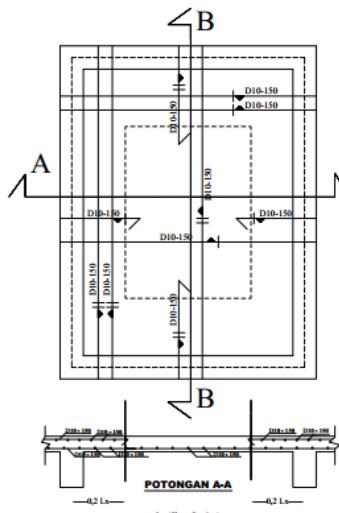
$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 85.487,35 \text{ kN} = 64.115,51 \text{ N} = 64,12 \text{ kN}$$

$$23,24 \text{ kN} < 64,12 \text{ kN}$$

$$Vu < \phi \cdot Vc \text{ (OK!)}$$

Tabel 6. 2. Perhitungan Plat Lantai Tipe 1

	Arah Lx		Arah Ly	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120	120	120
Mu (kN.m)	7.84	16.05	7.55	20.6
d (mm)	95	95	85	85
p min	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
p	0.0022	0.0046	0.0027	0.0075
p pakai	0.0035	0.0046	0.0035	0.0075
As min ( $\text{mm}^2$ )	332.5	435.9	297.5	638.2
As pakai ( $\text{mm}^2$ )	602.14	602.14	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150	D12-150	D12-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Vu (kN)	23.24	23.24	23.24	23.24
$\phi Vc$	71.6	71.6	64.12	64.12
Cek Geser	OK!	OK!	OK!	OK!



Gambar 6. 4. Penulangan Plat Lantai Tipe 1

#### 6.1.4.2 Plat Tipe 2 (4000mmx4000mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm

$L_y = 4000 \text{ mm}$

$L_x = 4000 \text{ mm}$

$$L_n = 4000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 3600 \text{ mm}$$

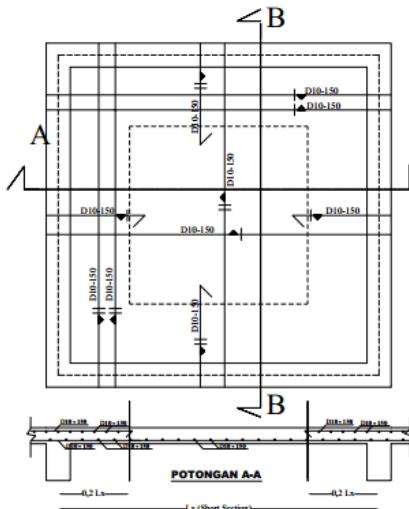
$$S_n = 4000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 3600 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3600\text{mm}}{3600\text{mm}} = 1 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 3.Perhitungan Plat Lantai Tipe 2

	Arah Lx		Arah Ly	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120	120	120
Mu (kN.m)	9.653	20.793	10.157	21.947
d (mm)	95	95	85	85
$p$ min	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
$p$	0.0027	0.0060	0.0036	0.0080
$p$ pakai	0.0035	0.0060	0.0036	0.0080
As min ( $\text{mm}^2$ )	336.39	570.18	306.14	682.31
As pakai ( $\text{mm}^2$ )	602.14	602.14	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150	D12-150	D12-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Vu (kN)	23.08	23.08	23.24	23.24
$\phi V_c$	71.66	71.66	64.12	64.12
Cek Geser	OK!	OK!	OK!	OK!



Gambar 6. 5. Penulangan Plat Lantai Tipe 2

#### 6.1.4.3 Plat Tipe 3 (1300mmx2000mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm

$L_y = 2000 \text{ mm}$

$L_x = 1300 \text{ mm}$

$$L_n = 2000 \text{ mm} - \frac{500 \text{ mm}}{2} - \frac{350 \text{ mm}}{2} = 1600 \text{ mm}$$

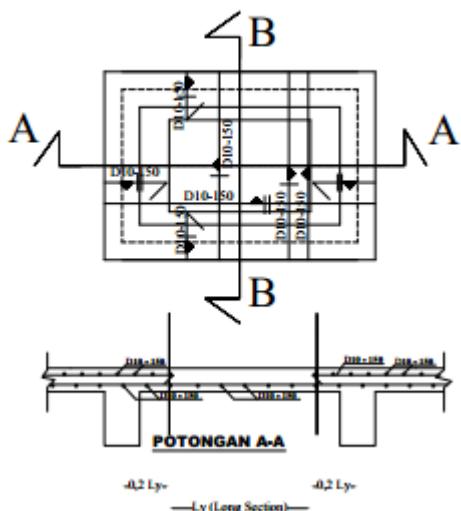
$$S_n = 1300 \text{ mm} - \frac{500 \text{ mm}}{2} - \frac{350 \text{ mm}}{2} = 900 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{1600 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} = 1,8 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 4.Perhitungan Plat Lantai Tipe 3

	Arah Lx		Arah Ly	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120	120	120
Mu (kN.m)	4.624	9.0277	5.96	12.083
d (mm)	95	95	85	85
$p_{\text{min}}$	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
$p$	0.0013	0.0025	0.0021	0.0043
$p_{\text{pakai}}$	0.0035	0.0035	0.0035	0.0043
As min (mm <sup>2</sup> )	332.5	332.5	297.5	365.96
As pakai (mm <sup>2</sup> )	602.14	602.14	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150	D12-150	D12-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Vu (kN)	10,16	10,16	10,16	10,16
$\phi V_c$	71.66	71.66	64.12	64.12
Cek Geser	OK!	OK!	OK!	OK!



Gambar 6. 6.Penulangan Plat Lantai Tipe 3

#### 6.1.4.4 Plat Tipe 4 (2000mmx4000mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm

$Ly = 4000 \text{ mm}$

$Lx = 2000 \text{ mm}$

$$Ln = 4000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 3500 \text{ mm}$$

$$Sn = 2000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 1600 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{3500\text{mm}}{1600\text{mm}} = 2.2 < 2 \text{ (plat satu arah)}$$

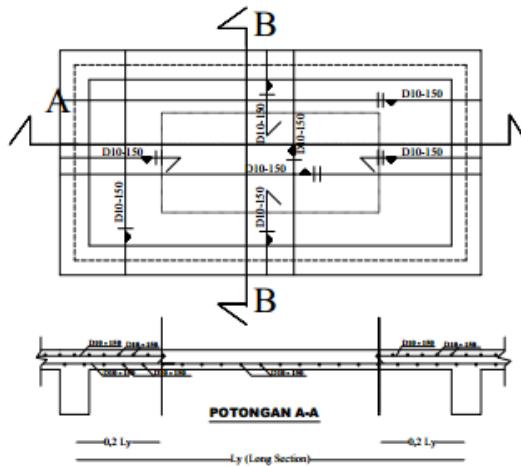
Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 5.Perhitungan Plat Lantai Tipe 4

	Arah Lx	
	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120
M <sub>u</sub> (kN.m)	2.752	7.576
d (mm)	95	95
p min	0.0035	0.0035
p	0.0008	0.0021
p pakai	0.0035	0.0035
As min (mm <sup>2</sup> )	332.5	332.5
As pakai (mm <sup>2</sup> )	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!
V <sub>u</sub> (kN)	22.59	22.59
φ V <sub>c</sub>	71.66	71.66
Cek Geser	OK!	OK!

Untuk perhitungan tulangan susut berdasarkan SNI 03-2847 2013 Pasal 7.12.2.1, dimana:  $\rho = 0,002$

Sehingga  $A_s' = 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm} = 190 \text{ mm}^2$   
Dipakai D10-150 dengan  $A_s = 602.14 \text{ mm}^2$



Gambar 6. 7.Penulangan Plat Lantai Tipe 4

#### 6.1.4.5 Plat Tipe 5 (2000mmx3000mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm

$Ly = 3000 \text{ mm}$

$Lx = 2000 \text{ mm}$

$$Ln = 3000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 2500 \text{ mm}$$

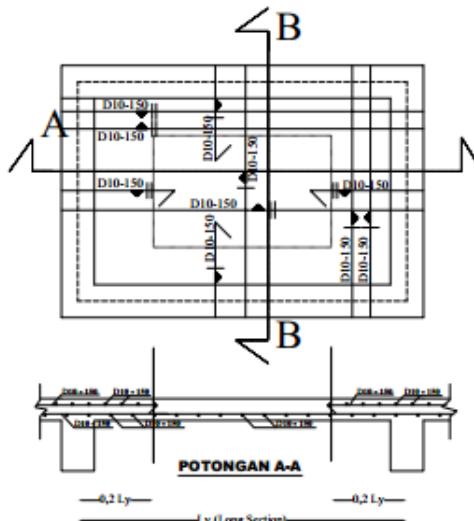
$$Sn = 2000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 1600 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{2500\text{mm}}{1600\text{mm}} = 1.6 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 6.Perhitungan Plat Lantai Tipe 5

	Arah Lx		Arah Ly	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120	120	120
Mu (kN.m)	3.73	11.35	5.82	17.31
d (mm)	95	95	85	85
$p$ min	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
$p$	0.0010	0.0032	0.0020	0.0063
$p$ pakai	0.0035	0.0042	0.0035	0.0063
As min ( $\text{mm}^2$ )	332.50	396.71	297.50	531.37
As pakai ( $\text{mm}^2$ )	602.14	602.14	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150	D12-150	D12-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Vu (kN)	16.14	16.14	16.14	16.14
$\phi V_c$	71.66	71.66	64.12	64.12
Cek Geser	OK!	OK!	OK!	OK!



Gambar 6. 8.Penulangan Plat Lantai Tipe 5

#### 6.1.4.6 Plat Tipe 6 (3300mmx4000mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm

$Ly = 4000 \text{ mm}$

$Lx = 3300 \text{ mm}$

$$Ln = 4000\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 3500 \text{ mm}$$

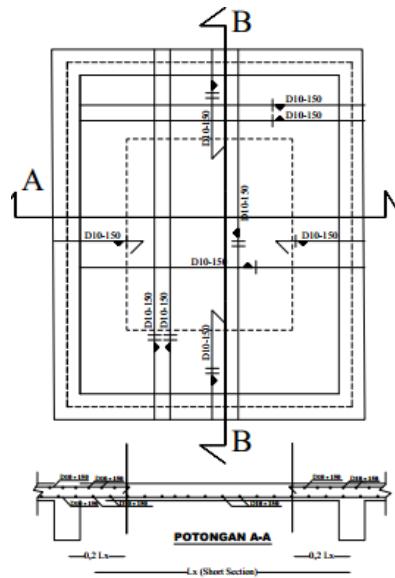
$$Sn = 3300\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 2900 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{3500\text{mm}}{2900\text{mm}} = 1.2 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 7.Perhitungan Plat Lantai Tipe 6

	Arah Lx		Arah Ly	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120	120	120
Mu (kN.m)	3.73	11.35	5.82	17.31
d (mm)	95	95	85	85
$p$ min	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
$p$	0.0010	0.0032	0.0020	0.0063
$p$ pakai	0.0035	0.0042	0.0035	0.0063
As min ( $\text{mm}^2$ )	332.50	396.71	297.50	531.37
As pakai ( $\text{mm}^2$ )	602.14	602.14	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150	D12-150	D12-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!	OK!	OK!
Vu (kN)	16.14	16.14	16.14	16.14
$\phi V_c$	71.66	71.66	64.12	64.12
Cek Geser	OK!	OK!	OK!	OK!



Gambar 6. 9.Penulangan Plat Lantai Tipe 6

#### 6.1.4.7 Plat Tipe 7 (1800mmx4700mm)

Diketahui data:

Balok anak : 35cm/50cm

Balok induk :50cm/70cm

$L_y = 4700 \text{ mm}$

$L_x = 1800 \text{ mm}$

$$L_n = 4700\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 4200 \text{ mm}$$

$$S_n = 1800\text{mm} - \frac{500\text{mm}}{2} - \frac{350\text{mm}}{2} = 1400 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{4200\text{mm}}{1400\text{mm}} = 3,1 < 2 \text{ (plat satu arah)}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

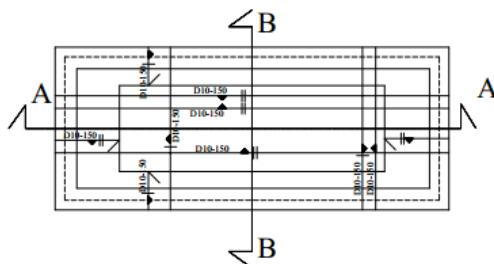
Tabel 6. 8.Perhitungan Plat Lantai Tipe 7

	Arah Lx	
	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120
M <sub>u</sub> (kN.m)	3.73	11.35
d (mm)	95	95
p min	0.0035	0.0035
p	0.0010	0.0032
p pakai	0.0035	0.0042
As min (mm <sup>2</sup> )	332.50	396.71
As pakai (mm <sup>2</sup> )	602.14	602.14
Tulangan dipakai	D10-150	D10-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!
V <sub>u</sub> (kN)	16.14	16.14
φ V <sub>c</sub>	71.66	71.66
Cek Geser	OK!	OK!

Untuk perhitungan tulangan susut berdasarkan SNI 03-2847 2013  
Pasal 7.12.2.1, dimana:  $\rho = 0,002$

Sehingga  $As' = 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm} = 190 \text{ mm}^2$

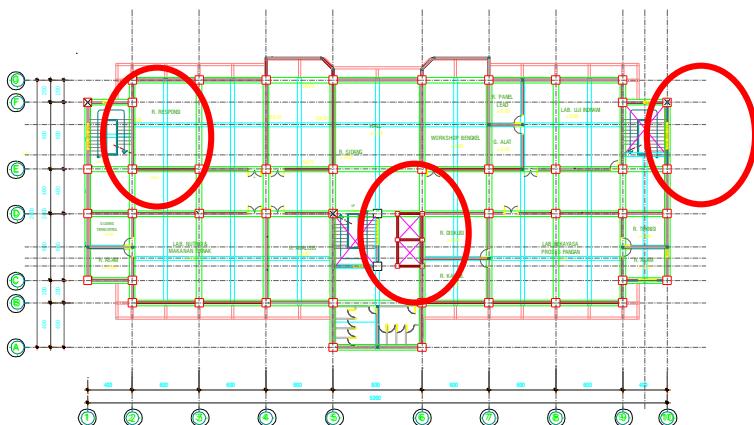
Dipakai D10-150 dengan As = 602.14 mm<sup>2</sup>



Gambar 6. 10.Penulangan Plat Lantai Tipe 7

## 6.2 Desain Struktur Tangga

Struktur tangga yang didesain meliputi plat tangga, balok tangga, plat bordes serta balok bordes. Sebagai contoh perhitungan ditinjau tangga yang menghubungkan lantai dasar dengan lantai 2. Denah untuk penempatan tangga yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. 11.. Denah Penempatan Tangga pada Lantai Dasar

### 6.2.1 Desain Struktur Plat Tangga dan Plat Bordes

Spesifikasi teknik untuk plat tangga dan plat bordes yang didesain adalah sebagai berikut:

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

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

Lebar injakan = 315 mm

Tinggi tanjakan = 160 mm

Jumlah injakan = 16 buah

Jumlah tanjakan = 17 buah

Panjang datar = 4700 mm

Sudut miring = 27°

Tebal plat tangga = 120 mm

Tulangan menggunakan D13.

Tebal efektif plat tangga:

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 1 &= 0,5 \times i \times t = 0,5 \times 315 \text{ mm} \times 160 \text{ mm} \\ &= 25.200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 2 &= 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \times d \\ &= 0,5 \times ((315\text{mm})^2 + (160\text{mm})^2)^{0,5} \times d \\ &= 176,65 \text{ mm} \cdot d \end{aligned}$$

Persamaan Luas  $\Delta 1$  = Luas  $\Delta 2$

$$25.200 \text{ mm}^2 = 176,65 \text{ mm} \cdot d$$

$$d = 142,65 \text{ mm}$$

$$0,5 d = 71,33 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif plat tangga} &= 120 \text{ mm} + 71,33 \text{ mm} \\ &= 191,33 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm} \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 6.2.2 Pembebanan Tangga

Plat tangga dan plat bordes menerima kombinasi beban ultimate dari beban mati dan beban hidup.

#### 1. Beban mati (DL)

$$\text{Beban keramik + spesi} = 110 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{DL} = 110 \text{ kg/m}^2$$

## 2. Beban hidup (LL)

Beban hidup tangga / bordes =  $479 \text{ kg/m}^2$

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

## 3. Beban ultimate

$$q_U = 1,4 q_{DL}$$

$$= 1,4 \cdot 110 \text{ kg/m}^2 = 154 \text{ kg/m}^2$$

$$q_U = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL}$$

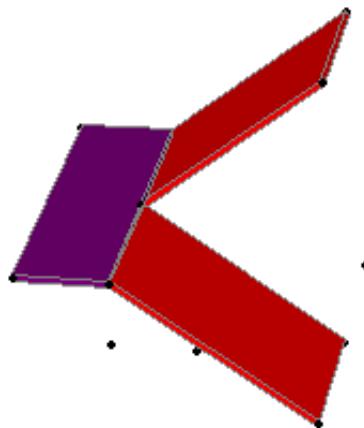
$$= 1,2 \cdot 110 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \cdot 479 \text{ kg/m}^2 = 898,4 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga dipakai  $q_U$  paling besar yakni:

$$q_U = 898,4 \text{ kg/m}^2$$

### 6.2.3 Pemodelan Tangga

Untuk plat tangga dan plat bordes dimodelkan sebagai berikut menggunakan program bantu SAP 2000 v.14:



Gambar 6. 12.Pemodelan Tangga pada SAP

### 6.2.4 Analisis Struktur Plat Tangga dan Plat Bordes

Untuk momen yang terjadi pada plat tangga dan plat bordes menggunakan program bantu SAP 2000 v.14, didapatkan momen yang terjadi pada plat adalah sebagai berikut:

Tabel 6. 9.Momen yang Terjadi pada Plat Tangga dan Plat Bordes Menggunakan SAP 2000 v.14

TIPE PLAT	MOMEN SAP (kgm)	
	Mtx	Mlx
PLAT NAIK	-14.31	6.421
PLAT BORDES	-15.13	4.954

### 6.2.5 Perhitungan Tulangan Plat Tangga

$$Ly = Ln = \frac{3150mm}{\cos 27^\circ} = 3535,33 \text{ mm}$$

$$Lx = Sn = 1550 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{3535,33mm}{1550mm} = 2,3 > 2 \text{ (plat satu arah)}$$

$$d = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13\text{mm}/2 = 93,5 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe 1 pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 10.Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Plat Tangga

	Plat Tangga	
	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120
Mu (kN.m)	6,42	14,31
d (mm)	93,5	93,5
p min	0.0035	0.0035
p	0.0018	0.0042
p pakai	0.0035	0.0042

As min (mm <sup>2</sup> )	327,25	393,66
As pakai (mm <sup>2</sup> )	1017,6	1017,6
Tulangan dipakai	D13-150	D13-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!
V <sub>u</sub> (kN)	22,82	22,82
φ V <sub>c</sub>	70,53	70,53
Cek Geser	OK!	OK!

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

$$d \times p \text{ pakai} = 93,5 \times 0,0014 \text{ mm}^2 = 130,9 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai D13-150 dengan As = 1017,61 mm<sup>2</sup>

### 6.2.6 Perhitungan Tulangan Plat Bordes

$$Ly = Ln = 3150 \text{ mm}$$

$$Lx = Sn = 1550 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{3150 \text{ mm}}{1550 \text{ mm}} = 2,03 > 2 \text{ (plat satu arah)}$$

Dengan menggunakan perhitungan seperti pada perhitungan kebutuhan tulangan pada plat tipe A pada program bantu Microsoft Excel, didapatkan kebutuhan tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. 11.Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Plat Bordes

	Plat Tangga	
	Lapangan	Tumpuan
Tebal plat (mm)	120	120
M <sub>u</sub> (kN.m)	4,954	15,133
d (mm)	93,5	93,5

$p_{\text{min}}$	0,0035	0,0035
$p$	0,00143	0,0045
$p_{\text{pakai}}$	0,0035	0,0045
As min ( $\text{mm}^2$ )	327,25	417,14
As pakai ( $\text{mm}^2$ )	1017,6	1017,6
Tulangan dipakai	D13-150	D13-150
Cek jarak tul. (<240 mm)	OK!	OK!
Cek retak (<265mm)	OK!	OK!
Vu (kN)	22,82	22,82
$\phi V_c$	70,53	70,53
Cek Geser	OK!	OK!

Untuk perhitungan tulangan bagi digunakan:

$$d \times p_{\text{pakai}} = 93,5 \times 0,0014 \text{ mm}^2 = 130,9 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai D13-150 dengan As = 1017,61 mm<sup>2</sup>

### 6.3 Desain Balok Penggantung Lift

Jika direncanakan balok penggantung lift sebagai berikut:

$$L = 2200 \text{ mm}$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

Tulangan lentur = D19

Tulangan geser = D10

Dari hasil perhitungan pembebanan pada program bantu SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya sebagai berikut:

$$M_u \text{ tumpuan} = -5629,91 \text{ kg.m} = -56,29 \text{ kN.m}$$

$$M_u \text{ lapangan} = 11564,3 \text{ kg.m} = 115,64 \text{ kN.m}$$

#### 1. Perhitungan Tulangan Tumpuan

Syarat Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk  $f'_c = 35 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{28-35}{28-35} \right) \cdot (0,85 - 0,8) = 0,8$$

$$d = h - t_{\text{se limit}} - \text{sengkang} - \frac{D_{\text{lentur}}}{2}$$

$$d = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} = 443,5 \text{ mm}$$

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

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390 \text{ Mpa}} = 0,0036$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35 \text{ Mpa}}{390 \text{ Mpa}} \cdot \left( \frac{600}{600 + 390} \right)$$

$$p_{\max} = 0,029$$

$$M_{lx} = 5629,9 \text{ kN.m} = 56.299.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 62.554.555,56 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{62.554.555,56 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \cdot (443,5 \text{ mm})^2} = 0,91 \text{ N/mm}^2$$

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

$$p = \frac{1}{13,11} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,11 \cdot 0,91 \text{ N/mm}^2}{390 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0024$$

Karena  $p < p_{\min}$ , maka dipakai  $p_{\min} = 0,0036$

Sehingga:

$$As_{perlu} = p \cdot b \cdot d = 0,036 \cdot 350mm \cdot 443,5mm$$

$$As_{perlu} = 557,22 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai 4-D19  $\rightarrow As$  pakai = 530,93  $\text{mm}^2$

## 2. Perhitungan Tulangan **Lapangan**

Syarat Menghitung kebutuhan tulangan

Untuk  $fc' = 35\text{Mpa}$ , maka:

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{28-35}{28-35} \right) \cdot (0,85 - 0,8) = 0,8$$

$$d = h - t_{se\lim ut} - sengkang - \frac{D.lentur}{2}$$

$$d = 500mm - 40mm - 10mm - \frac{13mm}{2} = 443,5mm$$

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

$$p_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390\text{Mpa}} = 0,0036$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc'}{fy} \cdot \left( \frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35\text{Mpa}}{390\text{Mpa}} \cdot \left( \frac{600}{600 + 390} \right)$$

$$p_{\max} = 0,029$$

$$Mlx = 11564,3 \text{ kN.m}$$

$$Mn = 128.492.222,2 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{128.492.222,2 N \cdot mm}{350mm \cdot (443,5mm)^2} = 1,867 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$p = \frac{1}{13,11} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,11 \cdot 1,867 N / mm^2}{390 Mpa}} \right)$$

$$p = 0,005$$

Karena  $p > p_{\min}$ , maka dipakai  $p = 0,005$

Sehingga:

$$As_{perlu} = p \cdot b \cdot d = 0,005 \cdot 350mm \cdot 443,5mm$$

$$As_{perlu} = 767,8 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai 6-D19  $\rightarrow$  As pakai = 796,39 mm<sup>2</sup>

### 3. Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor, **Vu sejarak d** dari muka tumpuan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.3.1.

$$Vu' = \frac{Vu}{2200mm} \cdot \left( \frac{2200mm}{2} - 443,5 \right)$$

$$Vu' = \frac{322,19 kN}{1100mm} \cdot (1100mm - 443,5mm) = 192,29 \text{ kN}$$

Nilai Vc ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.

$$Vc = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d$$

Dimana:  $\lambda = 1$  untuk beton normal berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.6.1

$$Vc = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 443,5 \text{ mm} = 133812,85 \text{ N}$$

$$\varphi \cdot Vc = 0,75 \cdot 133812,85 \text{ kN} = 100359,64 \text{ N} = 117,1 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \varphi \cdot Vc = 0,5 \cdot 100,4 \text{ kN} = 58,54 \text{ kN}$$

Karena:  $0,5 \cdot \varphi \cdot Vc < Vu' < \varphi \cdot Vc$  maka termasuk kondisi 2 → hanya perlu tulangan geser minimum

$$Vs_{\min} = \frac{b \cdot d}{3} = \frac{350 \text{ mm} \cdot 443,5 \text{ mm}}{3} = 51741,67 \text{ N}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki  $\emptyset 10$

$$Av = 2 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \right) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vs} = \frac{157,08 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 443,5 \text{ mm}}{51741,67 \text{ N}}$$

$$s = 323,14 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diambil } s = 150 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai sengkang D10 – 150 mm

## 6.4 Perhitungan Struktur Atap

Struktur atap yang didesain meliputi gording, penggantung gording, ikatan angin, kuda-kuda, dan kolom baja yang mentransfer gaya dari atap baja ke kolom beton pada lantai dibawahnya.

### 6.4.1 Perhitungan Gording

#### 6.4.1.1 Data Perencanaan

Untuk data-data yang dipakai adalah sebagai berikut:

Mutu Baja BJ = BJ 37

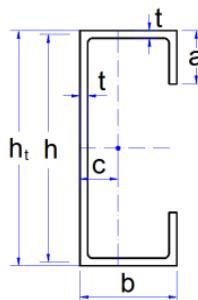
$f_y$  = 240 Mpa (SNI 03-1729-2002 Tabel 5.3)

$f_u$  = 370 Mpa (SNI 03-1729-2002 Tabel 5.3)

Jarak antar kuda-kuda ( $L$ ) = 8 meter

Jarak antar gording ( $b$ ) = 1,2 meter

Jenis atap =Rooftop® Poly Vinyl Gelombang  
 Berat atap (q) = 5 kg/m<sup>2</sup>  
 Jumlah pengg. gording = 2 buah  
 Kemiringan atap = 30°  
 Dicoba menggunakan profil: Lip channel 150 . 65 . 20 . 3,2

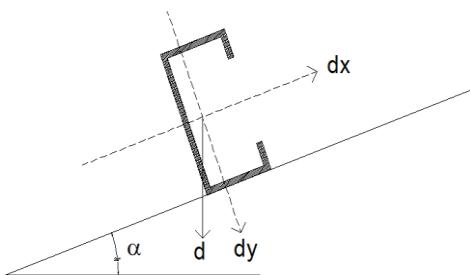


Gambar 6. 13.Ukuran dan Dimensi dari Baja Lip Channel.

Diketahui dari profil LC 150 . 65 . 20 . 3,2

B = 65 mm	I <sub>x</sub> = 332 cm <sup>4</sup>
H = 150 mm	I <sub>y</sub> = 54 cm <sup>4</sup>
h = 147 mm	S <sub>x</sub> = 44 cm <sup>3</sup>
t = 3,2 mm	S <sub>y</sub> = 12.2 cm <sup>3</sup>
a = 20 mm	A = 9.6 cm <sup>2</sup>
c = 3,8 mm	r <sub>y</sub> = 2.4 cm
W = 7.51 kg/m	r <sub>x</sub> = 5.9 cm

#### 6.4.1.2 Perhitungan Beban



Gambar 6. 14. Perhitungan Beban pada Gording.

### 1. Beban Mati (qDL)

- Berat atap (q x b) = 6 kg/m
- Berat gording = 7,51 kg/m +
- qDL = 13,51 kg/m
- Berat lain-lain (10% x qDL) = 1,351 kg/m +
- qDL total = 14,861 kg/m

$$\begin{aligned} qDL X &= qDL \text{ total} \times \cos \alpha \\ &= 17,347 \text{ kg/m} \times \cos 30^\circ \\ &= 12.87 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qDL Y &= qDL \text{ total} \times \sin \alpha \\ &= 17,347 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ \\ &= 7.431 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### 2. Beban Hidup (qLL)

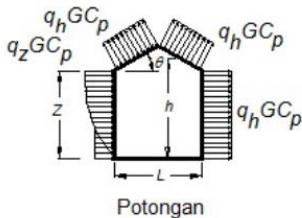
- Beban pekerja (terpusat)

$$\begin{aligned} PL X &= Px = 1,33 \text{ kN} \times \cos \alpha \\ &= 1,33 \text{ kN} \times \cos 30^\circ = 1,152 \text{ kN} \\ &= 115,2 \text{ kg} = 11,52 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PL Y &= Py = 1,33 \text{ kN} \times \sin \alpha \\ &= 1,33 \text{ kN} \times \sin 30^\circ = 0,665 \text{ kN} \\ &= 66,5 \text{ kg} = 6,65 \text{ N} \end{aligned}$$

### 3. Beban Angin (qW)

Untuk beban angin, diambil dari Bab 5, dimana didapatkan beban angin untuk atap adalah sebagai berikut:



Gambar 6. 15.Pengaruh Beban Angin pada Atap

$$\begin{aligned}\text{Pada arah angin datang} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\ &= 38 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pada arah angin pergi} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\ &= 38 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

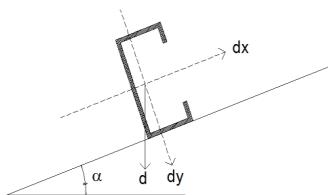
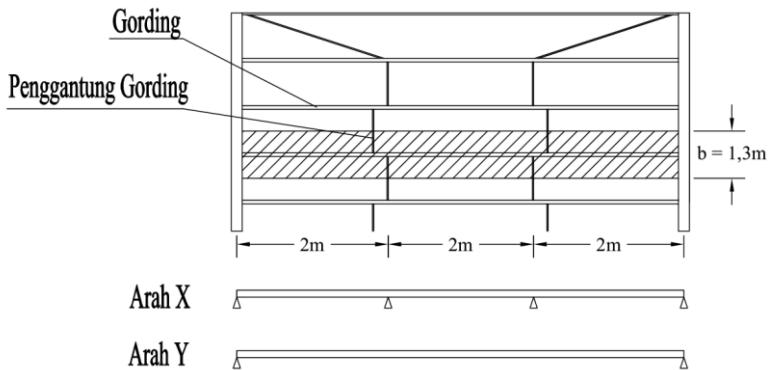
Maka dipakai beban angin terbesar yakni = 38 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}qW &= \text{jarak gording} \times \text{beban angin} \\ &= 1,2\text{m} \times 38 \text{ kg/m}^2 = 45,6 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}qW X &= qW \cdot \cos \alpha = 45,6 \text{ kg/m} \cdot \cos 30^\circ \\ &= 39,5 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}qW Y &= qW \cdot \sin \alpha = 45,6 \text{ kg/m} \cdot \sin 30^\circ \\ &= 22,8 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Perhitungan Momen akibat Beban



Gambar 6. 16.Momen yang Terjadi pada Gording

Untuk momen yang terjadi pada arah x, terdapat perletakan pada daerah kuda-kuda dan titik yang diberi penggantung gording, namun untuk arah y hanya ada perletakan pada kuda-kuda.

1. Momen akibat beban mati:

$$\begin{aligned} M_{DLX} &= 1/8 \cdot qDL_X \cdot (L)^2 = 1/8 \cdot 12,87 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m})^2 \\ &= 59,44 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{DLY} &= 1/8 \cdot qDL_Y \cdot (L/3)^2 = 1/8 \cdot 7,43 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m} / 3)^2 \\ &= 40,22 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

2. Momen akibat beban hidup terpusat:

$$\begin{aligned} M_{LLX} &= 1/4 \cdot PL_x \cdot L = 1/4 \cdot 115,2\text{kg} \cdot (8\text{m}) \\ &= 133 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{LLY} &= 1/4 \cdot PL_y \cdot (L/3) = 1/4 \cdot 66,5 \text{ kg} \cdot (8\text{m} / 3) \\ &= 76,79 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

3. Momen akibat beban angin:

$$\begin{aligned} M_{Wx} &= 1/8 \cdot qW_x \cdot L^2 &= 1/8 \cdot 39,49 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m})^2 \\ &&= 182,4 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Wy} &= 1/8 \cdot qW_y \cdot (L/3)^2 &= 1/8 \cdot 22,8 \text{ kg/m} \cdot (6\text{m} / 3)^2 \\ &&= 35,10 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

#### 6.4.1.3 Perhitungan Beban Kombinasi

Untuk perhitungan beban ultimate yang terjadi pada gording, dihitung sebagai berikut:

1.  $M_u = 1,4 D$

$$\text{Arah X} \rightarrow M_{ux} = 1,4 (59,44 \text{ kg.m}) = 83,22 \text{ kg.m}$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow M_{uy} = 1,4 (40,22 \text{ kg.m}) = 56,31 \text{ kg.m}$$

2.  $M_u = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$

Arah X

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 1,2 (59,44 \text{ kg.m}) + 1,6 (133 \text{ kg.m}) + 0,8 (182,4 \text{ kg.m}) \\ &= 430,053 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Arah Y

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 1,2(40,22 \text{ kg.m}) + 1,6(76,79 \text{ kg.m}) + 0,8(22,8 \text{ kg.m}) \\ &= 199,21 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Maka momen yang terjadi maksimum adalah:

$$\text{Arah X, } M_{ux} = 430,05 \text{ kg.m}$$

$$\text{Arah Y, } M_{uy} = 199,2 \text{ kg.m}$$

#### 6.4.1.4 Kontrol Momen Nominal

Diketahui momen maksimum:

$$M_{ux} = 430,05 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} = 199,2 \text{ kg.m}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1b, yakni sebagai berikut:

- Untuk badan:

$$\frac{b}{t} = \frac{65mm}{3,2mm} = 20,31$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 28,87$$

Karena nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ , maka penampang ini memiliki **badan tidak kompak**

- Untuk sayap:

$$\frac{h}{t} = \frac{150mm}{3,2mm} = 46,88$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 108,54$$

$$\lambda_r = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 164,54$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki **sayap kompak.**

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika terdapat satu nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk **penampang non-kompak.**

Untuk profil berbentuk kanal, maka untuk momen nominal profil dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F3, yakni sebagai berikut:

1. Menghitung momen nominal akibat pelelehan

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

Untuk nilai  $Z_x$  adalah:

$$Z_x = \frac{1}{4} \cdot h_t \cdot t^2 + a \cdot t \cdot (h_t - a) + t \cdot (b - 2 \cdot t) \cdot (h_t - t)$$

$$Zx = 36231,94 \text{ mm}^3$$

Maka:

$$Mn = 240 \text{ Mpa} \cdot 36231,94 \text{ mm}^3 = 8695664,6 \text{ N.mm}$$

$$Mn = 869,566 \text{ kg.m}$$

2. Menghitung momen nominal akibat tekuk torsi lateral

Diketahui, panjang antar pengaku  $Lb = 8000 \text{ mm}$

Menghitung nilai  $Lp$ :

$$Lp = 1,76 \cdot ry \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$Lp = 1,76 \cdot 24 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{200.000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}} = 1204,122 \text{ mm}$$

Menghitung nilai  $Lr$ :

$$Lr = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot fy} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{Sx \cdot h} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{Sx \cdot h}\right)^3 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot fy}{E}\right)^2}}$$

Konstanta warping:

$$Cw = \frac{Iy \cdot h^2}{4} = \frac{87.500 \text{ mm}^4 \cdot (146,8 \text{ mm})^2}{4} = 2,09 \times 10^9 \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{Iy \cdot Cw}}{Sx}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{87.500 \text{ mm}^4 \cdot 4,71 \times 10^9 \text{ mm}^6}}{72.100 \text{ mm}^3} = 894,72 \text{ mm}^2$$

$$r_{ts} = \sqrt{809,78 \text{ mm}^2} = 29,91 \text{ mm}$$

Menghitung konstanta torsi:

$$J = \frac{2 \cdot b \cdot t^3 + (h - t_f) \cdot t^3}{3}$$

$$J = \frac{2 \cdot 50mm \cdot (3,2mm)^3 + (150mm - 3,2mm) \cdot (3,2mm)^3}{3}$$

$$J = 3023,4 \text{ mm}^4$$

Menghitung koefisien c:

$$c = \frac{h}{2} \cdot \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} = \frac{150mm}{2} \cdot \sqrt{\frac{87.500mm^4}{4,71 \times 10^9 mm^6}} = 1,02$$

$$L_r = \frac{1,95 \cdot 29,85 \cdot 200.000}{0,7 \cdot 240} \cdot \sqrt{\frac{2695,71 \cdot 1,02}{72.100 \cdot 150} + \sqrt{\left(\frac{2695,71 \cdot 1,02}{37.400 \cdot 150}\right)^3 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{200.000}\right)^2}}$$

$$L_r = 3614,86 \text{ mm}$$

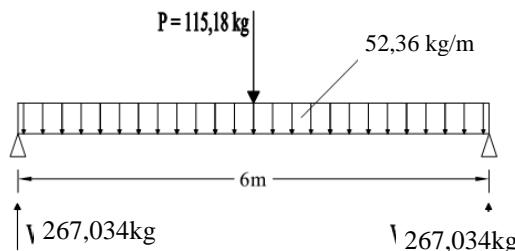
Karena nilai Lb > Lr  $\rightarrow$  8000 mm > 3614,86 mm

Maka berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F2.2:

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \leq M_p$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0,078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} \cdot \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{MAX}}{2,5 M_{MAX} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$



Gambar 7. 1 Beban dan Reaksi pada Gording

$$\begin{aligned} MA &= \text{Momen pada } \frac{1}{4} L \\ &= 267,034 \text{ kg} \cdot 8\text{m}/4 - 0,5 \cdot 52,361 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m}/4)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MB &= 429,35 \text{ kg.m} \\
 &= \text{Momen pada } \frac{1}{2} L \\
 &= 267,034 \text{ kg . } 8m/2 - 0,5 \cdot 52,36 \text{ kg/m . } (8m/2)^2 \\
 &= 649,25 \text{ kg.m} \\
 MC &= \text{Momen pada } \frac{1}{4} L \\
 &= 267,034 \text{ kg . } 8m/4 - 0,5 \cdot 52,36 \text{ kg/m . } (8m/4)^2 \\
 &= 429,25 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$M_{\max} = 649,25 \text{ kg.m}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 649,25 \text{ kg.m}}{2,5 \cdot 649,25 \text{ kg.m} + 3 \cdot 429,35 \text{ kg.m} + 4 \cdot 649,25 \text{ kg.m} + 3 \cdot 429,35 \text{ kg.m}}$$

$$C_b = 1,19$$

$$F_{cr} = \frac{1,19 \cdot \pi^2 \cdot 200.000}{\left(\frac{6000}{29,85}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0,078 \cdot \frac{2695,71 \cdot 1,02}{72.100 \cdot 146,8} \cdot \left(\frac{6000}{29,85}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 62,96 \text{ Mpa}$$

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \leq M_p$$

$$M_n = 62,96 \text{ Mpa} \cdot 44300 \text{ mm}^3 = 2789124,7 \text{ N.mm} \leq M_p$$

$$M_n = 278,912 \text{ kg.m} \leq 869,566 \text{ kg.m}$$

3. Menghitung momen nominal akibat tekuk lokal sayap tekan

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$M_n = 7.261.070 - (7.261.070 - 0,7 \cdot 240 \cdot 72.100) \cdot \left( \frac{15,63 - 10,97}{28,87 - 10,97} \right)$$

$$M_n = 12580211 \text{ N.mm} = 1258,021 \text{ kg.m}$$

Untuk momen nominal, diambil yang paling kecil diantara  $M_n$  akibat peleahan,  $M_n$  akibat tekuk torsi lateral dan  $M_n$  akibat tekuk lokal sayap tekan, sehingga didapatkan nilai  $M_n$ :

$$M_n = 869,566 \text{ kg.m}$$

Maka:

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \cdot 869,566 \text{ kg.m} \geq 430,05 \text{ kg.m}$$

$$782,61 \text{ kg.m} \geq 430,053 \text{ kg.m (OK!)}$$

Stress ratio yang terjadi

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{430,053}{782,61} = 0,5 \leq 1 \text{ (OK!)}$$

#### 4. Menghitung Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin} = \frac{L}{360} = \frac{1,2m}{360} = 3,3\text{mm}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat lendutan batang sebesar

$$0,9D+1,3W = 0,7\text{mm}$$

$$1,4D = 0,5\text{mm}$$

$$1,2D+1,6L+0,8W = 1,7\text{mm}$$

Maka diambil lendutan batang maksimum sebesar 1,7mm.

L maks 1,7mm < Lendutan ijin 3,3mm (OK!).

## 6.4.2 Perhitungan Penggantung Gording

### 6.4.2.1 Data Perencanaan

Untuk data-data yang diketahui adalah sebagai berikut:

Jumlah penggantung gording = 2 buah

Jarak penggantung gording ( $\ell$ ) = 2 m

Jarak antar gording (b) = 1,2 m

Jumlah gording yang ditumpu (N) = 11 buah

$f_y = 240 \text{ Mpa} = 2400 \text{ kg/cm}^2$

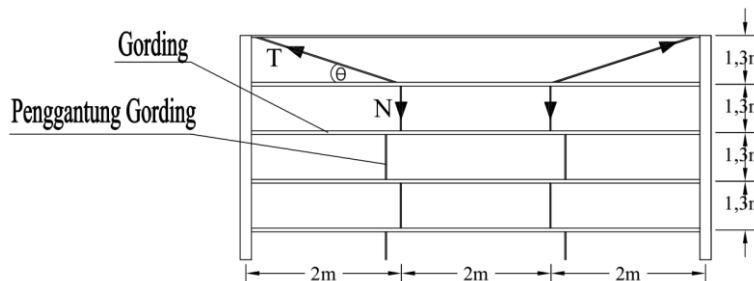
$f_u = 370 \text{ Mpa} = 3700 \text{ kg/cm}^2$

Beban mati pada gording (arah X) = 12,87 kg/m

Beban hidup pada gording (arah X) = 66,5 kg

Beban angin pada gordin (arah X) = 39,964 kg/m

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{\ell}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1,2m}{2m}\right) = 33,02^\circ$$



Gambar 6. 17.Penggantung Gording

### 6.4.2.2 Perhitungan Pembebaan

1. Beban mati

$$Q_d = \ell_1 \cdot q_d \cdot N = 2m \cdot 12,87 \text{ kg/m} \cdot 11 = 283,14 \text{ kg}$$

$$N_d = Q_d \sin \alpha = 283,14 \text{ kg} \cdot \sin 30^\circ = 141,57 \text{ kg}$$

2. Beban hidup

$$Q_L = P_L \cdot N = 66,5 \text{ kg/m} \cdot 11 = 731,5 \text{ kg}$$

$$N_L = Q_L \cdot \sin \alpha = 731,5 \text{ kg} \cdot \sin 30^\circ = 365,75 \text{ kg}$$

3. Beban angin

$$QW = \ell 1 \cdot qW \cdot N = 2m \cdot 11\text{kg/m} \cdot 39,5 = 868,8 \text{ kg}$$

$$N_d = QW \sin \alpha = 868,8 \text{ kg} \cdot \sin 30^\circ = 434,4 \text{ kg}$$

#### 6.4.2.3 Kombinasi Pembebaan

Untuk kombinasi pembebaananya adalah:

$$N = 1,4D = 1,4(141,6\text{kg}) = 198,2 \text{ kg}$$

$$N = 1,2D + 1,6L = 1,2(141,6 \text{ kg}) + 1,6(365,75 \text{ kg}) = 755,1 \text{ kg}$$

$$N = 1,2D + 1,0L + 1,0W$$

$$= 1,2(141,6\text{kg}) + 1,0(366\text{kg}) + 1,0(434,4 \text{ kg}) = 883,2 \text{ kg}$$

Maka dipakai yang paling besar yakni  $N = 883,2 \text{ kg}$

#### 6.4.2.4 Perencanaan Dimensi Penggantung Gording

Gaya yang disalurkan ke kuda-kuda:

$$\sum V = 0$$

$$T \sin \theta - N = 0$$

$$T = \frac{N}{\sin \theta} = \frac{740,95 \text{ kg}}{\sin 33,02^\circ} = 1716,5 \text{ kg} = 17165,4 \text{ N}$$

$$\text{Luas pengg. gording (A)} = \frac{T}{f_y} = \frac{17165,4 \text{ N}}{240 \text{ N} / \text{mm}^2} = 71,5 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai penggantung gording  $\emptyset 10$ , dengan Ag yakni:

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13\text{mm})^2 = 133 \text{ mm}^2 > 71,5 \text{ mm}^2 (\text{OK!})$$

#### 6.4.2.5 Kontrol Kekuatan Tarik Nominal

Gaya tarik ultimate terjadi:  $T_u = T = 17165,4 \text{ N}$

Gaya tarik nominal tulangan (SNI 03-1729-2015 Pasal D2) :

- Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = \phi \cdot f_y \cdot Ag = 0,9 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 132,73 \text{ mm}^2$$

$$= 28670,18 \text{ N} > 17165,4 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap putus

$$P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

Dimana:  $A_e = A_n \cdot U$

Untuk nilai faktor shear lag,  $U = 1,0$  (SNI 03-1729-2015 Tabel D3.1)

Untuk nilai  $A_n = A_g = 133 \text{ mm}^2$

$$A_e = 133 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 133 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 0,75 \cdot 370 \text{ Mpa} \cdot 133 \text{ mm}^2 = 36833,2 \text{ N} > 17165,4 \text{ N}$$

Karena nilai  $P_n > P_u$ , maka untuk penggantung gording dipakai tulangan  $\emptyset 13$ .

### 6.4.3 Perhitungan Ikatan Angin

#### 6.4.3.1 Data Perencanaan

$$\text{Jarak antar gording (b)} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Sudut kemiringan} = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Pengaruh angin pada dinding (W)} &= 12,06 \text{ kg/m}^2 \\ &\quad (\text{Tabel 5.3}) \end{aligned}$$

$$\text{Pengaruh angin sisi datang pd dinding (C)} = 0,8$$

#### 6.4.3.2 Perhitungan Gaya yang Terjadi

##### 1. Menghitung luas dinding

$$\text{a. Luas } A_1 = A_3$$

$$A_1 = A_3 = \frac{2,89m \cdot 5m}{2} = 7,21 \text{ m}^2$$

$$\text{b. Luas } A_2$$

$$A_2 = 2 \times \left[ \frac{(2,89m + 5,77m) \cdot 5m}{2} \right] = 43,28 \text{ m}^2$$

##### 2. Perhitungan Gaya

$$P_1 = A_1 \cdot W \cdot C$$

$$P_1 = 7,2 \text{ m}^2 \cdot 38,0 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,8 = 219,26 \text{ kg}$$

$$P_1 = P_3 = 219,26 \text{ kg/m}$$

$$P_2 = A_2 \cdot W \cdot C$$

$$P_2 = 41,85 \text{ m}^2 \cdot 38,0 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,8 = 1315,56 \text{ kg}$$

$$R_1 = P_1 + 0,5 P_2$$

$$R1 = 219,26 \text{ kg} + 0,5 \cdot 1315,56 \text{ kg} = 877,04 \text{ kg}$$

$$R1 = R2 = 877,04 \text{ kg}$$

Untuk mengetahui gaya yang terjadi pada ikatan angin, maka digunakan metode ritter. Dikarenakan bagian kiri dengan bagian kanan simetris, maka hanya perlu dilakukan perhitungan dari salah satu arah saja.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{5,77m}{6m} \right) = 40,91^\circ$$

Ditinjau pada titik simpul A:

$$V = 0$$

$$R1 + S1 - S3 \cos \theta = -P1$$

$$H = 0$$

$$S2 = 0$$

Ditinjau pada titik simpul B:

$$V = 0$$

$$R1 - S1 = 0$$

$$R = S1$$

$$S1 = 877,04 \text{ kg}$$

Sehingga didapatkan yakni:

$$R1 + S1 - S3 \cos \theta = -P1$$

$$877,04 \text{ kg} + 877,04 \text{ kg} - S3 \cos \theta = -219,26 \text{ kg}$$

$$S3 \cos \theta = 1973,34 \text{ kg}$$

$$S3 = \frac{1973,34 \text{ kg}}{\cos \theta} = 2611,163 \text{ kg} \text{ (Tarik)}$$

#### **6.4.3.3 Perencanaan Batang Tarik untuk Ikatan Angin**

Gaya yang terjadi pada ikatan angin adalah:

$$S3 = 2611,163 \text{ kg} = 26111,63 \text{ N}$$

$$\text{Luas ikatan angin (A)} = \frac{S3}{fy} = \frac{26111,63N}{240Mpa} = 108,8 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai ikatan  $\emptyset 12$ , dengan Ag yakni:

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12mm)^2 = 113,1 \text{ mm}^2 > 108,8 \text{ mm}^2 (\text{OK!})$$

#### 6.4.3.4 Kontrol Tegangan Ikatan Angin

Gaya tarik ultimate terjadi:  $S3 = 26111,6 \text{ N}$

Gaya tarik nominal tulangan (SNI 03-1729-2015 Pasal D2) :

- Untuk leleh tarik pada penampang bruto:
- $$Pn = \phi \cdot fy \cdot Ag = 0,9 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 113,097 \text{ mm}^2 \\ = 24429 \text{ N} > 17165,4 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap putus

$$Pn = \phi \cdot fu \cdot Ae$$

Dimana:  $Ae = An \cdot U$

Untuk nilai faktor shear lag,  $U = 1,0$  (SNI 03-1729-2015 Tabel D3.1)

Untuk nilai  $An = Ag = 113 \text{ mm}^2$

$$Ae = 113 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 113 \text{ mm}^2$$

$$Pn = 0,75 \cdot 370 \text{ Mpa} \cdot 113 \text{ mm}^2 = 31384,5 \text{ N} > 17165 \text{ N}$$

Karena nilai  $Pn > Pu$ , maka untuk penggantung gording dipakai tulangan  $\emptyset 12$ .

#### 6.4.4 Perhitungan Kuda-Kuda

##### 6.4.4.1 Data Perencanaan

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$\text{Jarak antar kuda-kuda} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar gording} = 1,2 \text{ m}$$

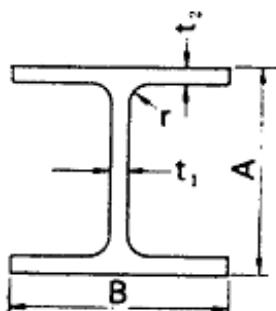
$$\text{Bentang kuda-kuda} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Sudut kemiringan atap} = 30^\circ$$

$$\text{Panjang miring kuda-kuda} = \frac{10m/2}{\cos 30^\circ} = 11,5 \text{ m}$$

$$\text{Berat penutup atap} = 5 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat gording} = 7,51 \text{ kg/m}$$



Gambar 6. 18.Profil WF

Apabila direncanakan profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9

$$W = 36,7 \text{ kg/m} \quad Ag = 46,78 \text{ mm}^2$$

$$A = 300 \text{ mm} \quad Ix = 7210 \text{ cm}^4$$

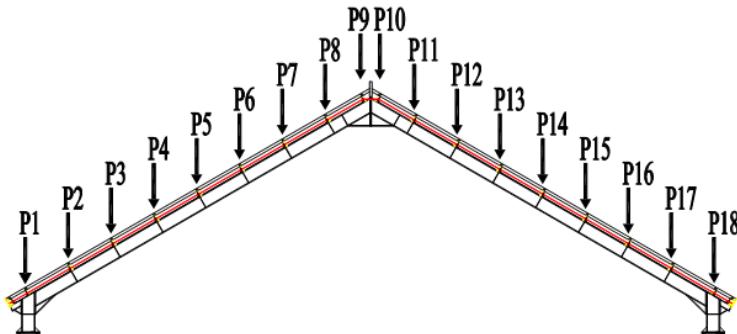
$$B = 150 \text{ mm} \quad Iy = 508 \text{ cm}^4$$

$$tw = 6,5 \text{ mm} \quad ix = 12,4 \text{ cm}$$

$$tf = 9 \text{ mm} \quad iy = 3,29 \text{ cm}$$

$$Sx = 481 \text{ cm}^3 \quad r = 13 \text{ mm}$$

$$Sy = 67,7 \text{ cm}^3$$



Gambar 6. 19.Gaya yang Terjadi pada Kuda-kuda

#### 6.4.4.2 Perhitungan Pembebanan

##### 1. Beban mati

- Untuk nilai pada P2 – P16

Berat penutup atap =  $5 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 48,0 \text{ kg}$

Berat sendiri gording =  $7,51 \text{ kg/m} \times 8 \text{ m} = 60,08 \text{ kg} +$

$$\text{Qd} = 108,81 \text{ kg}$$

Berat lain-lain (10% . Qd) =  $\underline{10,81 \text{ kg}} +$

$$\text{Qd tot} = 118,9 \text{ kg}$$

- Untuk nilai pada P1 dan P17

Berat penutup atap =  $5 \text{ kg/m}^2 \times 1,2\text{m}/2 \times 8 \text{ m} = 24 \text{ kg}$

Berat sendiri gording =  $7,51 \text{ kg/m} \times 8 \text{ m} = 60,08 \text{ kg} +$

$$\text{Qd} = 84,08 \text{ kg}$$

Berat lain-lain (10% . Qd) =  $\underline{8,408 \text{ kg}} +$

$$\text{Qd tot} = 92,49 \text{ kg}$$

##### 2. Beban hidup

Untuk beban hidup yang ada, yakni beban hidup pekerja sebesar  $1,33 \text{ kN} = 133 \text{ kg}$

##### 3. Beban angin

Didapatkan dari Tabel 5.3, untuk beban angin pada atap didapatkan yakni sebagai berikut:

Beban angin pada arah datang =  $38,0 \text{ kg/m}^2$

Beban angin pada arah pergi =  $-38,0 \text{ kg/m}^2$

a. Arah angin datang

- Untuk nilai pada P9 – P16

$$\text{Angin datang} = 38,0 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 364,8 \text{ kg}$$

- Untuk nilai pada P17

$$\text{Angin datang} = 38,0 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m}/2 \times 8 \text{ m} = 182,4 \text{ kg}$$

b. Arah angin pergi

- Untuk nilai pada P2 – P8

$$\text{Angin pergi} = -38,0 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} \times 8 \text{ m} = -364,8 \text{ kg}$$

- Untuk nilai pada P1

$$\text{Angin pergi} = -38,0 \text{ kg/m}^2 \times 1,3 \text{ m}/2 \times 6 \text{ m} = -182,4 \text{ kg}$$

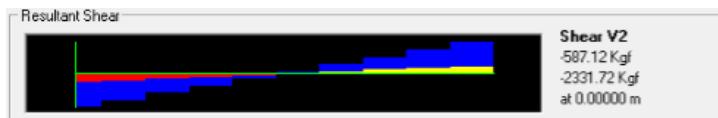
#### 6.4.4.3 Gaya yang Terjadi pada Kuda-Kuda

Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada kuda-kuda, digunakan SAP 2000 v.14, yang didapatkan gaya-gaya pada frame 626 (Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5W) sebagai berikut:



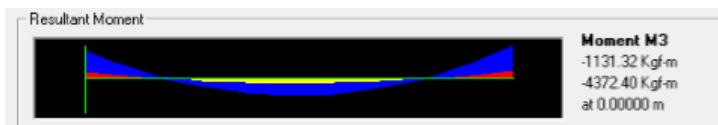
Gambar 6. 20. Pu Kuda-Kuda pada SAP 2000

- Didapatkan  $P_u = 5508,32 \text{ kg}$



Gambar 6. 21. Vu Kuda-Kuda pada SAP 2000

- Didapatkan  $V_u = 2331,72 \text{ kg}$



Gambar 6. 22.Mu Kuda-Kuda pada SAP 2000

- Didapatkan Mu = 4372,4 kg.m

#### 6.4.4.4 Perhitungan Tekan Nominal

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$P_{max} = 5508,32 \text{ kg}$$

$$A_g = 46,78 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang antar pengaku lateral} &= \text{jarak antar gording} \\ &= 1,2 \text{ m} = 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1a, yakni sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{150mm}{2 \cdot 9mm} = 8,3$$

$$\lambda_r = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 16,2$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk elemen non-langsing. Sehingga untuk perhitungan tekan nominal mengikuti SNI 03-1729-2015 Pasal E3 (tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing).

1. Ke arah sumbu-X
  - a. Hitung kelangsungan batang  
Faktor panjang efektif, k = 1,0 (sendi-sendi)  
k . L = 1,0 . 1300 mm = 1300 mm

$$\frac{k \cdot L}{rx} = \frac{1200\text{mm}}{124,1\text{mm}} = 9,67 < 200 \text{ (OK!)}$$

- b. Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

Untuk perhitungan nominal terfaktor batang tekan elemen non-langsing berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal E3:

$$4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200.000\text{Mpa}}{240\text{Mpa}}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{rx} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$ , maka untuk nilai Fcr

dipakai:

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y$$

$$\text{Dengan nilai } F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left( \frac{k \cdot L}{rx} \right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200.000\text{Mpa}}{93,5}$$

$$F_e = 21111,098 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{240\text{Mpa}}{21111098\text{Mpa}}} \right] \cdot 240\text{Mpa} = 238,86 \text{ Mpa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 238,86 \text{ Mpa} \cdot 4678 \text{ mm}^2 = 1117390,5\text{N}$$

$$P_n = 111.739 \text{ kg}$$

## 2. Ke arah sumbu-Y

- a. Hitung kelangsungan batang

Faktor panjang efektif, k = 1,0 (sendi-sendii)

$$k \cdot L = 1,0 \cdot 1300 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$$

$$\frac{k \cdot L}{r_y} = \frac{1200\text{mm}}{32,9\text{mm}} = 36,36 < 200 \text{ (OK!)}$$

b. Kekuatan nominal batang tekan

Untuk perhitungan nominal terfaktor batang tekan elemen non-langsing berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal E3:

$$4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200.000\text{Mpa}}{240\text{Mpa}}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{r_x} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka untuk nilai Fcr dipakai:

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y$$

$$\text{Dengan nilai } F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left( \frac{k \cdot L}{r_x} \right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200.000\text{Mpa}}{(36,36)^2}$$

$$F_e = 1492,78 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{240\text{Mpa}}{149278\text{Mpa}}} \right] \cdot 240\text{Mpa} = 224,38 \text{ Mpa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 224,38 \text{ Mpa} \cdot 4678 \text{ mm}^2 = 1.049655,75 \text{ N}$$

$$P_n = 104.966 \text{ kg}$$

Maka untuk kuat tekan nominal batang, diambil nilai yang paling kecil, sehingga didapatkan:

$$P_n = 104966 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot P_n = 0,9 \cdot 104966 \text{ kg} = 94469,017 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot P_n = 94469,017 \text{ kg} > P_u = 5508,32 \text{ kg (OK!)}$$

#### 6.4.4.5 Perhitungan Momen Nominal

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$f_r = 70 \text{ MPa}$$

$$M_{max} = 4372,4 \text{ kg.m}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1b, yakni sebagai berikut:

- Untuk badan:

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{150 \text{ mm}}{2 \cdot 9 \text{ mm}} = 8,33$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200.000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{200.000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 28,87$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki **badan kompak**.

- Untuk sayap:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300 \text{ mm}}{6,5 \text{ mm}} = 46,15$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{200.000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 108,54$$

$$\lambda_p = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{200.000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 164,54$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki **sayap kompak**.

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika semua nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka penampang yang dipakai termasuk **penampang kompak**.

Untuk profil WF, maka untuk perhitungan momen nominal profil dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F2, yakni sebagai berikut:

1. Menghitung momen nominal akibat peleahan

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

Untuk nilai  $Z_x$  adalah:

$$Z_x = \frac{t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)^2}{4} + (h - t_f) \cdot t_f \cdot b_f$$

$$Z_x = \frac{6,5\text{mm} \cdot (300\text{mm} - 2 \cdot 9\text{mm})^2}{4} + (300\text{mm} - 9\text{mm}) \cdot 9\text{mm} \cdot 150\text{mm}$$

$$Z_x = 522.076,5 \text{ mm}^3$$

Maka:

$$M_n = 240 \text{ Mpa} \cdot 522.076,5 \text{ mm}^3 = 12.529,84 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 12.529,84 \text{ kg.m}$$

2. Menghitung momen nominal akibat tekuk torsional lateral

Diketahui, panjang antar pengaku  $L_b = 11547 \text{ mm}$

Menghitung nilai  $L_p$ :

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \cdot 32,9\text{mm} \cdot \sqrt{\frac{200.000 \text{Mpa}}{240 \text{Mpa}}} = 1671,54 \text{ mm}$$

Menghitung nilai  $L_r$ :

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h}\right)^3 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}}$$

Konstanta warping:

$$C_w = \frac{I_y \cdot h^2}{4} = \frac{5.080.000 \text{mm}^4 \cdot (300\text{mm})^2}{4}$$

$$C_w = 1,14 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{5.080.000 \text{ mm}^4 \cdot 1,14 \times 10^{11} \text{ mm}^6}}{481.000 \text{ mm}^3} = 1584,2 \text{ mm}^2$$

$$r_{ts} = \sqrt{1584,2 \text{ mm}^2} = 39,8 \text{ mm}$$

Menghitung konstanta torsi:

$$J = \frac{2 \cdot b \cdot t_f^3 + (h - t_f) \cdot t_w^3}{3}$$

$$J = \frac{2 \cdot 150 \text{ mm} \cdot (9 \text{ mm})^3 + (300 \text{ mm} - 9 \text{ mm}) \cdot (6,5 \text{ mm})^3}{3}$$

$$J = 99.538,63 \text{ mm}^4$$

Untuk koefisien c = 1 (SNI 03-1729-2015 Pasal F2-8a)

$$L_r = \frac{1,95 \cdot 39,8 \cdot 200.000}{0,7 \cdot 240} \cdot \sqrt{\frac{99.538,63 \cdot 1,0}{481.000 \cdot 300}} + \sqrt{\left(\frac{99.538,63 \cdot 1,0}{481.000 \cdot 300}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 240}{200.000}\right)^2}$$

$$L_r = 5044,05 \text{ mm}$$

Karena nilai Lb > Lr  $\rightarrow 10.400 \text{ mm} > 5044,05 \text{ mm}$

Maka:

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \leq M_p$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0,078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} \cdot \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{MAX}}{2,5 M_{MAX} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_A}$$

Dari program bantu SAP 2000 v.14, didapatkan untuk nilai momen sebagai berikut:

$$M_A = \text{Momen pada } \frac{1}{4} L = 521,91 \text{ kg.m}$$

$$M_B = \text{Momen pada } \frac{1}{2} L = 2246,32 \text{ kg.m}$$

$$MC = \text{Momen pada } \frac{3}{4} L = 1107,55 \text{ kg.m}$$

$$M_{\text{maks}} = 4372,4 \text{ kg.m}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 4372,4}{10931 + 1566 + 8985 + 3323}$$

$$C_b = 2,203$$

$$F_{cr} = \frac{2,203 \cdot \pi^2 \cdot 200.000}{\left(\frac{10.400}{39,8}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0,078 \cdot \frac{99.538,63 \cdot 1,0}{481.000 \cdot 300} \cdot \left(\frac{10.400}{39,8}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 121,506 \text{ Mpa}$$

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \leq M_p$$

$$M_n = 121,506 \text{ Mpa} \cdot 481.000 \text{ mm}^3 = 58444573 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 5844,457 \text{ kg.m} \leq 12.529,84 \text{ kg.m}$$

Untuk momen nominal, diambil yang paling kecil diantara  $M_n$  akibat peleahan dan momen akibat tekan torsional, sehingga diambil nilai  $M_n = 5844,457 \text{ kg.m}$

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$0,9 \cdot 5844,457 \text{ kg.m} \geq 4372,4 \text{ kg.m}$$

$$5260,01 \text{ kg.m} \geq 4372,4 \text{ kg.m} (\text{OK!})$$

Stress ratio yang terjadi

$$\frac{M_u}{\emptyset M_n} = \frac{4372,4}{5260,012} = 0,83 \leq 1 (\text{OK!})$$

#### 6.4.4.6 Perhitungan Geser Nominal

Diketahui geser maksimum:

$$V_{\text{max}} = 2322 \text{ kg}$$

Cek kebutuhan pengaku transversal:

Pengaku transversal tidak diperlukan bila  $\frac{h}{tw} \leq 2,46 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$

$$\frac{h}{tw} = \frac{300mm}{6,5mm} = 46,15$$

$$2,46 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,46 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 71,01$$

Dikarenakan nilai  $\frac{h}{tw} \leq 2,46 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$ , maka komponen struktur

tidak memerlukan pengaku transversal.

Maka untuk komponen struktur dengan badan tidak diperkaku, maka perhitungan kekuatan geser berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal G2.1.(a):

$$\frac{h}{tw} = \frac{300mm}{6,5mm} = 46,15$$

$$2,24 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,24 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 64,66$$

Karena nilai  $\frac{h}{tw} < 2,24 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$ , maka didapatkan:

$\emptyset = 1,0$  dan  $Cv = 1,0$

$$Aw = h \cdot tw = 300 \text{ mm} \cdot 6,5 \text{ mm} = 1950 \text{ mm}^2$$

Maka untuk kuat gesernya adalah:

$$Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \cdot Cv$$

$$Vn = 0,6 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 1950 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 280.800 \text{ N} = 28.080 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot Vn \geq Vu$$

$$1,0 \cdot 28.080 \text{ kg} \geq 1968,97 \text{ kg}$$

#### 6.4.4.7 Menghitung Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin} = \frac{L}{360} = \frac{11,55m}{360} = 32,08\text{mm}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat lendutan batang sebesar

$$0.9D + 1.3W = 5,38\text{mm}$$

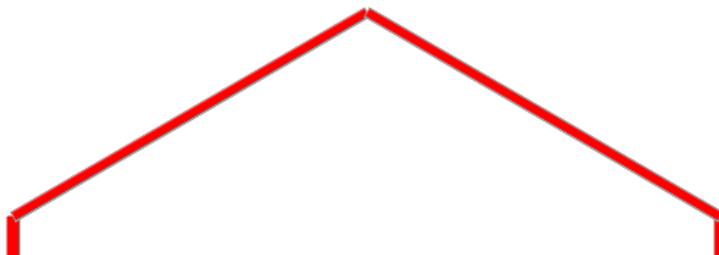
$$1.4D = 4,23\text{mm}$$

$$1.2D + 1.6L + 0.8W = 17,1\text{mm}$$

Maka diambil lendutan batang maksimum sebesar 17,1mm.

L maks 17,1 mm < Lendutan ijin 32,08 mm (OK!).

#### 6.4.5 Perhitungan Kolom Baja



Gambar 6. 23. Kolom Baja yang ditinjau

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$L = 0,77 \text{ m} = 770 \text{ mm}$$

Apabila direncanakan profill kuda-kuda WF 250.250.9.14

$$W = 72,4 \text{ kg/m} \quad A_g = 92,2 \text{ mm}^2$$

$$A = 250 \text{ mm} \quad I_x = 10800 \text{ cm}^4$$

$$B = 250 \text{ mm} \quad I_y = 3650 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 9 \text{ mm} \quad i_x = 10.8 \text{ cm}$$

$$t_f = 14 \text{ mm} \quad i_y = 6.3 \text{ cm}$$

$$S_x = 864 \text{ cm}^3 \quad r = 16 \text{ mm}$$

$$S_y = 292 \text{ cm}^3$$

#### 6.4.5.1 Gaya yang Terjadi pada Kolom Baja

Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada kuda-kuda, digunakan SAP 2000 v.14, yang didapatkan gaya-gaya pada frame 624 (kombinasi 1,2D + 1,6L +0,5 W) sebagai berikut:



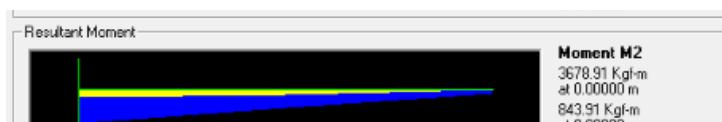
Gambar 6. 24.Gaya Aksial yang Terjadi pada Kolom Baja

- Didapatkan  $P_u = 7244,57 \text{ kg}$



Gambar 6. 25.Gaya Geser yang Terjadi pada Kolom Baja

- Didapatkan  $V_u = 4812,13 \text{ kg}$



Gambar 6. 26.Gaya Momen yang Terjadi pada Kolom Baja

- Didapatkan  $M_u = 3678,91 \text{ kg.m}$

#### 6.4.5.2 Perhitungan Tekan Nominal

Diketahui data-data sebagai berikut:

$P_{max}$	$= 7244,57 \text{ kg}$
$A_g$	$= 92,18 \text{ cm}^2 = 9218 \text{ mm}^2$
$f_y$	$= 240 \text{ Mpa}$
Panjang kolom	$= 0,77 \text{ m} = 770 \text{ mm}$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1a, yakni sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot tf} = \frac{250mm}{2 \cdot 14mm} = 8,9$$

$$\lambda_r = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 16,2$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk elemen non-langsing. Sehingga untuk perhitungan tekan nominal mengikuti SNI 03-1729-2015 Pasal E3 (tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing).

### 1. Ke arah sumbu-X

#### a. Hitung kelangsungan batang

Faktor panjang tekuk,  $k = 1,0$  (sendi-sendi)

$$Lk = k \cdot L = 1,0 \cdot 770 \text{ mm} = 770 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{Lk}{rx} = \frac{770mm}{108,2mm} = 7,12 < 200 \text{ (OK!)}$$

#### b. Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

$$4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{rx} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka untuk nilai Fcr dipakai:

$$Fcr = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y$$

$$\text{Dengan nilai } Fe = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{k \cdot L}{rx}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200.000 Mpa}{(7,12)^2}$$

$$Fe = 38976,5 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$Fcr = \left[ 0,658 \frac{240Mpa}{38976,5Mpa} \right] \cdot 240Mpa = 239,38Mpa$$

$$Pn = Fcr \cdot Ag = 239,38 \text{ Mpa} \cdot 9218 \text{ mm}^2$$

$$Pn = 2206625,6 \text{ N} = 220663 \text{ kg}$$

## 2. Ke arah sumbu-Y

a. Hitung kelangsungan batang

Faktor panjang tekuk,  $k = 1,0$  (sendi-sendi)

$$Lk = k \cdot L = 1,0 \cdot 770 \text{ mm} = 770 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{Lk}{ry} = \frac{770mm}{63mm} = 12,42 < 200 (\text{OK!})$$

b. Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

$$4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200.000 Mpa}{240 Mpa}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{rx} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$ , maka untuk nilai Fcr dipakai:

$$Fcr = \left[ 0,658 \frac{fe}{fe} \right] \cdot fy$$

$$\text{Dengan nilai } Fe = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{k \cdot L}{ry}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200.000 Mpa}{(12,42)^2}$$

$$Fe = 13171,935 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{240\text{Mpa}}{13171935\text{Mpa}} \right] \cdot 240\text{Mpa} = 238,2\text{Mpa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 238,2 \text{ Mpa} \cdot 9218 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 219551,2 \text{ N} = 219551 \text{ kg}$$

Maka untuk kuat tekan nominal batang, diambil nilai yang paling kecil, sehingga didapatkan:

$$P_n = 219551 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot P_n = 0,9 \cdot 219551 \text{ kg} = 197596,13 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot P_n = 197596,13 \text{ kg} > P_{max} = 7244,57 \text{ kg} (\text{OK!})$$

#### 6.4.5.3 Perhitungan Momen Nominal

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$f_r = 70 \text{ Mpa}$$

$$M_{max} = 3678,91 \text{ kg.m}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1b, yakni sebagai berikut:

- Untuk badan:

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{250\text{mm}}{2 \cdot 14\text{mm}} = 8,93$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200.000\text{Mpa}}{240\text{Mpa}}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{200.000\text{Mpa}}{240\text{Mpa}}} = 28,87$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki **badan kompak**.

- Untuk sayap:

$$\frac{h}{tw} = \frac{250mm}{9mm} = 27,8$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{200.000 Mpa}{240 Mpa}} = 108,54$$

$$\lambda_p = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{200.000 Mpa}{240 Mpa}} = 164,54$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki **sayap kompak**.

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika semua nilai  $\lambda < \lambda_p$  maka penampang yang dipakai termasuk **penampang kompak**.

Untuk profil WF, maka untuk perhitungan momen nominal profil dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F2, yakni sebagai berikut:

1. Menghitung momen nominal akibat pelehan  
 $M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$

Untuk nilai  $Z_x$  adalah:

$$Z_x = \frac{t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)^2}{4} + (h - t_f) \cdot t_f \cdot b_f$$

$$Z_x = \frac{9mm \cdot (250mm - 2 \cdot 9mm)^2}{4} + (250mm - 9mm) \cdot 14mm \cdot 250mm$$

$$Z_x = 936889 \text{ mm}^3$$

Maka:

$$M_n = 240 \text{ Mpa} \cdot 936889 \text{ mm}^3 = 224853360 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 22485,336 \text{ kg.m}$$

2. Menghitung momen nominal akibat tekuk torsional lateral  
Diketahui, panjang antar pengaku  $L_b = 1000 \text{ mm}$   
Menghitung nilai  $L_p$ :

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \cdot 60,9 \cdot \sqrt{\frac{200.000 Mpa}{240 Mpa}} = 3195,75 \text{ mm}$$

Karena nilai  $L_b < L_p \rightarrow 1000 \text{ mm} < 3094,14 \text{ mm}$ , maka berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F2.2.(a), untuk momen nominal akibat tekuk torsional dapat diabaikan

Untuk momen nominal, diambil nilai  $M_n = 23.963,86 \text{ kg.m}$

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$0,9 \cdot 22485,34 \text{ kg.m} \geq 3678,91 \text{ kg.m}$$

$$20236,8 \text{ kg.m} \geq 3678,91 \text{ kg.m}$$

Stress ratio yang terjadi

$$\frac{M_u}{\emptyset M_n} = \frac{3678,91}{20236,8} = 0,18 \leq 1 \text{ (OK!)}$$

#### 6.4.5.4 Perhitungan Geser Nominal

Diketahui geser maksimum:

$$V_{max} = 4812,13 \text{ kg}$$

Cek kebutuhan pengaku transversal:

$$\text{Pengaku transversal tidak diperlukan bila } \frac{h}{tw} \leq 2,46 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{250 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 27,8$$

$$2,46 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,46 \cdot \sqrt{\frac{200.000 Mpa}{240 Mpa}} = 71,01$$

Dikarenakan nilai  $\frac{h}{tw} \leq 2,46 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$ , maka komponen struktur

tidak memerlukan pengaku transversal.

Maka untuk komponen struktur dengan badan tidak diperkaku, maka perhitungan kekuatan geser berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal G2.1.(a):

$$\frac{h}{tw} = \frac{250mm}{9mm} = 27,8$$

$$2,24 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,24 \cdot \sqrt{\frac{200.000Mpa}{240Mpa}} = 64,66$$

Karena nilai  $\frac{h}{tw} < 2,24 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}$ , maka didapatkan:

$$\emptyset = 1,0 \text{ dan } Cv = 1,0$$

$$Aw = h \cdot tw = 250 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm} = 2250 \text{ mm}^2$$

Maka untuk kuat gesernya adalah:

$$Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \cdot Cv$$

$$Vn = 0,6 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 2250 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 324000 \text{ N} = 32400 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot Vn \geq Vu$$

$$1,0 \cdot 32400 \text{ kg} \geq 4812,13 \text{ kg}$$

$$32400 \text{ kg} \geq 4812,13 \text{ kg (OK!)}$$

#### **6.4.5.5 Menghitung Kontrol Lendutan**

$$\text{Lendutan ijin} = \frac{L}{360} = \frac{0,77m}{360} = 2,14\text{mm}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat lendutan batang sebesar

$$0.9D+1.3W = 0,027 \text{ mm}$$

$$1.4D = 0,021\text{mm}$$

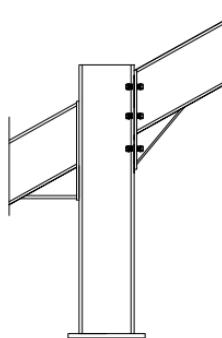
$$1.2D+1.6L+0.8W = 0,03 \text{ mm}$$

Maka diambil lendutan batang maksimum sebesar 0,03 mm.

L maks 0,03 mm < Lendutan ijin 2,14 mm (OK!).

#### 6.4.6 Perhitungan Sambungan

##### 6.4.6.1 Perhitungan Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom



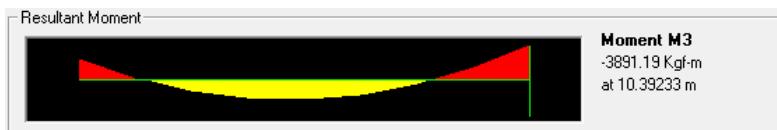
Gambar 6. 27.Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom adalah sebagai berikut:



Gambar 6. 28.Gaya yang Terjadi pada Sambungan A

$$V_u = 1968,97 \text{ kg}$$



Gambar 6. 29.Gaya yang Terjadi pada Sambungan A

### 1. Perencanaan sambungan baut

Apabila direncanakan:

Tipe	= A325 (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)
fnt	= 620 Mpa
fnv	= 372 Mpa
Diameter baut, db	= 16 mm
Diameter lubang, do	= 18 mm (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)
Jumlah baut	= 8 buah
Mutu plat sambung	= BJ 41
Fy	= 250 Mpa
Fu	= 410 Mpa
Tebal plat sambung, tp	= 8 mm
Tinggi plat tambah	= 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 15 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \cdot 16 \text{ mm} < S < 16 \cdot 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S = 150 \text{ mm}$

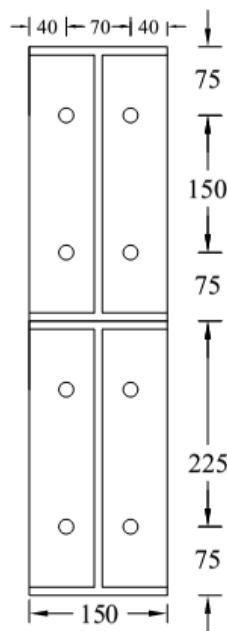
Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan Pasal J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki

jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S_1 < 12 \cdot \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S_1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 40 \text{ mm}$



Gambar 6. 30.Konfigurasi Baut pada Sambungan A

a. Perhitungan akibat geser pada baut

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$= 372 \text{ Mpa} \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \right) = 74.795,04 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot \ell_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$= 1,2 \cdot 70 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa} \leq 2,4 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa}$$

$$= 590400 \text{ N} > 125.952 \text{ N}$$

Maka dipakai  $R_n = 125.952,0 \text{ N}$

Sehingga untuk kekuatan 1 baut dipakai yang paling kecil, yakni  $R_n = 74.795,04 \text{ N} = 7479,5 \text{ kg}$

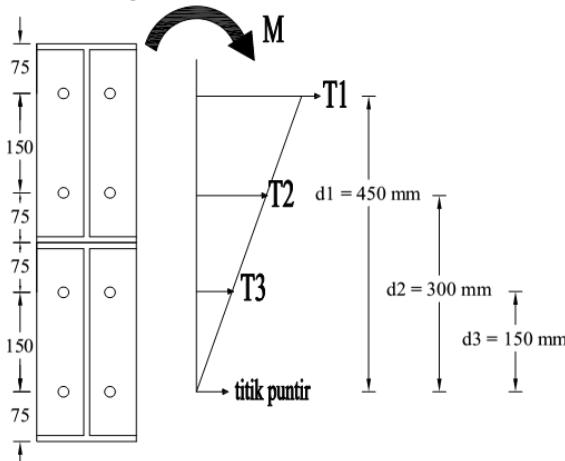
$$\phi \cdot R_n \geq V_u$$

$$0.75 \cdot 7479,5 \text{ kg} \geq 2704 \text{ kg}$$

$5609,63 \text{ kg} \geq 2704 \text{ kg}$  (OK!)

### b. Perhitungan akibat gaya momen:

$$M_u = 3891,19 \text{ kg.m} = 38.911.900 \text{ N.mm}$$



Gambar 6. 31. Momen yang Terjadi pada Sambungan Baut

Menghitung gaya tarik akibat momen (Tu):

$$\sum d_n^2 = (450\text{mm})^2 + (300\text{mm})^2 + (150\text{mm})^2$$

$$\sum d_n^2 = 315.000 \text{ mm}^2$$

- Untuk T1, maka:

$$T1 = \frac{M \cdot d_1}{\sum d_n^2} = \frac{50833000N.mm \cdot 450mm}{315.000mm^2}$$

$$T1 = 72.618,6 \text{ N}$$

- Untuk T2, maka:

$$T2 = \frac{M \cdot d_2}{\sum d_n^2} = \frac{50833000N.mm \cdot 300mm}{315.000mm^2}$$

$$T2 = 48.412,4 \text{ N}$$

- Untuk T3, maka:

$$T3 = \frac{M \cdot d_3}{\sum d_n^2} = \frac{50833000N.mm \cdot 150mm}{315.000mm^2}$$

$$T3 = 24206,2 \text{ N}$$

Dari perhitungan di atas maka nilai T yang dipakai adalah yang terbesar, yakni  $Tu = 72618,57 \text{ N} = 7261,86 \text{ kg}$

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut:

$$Rn = Fnt \cdot Ab$$

$$= 620 \text{ Mpa} \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16mm)^2 \right) = 124.658,4 \text{ N}$$

$$= 12.465,83 \text{ kg}$$

$$\emptyset \cdot Rn \geq Tu$$

$$0,75 \cdot 12.465,83 \text{ kg} \geq 7261,86 \text{ kg}$$

$$9349,37 \text{ kg} \geq 7261,86 \text{ kg (OK!)}$$

2. Perencanaan sambungan las sudut

Apabila direncanakan:

$$\text{Tebal plat} = 8 \text{ mm}$$

Sambungan las dengan:

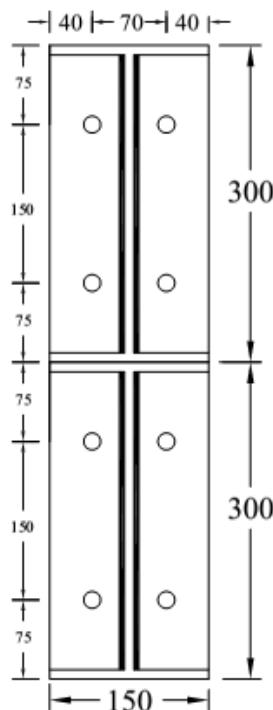
$$\begin{array}{lcl} \text{Mutu logam pengisi} & = & \text{FE70xx} \\ F_{\text{EXX}} & = & 4826,3 \text{ kg/cm}^2 = 482,63 \\ \text{N/mm}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{tebal minimum las sudut} & = & 5 \text{ mm (SNI 03-1729-2015)} \\ \text{Tabel J2.4) } & & \\ \text{tebal maksimum las sudut} & = & 8 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 6 \text{ mm} \\ & & (\text{SNI 03-1729-2015 Pasal} \end{array}$$

J2.2b)

$$\text{diambil tebal las pakai} = 6 \text{ mm}$$

Profil yang di las WF 300.150.6,5.9



Gambar 6. 32.Panjang Las pada Sambungan A

Menghitung panjang las (Lw):

$$Lw = 2 \times (300\text{mm} - 2 \cdot 9\text{mm}) + 2 \times (300\text{mm} - 2 \cdot 9 \text{ mm})$$

$$Lw = 1128 \text{ mm}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$Awe = Lw \cdot \text{tebal las}$$

$$Awe = 1128 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm} = 6768 \text{ mm}^2$$

Tinjau ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las:

$$\varnothing \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot Awe$$

$$\begin{aligned}\varnothing \cdot Rn &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 482,63 \text{ N/mm}^2 \cdot 6768 \text{ mm}^2 \\ &= 1.469.958,84 \text{ N}\end{aligned}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar:

$$\varnothing \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot Awe$$

$$\begin{aligned}\varnothing \cdot Rn &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 410 \text{ Mpa} \cdot 6768 \text{ mm}^2 \\ &= 1.248.696 \text{ N}\end{aligned}$$

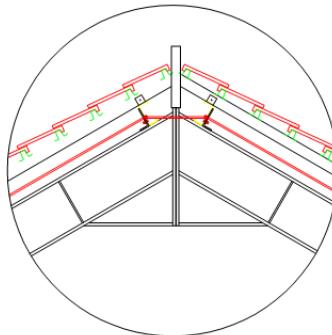
Sehingga dipakai nilai  $\varnothing \cdot Rn$  terkecil yakni = 1.248.696 N = 124870 kg

Kontrol:

$$\varnothing \cdot Rn > V_u$$

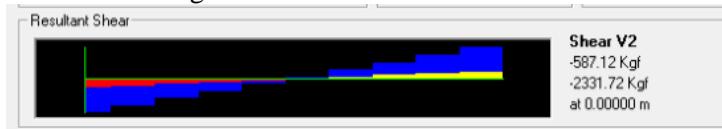
$$124870 \text{ kg} > 1968,97 \text{ kg (OK!)}$$

#### 6.4.6.2 Perhitungan Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom



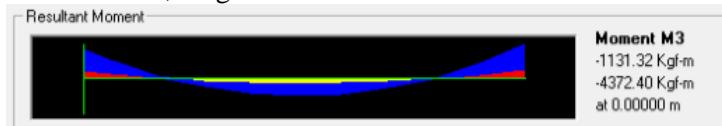
Gambar 6. 33.Sambungan Kuda-kuda dengan Kuda-kuda

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom adalah sebagai berikut:



Gambar 6. 34.Gaya yang Terjadi pada Sambungan B

- $V_u = 2331,72 \text{ kg}$



Gambar 6. 35.Gaya yang Terjadi pada Sambungan B

- $M_u = 4372,4 \text{ kg.m}$

1. Perencanaan sambungan baut

Apabila direncanakan:

Tipe	= A325 (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)
fnt	= 620 Mpa
fnv	= 372 Mpa
Diameter baut, db	= 16 mm
Diameter lubang, do	= 18 mm (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)
Jumlah baut	= 8 buah
Mutu plat sambung	= BJ 41
Fy	= 250 Mpa
Fu	= 410 Mpa
Tebal plat sambung, tp	= 8 mm
Tinggi plat tambah	= 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 15 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \cdot 16 \text{ mm} < S < 16 \cdot 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

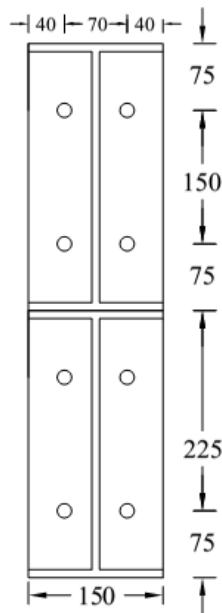
Sehingga diambil nilai  $S = 150 \text{ mm}$

Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S_1 < 12 \cdot \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S_1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 40 \text{ mm}$



Gambar 6. 36.Konfigurasi Baut pada Sambungan A

a. Perhitungan akibat geser pada baut:

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)  
 $R_n = F_{nv} \cdot A_b$

$$= 372 \text{ Mpa} \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \right) = 74795,04 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot \ell_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$= 1,2 \cdot 70 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 410 \text{ Mpa} \leq 2,4 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 410 \text{ Mpa} \\ = 590.400 \text{ N} \leq 125.952 \text{ N}$$

Maka dipakai  $R_n = 7479,5 \text{ N}$

Sehingga untuk kekuatan 1 baut dipakai yang paling kecil, yakni  
 $R_n = 74.795,04 \text{ N} = 7479,5 \text{ kg}$

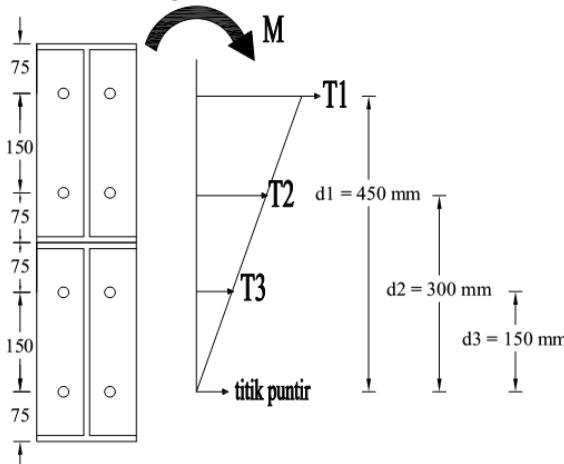
$$\phi \cdot R_n \geq V_u$$

$$0.75 \cdot 7479,5 \text{ kg} \geq 2332,4 \text{ kg}$$

$$5609,63 \text{ kg} \geq 2332,4 \text{ kg} (\text{OK!})$$

b. Perhitungan akibat gaya momen:

$$M_u = 2336,81 \text{ kg.m} = 23.368.100 \text{ N.mm}$$



Gambar 6. 37.Momen yang Terjadi pada Sambungan Baut

Menghitung gaya tarik akibat momen (Tu):

$$\sum d_n^2 = (450\text{mm})^2 + (300\text{mm})^2 + (150\text{mm})^2$$

$$\sum d_n^2 = 315.000 \text{ mm}^2$$

- Untuk T1, maka:

$$T_1 = \frac{M \cdot d_1}{\sum d_n^2} = \frac{43724000 \text{ N.mm} \cdot 450\text{mm}}{315.000 \text{ mm}^2}$$

$$T_1 = 62462,9 \text{ N}$$

- Untuk T2, maka:

$$T_2 = \frac{M \cdot d_2}{\sum d_n^2} = \frac{43724000N.mm \cdot 300mm}{315.000mm^2}$$

$$T_2 = 41641,9 \text{ N}$$

• Untuk T3, maka:

$$T_3 = \frac{M \cdot d_3}{\sum d_n^2} = \frac{43724000N.mm \cdot 150mm}{315.500mm^2}$$

$$T_3 = 20821 \text{ N}$$

Dari perhitungan di atas maka nilai Tn yang dipakai adalah yang terbesar, yakni Tu = 62462,9 N = 6246,3 kg

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut:

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} &= 620 \text{ Mpa} \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16mm)^2 \right) = 124.658,4 \text{ N} \\ &= 12.465,83 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\emptyset \cdot R_n \geq T_u$$

$$0,75 \cdot 12.465,83 \text{ kg} \geq 6246,3 \text{ kg}$$

$$9349,37 \text{ kg} \geq 6246,9 \text{ kg (OK!)}$$

## 2. Perencanaan sambungan las sudut

Apabila direncanakan:

Tebal plat = 8 mm

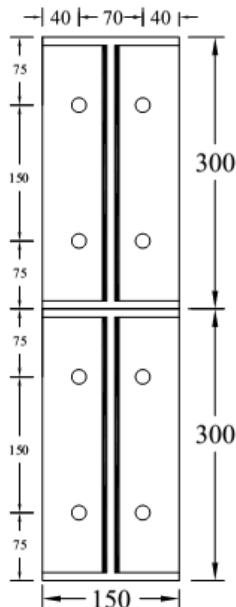
Sambungan las dengan:

Mutu logam pengisi	= FE70xx
F <sub>EXX</sub>	= 4826,3 kg/cm <sup>2</sup> = 482,63 N/mm <sup>2</sup>

tebal minimum las sudut	= 5 mm (SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)
-------------------------	---

tebal maksimum las sudut	= 8 mm - 2 mm = 6 mm
--------------------------	----------------------

(SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)  
diambil tebal las pakai = 6 mm  
Profil yang di las WF 300.150.6,5.9



Gambar 6. 38.Panjang Las pada Sambungan A

Menghitung panjang las (Lw):

$$\begin{aligned} Lw &= 2 \times (300\text{mm} - 2 \cdot 9\text{mm}) + 2 \times (300\text{mm} - 2 \cdot 11\text{mm}) \\ Lw &= 1128 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$Awe = Lw \cdot \text{tebal las}$$

$$Awe = 1128 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm} = 6768 \text{ mm}^2$$

Tinjau ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las:

$$\begin{aligned}\phi \cdot R_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot A_w \\ \phi \cdot R_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 482,63 \text{ N/mm}^2 \cdot 6728 \text{ mm}^2 \\ &= 1.469.958,84 \text{ N}\end{aligned}$$

• Ketahanan terhadap bahan dasar:

$$\begin{aligned}\phi \cdot R_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot A_w \\ \phi \cdot R_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 410 \text{ Mpa} \cdot 6728 \text{ mm}^2 \\ &= 1.248.696 \text{ N}\end{aligned}$$

Sehingga dipakai nilai  $\phi \cdot R_n$  terkecil yakni = 1.248.696 N = 124869,6 kg

Kontrol:

$$\begin{aligned}\phi \cdot R_n &> V_u \\ 124869,6 \text{ kg} &> 2332,4 \text{ kg (OK!)}\end{aligned}$$

#### 6.4.6.3 Sambungan C (Kolom dengan Plat Landas)

Diketahui data-data sebagai berikut:

Dimensi kolom baja WF 250.250.14.14

Beban yang terjadi pada ujung kolom (frame 1989) berdasarkan hasil dari program bantu SAP 2000 v.14 didapatkan:

- $P_u = 7244,57 \text{ kg} = 72445,7 \text{ N}$
- $V_u = 4812,13 \text{ kg} = 48121,3 \text{ N}$
- $M_u = 3678,91 \text{ kg.m} = 36789100 \text{ N.mm}$

$$\begin{aligned}\text{Kolom beton yang dipakai} &= 700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ f'_c &= 35 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Baut pada angkur:

$$\begin{aligned}\text{Tipe baut angkur} &= A-325 \\ \text{Diameter baut} &= 16 \text{ mm} \\ f_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ f_{nv} &= 372 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

1. Perencanaan dimensi plat landas:

Mencari luas perlu, A:

$$f'_c \geq P_u / A$$

$$35 \text{ MPa} \geq (72445,7 \text{ N}) / A$$

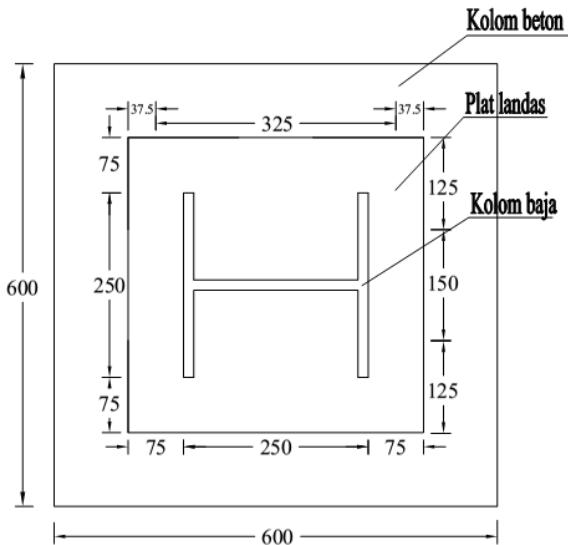
$$A \geq 2070 \text{ mm}^2$$

Apabila direncanakan:

$$b_{\text{plat}} = 400 \text{ mm}$$

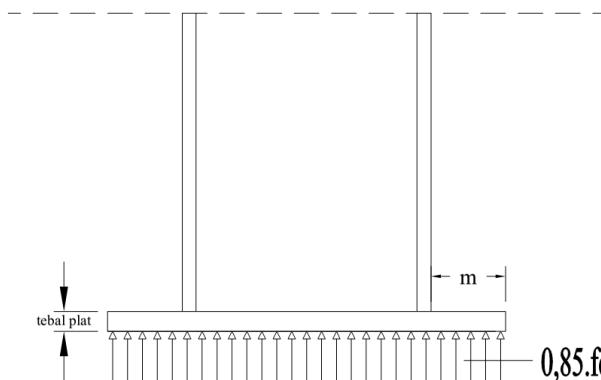
$$h_{\text{plat}} = 400 \text{ mm}$$

$$b \times h = 400 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} = 160.000 \text{ mm}^2 > 2070 \text{ mm}^2 (\text{OK!})$$



Gambar 6. 39.Rencana Dimensi Plat Landas

2. Perhitungan tebal plat landas:



Gambar 6. 40.Gaya yang Terjadi pada Plat Landas

Tegangan yang terjadi dibawah plat landas, fpu:  
 $fpu = 0,85 \cdot fc' = 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} = 29,75 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}\text{Modulus penampang, } S &= 1/6 \cdot b \cdot tp^2 \\ &= 1/6 \cdot 400 \text{ mm} \cdot tp^2 \\ &= 66,67 \text{ mm} \cdot tp^2\end{aligned}$$

Sehingga tebal penampang yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}f_y &\geq \frac{M}{S} \\ f_y &\geq \frac{\frac{1}{2} \cdot fpu \cdot m^2}{S} \\ 240 \text{ Mpa} &\geq \frac{\frac{1}{2} \cdot 29,75 \text{ Mpa} \cdot (75 \text{ mm})^2}{66,67 \text{ mm} \cdot tp^2}\end{aligned}$$

$$tp \geq \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \cdot 29,75 \text{ Mpa} \cdot (75 \text{ mm})^2}{66,67 \text{ mm} \cdot 240 \text{ Mpa}}}$$

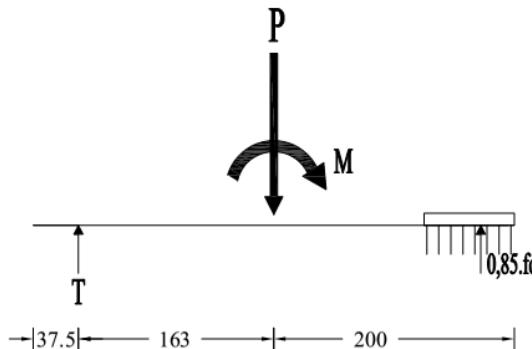
$$tp \geq 2,24 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

Sehingga tebal plat landas yang dipakai adalah tebal 5 mm

3. Perhitungan jumlah angkur pada plat landas:

Data-data angkur:

Diameter angkur = 13 mm  
 $f_{nt}$  = 620 Mpa  
 $f_{nv}$  = 372 Mpa



Gambar 6. 41.Tegangan Angkur Akibat Reaksi Plat Landas

$$\Sigma V = 0$$

$$T - P - 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

$$P \cdot 163 \text{ mm} + M - 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = 0$$

$$72445,7,0 \text{ N} \cdot 163 \text{ mm} + 36789100 \text{ N.mm} - 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot a \cdot$$

$$400 \text{ mm} \cdot (363 \text{ mm} - \frac{1}{2} a) = 0$$

$$39505814 \text{ N.mm} - (7559475 \text{ N}) a + (10412,5 \text{ N/mm}) a^2 = 0$$

$$3794,08 \text{ N.mm} - (726 \text{ N}) a + a^2 = 0$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan dengan rumus ABC:

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$a_{1,2} = \frac{-(-726) \pm \sqrt{(-726)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 2664,29}}{2 \cdot 1}$$

$$a_1 = 720,736 \text{ mm}$$

$$a_2 = 5,26 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan di atas, yang dipakai adalah nilai  $a = 8,08 \text{ mm}$ , sehingga:

$$T - P - 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a = 0$$

$$T = P + 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a = 0$$

$$T = 72445,7 \text{ N} + (0,85 \cdot 35 \text{ MPa} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 5,26 \text{ mm})$$

$$T = 182072,035 \text{ N} = 18207,203 \text{ kg}$$

Didapatkan nilai tegangan tarik yang terjadi pada angker sebesar 18207,203 kg

Untuk kuat tarik satu baut adalah:

$$\emptyset T_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$= 620 \text{ MPa} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2$$

$$= 124.658, \text{ N} = 12.465,84 \text{ kg}$$

Sehingga untuk jumlah angker yang dibutuhkan adalah:

$$N = \frac{T_u}{\varphi \cdot T_n} = \frac{18207,2 \text{ kg}}{12.465,84 \text{ kg}} = 1,46 \approx 2 \text{ buah}$$

Didapatkan total kebutuhan angkur yang dipasang untuk setiap sisinya adalah 2, sehingga untuk kebutuhan keseluruhan adalah 4 angkur.

Perhitungan angkur terhadap gaya geser  $V_u = 48121,3 \text{ N}$

Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6):

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

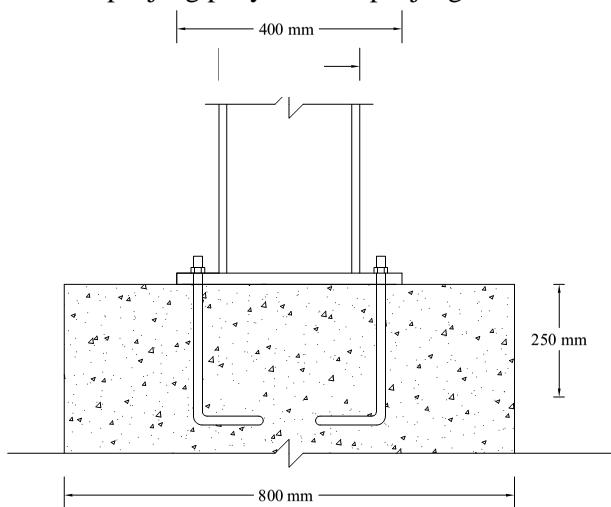
$$= 372 \text{ MPa} \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16 \text{ mm})^2 \right) = 74.795,0 \text{ N}$$

Dikarenakan 4 angkur, maka total kuat geser angkur:  
 $4 \times 74.795,0 \text{ N} = 299.180,15 \text{ N} > 74.795,0 \text{ N}$  (OK!)

4. Panjang penyaluran angkur:

$$Lh = \frac{Tu}{n \cdot 0,75 \cdot fc \cdot db} = \frac{182072,03}{4 \cdot 0,75 \cdot 35 \text{ MPa} \cdot 16 \text{ mm}} = 108 \text{ mm}$$

Maka diambil panjang penyaluran sepanjang = 200 mm



Gambar 6. 42.Panjang Penyaluran Angkur

5. Perencanaan sambungan las sudut:

Apabila direncanakan:

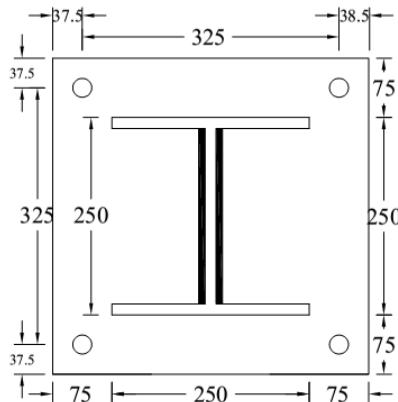
Tebal plat = 5 mm

Sambungan las dengan:

Mutu logam pengisi	= FE70xx
$F_{EXX}$	= 4826,3 kg/cm <sup>2</sup> = 482,63 N/mm <sup>2</sup>
tebal minimum las sudut	= 3 mm (SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)

tebal maksimum las sudut = 5 mm – 2 mm = 3 mm  
 (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)

diambil tebal las pakai = 3 mm  
 Profil yang di las WF 250.250.14.14



Gambar 6. 43.Panjang Las pada Sambungan C

Menghitung panjang las (Lw):

$$Lw = 2 \times (250\text{mm} - 2 \cdot 14\text{mm}) = 444 \text{ mm}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$Awe = Lw \cdot \text{tebal las} = 444 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm} = 1332 \text{ mm}^2$$

Tinjau ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las:

$$\emptyset \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot Awe$$

$$\emptyset \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot 4826,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 1332 \text{ mm}^2 \\ = 289.300,42 \text{ N}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar:

$$\emptyset \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot Awe$$

$$\emptyset \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot 410 \text{ Mpa} \cdot 1332 \text{ mm}^2 \\ = 245.754 \text{ N}$$

Sehingga dipakai nilai  $\phi \cdot R_n$  terkecil yakni = 245.754 N = 24.575,4 kg

Kontrol:

$$\phi \cdot R_n > V_u$$

24.575,4 kg > 2070 kg (OK!)

#### 6.4.7 Rekap Profil Struktur Atap

Dari data perencanaan tersebut didapat hasil profil-profil dan dimensi yang akan dipakai pada struktur atap yaitu sebagai berikut:

Struktur	Bentang (m)	Profil
Gording		LC 150 x 65 x 20 x 3.2
Penggantung gording		D 13
Ikatan Angin		D 12
Kuda-kuda	10	WF 300.150.6.5.9
Kolom baja	0.77	WF 250.250.9.14

Dengan hasil kontrol stress ratio ( $M_u / \phi M_n$ ) dan lendutan untuk masing-masing profil yaitu sebagai berikut:

Struktur	Stress Ratio	Lendutan (mm)	Lendutan Ijin (mm)	Kontrol Penampang	
				SR < 1	< L. Ijin
Gording	0.5	1.66	3.3	OK	OK
Kuda-kuda	0.83	17.14	32.075	OK	OK
Kolom baja	0.18	0.03	2.14	OK	OK

## 6.5 Perhitungan Struktur Balok Anak

Struktur balok anak yang dihitung pada bab ini merupakan balok yang mengalami gaya dalam terbesar (*frame 3075*) dengan letak sebagai berikut:

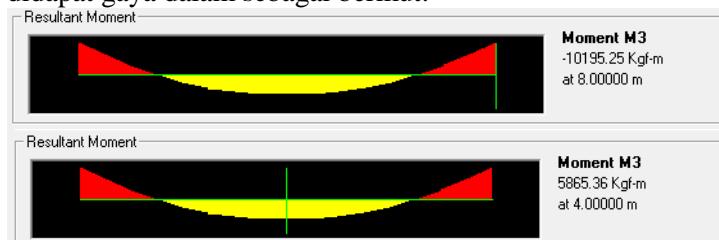
Spesifikasi teknis:

1. L = 6000 mm
2. b = 300 mm
3. h = 400 mm
4.  $f_{c'}$  = 35 MPa
5.  $f_y$  = 400 MPa

Gambar 7. 2 Balok anak yang ditinjau (*frame 3075*)

### 6.5.1 Analisis Struktur Balok anak

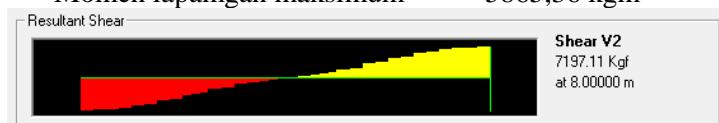
Dari hasil analisis struktur pada program SAP2000, didapat gaya dalam sebagai berikut:



Gambar 6. 44.Momen tumpuan dan lapangan pada balok anak

$$\text{Momen tumpuan maksimum} = 10195,25 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen lapangan maksimum} = 5865,36 \text{ kgm}$$



Gambar 6. 45.Gaya Geser pada Balok Anak

$$\text{Geser maksimum} = 7197,11 \text{ kg}$$

## 6.5.2 Perhitungan Kebutuhan Longitudinal

### 6.5.2.1 Perhitungan Tulangan Tumpuan

Untuk  $f_c' = 35 \text{ MPa}$ , maka  $\beta = 0,8$  berdasarkan SNI 2847 – 2013

Ps. 10.2.7.3)

$$M_u = 10195,25 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{10195,25 \times 10^4 \text{ Nmm}}{0,9} \\ = 1279525 \text{ Nmm}$$

$$d_x = \text{tebal plat} - \text{cover} - \text{sengkang} - \frac{D}{2} \\ = 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{13}{2} \\ = 442 \text{ mm}$$

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{1279525 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \cdot (442 \text{ mm})^2} \\ = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390 \text{ Mpa}} = 0,0036$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{13,11} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,11 \cdot 1,86}{390}} \right) \\ = 0,0049$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35}{400} \cdot \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0284$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ , maka dipakai  $\rho = 0,0049$   
Sehingga,

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0049 \cdot 350 \cdot 442$$

$$= 764,03 \text{ mm}^2$$

Maka, dipakai 4 - D16,  
 $A_s = 804,25 \text{ mm}^2 \sim 764,03 \text{ mm}^2$  (**OK**)

### 6.5.2.2 Perhitungan Tulangan Lapangan

Untuk  $f'_c = 35 \text{ MPa}$ , maka  $\beta = 0,8$  berdasarkan SNI 2847 – 2013  
Ps. 10.2.7.3)

$$M_u = 5865,36 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{5865,36 \times 10^4 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 73317000 \text{ Nmm}$$

$$d_x = \text{tebal plat} - \text{cover} - \text{sengkang} - \frac{D}{2}$$

$$= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{13}{2}$$

$$= 442 \text{ mm}$$

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{73317000 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \cdot (442 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390 \text{ Mpa}} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,11} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,11 \cdot 1,07}{390}} \right) \\
 &= 0,0028 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35}{390} \cdot \left( \frac{600}{600 + 390} \right) \\
 &= 0,0295
 \end{aligned}$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max}$ , maka dipakai  $\rho = 0,0036$   
Sehingga,

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0036 \cdot 350 \cdot 442 \\
 &= 555,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, dipakai 2 – D16,

$$A_s = 402,12 \text{ mm}^2 \sim 361 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

### 6.5.3 Perhitungan Kebutuhan Transversal

Untuk perhitungan tulangan transversal dipakai gaya geser ultimate ( $V_u$ ). Nilai  $V_u$  diambil sejarak  $d$  dari muka tumpuan sesuai Pasal 11.1.3.1 SNI 2847 – 2013.

$$V_u = 71,971 \text{ kN}$$

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

$$d = 442 \text{ mm}$$

$$V_u' = \frac{V_u}{\frac{L}{2}} \cdot \left( \frac{L}{2} - d \right)$$

$$V_u' = \frac{7197,11}{\frac{8000}{2}} \cdot \left( \frac{8000}{2} - 442 \right) = 6401,83 \text{ kg}$$

$$Vu' = 64018,3 \text{ N}$$

Berdasarkan Pasal 11.2.1 SNI 2847 – 2013 nilai  $V_c$  adalah

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d$$

Dimana :  $\lambda = 1$  untuk beton normal berdasarkan Pasal 8.6.1 SNI 2847 – 2013

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35'} \cdot 350 \cdot 442 = 155586,98 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \varphi \cdot V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 155586,98 \text{ N} = 58350 \text{ N}$$

$$\varphi \cdot V_c = 0,75 \cdot 155586,98 \text{ N} = 116,7 \text{ kN}$$

Karena  $0,5 \cdot \varphi \cdot V_c < Vu' < \varphi \cdot V_c$ , maka diperlukan tulangan geser minimum

Berdasarkan Pasal 11.4.5.1 SNI 2847 – 2013 bahwa batas spasi tulangan maksimum adalah  $d/2$

$$s = d/2 = 344/2 = 172 \text{ mm}$$

Jadi, dipakai  $s = 150 \text{ mm}$

$$A_{v_{MIN}} = \frac{bw \cdot s}{3 \cdot f_y} = \frac{350 \cdot 100}{3 \cdot 390} = 157,08 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki  $\Phi 10 - 150 \text{ mm}$

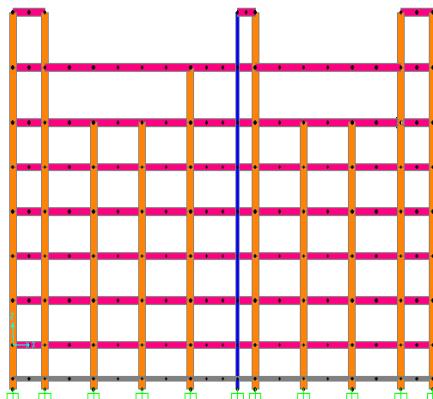
$$As_{pakai} = 157,08 \text{ mm}^2 > A_{vMIN} \quad (\text{OK})$$

## **BAB VII**

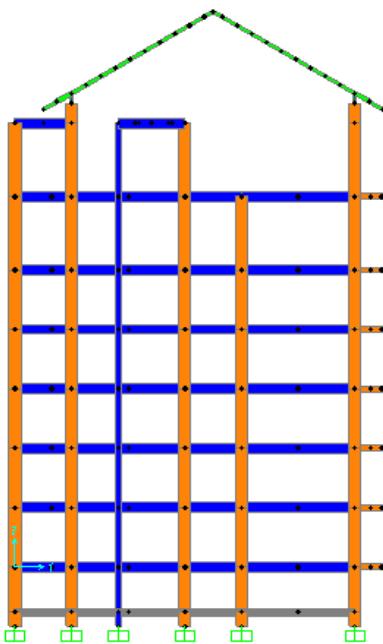
### **PERHITUNGAN STRUKTUR PRIMER**

#### **7.1 Umum**

Untuk perhitungan struktur primer, portal pada bangunan yang akan ditinjau adalah sebanyak 2 portal. Portal tersebut dibagi menjadi 1 portal arah memanjang dan 1 portal arah melintang. Nantinya dari masing-masing portal akan dihitung untuk kebutuhan tulangan balok, kolom serta hubungan balok-kolom dari masing masing portal tersebut. Untuk portal yang ditinjau adalah sebagai berikut:



Gambar 7. 3.Portal yang Ditinjau. XZ @Y=12



Gambar 7. 4. Portal yang Ditinjau YZ @X=30

## 7.2 Desain Struktur Balok

Pada perhitungan penulangan balok, balok yang dihitung secara manual adalah balok yang mengalami momen terbesar dari hasil perhitungan SAP 2000 v.14. Untuk perhitungan penulangan balok yang lain akan digunakan tabel pada program bantu Microsoft Excel.

### 7.2.1 Data Perencanaan

Mutu beton $f'_c$	= 35 Mpa
Dimensi balok induk	= 500 x 700 mm
Bentang balok (L).	= 4000 mm
Bentang bersih balok (Ln)	= $(3600 - 700/2 - 700/2)$ mm = 3300 mm
Cover (t)	= 40 mm
Diameter tulangan lenthal	= 25 mm, fy = 400 Mpa
Diameter tulangan geser	= 13 mm, fy = 400 Mpa
Diameter tulangan punter	= 13 mm, fy = 400 Mpa
$\beta_1$	= 0,8

### 7.2.2 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

Sebelum perhitungan penulangan balok, harus dilakukan kontrol syarat-syarat komponen beton bertulang yang memenuhi persyaratan SRPMK sebagai berikut:

- a. Gaya tekan aksial terfaktor pada balok,  $P_u < A_g f'_c c / 10$

$$P_u = 27,287 \text{ kN} < \frac{(500 \times 700) \text{ mm}^2 \cdot 35 \text{ Mpa}}{10} = 1225 \text{ kN}$$

- b. Bentang bersih untuk komponen struktur,  $In \geq 4d$

$$d = h_{balok} - t - \text{sengkang} - (D. \text{ lentur} / 2)$$

$$d = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (25 \text{ mm} / 2)$$

$$d = 635 \text{ mm}$$

$$In = 3350 \text{ mm} \geq 4 \times 635 = 2538 \text{ mm}$$

- c. Lebar komponen,  $b_w \geq 0,3h$  atau **250 mm**

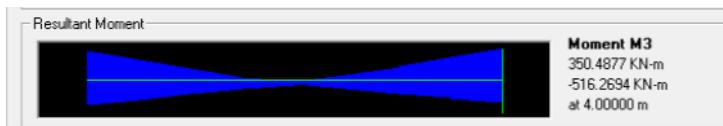
$$bw = 500 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm}$$

- d. Rasio lebar dan tinggi balok tidak kurang dari 0,3

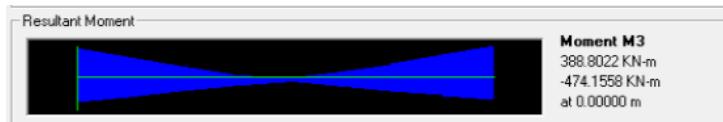
$$\frac{500}{700} = 0,375$$

### 7.2.3 Perhitungan Penulangan Lentur Balok

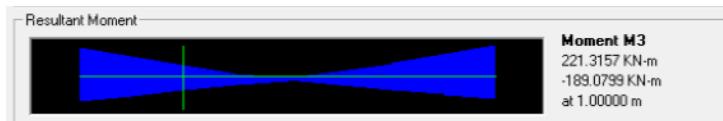
Gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok, diperoleh menggunakan program bantu SAP 2000 v.14.



Gambar 7. 5.Hasil Output SAP Momen Tumpuan Kanan



Gambar 7. 6.Hasil Output SAP Momen Tumpuan Kiri



Gambar 7. 7.Hasil Output SAP Momen Lapangan

Tabel 7. 1.Momen Balok Induk yang Terjadi pada SAP

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	M <sub>u</sub> (kNm)
1	Tumpuan Kanan	Kanan	-516.269
2	Tumpuan Kiri	Kiri	-474.156
3	Tumpuan Kiri	Kanan	388.802
4	Tumpuan Kanan	Kiri	350.48
5	Lapangan	Kanan Kiri	221.316

1. **Kondisi 1** (Momen tumpuan kanan akibat goyangan ke kanan)

$$M_u = -516,269 \text{ kNm} = -516.269.000 \text{ Nmm}$$

- Estimasi kebutuhan tulangan awal

Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{516269000}{0,9} = 573632222 \text{ Nmm}$$

Ambil harga  $X_r \leq 0,75 \times b$  untuk mencari titik berat,dimana :

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 390} \times 635 = 380,7 \text{ mm}$$

$X_r \leq 0,625 \times 380,7 = 237,94 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } X_r = 200 \text{ mm}$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35 \cdot 500 \cdot 200}{400}$$

$$= 5950 \text{ mm}^2$$

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

$$= 5950 \cdot 400 \left[ 634,5 - \frac{0,8 \cdot 200}{2} \right]$$

$$M_{nc} = 1509158000 \text{ Nmm}$$

$$M_n - M_{nc} = 573632222 - 1509158000 = -1033,23 \text{ kNm}$$

Karena nilai  $M_n - M_{nc} < 0$  maka tidak perlu tulangan tekan, maka digunakan perhitungan “Tulangan Tunggal”.

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{573632222 \text{ N.mm}}{500 \text{ mm} \cdot (635 \text{ mm})^2} = 2,85 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,1$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,1} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 2,85 \text{ N/mm}^2}{390 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0077$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390 \text{ Mpa}} = 0,0036$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1)}$$

**Cek Persyaratan:**

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0036 < 0,0077 < 0,025 \quad (Memenuhi)$$

Maka : As perlu =  $\rho_{perlu} \times b \times d$

$$As\ perlu = 0,0077 \times 500mm \times 635mm$$

$$As\ perlu = 2441,26\ mm^2$$

Maka dipakai tulangan 5-D25 → As pakai = 2454,37 mm<sup>2</sup>

### Cek jarak antar tulangan:

$$s = \frac{b - 2 \cdot t - 2 \cdot sengkang - (n \times D.lentur)}{n - 1}$$

$$s = \frac{500mm - 2 \cdot 40mm - 2 \cdot 13mm - (5 \times 25mm)}{5 - 1}$$

$$s = 67,25\ mm > 25\ mm \quad (Memenuhi)$$

2. **Kondisi 2** (Momen tumpuan kanan akibat goyangan ke kiri)

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa *kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari ½ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.*

$$Mu = 350,48\ kNm$$

$$Mu = \frac{1}{2} \cdot Mu\ negatif = \frac{1}{2} \cdot 516,269\ kN.m = 258,13\ kN.m$$

Karena 350,48 kN.m > 258,13 kN.m maka yang dipakai adalah Mu = 350,48 kN.m

Jika menggunakan tulangan tunggal satu lapis, maka:

$$d = 700\ mm - 40\ mm - 13\ mm - 25mm/2 = 635\ mm$$

$$Mn_1 = \frac{Mu}{\phi} = \frac{350,48\ kN.m}{0,9} = 389,422\ kN.m$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{389422222\ N.mm}{500mm \cdot (635mm)^2} = 1,93\ N/mm^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{390 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 35 \text{ MPa}} = 13,1$$

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

$$\rho = \frac{1}{13,1} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 1,93 \text{ N/mm}^2}{390 \text{ MPa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0051$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390 \text{ MPa}} = 0,0036$$

$\rho_{\max} = 0,025$  (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1)

### Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0036 < 0,0051 < 0,025 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka :  $As_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

$$As_{\text{perlu}} = 0,0051 \times 500 \text{ mm} \times 635 \text{ mm}$$

$$As_{\text{perlu}} = 1628,50 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 4-D25  $\rightarrow As_{\text{pakai}} = 1963,49 \text{ mm}^2$

### Cek jarak antar tulangan:

$$s = \frac{b - 2 \cdot t - 2 \cdot sengkang - (n \times D.lentur)}{n - 1}$$

$$s = \frac{500 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm} - (4 \times 25 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$s = 98 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

3. **Kondisi 3** (Momen tumpuan kiri akibat goyangan ke kiri)  
Cek momen nominal aktual:

$$Mu = -474,156 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{474,156 \text{ kN.m}}{0,9} = 526,840 \text{ kN.m}$$

Jika diambil harga  $X_r \leq 0,75 X_b$  untuk mencari titik berat, sehingga:

Jika menggunakan tulangan tunggal satu lapis, maka:

$$d = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 25 \text{ mm}/2 = 635 \text{ mm}$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 390} \cdot 635 \text{ mm} = 380,7 \text{ mm}$$

$$X_r = 0,75 \times 380,7 \text{ mm} = 237,94 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai  $X_r = 200 \text{ mm}$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_r}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{390 \text{ Mpa}} = 5950 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \left( d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right) \\ &= 5950 \cdot 390 \left[ 635 - \frac{0,8 \cdot 200}{2} \right] \end{aligned}$$

$$M_{nc} = 1509158000 \text{ Nmm}$$

$$M_n - M_{nc} = 526840000 - 1509158000 = -1033,23 \text{ kNm}$$

Karena nilai  $M_n - M_{nc} < 0$  maka tidak perlu tulangan tekan, maka digunakan perhitungan "Tulangan Tunggal".

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{526840000 \text{ N.mm}}{500 \text{ mm} \cdot (635 \text{ mm})^2} = 2,62 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,1$$

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

$$\rho = \frac{1}{13,1} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 2,62 N/mm^2}{390 Mpa}} \right)$$

$$\rho = 0,007$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390 Mpa} = 0,0036$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1)}$$

### Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0036 < 0,007 < 0,025 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka : As perlu =  $\rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

$$\text{As perlu} = 0,007 \times 500\text{mm} \times 635\text{mm}$$

$$\text{As perlu} = 2231,96 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 5-D25 → As pakai = 2454,36 mm<sup>2</sup>

### Cek jarak antar tulangan:

$$s = \frac{b - 2 \cdot t - 2 \cdot \text{sengkang} - (n \times D.\text{lentur})}{n - 1}$$

$$s = \frac{500\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 2 \cdot 13\text{mm} - (5 \times 25\text{mm})}{5 - 1}$$

$$s = 67,25 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

### 4. Kondisi 4 (Momen tumpuan kiri akibat goyangan ke kanan)

$$Mu = 388,802 \text{ kNm}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa *kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari ½ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.*

$$Mu = \frac{1}{2} \cdot Mu \text{ negatif} = \frac{1}{2} \cdot 474,156 \text{ kN.m} = 237,08 \text{ kN.m}$$

Karena  $388,802 \text{ kN.m} > 237,08 \text{ kN.m}$  maka yang dipakai adalah  
 $M_u = 388,802 \text{ kN.m}$

Jika menggunakan tulangan tunggal satu lapis, maka:

$$d = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 25\text{mm}/2 = 635 \text{ mm}$$

$$M_{n_1} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{388,802 \text{ kN.m}}{0,9} = 432,002 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{432002222 \text{ N.mm}}{500\text{mm} \cdot (635\text{mm})^2} = 2,15 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,1$$

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

$$\rho = \frac{1}{13,1} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 2,15 \text{ N / mm}^2}{390 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,00572$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390 \text{ Mpa}} = 0,0036$$

$\rho_{\max} = 0,025$  (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1)

### Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0057 < 0,025 \quad (Memenuhi)$$

Maka :  $As_{\text{perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d$

$$As_{\text{perlu}} = 0,0057 \times 500\text{mm} \times 635\text{mm}$$

$$As_{\text{perlu}} = 1813,75 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 4-D25  $\rightarrow As_{\text{pakai}} = 1963,49 \text{ mm}^2$

**5. Kondisi 5** (Momen lapangan akibat goyangan kanan maupun kiri)

$$\text{Mu} = 221,316 \text{ kNm}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa *baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/4 kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.*

$$\frac{1}{4} \text{ Mu terbesar} = \frac{1}{4} \cdot 564,583 \text{ kN.m} = 141,146 \text{ kN.m}$$

Karena  $221,316 \text{ kNm} > 141,146 \text{ kN.m}$  maka yang dipakai adalah nilai  $\text{Mu} = 221,316 \text{ kNm}$

Jika menggunakan tulangan tunggal satu lapis, maka:

$$d = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 25 \text{ mm}/2 = 635 \text{ mm}$$

$$Mn_1 = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{221,316 \text{ kN.m}}{0,9} = 245,907 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{245906667 \text{ N.mm}}{500 \text{ mm} \cdot (635 \text{ mm})^2} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,1$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,1} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,1 \cdot 1,22 \text{ N/mm}^2}{390 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho = 0,0032$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0036$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1)}$$

### Cek Persyaratan:

$$\rho_{\min} > \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0036 < 0,0032 < 0,025 \quad (Tidak Memenuhi)$$

Maka : As perlu =  $\rho_{perlu} \times b \times d$

$$As \text{ perlu} = 0,0036 \times 500mm \times 635mm$$

$$As \text{ perlu} = 1138,85 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 4-D25 → As pakai = 1963,495 mm<sup>2</sup>

#### 7.2.4 Perhitungan Penulangan Geser Balok

##### 1. Menghitung Probable Moment Capacities (Mpr)

- a. Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan

**Kondisi 1 Tumpuan Kanan ke Kanan (5-D25, As = 2454,36 mm<sup>2</sup>)**

$$a_{pr\_1} = \frac{1,25 \cdot As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 2454,36mm^2 \cdot 390Mpa}{0,85 \cdot 35Mpa \cdot 500mm}$$

$$a_{pr\_1} = 80,437 \text{ mm}$$

$$M_{pr\_1} = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr\_1}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_1} = 1,25 \cdot 2454,36mm^2 \cdot 390Mpa \cdot \left( 635mm - \frac{80,437mm}{2} \right)$$

$$M_{pr\_1} = 696104295,526 \text{ N.mm} = 696,104 \text{ kN.m}$$

**Kondisi 4 Tumpuan Kiri ke Kanan (4-D25, As = 1963,495 mm<sup>2</sup>)**

$$a_{pr\_4} = \frac{1,25 \cdot As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1963,495mm^2 \cdot 390Mpa}{0,85 \cdot 35Mpa \cdot 500mm}$$

$$a_{pr\_4} = 64,35 \text{ mm}$$

$$M_{pr\_4} = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr\_4}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_4} = 1,25 \cdot 1963,495 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa} \cdot \left( 635 \text{ mm} - \frac{64,35 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_4} = 564582928,2 \text{ N.mm} = 564,583 \text{ kN.m}$$

- b. Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kiri

**Kondisi 2 Tumpuan Kanan ke Kiri (4-D25, As = 1963,495 mm<sup>2</sup>)**

$$a_{pr\_2} = \frac{1,25 \cdot As \cdot fy}{0,85 \cdot fc \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1963,495 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 500 \text{ mm}}$$

$$a_{pr\_2} = 64,35 \text{ mm}$$

$$M_{pr\_2} = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr\_4}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_2} = 1,25 \cdot 1963,495 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa} \cdot \left( 635 \text{ mm} - \frac{64,35 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_2} = 564582928,2 \text{ N.mm} = 564,583 \text{ kN.m}$$

**Kondisi 3 Tumpuan Kiri ke Kiri (5-D25, As = 2454,36 mm<sup>2</sup>)**

$$a_{pr\_1} = \frac{1,25 \cdot As \cdot fy}{0,85 \cdot fc \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 2454,36 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 500 \text{ mm}}$$

$$a_{pr\_3} = 80,437 \text{ mm}$$

$$M_{pr\_3} = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr\_1}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_1} = 1,25 \cdot 2454,36 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ MPa} \cdot \left( 635 \text{ mm} - \frac{80,437 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr\_1} = 696104295,526 \text{ N.mm} = 696,104 \text{ kN.m}$$

## 2. Menghitung Diagram Gaya Geser

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur diambil dari Output SAP 2000 dengan kombinasi 1,2D + 1,0L:



Gambar 7. 8. Geser yang Terjadi pada Balok Induk

$$V_g = \frac{\omega u \cdot \ell n}{2} = 55,9 \text{ kN}$$

$$W_u = 33,85 \text{ kN/m}$$

a. Menghitung geser yang terjadi akibat goyangan:

- Struktur bergoyang ke kanan:

$$V_{sway} = \frac{M_{pr\_1} + M_{pr\_4}}{\ell n} = \frac{696,104 \text{ kN.m} + 564,58 \text{ kN.m}}{3,3 \text{ m}}$$

$$V_{sway} = 382,026 \text{ kN}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok:

$$= 51,67 \text{ kN} - 382,026 \text{ kN} = 326,2 \text{ kN} \quad (\text{ke bawah})$$

Total reaksi geser di ujung kanan balok:

$$= 51,67 \text{ kN} + 382,026 \text{ kN} = 437,9 \text{ kN} \quad (\text{ke atas})$$

- Struktur bergoyang ke kiri:

$$V_{sway} = \frac{M_{pr\_1} + M_{pr\_4}}{\ell n} = \frac{696,104 \text{ kN.m} + 564,58 \text{ kN.m}}{3,3 \text{ m}}$$

$$V_{sway} = 382,026 \text{ kN}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok:

$$= 51,67 \text{ kN} + 382,026 \text{ kN} = 437,9 \text{ kN} \text{ (ke atas)}$$

Total reaksi geser di ujung kanan balok:

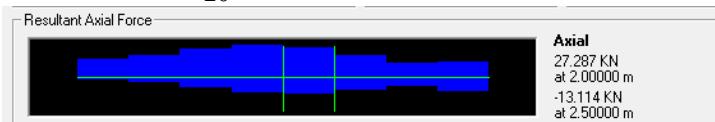
$$= 51,67 \text{ kN} - 382,026 \text{ kN} = 326,2 \text{ kN} \text{ (ke bawah)}$$

### 3. Perhitungan Kebutuhan Sengkang untuk Gaya Geser

- Gaya geser Vsway akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi kuat geser perlu maksimum, Vu di sepanjang bentang.
- Tabel 7. 2.Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan

Arah Gerakan Gempa	Vsway	Reaksi Tumpuan Kiri		Reaksi Tumpuan Kanan		Cek Syarat
		Vu	0,5 Vu	Vu	0,5 Vu	
		kN	kN	kN		
Kanan	<b>382.026</b>	326.2	163.08	437.9	<b>218.94</b>	<b>OK</b>
Kiri	<b>382.026</b>	437.9	<b>218.94</b>	326.2	163.08	<b>OK</b>

- Gaya aksial tekan terfaktor akibat gaya gempa dan gravitasi  $\frac{Ag.fc'}{20}$ .



Gambar 7. 9.Aksial Balok yang Terjadi

Apabila diketahui Pu = 27,287 kN dan

$$\frac{Ag.fc'}{20} = (500 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 35 \text{ MPa}) / 20 = 612,5 \text{ kN}$$

27,287 kN < 612,5 kN (OKE)

Karena nilai  $V_{sway} > \frac{1}{2} V_u$  dan  $P_u < A_g f_c' / 20$ , maka nilai  $V_c$  tidak dihitung.

a. Muka kolom kiri dan muka kolom kanan

$$V_u = 437,9 \text{ kN}$$

Dengan demikian,

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{437,9 \text{ kN}}{0,75} - 0 = 583,85 \text{ kN}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.7.9, nilai maksimum  $V_s$  adalah sebagai berikut:

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 635 \text{ mm} \text{ Vs}$$

$$\text{max} = 1226600,54 \text{ N} = 1226,7 \text{ kN}$$

Karena nilai  $V_s = 583,85 \text{ kN} < 1226,7 \text{ kN}$  – (Memenuhi)

Apabila dicoba digunakan sengkang D13 dipasang 2 kaki ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa} \cdot 635 \text{ mm}}{583848,58 \text{ N}}$$

$$s = 110 \text{ mm},$$

sehingga dipasang sengkang 2 kaki D13-150

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1, diperlukan hoops (sengkang tertutup) di sepanjang  $2h$  dari sisi muka kolom terdekat.

$$2h = 2 \times 700 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}.$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2, hoops pertama dipasang pada jarak 50mm dari muka kolom terdekat, dan berikutnya dipasang dengan spasi terkecil diantara:

- $d/4 = 635 \text{ mm} / 4 = 155,5 \text{ mm}$
- $6 \times D.tulangan$  longitudinal terkecil

$$6 \times 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

- 150 mm

Dengan demikian, tulangan sengkang didaerah sendi plastis (yaitu di daerah sepanjang  $2h = 1,6\text{m}$  dari muka kolom) menggunakan sengkang tertutup 2 kaki D13-150 mm

b. Ujung zona sendi plastis:

Gaya geser maksimum  $V_u$  di ujung zona sendi plastis, yaitu sejarak  $2h = 2 \cdot 700 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}$  dari muka kolom adalah  $437,9 \text{ kN} - (2h \cdot w_u) = 437,9 \text{ kN} - (1,4\text{m} \times 33,85 \text{ kN}) = 390,49 \text{ kN}$

Pada daerah ini  $V_c$  dapat diperhitungkan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 635 \text{ mm}$$

$$V_c = 312812,72 \text{ N} = 312,81 \text{ kN}$$

Dengan demikian,

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{390,49 \text{ kN}}{0,75} - 312,81 \text{ kN} = 207,84 \text{ kN}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.7.9, nilai maksimum  $V_s$  adalah sebagai berikut:

$$V_{s \max} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 635 \text{ mm} \quad V_s$$

$$\max = 1251250,87 \text{ N} = 1251,25 \text{ kN}$$

Karena nilai  $V_s = 207,84 \text{ kN} < 1251,25 \text{ kN}$  – (Memenuhi)

Apabila dicoba digunakan sengkang D13 dipasang 2 kaki ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa} \cdot 635 \text{ mm}}{207840 \text{ N}}$$

$$s = 316 \text{ mm},$$

sehingga digunakan sengkang 2 kaki D13-250 mm

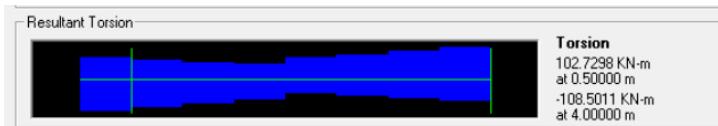
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4, spasi maksimum tulangan geser disepanjang balok SRPMK adalah  $d/2$ .

$$S_{max} = d/2 = 6355 \text{ mm} / 2 = 317,25 \text{ mm}$$

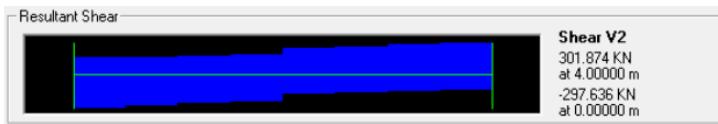
Dari hasil perhitungan diatas, untuk bentang di luar zona sendi plastis digunakan sengkang 2 kaki D13-250 mm.

### 7.2.5 Perhitungan Penulangan Torsi Balok

Dari hasil analisis SAP 200 diperoleh nilai-nilai berikut:



Gambar 7. 10. Torsi Balok yang Terjadi



Gambar 7. 11. Gaya Geser yang Terjadi

1. Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.1:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f' c} \right)$$

$$b_h = b - 2 \times t - \phi sengkang = 500 - 2 \times 40 - 13 = 407 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \times t - \phi sengkang = 700 - 2 \times 40 - 13 = 607 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$p_h = 2 \times (b_h + h_h) = 2 \times (407 + 607) = 2028 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$A_{oh} = b_h \times h_h = 407 \times 607 = 247049 \text{ mm}^2$$

$$Vc = 0,17\sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d = 0,17\sqrt{35} \cdot 500 \cdot 635 = 312812,72 \text{ N}$$

Torsi maksimum beton non-prategang:

$$Tu = \phi \cdot \frac{\sqrt{fc'}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu = 0,75 \cdot \frac{\sqrt{35}}{3} \cdot \left( \frac{350000^2}{2400} \right) = 74736726,6 \text{ Nmm}$$

Torsi minimum:

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

Dimana:

$A_{cp}$  = Luas penampang keseluruhan

$P_{cp}$  = Keliling penampang keseluruhan

$\lambda$  = 1 (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$\phi$  = 0,75 (faktor reduksi beban torsi)

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir:

$$A_{cp} = b \times h = 500 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} = 350000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (500\text{mm} + 700\text{mm}) = 2400 \text{ mm}$$

$$Tu_{min} = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot \left( \frac{350000^2}{2400} \right) = 18797419,1 \text{ N.mm}$$

Karena nilai  $Tu$  terjadi  $> Tu$  max, maka dipakai  $Tu$  max = 74736726,6 Nmm

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{301874}{500.635}\right)^2 + \left(\frac{74736726,6 \times 2028}{1,7 \cdot (247049)}\right)^2} = 1,8 \text{ Mpa}$$

$$\phi \left( \frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'c} \right) = 0,75 \left( \frac{312812,72}{500.635} + 0,66 \sqrt{35} \right) = 3,91 \text{ Mpa}$$

Cek kecukupan penampang menahan torsi terfaktor:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'c} \right) \quad (\text{Memenuhi})$$

2. Periksa persyaratan Pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1, yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika :

$$Tu < Tu_{\min}$$

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

$Tu > Tu_{\min}$  (Perlu Tulangan Torsi)

1. Perhitungan Tulangan Transversal Penahan Torsi

Dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai  $A_o$  dapat diambil sama dengan  $0,85 \cdot A_{oh}$  dan nilai  $\Theta = 45^\circ$

(**SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6**)

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \times 247049 = 209991,65 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_T \cdot fyt}{s} \cdot \cot \theta$$

$$\frac{Tu}{\phi} = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_T \cdot fyt}{s} \cdot \cot \theta$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tu}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot fyt \cdot \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{74736727}{0,75 \cdot 2.209991,65 \cdot 390 \cdot \cot 45^\circ} = 0,61 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan sengkang daerah tumpuan sebelum torsi:

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{fyv.d} = \frac{583848}{390.635} = 2,41 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{Avt}{s} = \frac{Av}{s} + 2 \frac{At}{s} = 2,41 + 2(0,61) = 3,62 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan sengkang terpasang daerah tumpuan sebelum torsi 2kaki D13 – 150:

$$\frac{Av_{pakai}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150} = 1,77 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Karena  $\frac{Av_{pakai}}{s} < \frac{Avt}{s}$ , maka tulangan sengkang terpasang tidak cukup untuk menahan torsi.

Direncanakan sengkang 2kaki D13 – 100 mm

$$\frac{Av_{pakai}}{s} = \frac{3 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{100} = 3,9 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,53 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi tulangan sengkang terpasang setelah ditambah torsi menjadi 3kaki D13 – 100 mm

Tulangan sengkang daerah lapangan sebelum torsi = 2kaki D13 – 150 mm

Dengan perhitungan yang sama, tulangan sengkang setelah ditambah torsi menjadi: 3kaki D13 – 100 mm.

## 2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Penahan Torsi

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7 tulangan torsi lentur dihitung dengan rumus:

$$A\lambda = \frac{At}{s} \cdot p_h \cdot \left( \frac{fyv}{fyt} \right) \cot^2 \theta$$

Sehingga,

$$A\lambda = 0,61 \cdot 2028 \cdot \left( \frac{390}{390} \right) \cdot 1 = 1234 \text{ mm}^2$$

Untuk mendistribusikan  $A_\lambda$  secara sama, diasumsikan  $1/4 A_\lambda$  ditempatkan di dua sudut teratas dan  $1/4 A_\lambda$  di dua sudut terbawah untuk ditambahkan pada batang tulangan lentur. Penyeimbangnya,  $1/2 A_\lambda$  didistribusikan secara sama pada muka-muka vertikal irisan penampang web balok dengan spasi pusat ke pusat tidak melebihi 300 mm.

$$\frac{A\lambda}{4} = 308 \text{ mm}^2$$

Digunakan batang 3D13 mm = 398 mm<sup>2</sup> di pasang pada sisi samping kiri dan kanan penampang web balok sepanjang tumpuan maupun lapangan.

### 7.2.6 Kontrol Retak Balok

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

$$s = 380 \cdot \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot c_c$$

Syarat:

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot fy = \frac{2}{3} \cdot 390 \text{ Mpa} = 260 \text{ Mpa}$$

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

$$\text{Sehingga: } s = 380 \cdot \left( \frac{280}{260} \right) - 2,5 \cdot 40 = 259,23 \text{ mm}$$

$$\text{dan tidak melebihi } s_{\max} = 300 \cdot \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$s_{\max} = 300 \cdot \left( \frac{280}{260} \right) = 323 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan dipakai = 59,5 mm < 323 mm (OKE)

### 7.2.7 Perhitungan Cut-Off Points

Tulangan negatif di muka kolom kanan dan kiri

Jumlah tulangan atas terpasang adalah 5D25. Dua buah tulangan atas D25 akan dipasang menerus di sepanjang bentang. Tiga buah tulangan lainnya akan dicut-off, sehingga  $As_{\text{sisa}} = 981,7 \text{ mm}^2$ . Kuat lentur rencana dengan konfigurasi berikut yaitu

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' b} = \frac{981,7 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 500 \text{ mm}} = 25,74 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot As \cdot fy \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 0,9 \cdot 981,7 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ Mpa} \left( 635 \text{ mm} - \frac{25,74 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 214371728 \text{ Nmm} = 214,371 \text{ kNm}$$

Untuk mengetahui lokasi penampang dengan momen negatif rencana 214,371 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$33,85x \left( \frac{1}{2} x \right) - 437,9x + (696,104 - 214,371) = 0$$

$$16,925x^2 - 437,9x + 481,733 = 0$$

Dengan menggunakan rumus abc didapatkan:

$$x_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{437,9 \pm \sqrt{(-437,9)^2 - 4(16,925 \times 481,733)}}{2 \times 16,925}$$

$$x_1 = 24,692 \text{ m}$$

$$x_2 = 1,151 \text{ m}$$

Momen rencana 214,371 kNm terletak di 1,151 m baik dari muka kolom kanan maupun kiri. Data ini dipakai untuk menentukan lokasi cut-off point untuk tulangan 3D25.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 12.12.3, mengharuskan setidaknya 1/3 tulangan tarik momen negatif pada tumpuan harus ditanam melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $12d_b$ ,  $ln/16$ .

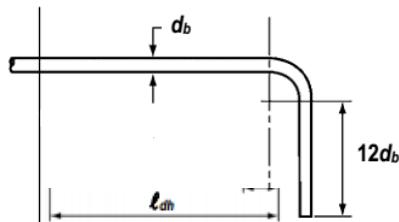
Jadi, tulangan 3D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar diantara:

1.  $1151,33 \text{ mm} + d = 1033\text{mm} + 635 \text{ mm} = 1786,3 \text{ mm}$
2.  $1151,33 \text{ mm} + (12 \times 25\text{mm}) = 1451,33 \text{ mm}$
3.  $1151,33 \text{ mm} + 3300 \text{ mm} / 16 = 1357,55 \text{ mm}$

Maka tulangan 3D25 ditanamkan sejauh 1800 mm dari muka kolom kanan dan kiri.

### 7.2.8 Panjang Penyaluran

a. Panjang Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik



Gambar 7. 12.Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1, nilai  $l_{dh}$  harus memenuhi:

$$\ell_{dh} = \frac{f_y \cdot d_b}{5,4 \cdot \sqrt{f_c'}}$$

$$\ell_{dh} = \frac{390 \times 25}{5,4 \cdot \sqrt{35}} = 305,2 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari:

- $8 \cdot db = 8 \times 25 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$
- $150 \text{ mm}$

$$\text{Panjang kait} = 12 \cdot db = 12 \times 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

b. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 12.3.2:

$$\ell_{dc1} = \left( \frac{0,24 \cdot fy}{\lambda \cdot \sqrt{fc'}} \right) \cdot d_b = \left( \frac{0,24 \cdot 390}{1 \cdot \sqrt{35}} \right) \cdot 25 = 395,53 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc2} = 0,043 \cdot fy \cdot d_b = 0,043 \cdot 390 \cdot 25 = 419,25 \text{ mm}$$

Diambil terbesar yakni  $ldc = 450 \text{ mm}$

c. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2 panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik untuk  $D > 22 \text{ mm}$ , (D25):

$$\text{Diketahui nilai: } d_b = 25 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1,0 \quad \lambda = 1,0$$

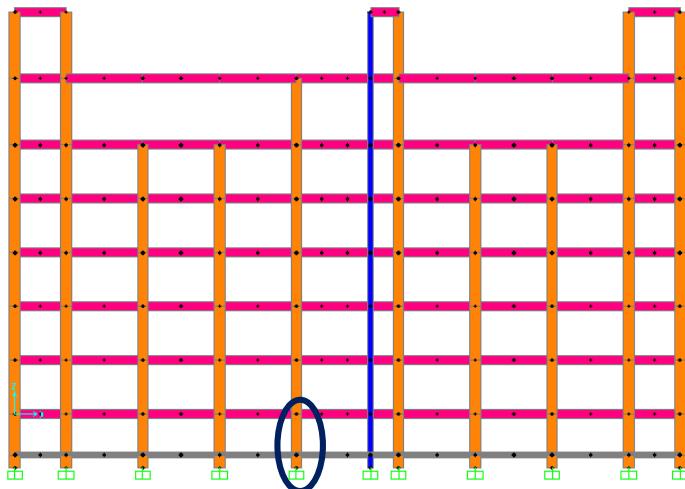
$$\psi_e = 1,0$$

$$\ell_d = \left( \frac{fy \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'}} \right) \cdot db$$

$$\ell_d = \left( \frac{390 \text{ Mpa} \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 25 \text{ mm} = 969,44 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

### 7.3 Desain Struktur Kolom

Dari hasil analisis program SAP2000, didapatkan hasil gaya aksial terbesar kolom pada lantai 1 yaitu kolom frame 1770.



Gambar 7. 13. Kolom yang Dittinjau

#### 7.3.1 Data Perencanaan

Tinggi kolom = 4,2 m = 4200 mm

Dimensi kolom = 850 mm x 850 mm

Mutu beton = 35 Mpa

Mutu baja fy = 390 Mpa

Diameter tul. memanjang = D25mm

Diameter tul. sengkang = D16mm

Dari program bantu SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya maksimum yang terjadi pada kolom adalah sebagai berikut:

Pu Atas = 5889,805 kN

Pu Bawah = 6742,287 kN

Mu Atas = 1191 kN.m

Mu Bawah = 1107 kN.m

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)					
No.	P <sub>u</sub> kN	M <sub>ux</sub> kN·m	f <sub>Mnx</sub> kN·m	f <sub>Mn</sub> /M <sub>u</sub>	
1	6742.3	0.0	1107.4	999.999	
2	5889.8	0.0	1190.9	999.999	

Gambar 7. 14. Hasil dari PCACOL

### 7.3.2 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

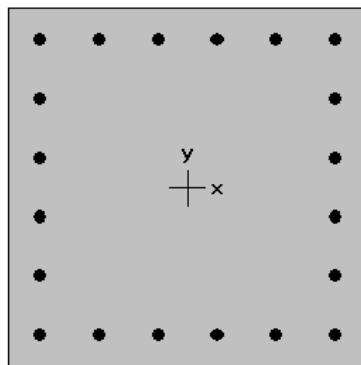
- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi  $\frac{Ag \cdot fc}{10}$  (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.1)  

$$\frac{(700mm \times 700mm) \cdot 35Mpa}{10} = 1.715 \text{ kN}$$

Pu = 6742,287 kN > 1715 kN (OK!)
- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.1.1)  
 Sisi terpendek kolom = 700 mm > 300 mm (OK!)
- Rasio penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.1.2)  
 Rasio antara b dan h = 700mm / 700 mm = 1 > 0,4 (OK!)

### 7.3.3. Menentukan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur

Berdasarkan Pasal 21.6.3.1 SNI 2847 – 2013, bahwa luas tulangan longitudinal dibatasi tidak boleh kurang dari 0,01Ag dan tidak boleh lebih dari 0,06. Sehingga dengan program bantu *pcaColumn*, didapatkan konfigurasi penulangan seperti berikut :



Gambar 7. 15. Didapatkan hasil dari pcaColumn, konfigurasi penulangan 16-D25 dengan rasio luas tulangan terhadap luas kolom ( $\rho$ ) sebesar 0,0208 sehingga  $0,01 < \rho < 0,06$  terpenuhi.

### 7.3.4 Cek Syarat “Strong Column Weak Beam”

Pasal 21.6.2.2 SNI 2847 – 2013, bahwa

$$\sum M_c \geq 1,2 \cdot \sum M_g, \text{ dimana}$$

$\sum M_c$  = Jumlah  $M_N$  kolom yang bertemu di join

$\sum M_g$  = Jumlah  $M_N$  balok yang bertemu di join  
(termasuk sumbangan tulangan plat di selebar efektif)

a. Menentukan  $\sum M_g$

Lebar balok (bw) = 500 mm

Tinggi balok (hw) = 700 mm

Tebal plat (hf) = 120 mm

$$be1 = bw + 8 hf = 400 + 8 \cdot 120 = 1360 \text{ mm}$$

$$be2 = bw + 2 hw = 400 + 2 \cdot 700 = 1800 \text{ mm}$$

Dipilih nilai terkceil,  $be = 1360 \text{ mm}$

$$\text{As tulangan tarik balok} = 5\text{D25} = 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan tekan balok} = 4\text{D22} = 1963,5 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan plat selenar } be = 1360/150 = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan plat (D10-150)} &= 2 \cdot 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 628,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas total tulangan tarik = As tarik balok + As plat

$$\text{As total} = 2454,37 \text{ mm}^2 + 628,32 \text{ mm}^2 = 3082,68 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{2454,37 \cdot \left(40 + 13 + 25 + \frac{25}{2}\right) + 628,32 \cdot \left(25 + \frac{13}{2}\right) + 628,32 \cdot \left(120 - 25 - \frac{13}{2}\right)}{3082,68}$$

$$y = 82,28 \text{ mm}^2$$

$$d \text{ tekan} = h - y = 700 \text{ mm} - 82,28 \text{ mm} = 617,715 \text{ mm}$$

$$d \text{ tarik} = h - t - \text{sengkang} - d. \text{lentur} - d. \text{lentur}/2$$

$$d \text{ tarik} = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - 25 \text{ mm}/2$$

$$d \text{ tarik} = 609,5 \text{ mm}$$

$$\alpha^+ = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc \cdot b} = \frac{2454,37 \cdot 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 500} = 64,35 \text{ mm}$$

$$Mg^+ = \varphi \cdot As \cdot fy \left( d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$Mg^+ = 0,9 \cdot 2454,37 \cdot 390 \cdot \left( 609,5 - \frac{64,35}{2} \right)$$

$$Mg^+ = 690772348 \text{ Nmm} = 690,77 \text{ kN-m}$$

$$\alpha^- = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc \cdot b} = \frac{1963,50 \cdot 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 500} = 51,48 \text{ mm}$$

$$Mg^- = \varphi \cdot As \cdot fy \left( d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$Mg^- = 0,9 \cdot 1963,50 \cdot 390 \cdot \left( 617,72 - \frac{51,48}{2} \right)$$

$$Mg^- = 566642269 \text{ Nmm} = 566,64 \text{ kN-m}$$

Maka,

$$\sum M_g = Mg^+ + Mg^- = 690,77 + 566,64$$

$$\sum M_g = 1257,41 \text{ kN-m}$$

$$1,2 \cdot \sum M_g = 1508,90 \text{ kN-m}$$

b. Menentukan  $\sum M_c$

Penentuan nilai  $M_c$  berdasarkan dari diagram interkasi P – M antara kolom atas dan kolom yang di desain dengan program bantu *pcaColumn*. Berikut adalah gaya  $P_U$

$$P_U \text{ KOLOM ATAS} = 5889,805 \text{ kN}$$

$$P_U \text{ KOLOM DESAIN} = 6742,287 \text{ kN}$$

Sehingga didapatkan nilai – nilai  $M_c$  kolom bawah dan kolom desain yaitu:

$$M_c \text{ kolom desain} = 1107,4 \text{ kN-m}$$

$$M_c \text{ kolom atas} = 1190,9 \text{ kN-m}$$

$$\sum M_c = M_{C\_bawah} + M_{C\_atas}$$

$$\sum M_c = 1107,4 + 1190,9 = 2298,3 \text{ kN-m}$$

Jadi dilakukan cek syarat *Strong Column Weak Beam*

$$\sum M_c \geq 1,2 \cdot \sum M_g$$

$$2298,3 \text{ kN-m} > 2005 \text{ kN-m (OK)}$$

### 7.3.5 Kebutuhan Tulangan Transversal sebagai Confinement

a. Spasi maksimum *hoop*

Berdasarkan Pasal 21.6.4.3 SNI 2847 – 2013, bahwa spasi maksimum sengkang tertutup (*hoops*) merupakan yang terkecil dari:

- $\frac{1}{4} b_{KOLOM} = \frac{1}{4} \cdot 700 \text{ mm} = 175 \text{ mm}$
- $6 \times db = 6 \cdot 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- Nilai  $s_0$ , dimana :

$$s_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot h_x}{3}$$

$$h_x = (700 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 25) \text{ mm} / 3$$

$$h_x = 181,3 \text{ mm}$$

$$s_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot 181,3}{3} = 156,2 \text{ mm}$$

Dipakai,  $s_0 = 150 \text{ mm}$

Maka, spasi yang digunakan yaitu 150 mm

b. Luas tulangan *confinement*

Berdasarkan Pasal 21.6.4.4 SNI 2847 – 2013, luas penampang *hoops* tidak boleh kurang dari salah satu yang tebesar diantara:

$$A_{sh1} = 0,3 \cdot \left( \frac{s \cdot b_c \cdot f_{c'}}{f_{yt}} \right) \cdot \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \text{ dan,}$$

$$A_{sh2} = \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f_{c'}}{f_{yt}}$$

dimana,

$$\begin{aligned} b_c &= \text{lebar penampang inti beton (yang terkekang)} \\ &= 700 - 2 \cdot (40 + \frac{1}{2} \cdot 13) = 613,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= \text{luas penampang inti beton} \\ &= (700 - 2 \cdot 40) \cdot (700 - 2 \cdot 40) = 384400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \text{luas penampang beton} \\ &= 700 \cdot 700 = 490000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$A_{sh1} = 0,3 \cdot \left( \frac{150 \cdot 613,5 \cdot 35}{390} \right) \cdot \left( \frac{490000}{384400} - 1 \right)$$

$$A_{sh1} = 6,81 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = \frac{0,09 \cdot 150 \cdot 700 \cdot 35}{390} = 7,43 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi dipakai  $A_{sh}/s = 7,43 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\text{Maka } A_{sh} = 7,43 \text{ mm}^2 / \text{mm} \cdot 100 \text{ mm} = 743,28 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan 4 kaki D16,  $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$

$A_s > A_{sh}$  (**OK**)

c. Pemasangan tulangan *Confinement*

Berdasarkan Pasal 21.6.4.3 SNI 2847 – 2013, pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoops*) diperlukan sepanjang  $\ell_0$  dari ujung – ujung kolom dengan  $\ell_0$  merupakan nilai terbesar:

- Tinggi komponen struktur pada muka joint,  $h = 850 \text{ mm}$
  - 1/6 bentang bersih komponen struktur beton
- $$\frac{1}{6} \cdot \ell_n = \frac{1}{6} \cdot (3300 \text{ mm} - 700 \text{ mm}) = 433,33 \text{ mm}$$
- 450 mm

Maka dipakai  $\ell_0 = 850 \text{ mm}$

Berdasarkan Pasal 21.6.4.5 SNI 2847 – 2013, sepanjang sisa tinggi kolom bersih diberi *hoops* dengan spasi yang terbesar dari :

- 150 mm
- $6 \cdot db = 6 \cdot 25 = 150 \text{ mm}$

Sehingga dipakai 150 mm disepanjang sisi tinggi kolom bersih.

### 7.3.6 Kebutuhan Tulangan Geser

a. Gaya geser desain

Berdasarkan Pasal 21.6.5.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser desain tidak perlu lebih besar dari  $V_{sway}$  dan  $V_U$  dari hasil analisis struktur.

$$V_{sway} = \frac{M_{pr\_top} \cdot DF_{top} + M_{pr\_bot} \cdot DF_{bot}}{\ell_n}$$

dimana,

DF = Faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah kolom yang didesain

Karena kolom di lantai atas dan lantai bawah mempunyai kekakuan yang sama maka, DF atas = DF bawah = 0,5

$M_{pr}$  = Probable Moment Capacities dari balok

Untuk  $M_{pr}$  top dan  $M_{pr}$  bottom adalah penjumlahan  $M_{pr}$  untuk masing-masing balok di lantai atas dan dilantai bawah di muka kolom interior.

$$M_{pr\_top} = 6961043 + 492212 = 11253161 \text{ kgm}$$

$$M_{pr\_bottom} = 6961043 + 492212 = 11253161 \text{ kgm}$$

$$V_{sway} = \frac{M_{pr\_top} \cdot DF_{top} + M_{pr\_bot} \cdot DF_{bot}}{\ell n}$$

$$V_{sway} = \frac{11253161 \cdot 0,568 + 11253161 \cdot 0,432}{2,5m} = 45012,64 \text{ kg}$$

Untuk  $V_U$  hasil dari analisis struktur didapatkan dari *output* program bantu SAP2000.

$$V_U = 231,91 \text{ kN} = 23191 \text{ kg}$$

Karena  $V_{sway} > V_U$ , maka dipakai  $V_e = 45012,64 \text{ kg}$

b. Pengecekan kontribusi beton dalam menahan gaya geser ( $V_C$ )

Berdasarkan Pasal 21.6.5.2 SNI 2847 – 2013 kontribusi beton dapat diabaikan dalam menahan gaya geser apabila:

- $V_e > \frac{1}{2} V_U$

$$43150,7 \text{ kg} > \frac{23191 \text{ kg}}{2}$$

$$43150,7 \text{ kg} > 11595,35 \text{ kg} (\text{OK})$$

- $P_U < \frac{A_g \cdot f'_c}{20}$

$$P_U = 674228,7 \text{ N}$$

$$\frac{A_g \cdot f'_c}{20} = \frac{700 \cdot 700 \cdot 35}{20}$$

$$\text{Maka, } P_U > \frac{Ag \cdot fc'}{20} \text{ (NO OK)}$$

Sehingga karena salah satu syarat tidak terpenuhi, maka nilai  $V_C$  dihitung

c. Kebutuhan tulangan geser

Karena  $V_C$  dihitung, maka

$$V_C = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

dimana,

$$\begin{aligned} d &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 25 \text{ mm}/2 \\ &= 631,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_C = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 700 \cdot 631,5 = 194293,9 \text{ N}$$

Pengecekan apakah dibutuhkan tulangan geser :

$$\frac{Vu}{\phi} = \frac{45012,64 \text{ kg}}{0,75} = 48855,63 \text{ kg} = 488556,3 \text{ N}$$

$$\frac{V_C}{2} = \frac{194293,9 \text{ N}}{2} = 97146,95 \text{ N}$$

$$\frac{Vu}{\phi} > \frac{V_C}{2}, \text{ perlu tulangan geser}$$

Pengecekan apakah dibutuhkan tulangan geser minimum:

$$\frac{Vu}{\phi} = \frac{45012,64 \text{ kg}}{0,75} = 48855,63 \text{ kg} = 488556,3 \text{ N}$$

$$V_C + \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d = 194293,9 \text{ N} + \frac{700 \text{ mm} \cdot 631,5 \text{ mm}}{3}$$

$$V_C + \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d = 341643,9 \text{ N}$$

$$\frac{Vu}{\phi} < V_C + \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d, \text{ hanya perlu tulangan geser minimum.}$$

Karena sebelum nya telah dipasang tulangan confinement 5kaki D16 jarak 100mm, maka,

$$A_{V-MIN} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} = \frac{700 \cdot 100}{3 \cdot 390} = 59,83 \text{ mm}^2$$

Dan  $A_{V-PAKAI} = 530,93 \text{ mm}^2 > 62,5 \text{ mm}^2 (\text{OK})$

d. Kebutuhan tulangan geser di luar  $\ell_0$

Berdasarkan Pasal 11.2.1.2 SNI 2847 – 2013 memberikan harga  $V_c$  bila ada gaya aksial yang bekerja, yakni

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

Dari hasil analisis SAP2000, didapatkan gaya aksial terkecil dari semua kombinasi pembebanan, yaitu:

$$N_u = 2018257 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{2018257}{14 \cdot 750 \cdot 750} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 700 \cdot 631,5$$

$V_c = 648644 \text{ N} > \frac{V_u}{\phi}$ , maka tulangan sengkang tidak

dibutuhkan untuk geser pada bentang tersebut, tetapi hanya untuk *confinement*.

### 7.3.7 Kebutuhan Sambungan Lewatan

Karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama, maka sambungan lewatan yang digunakan tergolong kelas B. Untuk sambungan kelas B panjang minimum sambungan lewatannya adalah  $1,3 \cdot \ell_d$ . Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2 dimana:

$$\ell_d = \left( \frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) \cdot d_b$$

dimana,  $d_b = 25 \text{ mm}$        $\psi_t = 1,3$

$$\psi_e = 1,0 \quad \lambda = 1,0$$

$$\ell_d = \left( \frac{390 \cdot 1,3 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \right) \cdot 25 = 1260,27 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$$

Jadi digunakan sambungan lewatan sepanjang 1300 mm

#### 7.4 Desain Hubungan Balok-Kolom (HBK)

##### a. Cek syarat panjang joint

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.2.3)

$$b = h = 700 \text{ mm}$$

$$20 \cdot db = 20 \cdot 25 \text{ mm} = 500 \text{ mm} < 750 \text{ mm (OK!)}$$

##### b. Tentukan luas efektif joint, $A_j$

$A_j$  merupakan perkalian tinggi joint dengan lebar joint efektif berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.4.1

Lebar balok,  $b = 500 \text{ mm}$

Tinggi kolom,  $h = 700 \text{ mm}$

$$x = (700\text{mm}-500\text{mm})/2 = 100 \text{ mm}$$

Tinggi joint = tinggi keseluruhan kolom,  $h = 700 \text{ mm}$

Lebar joint efektif merupakan nilai yang terkecil dari:

- $b + h = 500 \text{ mm} + 700 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$

- $b + 2x = 500 + 2 \cdot 100 \text{ mm} = 700 \text{ mm}$

Maka  $A_j = \text{tinggi joint} \times \text{lebar efektif joint}$

$$A_j = 700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} = 490.000 \text{ mm}^2$$

##### c. Hitung tulangan transversal untuk *confinement*

Untuk joint interior, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.3.2, spasi vertikal tulangan *confinement* dizinkan untuk diperbesar hingga 150 mm.

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ jo int} = 0,5 \cdot \frac{A_{sh}}{s} \text{ kolom} = 0,5 \cdot \frac{743,3 \text{ mm}^2}{156,2 \text{ mm}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 2,38 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh} = 2,38 \text{ mm}^2 / \text{mm} \cdot s = 2,38 \text{ mm}^2 / m \cdot 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 356,8 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 3 kaki D16 = 402,12 mm<sup>2</sup>

d. Hitung gaya geser pada joint

- Hitung  $M_e$

Balok yang memasuki joint, memiliki:

$$M_{pr^+} = 696,104 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr^-} = 562,583 \text{ kN.m}$$

Karena kekakuan antara kolom atas dengan bawah sama, maka nilai DF adalah sama yakni  $DF = 0,5$ . Sehingga:

$$M_e = 0,5 \times (696,104 \text{ kN.m} + 562,583 \text{ kN.m}) = 630,34 \text{ kN.m}$$

- Hitung geser pada kolom atas

$$V_{sway} = \frac{M_e + M_e}{\ell_u} = \frac{630,34 \text{ kN.m} + 630,34 \text{ kN.m}}{3,45 \text{ m}}$$

$$V_{sway} = 504,37 \text{ kN}$$

- Menghitung gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri

Jika terdapat 5D25 =  $A_s = 2454,37 \text{ mm}^2$

$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 2454,37 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 1196505,01 \text{ N} = 1197 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri

$$C_1 = T_1 = 1197 \text{ kN}$$

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri

Jika terdapat 5D25 =  $A_s = 2454,37 \text{ mm}^2$

$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 2454,37 \text{ mm}^2 \cdot 390 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 1196505,01 \text{ N} = 1197 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan

$$C_2 = T_2 = 1197 \text{ kN}$$

- Menghitung gaya geser pada joint

$$V_J = V_{sway} - T_1 - C_2$$

$$V_J = 504,27 \text{ kN} - 1197 \text{ kN} - 1197 \text{ kN} = -1888,74 \text{ kN}$$

e. Cek kuat geser joint

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.4.1, untuk kuat geser joint yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$V_n = 1,7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_J = 1,7 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 490000 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 4928094,5 \text{ N} = 4928,09 \text{ kN} > 1888,74 \text{ kN} (\text{OK!})$$

## **BAB VIII**

### **PERHITUNGAN BALOK PRATEKAN**

Beton prategang yang direncanakan menggunakan sistem pascatarik atau *Post-tension*. Yang mana gaya prategang diberikan setelah beton mengeras, kemudian dilakukan pengangkuran dikedua ujung balok.

#### **8.1 Data Perencanaan**

Berikut ini adalah data-data perencanaan beton prategang pada lantai 6 :

Panjang Bentang	: 20 m
Dimensi Balok Prategang	: 60/80 cm
Mutu Beton Prategang ( $f'c$ )	: 35 Mpa
Mutu Beton Pelat ( $f'c$ )	: 35 Mpa
Tebal Pelat ( $tf$ )	: 12 cm

Jarak antar Balok Prategang (s) : 6 m

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu *curing* 14 hari. Sehingga nilai  $fci$  dihitung sebagai berikut:

$fci = 0,88 \times 35 = 30,8$  Mpa (koefisien tabel konversi kekuatan beton berdasarkan Tabel 4.1.4 PBI 1971).

#### **8.2 Penentuan Tegangan Ijin Beton**

Komponen struktur lentur prategang diklasifikasikan sebagai kelas *Uncracked* atau kelas U. Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut:

A. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan), tegangan serat-serat terluar menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.4.1 :

- Tegangan tekan :

$$\sigma_{tk} = 0,60 \times fci = 0,60 \times 30,8 = 18,5 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik :

$$\sigma_{tr} = 0,25 \times \sqrt{fci} = 0,25 \times \sqrt{30,8} = 1,39 \text{ MPa}$$

- Tegangan tekan pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana:

$$\sigma_{tk} = 0,70 \times f_{ci} = 0,70 \times 30,8 = 22 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana

$$\sigma_{tr} = 0,50 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,50 \times \sqrt{30,8} = 2,77 \text{ MPa}$$

B. Segera setelah setelah terjadi kehilangan gaya prategang (saat beban bekerja), tegangan serat-serat terluar sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.2 :

- Tegangan tekan :  $\sigma_{tk} = 0,6 f_c = 0,60 \times f_c$   
 $= 0,60 \times 35 = 21 \text{ MPa}$

- Tegangan tarik :  $\sigma_{tr} = 0,62 \sqrt{f_c}$   
 $= 0,62 \times \sqrt{35} = 0,62 \times \sqrt{35} = 3,67 \text{ MPa}$

### 8.3 Perhitungan Momen

Momen-momen :

Akibat berat sendiri balok (SAP 2000) :

$$M_D \text{ Tumpuan} = 405,077 \text{ kNm}$$

$$M_D \text{ Lapangan} = 187,501 \text{ kNm}$$

Akibat berat sendiri dan berat tambahan (SAP 2000) :

$$M_{SD} \text{ Tumpuan} = 544,14 \text{ kNm}$$

$$M_{SD} \text{ Lapangan} = 250,38 \text{ kNm}$$

Akibat beban mati dan beban hidup (SAP 2000) :

$$M_T \text{ Tumpuan} = 950,87 \text{ kNm}$$

$$M_T \text{ Lapangan} = 436,91 \text{ kNm}$$

### 8.4 Daerah Limit Kabel dan Gaya Pratekan Awal

A. Analisa Penampang Global

Dikarenakan penampang balok prategang merupakan balok *precast* yang terpisah dengan pelat, maka pada kondisi transfer dan beban layan menggunakan dimensi penampang yang berbeda.

### 1. Penampang Sebelum Komposit

$$A_{\text{balok}} = b \times h = 60 \times 80 = 4800 \text{ cm}^2 \\ = 480000 \text{ mm}^2$$

$$Y_t = h/2 = 800 / 2 = 400 \text{ mm}$$

$$Y_b = cgc = h - Y_t = 800 - 400 = 400 \text{ mm}$$

$$I = 1/12 bh^3 = 1/12 \times 600 \times 800^3 \\ = 25600000000 \text{ mm}^4$$

$$W_t = I / Y_t = 25600000000 / 400 \\ = 640000000 \text{ mm}^3$$

$$W_b = I / Y_b = 25600000000 / 400 \\ = 640000000 \text{ mm}^3$$

$$K_t = W_b / A = 640000000 / 480000 \\ = 133,3 \text{ mm}$$

$$K_b = W_t / A = 640000000 / 480000 \\ = 133,3 \text{ mm}$$

### 2. Penampang Komposit

Menentukan lebar efektif sayap balok :

Dalam mencari lebar efektif ( $b_{eff}$ ), digunakan beberapa perumusan yang terdapat dalam SNI 2847:2013 Pasal 8.12.2.

$$b_{e1} = \frac{1}{4} \times L_x = \frac{1}{4} \times 20000 = 5000 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 2(8t) = 600 + 2(8 \times 120) = 2520 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = bw + \frac{1}{2}(s) = 600 + \frac{1}{2} \times (7000) = 3000 \text{ mm}$$

Sehingga nilai  $b_{eff}$  yang dipakai ialah 2520 mm.

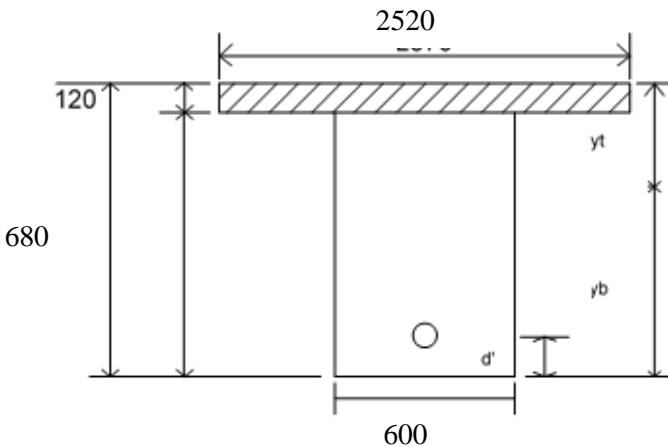
Sesuai SNI 2847-2013 Pasal. 8.5.1, maka nilai modulus elastisitas beton untuk masing – masing pelat dan balok adalah sebagai berikut :

$$E_c \text{ pelat} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,575 \text{ MPa}$$

$$E_c \text{ pelat} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,575 \text{ MPa}$$

sehingga, b efektif setelah komposit :

$$b_{eff} = \frac{E_c \text{ balok}}{E_c \text{ pelat}} \times b_e = \frac{27805,575}{27805,575} \times 2520 = 2520 \text{ mm}$$



Gambar 7. 16.Penampang Komposit Balok Pratekan

Dari hasil perhitungan manual, diperoleh nilai-nilai untuk :

$$A_{pelat} = 120 \times 2520 = 3024 \text{ cm}^2$$

$$A_{balok} = 600 \times 680 = 4080 \text{ cm}^2$$

$$A_{total} = 3024 + 4080 = 7104 \text{ cm}^2$$

$$y_t = \frac{[(302400 \times 60) + (408000 \times 940)]}{710400} = 289,7 \text{ mm}$$

$$y_b = 80 - 28,97 = 51,03 \text{ cm}$$

$$I_c = 4387258,811 \text{ cm}^4$$

$$W_t = \frac{I_c}{y_t} = \frac{4387258,811}{28,97} = 151425,9 \text{ cm}^3$$

$$W_b = \frac{I_c}{y_b} = \frac{4387258,811}{51,03} = 85979,12 \text{ cm}^3$$

$$K_t = \frac{W_b}{A_{total}} = \frac{85979,12}{7104} = 12,10 \text{ cm}$$

$$K_b = \frac{W_t}{A_{total}} = \frac{151425,9}{7104} = 21,32 \text{ cm}$$

Keterangan :

$K_T$  = Kern Atas

$K_B$  = Kern Bawah

## 8.5 Analisa Gaya Pratekan

Preliminary gaya pratekan dilakukan dengan merencanakan tendon tunggal sepanjang balok dan merencanakan eksentrisitas untuk kemudian menghasilkan nilai gaya pratekan ( $F$ ).

Analisa dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi sesaat setelah penyaluran gaya pratekan dan kondisi beban layan. Kedua kondisi tersebut dilakukan dengan asumsi bahwa struktur balok adalah simple beam. Kemudian nilai  $F$  didapat dari kondisi bata berupa tegangan ijin beton yang telah dihitung sebelumnya.

Nilai  $e$  rencana sebesar :

$$Y_{bot} - d' = 51,03 \text{ cm} - 15\text{cm} = 36,03 \text{ cm}$$

1. 1. Gaya prategang sesaat setelah penyaluran (sebelum komposit).

Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok sehingga momen yang digunakan adalah momen balok,  $M_{balok}$ .

a. Serat Atas

$$\sigma_t \geq \frac{F}{A} - \frac{F \times e}{W_t} + \frac{M_D}{W_t}$$

$$1,39 \leq \frac{F}{480000} - \frac{F \times 360,3}{64000000} + \frac{187501000}{64000000}$$

$$F = 434942,9 \text{ N.}$$

b. Serat Bawah

$$\sigma_b \geq \frac{F}{A} + \frac{F \times e}{W_b} - \frac{M_D}{W_b}$$

$$18,5 \geq \frac{F}{480000} - \frac{F \times 360,3}{64000000} + \frac{187501000}{64000000}$$

$$F = 2775954,201$$

Kontrol gaya F pada kondisi sesaat setelah penyaluran

$$F=434942,9 \text{ N.}$$

$$\sigma_t = 1,387 < 1,39 \text{ (OK!)}$$

$$\sigma_b = 0,425 < 18,5 \text{ (OK!)}$$

$$F= 2775954,201 \text{ N.}$$

$$\sigma_t = -6,914 > 1,39 \text{ (OK!)}$$

$$\sigma_b = 18,48 < 18,5 \text{ (OK!)}$$

2. Gaya pratekan saat beban layan (setelah komposit)

Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok, plat, beban mati tambahan serta beban hidup.

Sehingga momen yang digunakan adalah momen total dari balok, Mtotal.

a. Serat Atas

$$\sigma_t \geq \frac{F}{A} - \frac{F \times e}{W_t} + \frac{M_T}{W_t}$$

$$1,39 \geq \frac{F}{480000} - \frac{F \times 360,3}{151425910} + \frac{436910000}{151425910}$$

$$F = 1541759,56 \text{ N}$$

b. Serat Bawah

$$\sigma_t \geq \frac{F}{A} - \frac{F \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

$$18,5 \geq \frac{F}{480000} - \frac{F \times 360,3}{85979119} + \frac{436910000}{85979119}$$

$$F = 3755707,7 \text{ N.}$$

Kontrol gaya F pada kondisi sesaat setelah penyaluran

$F = 1541759,56 \text{ N.}$

$\sigma_t = 1,387 < 1,39$  (OK!)

$\sigma_b = 3,995 < 18,5$  (OK!)

$F = 3755707,7 \text{ N.}$

$\sigma_t = 7,824 > 1,39$  (NO OK!)

$\sigma_b = 13,87 < 18,5$  (OK!)

Sehingga dari dua kondisi diatas diperoleh gaya pratekan sebesar 1541759,56 N.

Desain pendahuluan dilakukan untuk mengetahui batasan dari nilai gaya prategang yang hendak digunakan. Desain ini dihitung

sesuai desain pendahuluan (*Lin and Burn 1996 subbab 6-1*). Analisa dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi sesaat setelah penyaluran gaya prategang dan kondisi beban layan.

Diambil  $F_0 = 1541,76 \text{ kN}$

$$F_{\text{eff}} = 1233,41 \text{ kN} (\text{asumsi } 80\% F_o)$$

Daerah limit kabel selain dibatasi oleh kern pada balok juga dibatasi oleh nilai  $a_{\min}$  dan  $a_{\max}$  yang didapat dari perhitungan berikut:

$$a_{\max} = \frac{M_T}{F_{\text{eff}}} = \frac{436,91}{1233,41} = 0,354 \text{ m} = 35,42 \text{ cm}$$

$$d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}})$$

$$= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 25 \text{ mm}) = 62,5 \text{ mm}$$

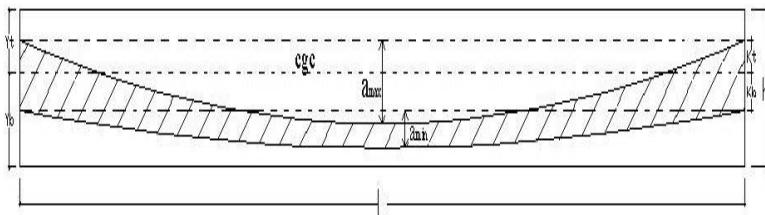
Syarat :

$$a_{\max} \leq (y_b + k_t - d') = (61,5 + 16,13 - 6,25) = 55,78 \text{ cm}$$

$35,4223 < 56,88 \dots\dots\dots\dots\dots$ (Oke)

$$a_{\min} = \frac{M_D}{F_o} = \frac{187,5}{1541,76} = 0,12 \text{ m} = 12,16 \text{ cm}$$

Nilai perhitungan analisa diatas dapat dilihat pada gambar dibawah ini mengenai batasan daerah dimana letak kabel dapat atau boleh ditempatkan



Gambar 7. 17 Daerah Limit Kabel

Pemilihan letak tendon harus berada pada range daerah limit kabel sesuai gambar skema di atas, selain itu pemilihan letak

tendon juga harus memperhatikan tebal *decking* yang disyaratkan oleh SNI yaitu minimal 4 cm sehingga untuk daerah lapangan:

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

dimana selisih syarat didapat dengan nilai:

$a_{\min} - (\text{syarat } a_{\min})$  dengan ( $\text{syarat } a_{\min}$ ) sebesar  $(y_b - K_b - d')$  agar terpenuhi syarat minimum decking sebesar 4 cm, jadi

$$\text{selisih syarat : } 15,5 - (61,5 - 25,8 - 6,25) = -11,3 \text{ cm}$$

sehingga,

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$35,42 - 12,1 < e_o \text{ lapangan} < 21,3 + 12,2 - (-11,3)$$

$$23,32 \text{ cm} < 30 \text{ cm} < 44,78 \text{ cm}$$

$$e_o \text{ tumpuan} < K_t = 12,1 \text{ cm}$$

$$e_o \text{ lapangan} = 360 \text{ mm (terletak di bawah cgc)}$$

$$e_o \text{ tumpuan} = 100 \text{ mm (atas cgc)}$$

## 8.6 Penentuan Strand dan Tendon yang Digunakan

Dari gaya prategang yang telah ditentukan sesuai dengan tegangan ijin maka penentuan jumlah kabel *strand* dan tendon dapat dilakukan. Penggunaan kabel strand untuk sistem prategang diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 18.5 tentang tegangan ijin untuk baja prategang dimana tegangan tarik pada saat penarikan (*jacking*) tidak boleh melebihi 0,94 fpy atau 0,80 fpu serta untuk baja prategang pasca tarik pada saat setelah transfer gaya tidak boleh melebihi 0,70 fpu.

Data kabel strand yang direncanakan sebagai baja prategang diperoleh dari tabel VSL (tabel terlampir) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe Strand : ASTM A 416-06 Grade 270

Diameter : 12.7 mm

Luas Penampang : 100,1 mm<sup>2</sup>

Kuat Tarik (fpu) : 1860 Mpa

Kuat Leleh (fpy) : 1675 Mpa

Tegangan ijin baja prategang

$$0,94 fpy = 0,94 \times 1675 = 1574,5 \text{ Mpa}$$

$$0,80 fpu = 0,80 \times 1860 = 1488 \text{ Mpa}$$

$$0,70 fpu = 0,70 \times 1860 = 1302 \text{ Mpa}$$

Diambil nilai terkecil, yaitu 1302 Mpa.

Dengan nilai tegangan ijin baja prategang serta gaya prategang yang didapat, maka dapat ditentukan jumlah kabel strand yang dibutuhkan.

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} = \frac{1541759,56}{1302,7} = 1183,51 \text{ mm}^2$$

Jumlah Strand :

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1183,51}{98,71} = 12 = 12 \text{ buah}$$

Dari data kabel *strand* yang diperoleh maka direncanakan balok prategang menggunakan 1 buah tendon. Adapun spesifikasi tendon sesuai dengan tabel VSL adalah sebagai berikut :

Tipe Tendon : Tendon Unit 5-27

Jumlah Strand : 12 buah

Minimum Breaking Load : 2204 kN

Luas tendon yang digunakan :  $98,71 \text{ mm}^2 \times 12 \text{ buah}$   
:  $1184,52 \text{ mm}^2$

Kontrol tegangan tendon terpasang

$$\frac{F}{A_p} < 0,70 fpu \rightarrow \frac{1541759,6}{1184,5} < 0,70 \times 1860$$

1301,6 MPa < 1302,7 MPa (OK)

## 8.7 Kontrol gaya akibat stressing dengan Momen Nominal

### 8.7.1 Kontrol Plat Lantai

Plat lantai tipe 1 di dekat balok pratekan.

Diketahui:

$$F_c = 35 \text{ MPa}$$

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

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d_{use} = 95 \text{ mm}$$

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

As tulangan = 602,14 mm<sup>2</sup> dengan tulangan D10-150mm.

Mu saat kombinasi 1D+1L+1P dengan Live yang bekerja adalah beban pelaksanaan saat jacking = 14,503 kNm.

$$\begin{aligned} \text{Menghitung } a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{602,14 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 1000} = 8,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menghitung } M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\ &= 602,14 \cdot 400 \cdot (95 - \frac{8,1}{2}) \\ &= 21906286 \text{ Nmm} \\ &= 21,91 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menghitung } M_u &= 0,9 M_n \\ &= 0,9 \cdot 21,91 \text{ kNm} \\ &= 19,72 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol Mu dari As dengan Mu akibat kombinasi:

Mu 19,72 kNm > 14,503 kNm (OK!)

Jadi jika Mu dari tulangan (As) melebihi dari Mu akibat kombinasi beban stressing maka plat tidak mengalami retak.

### 8.7.2 Kontrol Balok Anak

Balok anak disekitar balok pratekan.

Diketahui:

$$F_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 F_y &= 390 \text{ Mpa} \\
 b &= 350 \text{ mm} \\
 h &= 500 \text{ mm} \\
 d_{\text{use}} &= 442 \text{ mm} \\
 \text{Tebal plat} &= 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

As tumpuan = 804,25 mm<sup>2</sup> dengan tulangan 4D16.

As lapangan = 603,19 mm<sup>2</sup> dengan tulangan 3D16

Mu saat kombinasi 1D+1L+1P dengan Live yang bekerja adalah beban pelaksanaan saat jacking = 68,034 kNm.

$$\begin{aligned}
 \text{Menghitung } a &= \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\
 &= \frac{804,25 \cdot 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 350} = 30,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Menghitung } Mn &= As \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 &= 804,25 \cdot 390 \cdot (442 - \frac{30,1}{2}) \\
 &= 133912070 \text{ Nmm} \\
 &= 134 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Menghitung } Mu &= 0,9 \cdot Mn \\
 &= 0,9 \cdot 134 \text{ kNm} \\
 &= 120,52 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Mu dari As dengan Mu akibat kombinasi:

Mu 120,52 kNm > 68,034 kNm (OK!)

Jadi jika Mu dari tulangan (As) melebihi dari Mu akibat kombinasi beban stressing maka plat tidak mengalami retak.

### 8.7.3 Kontrol Balok Induk

Balok induk disekitar balok pratekan.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 F_c &= 35 \text{ Mpa} \\
 F_y &= 390 \text{ Mpa} \\
 b &= 500 \text{ mm} \\
 h &= 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$d_{use} = 634,5 \text{ mm}$$

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

As tumpuan =  $2454,37 \text{ mm}^2$  dengan tulangan 5D25.

As lapangan =  $1472,62 \text{ mm}^2$  dengan tulangan 3D25.

Mu saat kombinasi 1D+1L+1P dengan Live yang bekerja adalah beban pelaksanaan saat jacking = 323 kNm.

$$\begin{aligned} \text{Menghitung } a &= \frac{As.fy}{0,85.fc.b} \\ &= \frac{2454,37 \cdot 390}{0,85 \cdot 35.500} = 64,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Menghitung } Mn = As.fy.(d-a/2)$$

$$\begin{aligned} &= 2454,37 \cdot 390 \cdot (635 - \frac{64,3}{2}) \\ &= 576547978 \text{ Nmm} \\ &= 577 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Menghitung } Mu = 0,9 Mn$$

$$\begin{aligned} &= 0,9 \cdot 577 \text{ kNm} \\ &= 518,89 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol Mu dari As dengan Mu akibat kombinasi:

$$Mu 518,89 \text{ kNm} > 323 \text{ kNm (OK!)}$$

Jadi jika Mu dari tulangan (As) melebihi dari Mu akibat kombinasi beban stressing maka plat tidak mengalami retak.

## 8.8 Kehilangan Gaya Pratekan

Kehilangan gaya pratekan adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat *stressing*. Dimana kehilangan gaya prategang yang terjadi sesuai dengan tahapan-tahapan kondisi beban kerja. Kehilangan gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

### 1. Kehilangan Langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada pada

komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

### A. Kehilangan akibat perpendekan elastis beton

Akibat gaya *jacking* yang terjadi pada tendon prategang maka beton akan memgalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya tekan), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada metode pasca tarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan. Sehingga kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis tidak perlu diperhitungkan. Maka,

$$\Delta f_{pES} = 0$$

### B. Kehilangan Akibat Gesekan (Wobble Effect)

Perhitungan kehilangan prategang diakibatkan oleh gesekan antara material beton dan baja prategang saat proses pemberian gaya prategang. Pada saat tendon ditarik dengan gaya  $F_o$  diujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak panjang bentang. Kehilangan prategang akibat gesekan (*wobble effect*) dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$\Delta f_{pF} = f_1 - f_2 = f_1(1 - e^{-(\mu\alpha+KL)})$$

Dimana

$\Delta f_{pF}$  = gaya prategang setelah terjadi kehilangan akibat gesekan

L = panjang balok prategang 21 meter

$\alpha$  = sudut kelengkungan tendon

$$= 8e/L = 8 \times 0,36/20$$

$$= 0,1441 \text{ rad}$$

- $\mu$  = koefisien kelengkungan 0,15  
 $K$  = koefisien woble 0,0016/m

Sehingga nilai  $\Delta f_{pF}$  adalah sebagai berikut :

$$f_1 = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{1563016,1}{1199,82} = 1302,7 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pF} = 1302,7 \times \left(1 - e^{-((0,15 \times 0,1441) + (0,0016 \times 20))}\right)$$

$$\Delta f_{pF} = 68,01 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat gesekan adalah :

$$\% = \frac{68,01}{1302,7} \times 100 = 5,22\%$$

### C. Kehilangan akibat pengangkuran

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang teralihkan ke angkur. Pada metode pascatarik 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.

Besarnya nilai kehilangan prategang akibat slip angkur diasumsikan sebesar 2,5 mm (Lin dan Burns 2000).

$$\Delta_a = 2,5 \text{ mm}$$

$$L = 20 \text{ m} = 20000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\Delta f_{pA} = \frac{2,5}{20000} \times 200000 = 25 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat pengangkuran adalah :

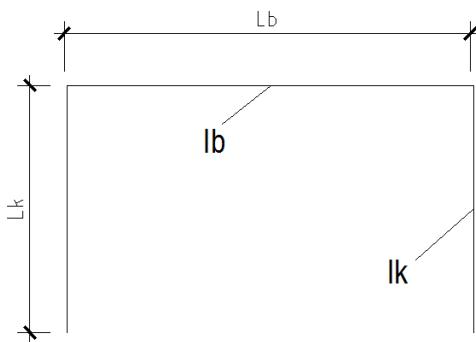
$$\% = \frac{2500}{1266,46} \times 100 = 1,92 \%$$

#### D. Kehilangan akibat kekangan kolom

Konstruksi beton prategang dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan *jacking* beton terkekang oleh kekuatan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya *jacking* yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya prategang akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut :

- Perhitungan distribusi momen akibat beban perpendekan elastis



Gambar 7. 18. Portal Dengan Balok Pratekan

$$k = \frac{K_b}{K_k} = \frac{l_k \times I_b}{l_b \times I_k}$$

Dimana :

$l_k$  = tinggi kolom (5200 mm)

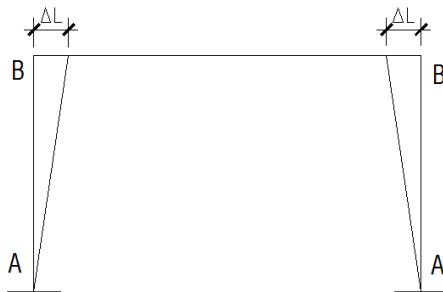
$l_b$  = bentang balok prategang (20000 mm)

$I_b$  = momen inersia dari balok ( $87375377471 \text{ mm}^4$ )

$I_k$  = momen inersia dari kolom ( $20008333333 \text{ mm}^4$ )

$$k = \frac{K_b}{K_k} = \frac{5200 \times 87375377471}{20000 \times 34133330000} = 1,1353$$

- Perhitungan momen akibat perpendekan kolom



Gambar 7. 19.Perpendekan Kolom

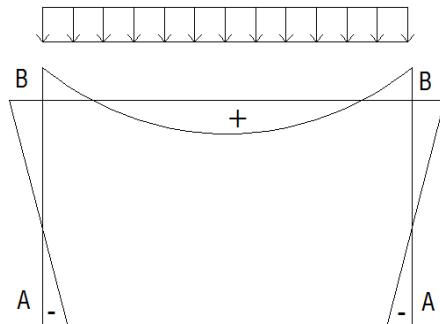
$\varepsilon_{BB} = \Delta l / l$  yang diakibatkan perpendekan, susut dan rangak.

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3 \times (k+1)}{k \times (k+2)} \times \frac{Ec \times I_b}{l_k} \times \varepsilon_{BB} = \\ &= \frac{3 \times (0,570+1)}{0,570 \times (0,570+2)} \times \frac{27805,57 \times 43872588108}{5200} \times 0,000079 \\ &= 59675206,94 \text{ Nmm} = 59,67 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{3}{(k+2)} \times \frac{Ec \times I_b}{l_k} \times \varepsilon_{BB} \\ &= \frac{3}{(0,570+2)} \times \frac{27805,57 \times 43872588108}{5200} \times 0,000079 \\ &= 21668089,53 \text{ Nmm} = 21,67 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan distribusi momen akibat beban merata

24,43 kN/m



Gambar 7. 20.Momen yang Bekerja Akibat Beban Merata

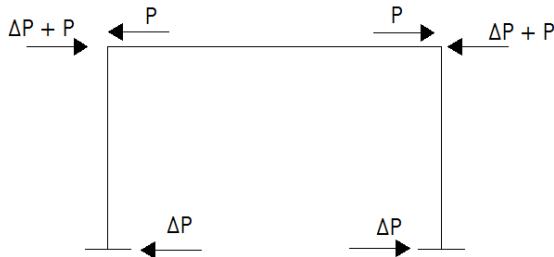
$$M_A = \frac{1}{(k+2)} \times \frac{W \times l_b^2}{12} = \frac{1}{(0,570+2)} \times \frac{24,43 \times 20000^2}{12}$$

$$= 316848138 \text{ Nmm} = 316,85 \text{ kNm}$$

$$M_B = \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{W \times l_b^2}{12} = \frac{-2}{(0,570+2)} \times \frac{24,43 \times 20000^2}{12}$$

$$= -6336962772 \text{ Nmm} = -633,7 \text{ kNm}$$

- Perhitungan distribusi momen akibat eksentrisitas



Gambar 7. 21.Keseimbangan Gaya Prategang dengan Reaksi Perletakan

$$M_p = F_o \times e$$

$$M_p = 1563 \times 0,36 = 563,108 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{1}{(k+2)} \times M_p = \frac{1}{(0,570+2)} \times 563,11 \\ &= 219,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= -2 \times M_A = -2 \times 219,1 \\ &= -438,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan kehilangan prategang total akibat kekangan kolom

- Akibat perpendekan kolom

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b} = \frac{38,007}{20} = 1,9 \text{ kN}$$

- Akibat beban merata

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b} = \frac{950,54}{20} = 47,53 \text{ kN}$$

- Akibat eksentrisitas

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b} = \frac{657,3}{20} = 32,86 \text{ kN}$$

$$\text{Total } \Delta P = 82,29 \text{ kN}$$

$$\Delta f_{pR} = \frac{82292,46}{1283,23} = 64,13 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat kekangan kolom adalah :

$$\% = \frac{29,5}{1302,7} \times 100 = 0,02 \%$$

Total Kehilangan akibat proses kehilangan langsung :

$$\begin{aligned}\Delta f_H &= \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR} \\ &= 0 \text{ MPa} + 68,01 \text{ MPa} + 25 \text{ MPa} + 64,13 \text{ MPa} \\ &= 157,14 \text{ MPa}\end{aligned}$$

## 2. Kehilangan Tidak Langsung

Kehilangan tidak langsung adalah hilangnya gaya awal prategang yang terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya prategang). Tahap pertama dihitung pada waktu sesaat setelah penyaluran gaya prategang yang mana pada perancangan ini diasumsikan terjadi 18 jam setelah penarikan *strand*, tahap kedua dihitung pada waktu 30 hari pada saat beban mati tambahan dan beban hidup mulai bekerja (*topping* beton diletakan), tahap terakhir dihitung saat dua tahun sesudah *topping* beton diletakan. Adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

- **Tahap I**

a. Kehilangan akibat Rangkak Beton (*Creep of Concrete*)

Pada tahapan ini karena sesaat setelah penyaluran gaya prategang maka kehilangan akibat rangkak beton sangat kecil sehingga cenderung diabaikan maka nilai nya 0.

b. Kehilangan akibat Susut

Pada tahapan ini karena sesaat setelah penyaluran gaya prategang maka kehilangan akibat rangkak beton sangat kecil sehingga cenderung diabaikan maka nilai nya 0.

c. Kehilangan akibat Relaksasi Baja

Diketahui :

$$f_{pi} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1861 = 1302,7 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9 f_{pu} = 0,9 \times 1861 = 1674,9 \text{ MPa}$$

sehingga didapat nilai  $\frac{f_{pi}}{f_{py}}$  sebagai berikut:

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1302,7}{1674,9} = 0,78 > 0,55 \rightarrow \text{terjadi relaksasi baja}$$

(kehilangan akibat relaksasi baja diperhitungkan). Nilai besarnya tegangan yang hilang akibat relaksasi baja sebesar:

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

Diasumsikan transfer prategang terjadi setelah 18 jam sesudah penarikan strand dan untuk baja relaksasi rendah, penyebut di dalam suku log dalam persamaan tersebut dibagi dengan 45, sehingga diperoleh nilai:

$$\Delta f_{pR} = 1302,7 \left( \frac{\log 18}{45} \right) \left( \frac{1302,7}{16574,91} - 0,55 \right) = 8,277 \text{ MPa}$$

Total kehilangan prategang tahap I:

$$\begin{aligned} f_{pT} &= \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{fcR} + \Delta f_{pSH} \\ &= 0 + 8,277 + 0 + 0 \\ &= 8,277 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang pada tahap I adalah sebesar 8,175 MPa.

Jadi tegangan *strand* di akhir Tahap I adalah :

$$f_{pe} = f_i - f_{pT} = 1302,7 - 8,277 = 1294,43 \text{ MPa}$$

### • Tahap II

Tahap dua terjadi dari rentang waktu sesaat setelah gaya penyaluran prategang diberikan hingga beban mati tambahan dan beban hidup bekerja (30 hari = 720 jam).

#### a. Akibat Relaksasi Baja

Diketahui dari perhitungan sebelumnya nilai gaya prategang yang tersisa setelah kehilangan langsung, luas strand dan tegangan setelah kehilangan berturut-turut adalah:

$$f_{ps} = f_i - f_{pT} = 1302,7 - 8,277 = 1294,43 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9 f_{pu} = 0,9 \times 1861 = 1674,9 \text{ MPa}$$

sehingga didapat nilai  $\frac{fps}{fpy}$  sebagai berikut:

$$\frac{fps}{fpy} = \frac{1294,43}{1674,91} = 0,77 > 0,55 \rightarrow \text{terjadi relaksasi baja}$$

(kehilangan akibat relaksasi baja diperhitungkan). Nilai besarnya tegangan yang hilang akibat relaksasi baja sebesar:

$$\Delta f_{pR} = 1278,537 \left( \frac{\log 720 - \log 18}{45} \right) \left( \frac{1294,43}{1674,91} - 0,55 \right) = 10,27 \text{ Mpa}$$

#### b. Akibat Susut

Kehilangan prategang akibat susut dipengaruhi oleh ratio penampang dan kelembaban udara. Jika kelembaban udara relatif rata-rata diasumsikan sebesar  $RH = 70\%$  maka perbandingan ratio penampang  $\frac{V}{S}$  adalah perbandingan antara luas dan keliling.

Luas penampang (dengan nilai  $E_c$  yang sama) didapat dari nilai

$$\begin{aligned} A_{pelat} &= 12 \times 252 = 3024 \text{ cm}^2 \\ A_{balok} &= 60 \times 68 = 4080 \text{ cm}^2 \\ A_c &= \underline{\underline{3024 + 4080}} \\ &= 7104 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang sebesar :

$$Kell = (252 \times 2) + ((12+68) \times 2) = 664 \text{ cm}$$

$$\text{Maka nilai } \frac{V}{S} = \frac{7104}{664} = 10,70$$

$K_{SH}$  diambil dari Tabel 3.2 didapat nilai  $K_{SH}$  untuk 30 hari sebesar 0,58

Sehingga didapat nilai susut sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH} &= 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} Eps \left( 1 - 0,0236 \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,58 \times 200000 \times (1 - (0,0236 \times 10,70)) \times (100 - 80) \\ &= 14,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### c. Akibat Rangkak

Akibat rangkak kehilangan dipengaruhi oleh tegangan beban mati tambahan yang bekerja setelah transfer prategang. Sehingga nilai  $f_{csd}$  adalah tegangan yang didapat dari momen akibat beban mati tambahan tanpa termasuk berat sendiri balok dan  $f_{cs}$  merupakan tegangan beton pada daerah cgs akibat gaya prategang sesaat setelah transfer. Besarnya nilai creep dapat dihitung dengan perumusan berikut:

$$\Delta f_{pCr} = n K_{CR} (f_{cir} - f_{csd})$$

Nilai  $K_{CR}$  diambil 1,6 untuk post tension prestress. Nilai ratio modulus ( $n$ ) merupakan perbandingan nilai modulus elastisitas baja prategang dengan modulus elastisitas beton.

$$n = \frac{E_{ps}}{E_c} \text{ , dimana :}$$

$$E_{ps} = \text{modulus elastisitas baja prategang} = 200000 MPa$$

$$E_c = \text{modulus elastisitas} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 MPa$$

sehingga nilai ratio modulus sebesar:

$$n = \frac{E_{ps}}{E_c} = \frac{200000}{27805,6} = 7,19$$

Nilai  $f_{cir}$  merupakan besarnya tegangan akibat berat sendiri sesaat setelah gaya jacking.  $f_{cir}$  didapat dengan perumusan sebagai berikut:

$$M_D = \frac{q \times l^2}{12} = \frac{(0,7104 \times 2400) \times 20^2}{12} = 56832 kgm$$

$$f_{cir} = \left( \frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \times e^2}{I_c} \right) - \frac{M_D \times e}{I_c}$$

$$f_{cir} = \left( \frac{1563016}{710400} + \frac{1563016 \times 360^2}{43872588108} \right) - \frac{405077000 \times 360}{43872588108}$$

$$= 3,5 MPa$$

Data data lainnya diambil sebagai berikut:

$$\text{Luas Penampang } (A) = 7104 cm^2$$

$$\text{Eksentrisitas tengah bentang dari cgc} = 36,02 cm$$

$$I_c = 4387258,8 cm^4$$

Akibat berat mati tambahan ( $f_{csd}$ ) adalah momen akibat beban mati tambahan dan beban hidup 70 % didapat dari program SAP2000.

$$M_{SD} = 250,38 \text{ kNm} = 2503800000 \text{ Nmm}$$

$$f_{csd} = \frac{M_{SD} \times e}{I} = \frac{250380000 \times 360}{43872588108} = 2,06 \text{ MPa}$$

sehingga didapat nilai rangkak sebagai berikut :

$$\Delta f_{pCr} = n K_{CR} (f_{cir} - f_{csd})$$

$$\Delta f_{pCr} = 7,2 \times 1,6 \times (3,5 - 2,06) = 16,59 \text{ MPa}$$

Total kehilangan prategang tahap II:

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCr} + \Delta f_{pSH}$$

$$= 10,3 + 16,59 + 14,22$$

$$= 41,08 \text{ MPa}$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang pada tahap II adalah sebesar 41,08 MPa.

Peningkatan tegangan di *strand* akibat penambahan *topping* adalah :

$$f_{SD} = n f_{csd} = 7,19 \times 2,06 = 14,789 \text{ MPa}$$

Jadi tegangan *strand* di akhir Tahap II adalah :

$$f_{pe} = f_{ps} - \Delta f_{pT} + f_{SD}$$

$$= 1294,428 - 41,083 + 14,78 = 1238,556 \text{ MPa}$$

### • Tahap III

Tahap tiga terjadi dari rentang waktu 30 hari sampai 2 tahun saat semua beban beban telah bekerja (2 tahun = 730 hari).

a. Akibat Relaksasi Baja

Diketahui dari perhitungan sebelumnya nilai gaya prategang yang tersisa setelah kehilangan langsung, luas strand dan tegangan setelah kehilangan berturut turut adalah:

$$f_{pe} = 1238,556 \text{ MPa}$$

Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja adalah :

$$\Delta f_{pR} = 1238,556 \left( \frac{\log 17520 - \log 720}{45} \right) \left( \frac{1238,556}{1674,91} - 0,55 \right) = 7,23 \text{ MPa}$$

Total kehilangan prategang

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} = 7,23 \text{ MPa}$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang pada tahap III adalah sebesar  $7,23 \text{ MPa}$ .

Tabel 7. 3. Resume Kehilangan Pratekan

#### RESUME KEHILANGAN TEGANGAN

Level tegangan pada berbagai tahap	Tegangan Baja (Mpa)	Persen
Sesudah penarikan (0.7 fpu)	1302.70	100
Kehilangan akibat perpendekan elastis	0	0
Kehilangan akibat angker	25	1.92
Kehilangan akibat wobble effect	68,01	5,22
Kehilangan akibat kekangan kolom	64,13	4,923
Kehilangan akibat rangkak	16,59	1.274
Kehilangan akibat susut	14,22	1.092
Kehilangan akibat relaksasi baja	25,78	1,979
Pertambahan karena topping	14,79	1.135
Tegangan netto akhir fpe	1074,191	82,458

Presentase kehilangan total	100	-82,46	17,54
-----------------------------	-----	--------	-------

Sehingga besar gaya prategang setelah terjadi kehilangan prategang ialah sebesar berikut :

$$F = \frac{100 - 17,54}{100} \times 1563016,13 = 1288840 \text{ N}$$

Kontrol gaya prategang setelah kehilangan prategang dari hasil perhitungan,  $F = 1288840 \text{ N}$  :

Tumpuan

- Serat atas

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{F}{A} + \frac{F \times e}{W_t} - \frac{M}{W_t}$$

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{1288840}{710400} + \frac{1288839521}{151425910,4} - \frac{405077000}{151425910,4}$$

$$\sigma_{tk} = -21 \text{ MPa} \geq -3,64 \text{ MPa}..... (\text{Oke})$$

- Serat bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{1288840}{710400} - \frac{128883952,1}{85979118,6} + \frac{405077000}{85979118,6}$$

$$\sigma_{tk} = 3,67 \text{ MPa} \geq 1,40 \text{ MPa}..... (\text{Oke})$$

Tengah bentang

- Serat atas

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{F}{A} + \frac{F \times e}{W_t} - \frac{M}{W_t}$$

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{1288840}{710400} + \frac{464330562,6}{151425910,4} - \frac{187501000}{151425910,4}$$

$$\sigma_{tk} = 3,67 \text{ MPa} \geq -0,1 \text{ MPa}..... (\text{Oke})$$

- Serat bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{1288840}{710400} - \frac{464330562,6}{85979118,64} + \frac{187501000}{85979118,64}$$

$$\sigma_{tk} = -21 \text{ MPa} \geq -1,41 \text{ MPa..... (Oke)}$$

## 8.9 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 sedikit 1,2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak  $f_r = 0,62\sqrt{fc'}$ , sehingga didapat  $\varphi Mu \geq 1,2 M_{cr}$  dengan nilai  $\varphi = 0,9$ .

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 (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan) :

Untuk serat bawah mengalami Tarik (pada daerah lapangan) maka :

$$M_{cr} = \left( \frac{F_e}{A} \times \frac{I}{y_b} \right) + \left( \frac{F_e \times e \times y_b}{I} \times \frac{I}{y_b} \right) - \left( fr \times \frac{I}{y_b} \right)$$

$$M_{cr} = (F_e \times kt) + (F_e \times e) - (fr \times W_b)$$

Dimana :

$F_e$  : Gaya prayekan efektif = 1288840 N

$fr$  : Modulus keruntuhan

$$\therefore 0,62\sqrt{f_c} = 0,62\sqrt{35} = 3,67 \text{ MPa}$$

Sehingga nilai momen retak adalah :

$$M_{cr} = (1288840 \times 121,3) + (1288840 \times 360) - (3,67 \times 85979119)$$

$$M_{cr} = 935686515,2 \text{ Nmm} = 935,687 \text{ kNm}$$

$M_u$  = dari hasil momen SAP sebesar 2284,90 kNm

Kontrol momen retak :

$$\varphi M_u \geq 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 2284,90 \geq 1,2 \times 907,74$$

$$2056,41 \text{ kNm} \geq 1089,29 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

## 8.10 Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton prategang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan. Lendutan ijin pada komponen beton prategang 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 :

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{20000}{480} = 41,67 \text{ mm}$$

### A. Lendutan Saat Jacking

Pada saat awal transfer gaya prategang nilai lendutan yang terjadi adalah sebagai berikut:

#### 1. Lendutan akibat tekanan tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke arah atas. Sedangkan syarat ijin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{w \times l^4}{E_c \times I}$$

dengan nilai  $w$  sebesar

$$w = \frac{8 \times F_o \times e}{l^2} = \frac{8 \times 1563016,1 \times 360,27}{20000^2} = 11,26 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{11,26 \times 20000^4}{27805,57 \times 43872588108} = 19,23 \text{ mm } (\uparrow)$$

## 2. Lendutan akibat beban sendiri

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Besarnya lendutan ke bawah akibat berat sendiri adalah:

$$\Delta l_{qO} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_c \times I}$$

$$\Delta l_{qO} = \frac{5}{384} \times \frac{10 \times 20000^4}{27805,57 \times 43872588108} = 16,72$$

mm  $(\downarrow)$

Lendutan jangka panjang tambahan dari komponen pratekan harus dihitung dengan memperhatikan pengaruh tegangan dalam beton dan baja akibat beban tetap dan juga pengaruh rangkak, susut beton dan relaksasi baja. Dalam PCI Design Handbook memperlihatkan angka pengali yang diturunkan oleh Martin untuk memperkirakan lendutan keatas dan lendutan ke bawah dalam jangka waktu yang panjang pada komponen struktur yang tipikal. Sehingga diperoleh nilai lendutan jangka panjang balok pratekan adalah:

a. Lendutan akibat tekanan tendon:

Angka pengali dari komponen lendutan ke atas sebesar 2,45.

$$\Delta l_{po} = 2,45 \times 19,23 \text{ mm} = 47,11 \text{ mm}$$

b. Lendutan akibat berat sendiri dan beban mati:

Angka pengali dari komponen lendutan ke bawah sebesar 2,7.

$$\Delta l_{qo} = 2,7 \times 16,72 \text{ mm} = 45,144 \text{ mm}$$

Sehingga lendutan akhir yang diperkirakan adalah sebesar:

$$47,11 \text{ mm} - 45,14 \text{ mm} = 1,966 \text{ mm}.$$

Cek Lendutan :

$$\Delta l < \Delta_{ijin} = 1,966 \text{ mm} < 41,67 \text{ mm (OK!)}$$

### 8.11 Posisi Tendon

Bentuk lintasan tendon adalah parabola dan untuk mengetahui posisi tendon digunakan persamaan garis lengkung, perhitungan ditinjau setengah bentang :

$$Y_i = \frac{4 \times f \times X_i \times (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana :

$Y_i$  : ordinat tendon yang ditinjau

$X_i$  : absis tendon yang ditinjau

$L$  : panjang bentang = 20000 mm

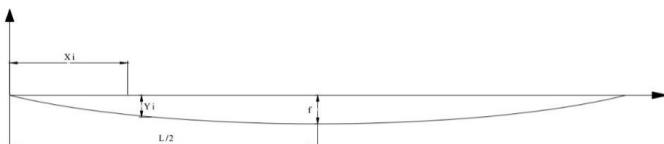
$f$  : tinggi puncak parabola maksimum = 360 mm

Sehingga apabila posisi tendon dihitung jarak dari tepi serat bawah balok, :

Posisi tendon =  $Y_{bottom} - Y_i$

$Y_{bottom} = 510,2$

mm



Gambar 4.50 Persamaan Parabola untuk Menentukan Posisi Tendon

Letak posisi tendon ditabelkan dalam tabel 4.17

Tabel 7. 4.Letak Posisi Tendon

Jarak Tinjau $X_i$ (mm)	$Y_i$ (mm )	Letak tendon dari tepi bawah
0,00	0,00	510,27
2000	129,6	380,6
3500	208	302,2
5000	270,2	240,1
6500	316,1	194,1
8000	345,9	164,4
10000	360,3	150

## 8.12 Penulangan Lunak Tambahan

Penulangan tarik tambahan pada balok prategang terdiri dari tulangan yang memikul beban gempa (respon spektrum) arah Y dan arah X ditambah dengan tulangan yang dipasang untuk menanggulangi tegangan tarik berlebih pada serat atas tumpuan.

### 8.12.1 Data Perencanaan

Momen akibat gempa hasil perhitungan SAP :

Momen akibat gempa pada daerah lapangan =262,5 kNm

Momen akibat gempa pada daerah tumpuan = 567,1 kNm

Mutu baja tulangan : 390 MPa

Mutu beton prategang : 35 MPa

Diameter tulangan rencana : 25 mm

Diameter tulangan sengkang : 13 mm

Tebal selimut : 40 mm

D : 1000–40–13–½× 25= 736 mm

### 8.12.2 Penulangan Lentur Akibat Gempa daerah Tumpuan

$$\beta_l = 0,85 - 0,05 \left( \frac{f'_c - 28}{7} \right)$$

$$= 0,85 - 0,05 \left( \frac{35 - 28}{7} \right) = 0,8$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{fc'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{35}}{4 \times 390} = 0,00379$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,73 \times 35}{390} \times \frac{600}{(600 + 390)} = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

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

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{11500000 Nmm}{0,9} = 1278333333 Nmm$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 390} \times 615 = 372,4 mm$$

$$X_{max} = 0,75 X_b \\ = 0,75 \times 372,4 = 279,3 mm$$

Direncanakan  $x = 50$  mm

$$A_{sc} = \frac{0,85 \beta_1 fc' b x}{f_y} = \frac{0,85 \times 0,73 \times 35 \times 600 \times 50}{390} = 1830,7 mm^2$$

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

$$= 1830,77 \times 390 \times \left( 615 - \frac{0,8 \times 50}{2} \right) = 424473000 Nmm$$

$$M_{nc} < \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots \text{(perlu tulangan rangkap)}$$

$$C_s' = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')} = \frac{205638111}{(615 - 65,5)} = 374569 N$$

$$A_{ss} = \frac{C_s'}{f_y} = \frac{374569}{390} = 960,432 mm^2$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{65,5}{50}\right) \cdot 600 = 186 MPa$$

karena  $f_s' = 186 < f_y = 400$  Mpa  $\rightarrow$  tul. tidak leleh

$$A_s' = \frac{C_s'}{f_s' - 0,85 \cdot f_c'} = \frac{374569}{156,3} = 2397,24 mm^2$$

Tulangan tumpuan atas :

$$\begin{aligned} A_s &= A_{sc} + A_{ss} \\ &= 960,432 + 2397,24 \\ &= 3357,67 mm^2 \rightarrow \text{pasang } \mathbf{7 D 25} (3436,12 mm^2) \end{aligned}$$

Dalam pemasangan tulangan atas pada balok prategang daerah tumpuan, sebagian momen yang terjadi akibat pengaruh gempa di transfer oleh tendon (yang terletak diatas cgc sebesar 100 mm) sehingga cukup dipasang tulangan lentur daerah tumpuan atas **2 D 25**.

Untuk tulangan lentur daerah tumpuan bawah, momen yang terjadi akibat pengaruh gempa cukup besar dan tidak dapat di transfer ke tendon sehingga dipasang tulangan lentur dengan perhitungan sebagai berikut :

Tulangan tumpuan bawah :

$$\begin{aligned} A_s' &= A_s \\ &= 2981,85 mm^2 \\ \rightarrow &\text{pasang } \mathbf{7 D 25} (3436,12 mm^2) \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan ;

$$S = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{sengkang}) - (n \times D_{tul.lentur})}{n - 1}$$

$$S = \frac{550 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (7 \times 25)}{7 - 1}$$

$$S = 44,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm} .... \text{ Jarak tulangan memenuhi.}$$

Kontrol kemampuan tulangan akibat terpasang tulangan (akibat tulangan tarik) :

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_s \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right) \\ &= 3436,12 \times 390 \times \left( 615 - \frac{0,8 \times 50}{2} \right) \\ &= 773,18 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } M_n \text{ kapasitas} \geq M_n \text{ yang terjadi}$$

$$773,18 \text{ kNm} > 630,11 \text{ kNm} ..... \text{ Memenuhi}$$

### 8.13 Kontrol Momen Nominal

Setelah ditentukan jumlah tulangan lunak terpasang untuk masing-masing tumpuan dan lapangan maka dilakukan pengecekan momen nominal balok terhadap momen ultimate dan batas layan yaitu momen retak. Desain balok prategang terhadap momen nominalnya harus memenuhi kontrol momen batas yang disyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.7 tentang kekuatan lentur.

Data perhitungan momen nominal:

$$A_p : 98,71 \text{ mm}^2$$

$$f_{pu} : 1861,007 \text{ MPa}$$

$$f_{py} : 1674,91 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{pu}}{f_{py}} = \frac{1860}{1675} = 0,9$$

beff : 2570 mm

$$d : 1000 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 25 = 735 \text{ mm}$$

Rumusan untuk menghitung momen nominal  $M_n$ , apabila tulangan tekan diabaikan :

$$M_n = T_s \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + T_p \times \left( d_p - \frac{a}{2} \right)$$

Dimana :

$T_s \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$  adalah momen nominal yang dipikul tulangan tarik.

$T_p \times \left( d_p - \frac{a}{2} \right)$  adalah momen nominal yang dipikul oleh kabel prategang.

Tegangan dalam baja prategang saat kuat lentur nominal sesuai pasal 18.7.2 untuk komponen struktur yang menggunakan tendon prategang dengan lekatan penuh

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \times \left( \rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \right)$$

Dimana :

$d_p$  : jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang

$\rho_{ps}$  : rasio tulangan prategang terpasang

$\omega'$  : nilai dari  $\frac{\rho' \times f_y}{f_c}$  dengan  $\rho'$  adalah rasio tulangan tarik

$$: \frac{0,0035 \times 390}{35} = 0,04$$

$\omega$  : nilai dari  $\frac{\rho \times f_y}{f_c}$  dengan  $\rho$  adalah rasio tulangan tekan

$$: \frac{0,0035 \times 390}{35} = 0,04$$

$\beta_1$  : 0,8

## Momen Nominal Daerah Tumpuan

Penampang pada daerah tumpuan dimana tendon berada di daerah batas kern atas dengan eksentrisitas sebesar 10 cm dari cgc. Pada serat atas dipasang cukup 2D25 untuk melawan gaya gempa dan menanggulangi tegangan tarik. Sedangkan pada serat bawah dipasang tulangan lunak 7D25.

$$d_p = e_{\text{tumpuan}} + Y_b \\ = 100 + 504,49 = 604,5 \text{ mm}$$

$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p}$  dimana  $A_{ps}$  adalah luas penampang baja prategang

sehingga didapat:

$$\rho_{ps} = \frac{1283,23}{600 \times 610} = 0,0035$$

$$f_{ps} = 1861,7 \left( 1 - \frac{0,28}{0,76} \times (0,0035 \times \frac{1861,007}{35} + \frac{735}{610} (0,04 - 0,04)) \right) \\ = 225,41 \text{ MPa}$$

$$a_{ps} = \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f'c \times b_e} = \frac{1283,23 \times 225,41}{0,85 \times 35 \times 2570} = 3,78 \text{ mm}$$

$$a_{lentur} = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b_w} = \frac{3436,12 \times 390}{0,85 \times 35 \times 600} = 75,07 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.5 (a) nilai  $f_{pc}$  harus lebih kecil dari 3,5 MPa atau  $f'c/10$

$$F_{pc} = \frac{F}{Atotal} = \frac{1250412,91}{710400} = 2,73 \text{ MPa} < 1,76 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)}$$

$$1,76 \text{ MPa} < \frac{35}{10} = 3,5 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)}$$

Sedangkan pada pasal 21.5.2.5 (c) baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negatif di penampang kritis pada daerah sendi plastis.

$$M_n = M_{n\text{prategang}} + M_{n\text{lentur}}$$

$$M_n = \frac{A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{ap}{2} \right)}{4} + A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = \frac{1283,23 \times 225,41x \left( 610 - \frac{3,78}{2} \right)}{4} + 3436,12 \times 390 \left( 735 - \frac{3,78}{2} \right)$$

$$M_n = 1157732945 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1157,733 > 1,2 M_{cr}$$

$$= 1041,96 \text{ kNm} > 935,7 \text{ kNm} \text{ (memenuhi)}$$

### Momen Nominal Daerah Lapangan

Penampang pada daerah lapangan dimana tendon berada di daerah limit kabel dengan eksentrisitas sebesar 36 cm dari cgc. Pada serat bawah cukup dipasang 2D25 untuk melawan gaya gempa dan menanggulangi tegangan tarik. Sedangkan pada serat atas dipasang tulangan lunak 2D25.

$$d_p = e_{lapangan} + Y_b \\ = 360 + 510 = 871 \text{ mm}$$

$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p}$  dimana  $A_{ps}$  adalah luas penampang baja prategang

sehingga didapat:

$$\rho_{ps} = \frac{1283,23}{600 \times 871} = 0,0024$$

$$f_{ps} = 1861 \left( 1 - \frac{0,28}{0,8} \times (0,0024 \times \frac{1861,007}{35} + \frac{735}{871} (0,04 - 0,04)) \right)$$

$$= 158,02 \text{ MPa}$$

$$aps = \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f'c \times b_e} = \frac{1283,23 \times 158,02}{0,85 \times 35 \times 2570} = 2,65 \text{ mm}$$

$$a_{lentur} = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b_w} = \frac{2454,37 \times 390}{0,85 \times 35 \times 600} = 53,62 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{ap}{2} \right) + A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1283,23 \times 158,02 \times \left( 871 - \frac{2,65}{2} \right) + 2454,37 \times 390 \left( 735 - \frac{2,65}{2} \right)$$

$$M_n = 878050256,2 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 878050256,2 > 1,2 M_{cr}$$

= 790,25 kNm > 1271,5 kNm (memenuhi)

## 8.14 Penulangan Geser

Penulangan geser pada balok 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 dan Perencanaan

Gaya dalam didapat dari hasil perhitungan program SAP 2000 :

$$V_{ud}' : 138900N$$

$$V_{ui}' : 327330 N$$

$$M_d \text{ tumpuan} : 405077000 Nmm$$

$$M_d \text{ lapangan} : 187501000 Nmm$$

$$M_{max} \text{ tumpuan} : 950870000 Nmm$$

$$M_{max} \text{ lapangan} : 436910000 Nmm$$

Dimana :

- $V_d'$  : Gaya geser akibat beban mati (dead)  
 $V_i'$  : Gaya geser akibat beban hidup & beban mati total  
 $M_d$  : Momen akibat berat sendiri balok  
 $M_{max}$  : Momen akibat beban mati total dan beban hidup

### Kuat Geser yang Disumbangkan Beton

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser ( $V_{ci}$ )

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w \times d + V_d + \frac{V_i \times M_{cre}}{M_{max}}, \text{ dengan}$$

$$M_{cre} = \left( \frac{I}{Y_T} \right) \left( \frac{\sqrt{fc}}{2} + f_{pe} - f_d \right)$$

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang ( $V_{cw}$ )

$$V_{cw} = 0,3(f_{pc} + \sqrt{f'c}) \times b_w \times d + V_p$$

Dimana :

$V_p$  : Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang  
 $d$  : Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

$$= h - d' = 1000 - 64 = 936$$

$f_{pc}$  : Tegangan tekan setelah kehilangan gaya prategang

$$= \frac{F_o}{A_c} = \frac{1250412,91}{710400} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

$$p' = \frac{8 \times F \times f}{L^2} = \frac{8 \times 1563016,133 \times 360}{20000^2} = 11,26 \text{ N/mm}^2$$

$$V_p' = \frac{L}{2} \times p' = \frac{20000}{2} \times 11,26 = 112621,65 \text{ N}$$

### Daerah Tumpuan

Jarak x diambil sebesar  $0,5 \times h_{kolom} = 0,5 \times 700 \text{ mm} = 350 \text{ mm}$

- Perhitungan  $V_{ci}$

$$V_d = \frac{0,5L - xt}{0,5L} V_d' = \frac{(0,5 \times 20000) - 350}{0,5 \times 20000} \times 138900 \\ = 1134038,5 \text{ N}$$

$$V_{ui} = \frac{0,5L - xt}{0,5L} V_{ui}' = \frac{(0,5 \times 20000) - 500}{0,5 \times 20000} \times 327330 \\ = 315873,45 \text{ N}$$

$$f_{pe} = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \times e_t}{W_b} = \frac{1250412,9}{710400} + \frac{1250412,9 \times 100}{85979118,64} \\ = 3,21 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{405077000}{85979118,64} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$M_{cre} = \left( \frac{I}{Y_T} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\ = \left( \frac{43872588108}{289,73} \right) \left( \frac{\sqrt{35}}{2} + 3,21 - 4,7 \right) \\ = 252186370,8 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{35}}{20} \times 600 \times 735 + 134038,50 + \frac{315873,45 \times 252186370,8}{950870000} \\ = 357174,91 \text{ N}$$

$$V_{ci} \geq 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$357174,91 \text{ N} \geq 0,17 \times \sqrt{35} \times 600 \times 735 = 473829,36 \dots \text{ (oke)}$$

- Perhitungan  $V_{cw}$

$$V_p = \frac{0,5L - x}{0,5L} V_p' = \frac{0,5(20000) - 350}{0,5 \times 20000} \times 112621,65 = 108679,9 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= 0,3(2,73 + \sqrt{35}) \times 600 \times 735 + 108679,9 \\ &= 1305258,255 \text{ N} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 tulangan geser yang disumbangkan oleh beton diambil nilai terkecil antara  $V_{ci}$  dengan  $V_{cw}$ . Karena nilai  $V_{cw} > V_{ci}$  maka diambil  $V_{ci}$  sebagai kuat geser yang disumbangkan beton untuk daerah tumpuan.

### **Daerah Lapangan**

Diperhitungkan pada muka kolom di luas daerah sendi plastis dengan jarak sebesar:

$$x = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$$

- Perhitungan  $V_{ci}$

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{0,5L - xt}{0,5L} V_d' = \frac{(0,5 \times 20000) - 1400}{0,5 \times 20000} \times 138900 \\ &= 119454 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ui} &= \frac{0,5L - xt}{0,5L} V_{ui}' = \frac{(0,5 \times 20000) - 1400}{0,5 \times 20000} \times 327330 \\ &= 281503,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \times e_t}{W_b} = \frac{1250412,9}{710400} + \frac{1250412,9 \times 360}{85979118,64} \\ &= 7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{187501000}{85979118,64} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left( \frac{I}{Y_T} \right) \left( \frac{\sqrt{fc}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\ &= \left( \frac{43872588108}{289,73} \right) \left( \frac{\sqrt{35}}{2} + 7 - 2,2 \right) \end{aligned}$$

$$= 1208552251,5 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{35}}{20} \times 600 \times 735 + 119454 + \frac{281503,8 \times 1208552251,5}{950870000}$$

$$= 616605,86 \text{ N}$$

$$V_{ci} \geq 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$616605,86 \text{ N} \geq 0,17 \times \sqrt{35} \times 600 \times 735 = 473829,36 \text{ N} \dots \text{(oke)}$$

- Perhitungan  $V_{cw}$

$$V_p = \frac{0,5L - x}{0,5L} V_p' = \frac{0,5(20000) - 1400}{0,5 \times 20000} \times 112621,65 = 96854,62 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,3(1,76 + \sqrt{35}) \times 600 \times 735 + 96854,62$$

$$= 1165733,945 \text{ N}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 tulangan geser yang disumbangkan oleh beton diambil nilai terkecil antara  $V_{ci}$  dengan  $V_{cw}$ . Karena nilai  $V_{cw} > V_{ci}$  maka diambil  $V_{ci}$  sebagai kuat geser yang disumbangkan beton untuk daerah lapangan.

### **Perencanaan Tulangan Geser**

$$V_g = V_d' + V_i' = 138900 + 327330 = 466230 \text{ N}$$

$$V_u = V_g + V_p' = 466230 + 112621,65 = 578851,65 \text{ N}$$

$$\text{Dipasang sengkang 2 kaki D13, } A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

- **Daerah Tumpuan**

Jarak x sebesar 500 mm

$$V_u = \frac{0,5L - x}{0,5L} V_u = \frac{0,5(20000) - 350}{0,5 \times 20000} \times 578851,65$$

$$= 558591,84 \text{ N}$$

$$V_{ci} = 357174,91 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_{ci} = \frac{558591,84}{0,75} - 357174,91 = 387614,2 \text{ N}$$

Jarak spasi tulangan :

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265,46 \times 240 \times 735}{387614,2} = 60,4 \text{ mm}$$

→ digunakan  $s = 100 \text{ mm}$

Sehingga pemasangan tulangan geser 2D13-100 ( $Av=265,46 \text{ mm}^2$ ).

- **Daerah Lapangan**

Jarak x sebesar 1400 mm

$$V_u = \frac{0,5L - x}{0,5L} V_u = \frac{0,5(20000) - 1400}{0,5 \times 20000} \times 671213,5 \\ = 577243,6 \text{ N}$$

$$V_{ci} = 616605,86 \text{ N}$$

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - V_{ci} = \frac{577243,6}{0,75} - 616605,86 = 153052,3 \text{ N}$$

Jarak spasi tulangan :

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265,46 \times 240 \times 936}{153052,3} = 150 \text{ mm}$$

→ digunakan  $s = 150 \text{ mm}$

Sehingga pemasangan tulangan geser 2D13-400 ( $Av=265,46 \text{ mm}^2$ )

## 8.15 Pengangkuran 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 mengalikan gaya tendon dengan faktor beban sebesar 1,2

$$F_o = 1563,02 \text{ kN}$$

$$P_u = 1,2 F_o = 1,2 \times 1563,02 = 1875,62 \text{ kN}$$

$$T_{PENCAR} = 0,25 \Sigma P_u \times \left(1 - \frac{a}{h}\right) \quad d_{PENCAR} = 0,5(h - 2e)$$

Keterangan :

$\Sigma P_u$  = Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

$a$  = Tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

$e$  = Eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif)

$h$  = Tinggi penampang pada arah yang ditinjau

Didapat nilai

$$a = 325 \text{ mm (angkur dengan strand 28-29, OVM table M15A)}$$

$$e = 100 \text{ mm (eksentrisitas pada tumpuan)}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

sehingga didapat nilai  $T_{pencar}$  sebagai berikut:

$$T_{PENCAR} = 0,25 \times 1875000 \times \left(1 - \frac{325}{800}\right) = 278412,25 \text{ N}$$

$$d_{PENCAR} = 0,5(h-2e) = 0,5 \times (800 - (2 \times 100)) = 300 \text{ mm}$$

$$A_{vp} = \left(\frac{T_{PENCAR}}{f_y}\right) = \left(\frac{607500}{390}\right) = 1518,75 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan Ø13 ( $A_v=265,5\text{mm}^2$ ) maka dibutuhkan tulangan sengkang sebanyak

$$n = \left(\frac{A_{vp}}{A_v}\right) = \left(\frac{1518,75}{265,5}\right) = 2,6 \approx 3 \text{ buah}$$

Dengan spasi antar sengkang di sepanjang daerah angkur adalah

$$S = \left( \frac{d_{PENCAR}}{n} \right) = \left( \frac{300}{3} \right) = 100\text{mm, diambil } 100\text{ mm}$$

Sehingga dipasang D13 - 100.

## BAB IX

### METODE PELAKSANAAN BALOK PRATEKAN

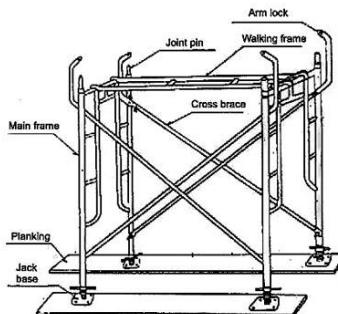
#### 9.1 Umum

Metode pelaksanaan balok pratekan pada Gedung Pertanian Fakultas UNS ini direncanakan menggunakan metode post tensioned yang mana dilakukan pemasangan tendon terlebih dahulu dan stressing dilakukan setelah beton mengeras pada umur beton tertentu.

#### 9.2 Material dan Alat yang Digunakan

Dalam pekerjaan ini akan dipakai beberapa material sebagai berikut:

1. Perancah



Gambar 9. 1. Scaffolding

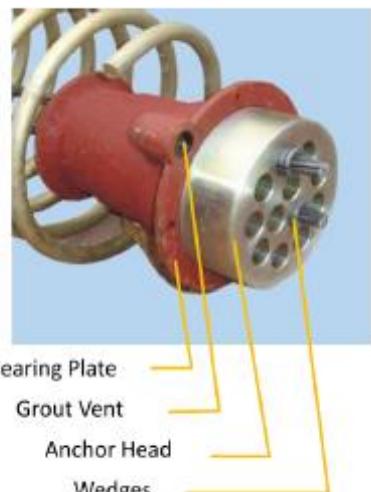
2. PC Strand

Strand yang digunakan ialah type ASTM A416 diameter 12,7mm.

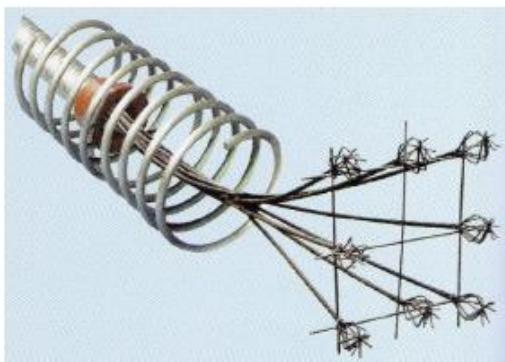


Gambar 9. 2.PC Strand dari Freyssinet dengan 7 wire stress, diameter 12,7mm (0.5") ASTM A 416-90a

### 3. Anchorage (Live End)



Gambar 9. 3.Angkur Hidup



Gambar 9. 4.Angkur Mati

4. Ducting (Galvanized Sheath)



Gambar 9. 5.Galvanized Ducting

5. Hydraulic Jack dan Stressing Pump



Gambar 9. 6.Hydraulic Jack dan Stressing Pump

6. Grouting Pump



Gambar 9. 7.Hydraulic Jack dan Stressing Pump.

7. Alat bantu lain: bendrad, paku, baut, *masking tape*.



Gambar 9. 8.Alat bantu lain

Material yang digunakan (biasanya pada saat Grouting) adalah antara lain:

1. Semen Portland Tipe 1 (50 kg)
2. Air bersih (20 Liter)
3. Grouting addiktif cebec 100 (0,225 kg)
4. Rasio W/C 0.4

### 9.3 Metode Pekerjaan

#### 9.3.1 Metode Pekerjaan Pra Konstruksi

Sebelum pekerjaan prestress dilakukan, dibutuhkan Shop drawing yang dibuat berdasarkan gambar perencanaan yang disesuaikan dengan sistem yang akan dipakai meliputi: denah, tampak, potongan, dan detail secara jelas menyatakan jumlah dan ukuran tendon, jenis angkur, posisi angkur, koordinat tendon, jacking force, dan mutu beton.

Lalu kontraktor akan menyediakan:

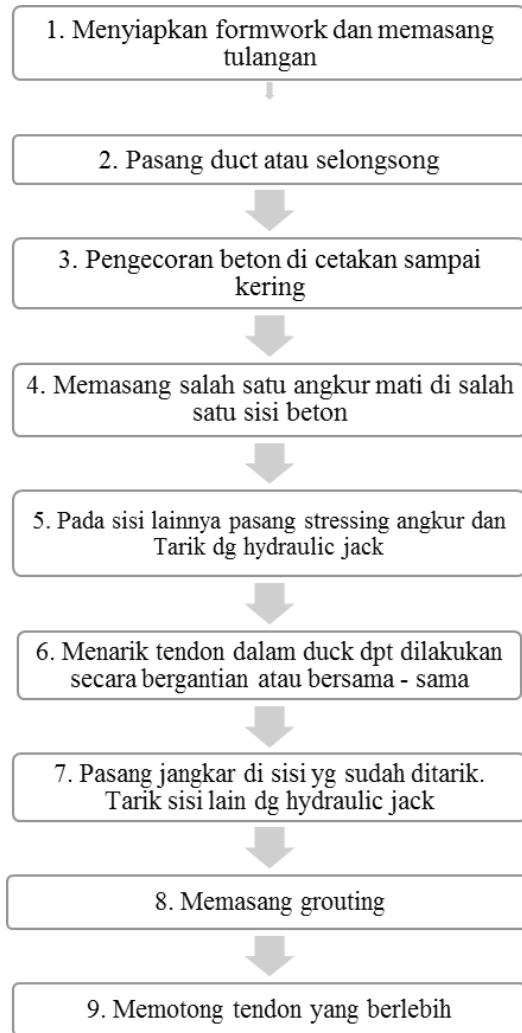
1. Recess former

Yaitu pembentukan cerukan untuk tempat angkur.

2. Bursting steel  
Pembesian pada daerah angkur hidup an mati.
3. Support bar  
Besi penyangga tendon dan besi montase lainnya yang diperlukan untuk pemasangan tendon/angkur.

### **9.3.2 Metode Pelaksanaan Pekerjaan**

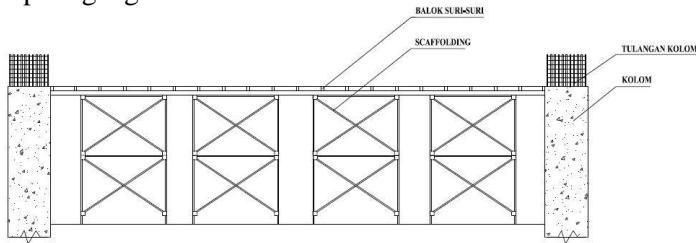
Berikut ini disertakan flowchart pekerjaan presstressing dengan metode post tensioned secara umum.



### 9.3.2.1 Pemasangan Tendon dan Angkur di Tempat

1. Setelah kolom penumpu balok pratekan selesai dicor, kemudian *scaffolding* diinstal beserta balok

suri-suri sebagai penumpu bekisting balok prategang.



Gambar 9. 9.Pemasangan Scaffolding dan Balok Suri-Suri

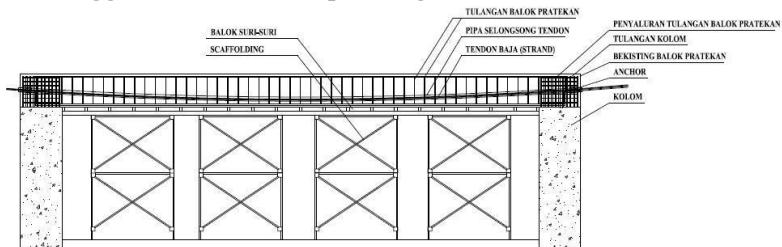
2. Membuat bekisting balok prategang yang sesuai dengan rencana letak komponen balok.
3. Tulangan balok pratekan dipasang sesuai perencanaan.
4. Panjang penyaluran pada hubungan antara kolom dan balok pratekan diatur sesuai SNI 2847-2013 pasal 12.
5. Setelah pembesian terangkai, mula-mula tulangan penyangga (support bar) dipasang dengan mengikatnya pada sengkang.
6. Ketinggian/posisinya menurut profil kabel pada shop drawing dengan jarak support bar maximum 1m.
7. Selongsong (sheath) dipasang diatas support bar dan diikat dengan kawat bendrat.
8. Karena selongsong dipasok dengan panjang tertentu (biasanya panjang per batang 4m), maka perlu dilakukan penyambungan menggunakan coupler berupa selongsong dengan diameter yang lebih besar. Pita perekat (masking tape) digunakan untuk menghindari masuknya air atau adukan beton dalam selongsong.

### 9.3.2.2 Pemasangan Bearing Plate

*Anchorage bearing plate* dipasang dengan posisi seperti yang ditentukan dalam shop drawing. Bursting steel dipasang pada posisinya sebelum selongsong (*duct*) dihubungkan pada *anchorage bearing plate*. Selongsong (*duct*) yang masuk ke *anchorage bearing plate* harus rapi dan tidak boleh patah, kemudian dibalut dengan pita perekat (*masking tape*) untuk menghindari masuknya air semen atau adukan beton ke dalam selubung.

### 9.3.2.3 Pemasangan Strand

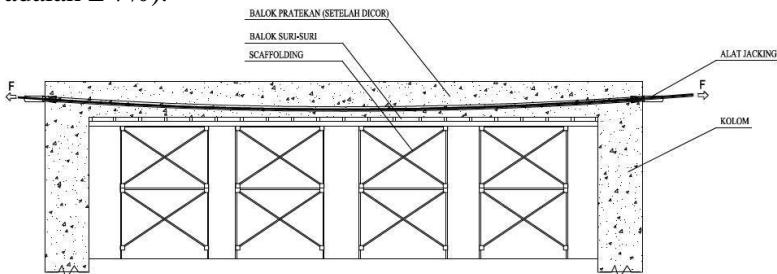
1. Strand dipotong dengan panjang yang telah diperhitungkan panjang penarikan dan pengangkurannya.
2. Untuk pemasangan, gulungan strand dibuka dan digelar pada railing, kemudian dimasukkan ke dalam duct (selongsong).
3. Strand akan dimasukkan ke dalam selongsong (sheath) secara manual.
4. Pemasangan angkur guide sesuai dengan ketinggian shop drawing.
5. Pengecekan bersama kontraktor dan konsultan pengawas.
6. Pengcoran balok prestress.
7. Menunggu mutu beton sampai dengan 80%  $f_c'$  beton.



Gambar 9. 10.Pemasangan Bekisting, Pipa Selongsong dan Tendon Balok Pratekan.

#### 9.3.2.4 Stressing dan Pengecoran

1. Sebelum pelaksanaan stressing, mutu beton harus 80% dari mutu beton rencana.
2. Gaya saat stressing dikontrol dengan membaca tekanan pada sistem hidroulik dan mengukur perpanjangan kabel yang terjadi.
3. Pencatatan perpanjangan kabel dilakukan pada setiap kenaikan tekanan 1000 psi (10 MPa).
4. Perpanjangan yang terjadi dibandingkan dengan perhitungan teoritis yang telah disiapkan sebelumnya (selisih pengukuran dan hasil perhitungan yang wajar adalah  $\pm 7\%$ ).



Gambar 9. 11.Proses Jacking pada Balok Pratekan  
Selesai setelah balok dicor dan Mengeras

#### 9.3.2.5 Grouting

1. Setelah hasil stressing mendapat persetujuan dari konsultan maka grouting dapat dilakukan.
2. Awal pekerjaan grouting adalah pemotongan kabel baja pratekan (strand) yang berada pada angkur hidup. Strand dipotong minimal 3 cm dari tepi luar baji (wedges).
3. Lalu Anchor block dengan strand yang telah dipotong ditutup dengan adukan semen dan pasir untuk mencegah bocornya bahan grouting disela-sela strand atau baji. Pekerjaan ini disebut patching.

4. Setelah adukan patching mengeras, maka pekerjaan grouting dapat dilaksanakan.
5. Adukan grouting terdiri dari campuran semen, air bersih, dan grout admixture.
6. Pada pekerjaan grouting, semen , air dan admixture diaduk dengan menggunakan mixer kemudian dipompa ke dalam selongsong dengan Grout Pump. Bahan grouting dipompa masuk melalui grout inlet dan setelah cairan grout keluar pada grout vent (grout outlet) maka kemudian grout outlet dan grout inlet ditutup dengan cara diikat dengan kawat.
7. Pekerjaan grouting selesai.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB X**

### **PENUTUP**

#### **10.1 Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam analisis beban gempa, struktur gedung ini termasuk kedalam kategori Kelas situs SE dan dapat dirancang dengan metode sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan perhitungan static ekivalen yang periode ulangnya 2% dalam 50 tahun. Dimana bangunan Gedung Fakultas Pertanian ini masuk dalam bangunan gedung perkuliahan dengan kategori resiko IV dan nilai  $R = 8$  (Rangka beton bertulang pemikul momen khusus).
2. Dari keseluruhan analisis yang telah diuraikan sebelumnya didapatkan hasil analisis perhitungan Gedung 8 Lantai dengan menggunakan metode SRPMK dan balok pratekan sebagai berikut:

- a. Komponen plat tangga

TIPE PLAT	Tebal	Arah X				Arah Y			
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
		Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Plat Tangga	120	13 -	150	13 -	150	13 -	150	13 -	150
Plat Bordes	120	13 -	150	13 -	150	13 -	150	13 -	150

- b. Komponen plat lantai

TIPE PLAT	Tebal	Arah X						Arah Y					
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan					
		Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s				
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				
1	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				
2	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				
3	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				
4	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				
5	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				
6	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				
7	120	10 -	150	10 -	150	10 -	150	10 -	150				

### c. Komponen balok sekunder

Tipe Balok	Dimensi (cm)	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Tulangan Torsi	
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan		
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan				
BA	35/50	3D16	3D16	3D16	3D16	2D10 - 200	2D10 - 250	-	
BL	35/50	3D16	3D16	3D16	3D16	2D10 - 100	2D10 - 200	2D10	

### d. Komponen struktur atap

Struktur	Bentang (m)	Profil
Gording		LC 150 x 65 x 20 x 3.2
Penggantung gording		D 13
Ikatan Angin		D 12
Kuda-kuda	10	WF 300.150.6.5.9
Kolom baja	0.77	WF 250.250.9.14

### e. Komponen balok primer

Tipe Balok	Bentang (m)	Dimensi (cm)	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Tulangan Torsi	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan		
			Tarik	Tekan	Tarik	Tekan				
B1	4	50/70	5D25	4D25	3D25	3D25	2D13 - 100	2D13 - 200	3D13	
B2	6	50/70	5D25	4D25	3D25	3D25	2D13 - 150	2D13 - 200	2D13	
B3	8	50/70	4D25	3D25	3D25	3D25	2D13 - 150	2D13 - 200	2D13	
B4	8	50/70	6D25	3D25	3D25	3D25	2D13 - 150	2D13 - 200	2D13	

### f. Komponen kolom

Tipe Kolom	Dimensi (cm)	Tulangan	Tulangan Geser	
		Lentur	Sejarak lo	diluar lo
K1	85/85	16D25	5D13 - 100	5D13 - 150

g. Komponen hubungan balok kolom

Tipe HBK	Dimensi (cm)	Tulangan	Tulangan
		Lentur	Geser
HBK1	85/85	16D25	3D13 - 150

h. Komponen balok pratekan

Tipe Balok	Bentang (m)	Dimensi (cm)	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Tulangan Daerah Angkur	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan		
			Tarik	Tekan	Tarik	Tekan				
BP	20	60/80	2D25	7D25	2D25	2D25	2D13 - 100	2D13 - 400	D13-100	

3. Penggunaan beton pratekan pada gedung bertingkat dengan sistem cor ditempat perlu diperhatikan kemampuan dalam menerima beban gempa yang terjadi pada struktur. Baja lunak ditujukan untuk mendisipasikan energi gempa dengan cara meleleh. Baja prategang memberikan ketahanan geser dari friksi yang ditimbulkan gaya prategang.
4. Balok prategang direncanakan dengan sistem pascatarik dengan satu buah tendon yang didongkrak secara simultan sekaligus sehingga kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis tidak terjadi. Berdasarkan perhitungan, kehilangan tegangan secara langsung dan tidak langsung yang terjadi pada balok prategang yaitu sebesar 17,55 % .

## 10.2 Saran

1. Dalam pengumpulan data perencanaan perlu didapatkan dengan lengkap mulai gambar arsitek dan stuktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.

2. Untuk proses perhitungan perencanaan menggunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang diperlajari dari semester 1 sampai
3. Penentuan preliminary desain stuktur primer harus mempertimbangkan efisiensi dari ukuran yang digunakan seperti mempertimbangkan kemudahan dalam pelaksanaan, kemampuan penampang.
4. Pendistribusian gaya *jacking* harus disesuaikan dengan beban-beban yang bekerja pada balok prategang. Apabila gaya *jacking* melebihi dari beban yang ada, balok prategang mungkin bisa pecah. Untuk itu, perlu adanya kontrol-kontrol tegangan disetiap kondisi agar gaya *jacking* memenuhi beban yang ada.

## **DAFTAR PUSTAKA**

ACI Committee 318."Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (318 R-99) American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2000, pp.392.

Imran, Iswandi dan Fajar, Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang: Berdasarkan SNI 03-1726-2012. Bandung : ITB Press

Lin.T.Y., dan Ned H. Burns. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang Ed. 3 Jil.* Diterjemahkan oleh : Mediana. Jakarta : Erlangga

Nawy, Edward G. 2001. *Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar Ed. 3 Jil. 1.* Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmoko. Jakarta : Erlangga.

Prestressed Concrete Institute. *PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete*, 5 th ed. Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1999.

Standard Nasional Indonesia. 2013. *Beban Minimum Untuk Perencangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain* SNI 03-1727-2013. Badan Standarisasi Nasional, 2013.

Standard Nasional Indonesia. 2012. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung* SNI 03-1726-2012. Badan Standarisasi Nasional, 2012.

Standard Nasional Indonesia. 2013. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung* SNI 03-2847-2013. Badan Standarisasi Nasional.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **LAMPIRAN**

## BIODATA PENULIS



**Vionita Krisma Maharani**, lahir di Ponorogo, 24 April 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Ar-Rohman tahun 2001, SDN 1 Mangkujayan tahun 2007, SMPN 1 Ponorogo tahun 2010, dan SMAN 1 Ponorogo tahun 2013. Setelah lulus dari SMAN 1 Ponorogo, penulis diterima di program studi Diploma

IV Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113041049. Total 8 semester dan 144 sks telah dijalani penulis hingga lulus dari program studi Diploma IV Teknik Sipil (Bangunan Gedung) ini. Penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil sebagai staf ahli departemen Kesejahteraan Mahasiswa (EDWARD) dan Asisten Dirjen Kementerian Kesejahteraan Mahasiswa Badan Eksekutif Mahasiswa ITS pada periode 2014-2015. Penulis sempat mengikuti Kerja Praktek di PT. Sinar Waringin Adikarya pada Proyek Pembangunan Hotel Alimar Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [viokrisma@yahoo.com](mailto:viokrisma@yahoo.com).



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599**

**LAMPIRAN**  
**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI**  
**MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG**

VIONITA KRISMA MAHARANI  
NRP. 3113 041 036

Dosen Pembimbing  
Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D  
NIP 19730710 199802 1 002

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

# **DAFTAR GAMBAR**

NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
DENAH LANTAI	
DENAH LANTAI BASEMENT	01
DENAH LANTAI 01	02
DENAH LANTAI 02	03
DENAH LANTAI 03	04
DENAH LANTAI 04	05
DENAH LANTAI 05	06
DENAH LANTAI 06	07
DENAH LANTAI 07	08
POTONGAN	
POTONGAN A-A	09
POTONGAN B-B	10
TAMPAK	
TAMPAK UTARA	11
TAMPAK SELATAN	12
TAMPAK BARAT	13
TAMPAK TIMUR	14

NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
STRUKTUR PELAT LANTAI	
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI BASEMENT	15
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 01	16
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 02	17
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 03	18
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 04	19
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 05	20
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 06	21
DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI 07	22
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 1 (P1)	23
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 2 (P2)	24
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 3 (P3)	25
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 4 (P4)	26
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 5 (P5)	27
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 6 (P6)	28
DETAIL PENULANGAN PELAT TIPE 7 (P7)	29
RENCANA PENULANGAN PELAT LANTAI 1-7	30

# **DAFTAR GAMBAR**

NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
<b>STRUKTUR TANGGA</b>	
GAMBAR TANGGA 4.2M	31
GAMBAR TANGGA 3.2M	32
GAMBAR TANGGA 5.2M	33
<b>DETAIL ATAP BAJA</b>	
DENAH RENCANA ATAP	34
DETAIL IKATAN ANGIN DAN PENGGANTUNG GORDING	35
DETAIL SAMBUNGAN A	36
DETAIL SAMBUNGAN B	37
DETAIL SAMBUNGAN C	38
<b>DENAH BALOK DAN KOLOM</b>	
DENAH BALOK LANTAI 1-6 (TIPIKAL)	39
DENAH BALOK LANTAI 7	40
DENAH KOLOM LT. BAWAH - LT.6 (TIPIKAL)	41
DENAH KOLOM LT.7	42
DENAH SLOOR	43

NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
<b>DETAIL PENULANGAN BALOK DAN KOLOM</b>	
DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK	44
DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK 1	45
DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK 2	46
DETAIL PENULANGAN KOLOM 1	47
DETAIL PENULANGAN HUBUNGAN BALOK KOLOM	48
<b>DETAIL POTONGAN PORTAL</b>	
PENULANGAN PORTAL A-A	49
<b>STRUKTUR BALOK PRATEKAN</b>	
PENULANGAN BALOK PRATEKAN	50
DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEKAN	51
DETAIL ANGKUR BALOK PRATEKAN	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

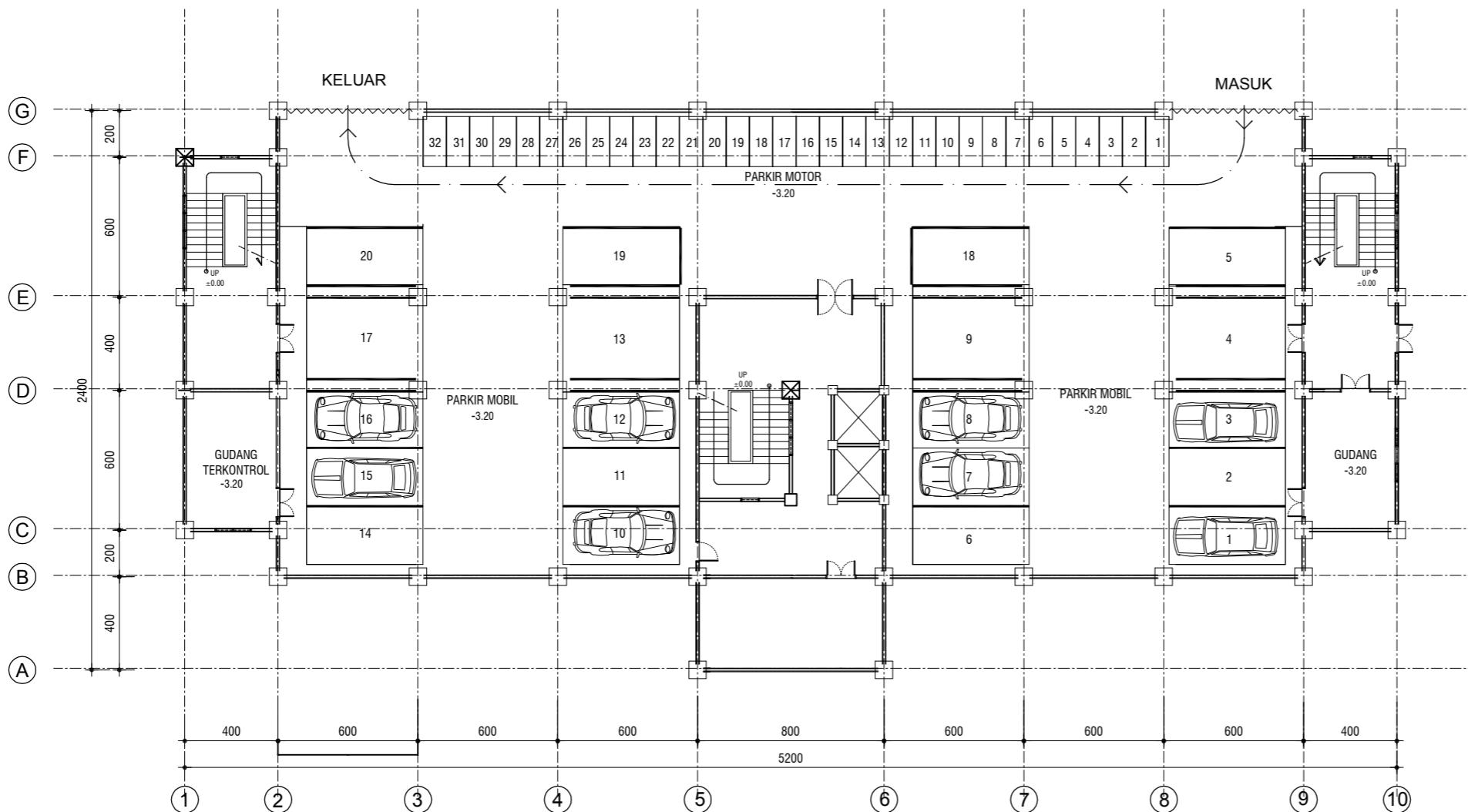
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

Denah Rencana Lantai Semi  
Basement

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
1	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

**Denah Rencana Lantai 01**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
2	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

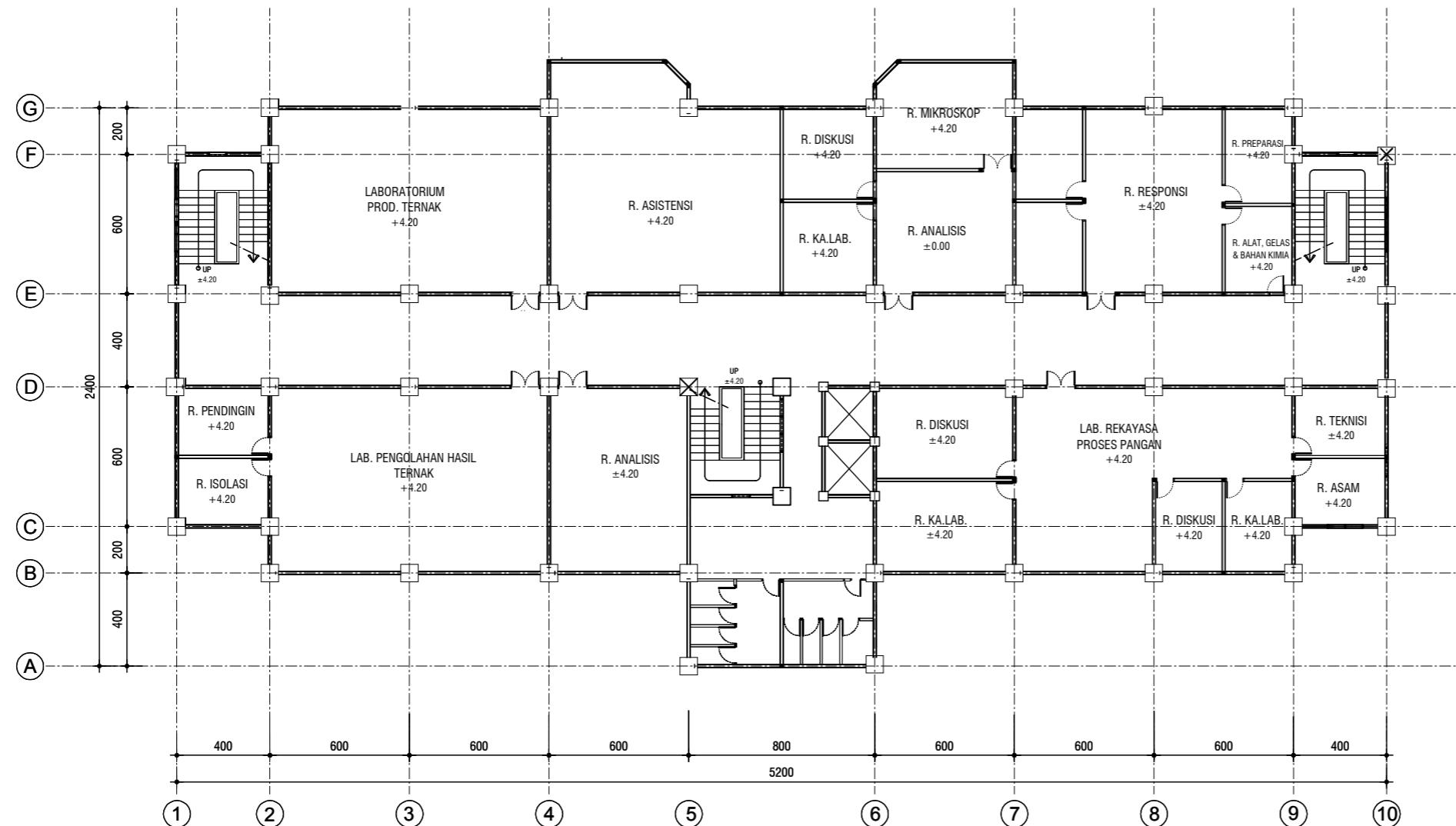
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

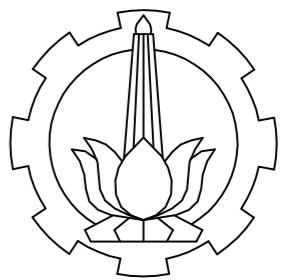
**Denah Rencana Lantai 02**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
3	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

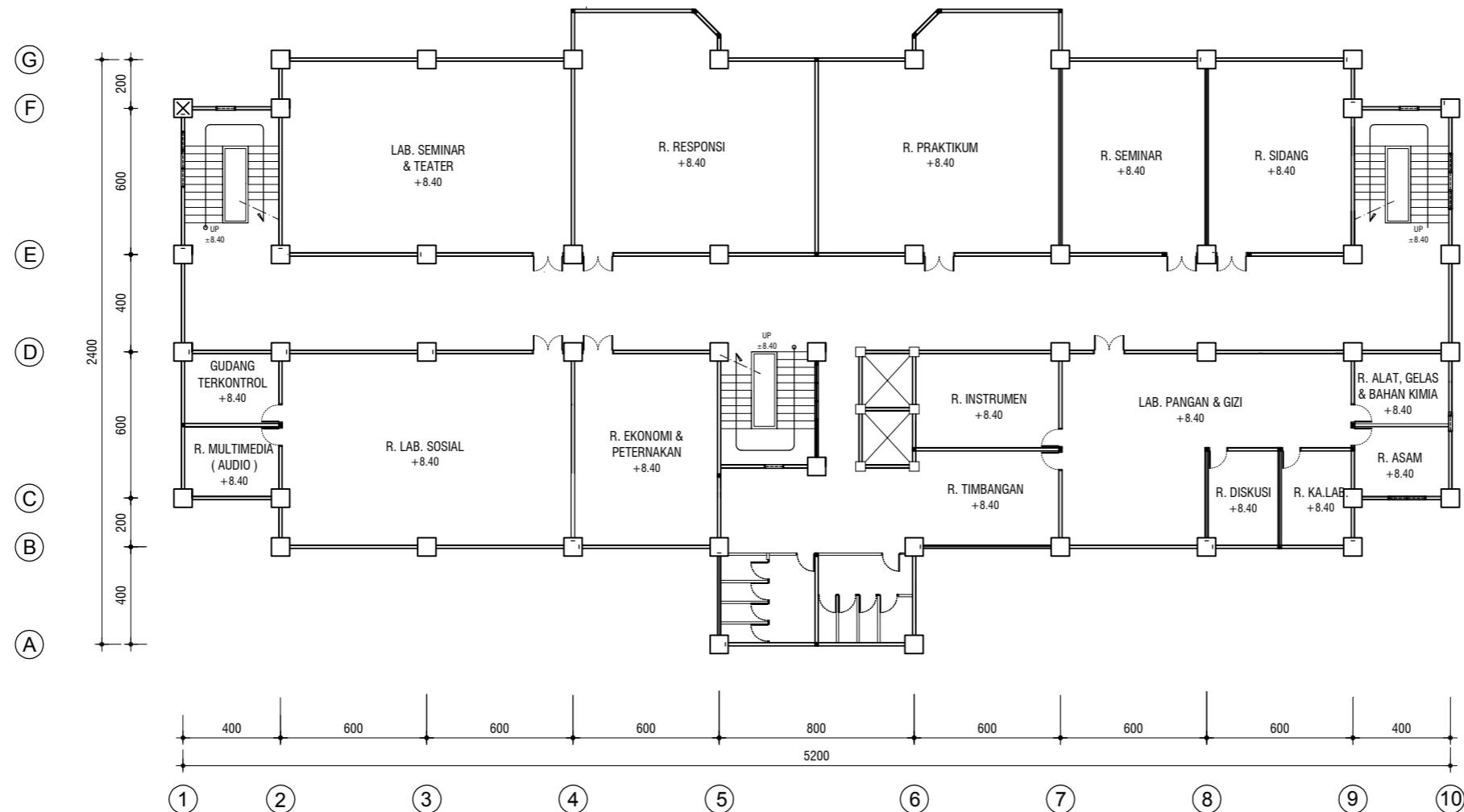
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

**Denah Rencana Lantai 03**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
4	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**



**NAMA GAMBAR**

**Denah Rencana Lantai 04**

SKALA

**1:250**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>5</b>	<b>52</b>



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

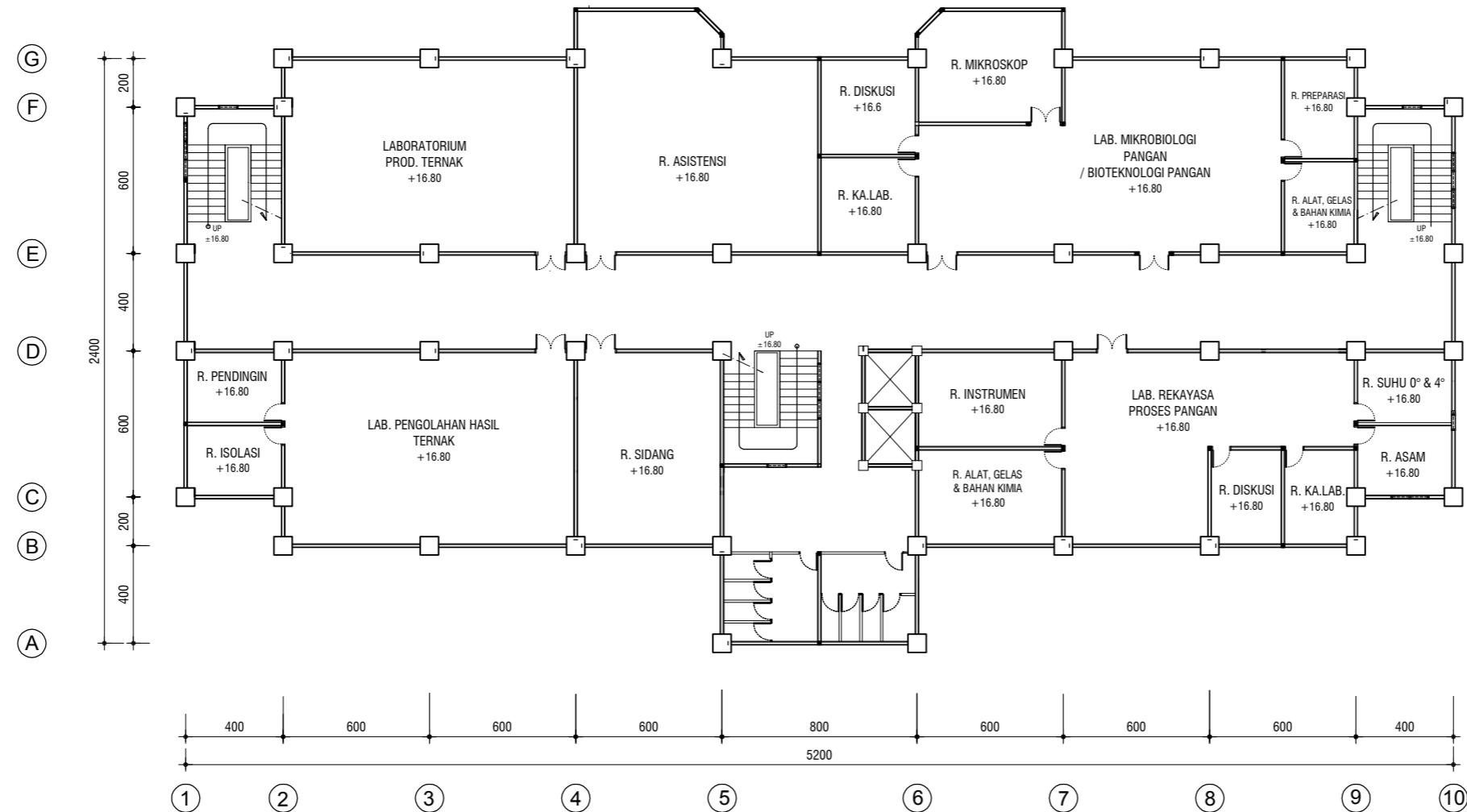
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

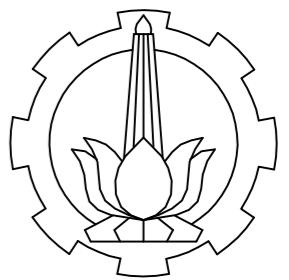
Denah Rencana Lantai 05

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
6	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

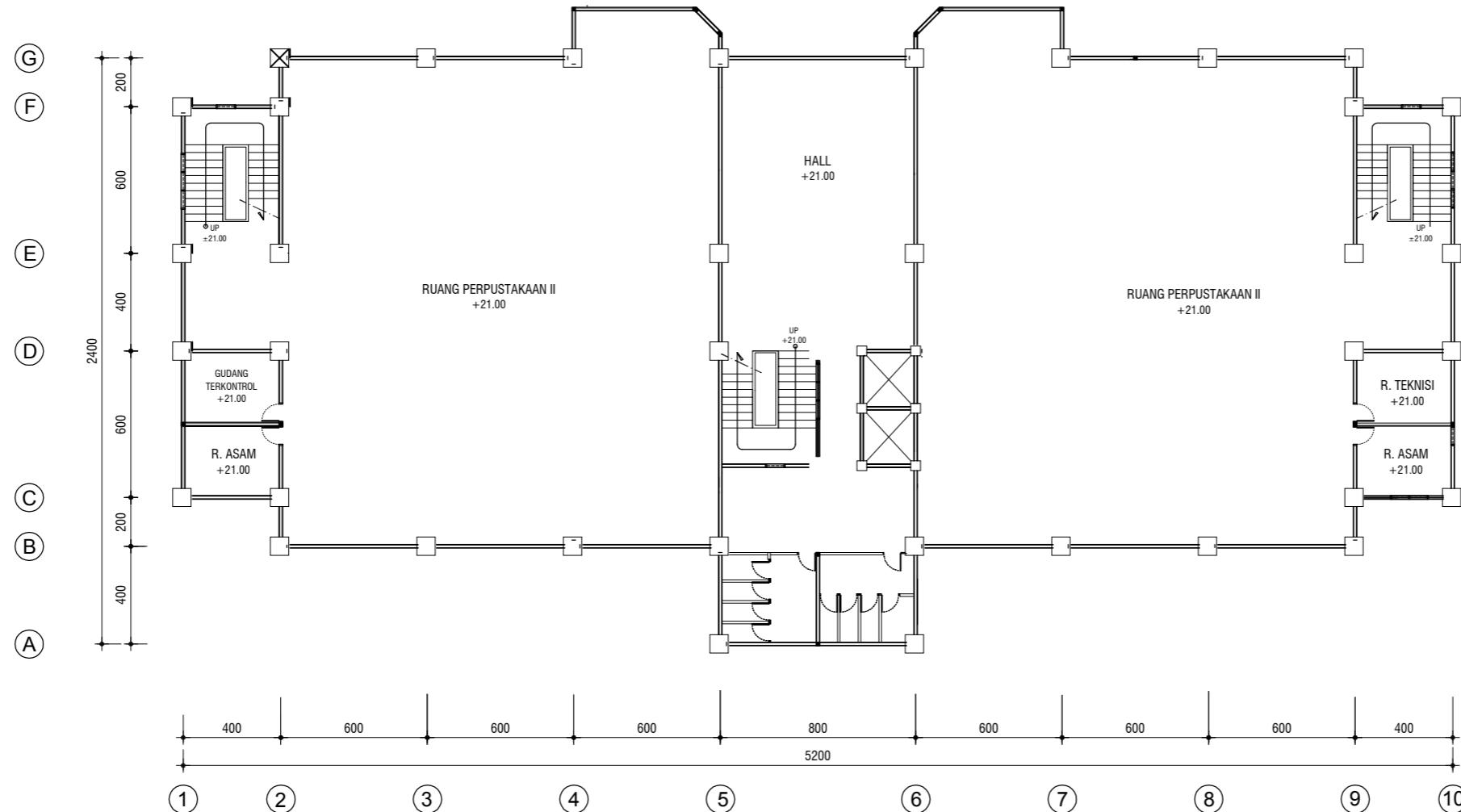
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

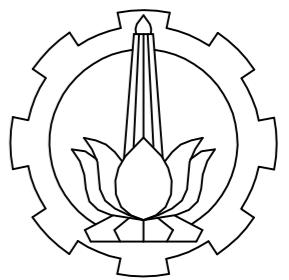
**Denah Rencana Lantai 06**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
7	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

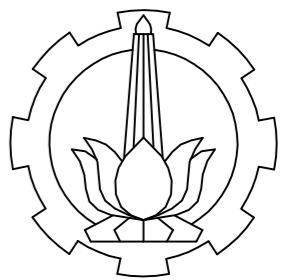
Denah Rencana Lantai 07

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
8	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

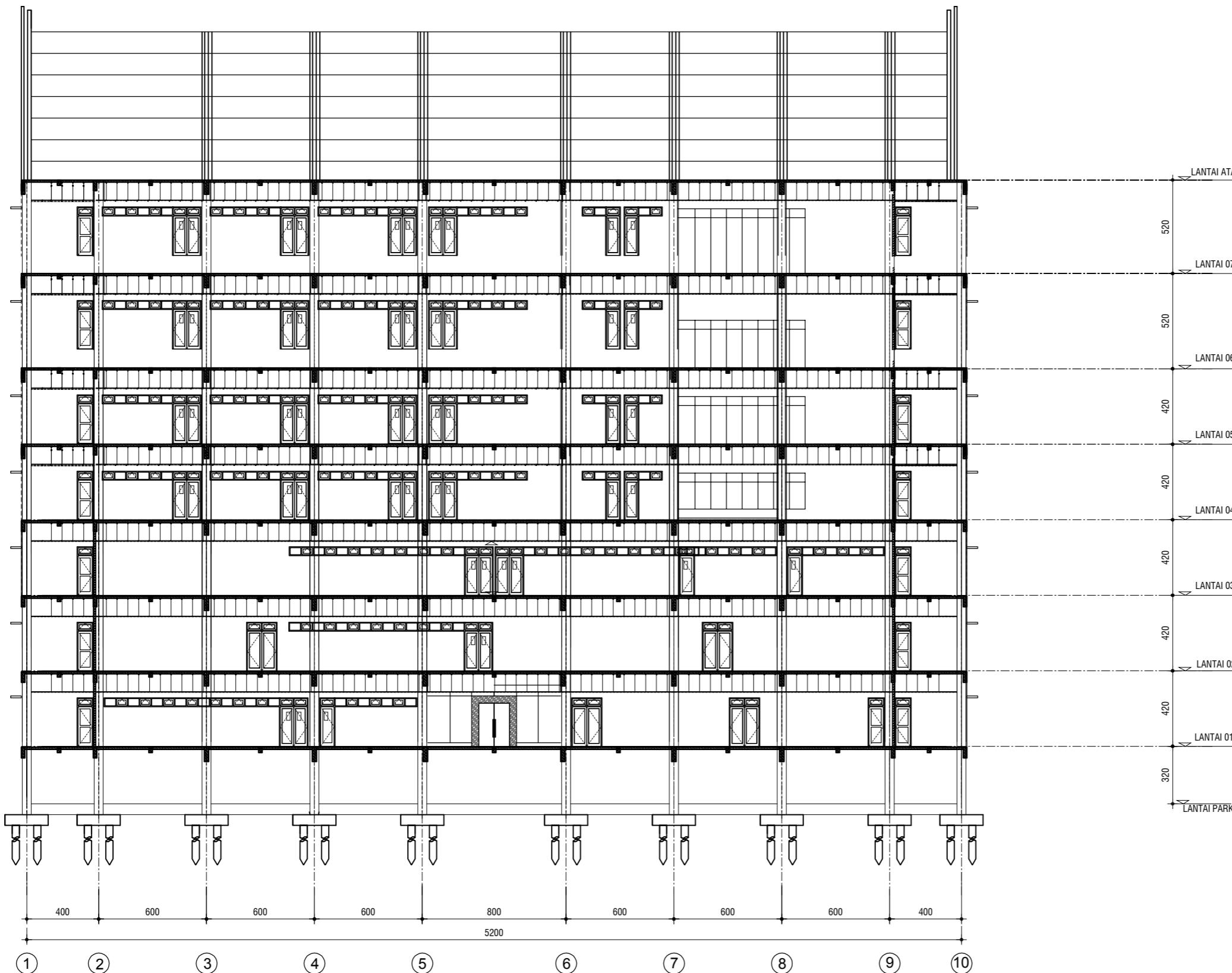
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

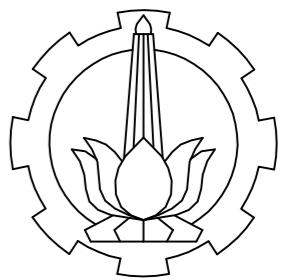
**Potongan A-A**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
9	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

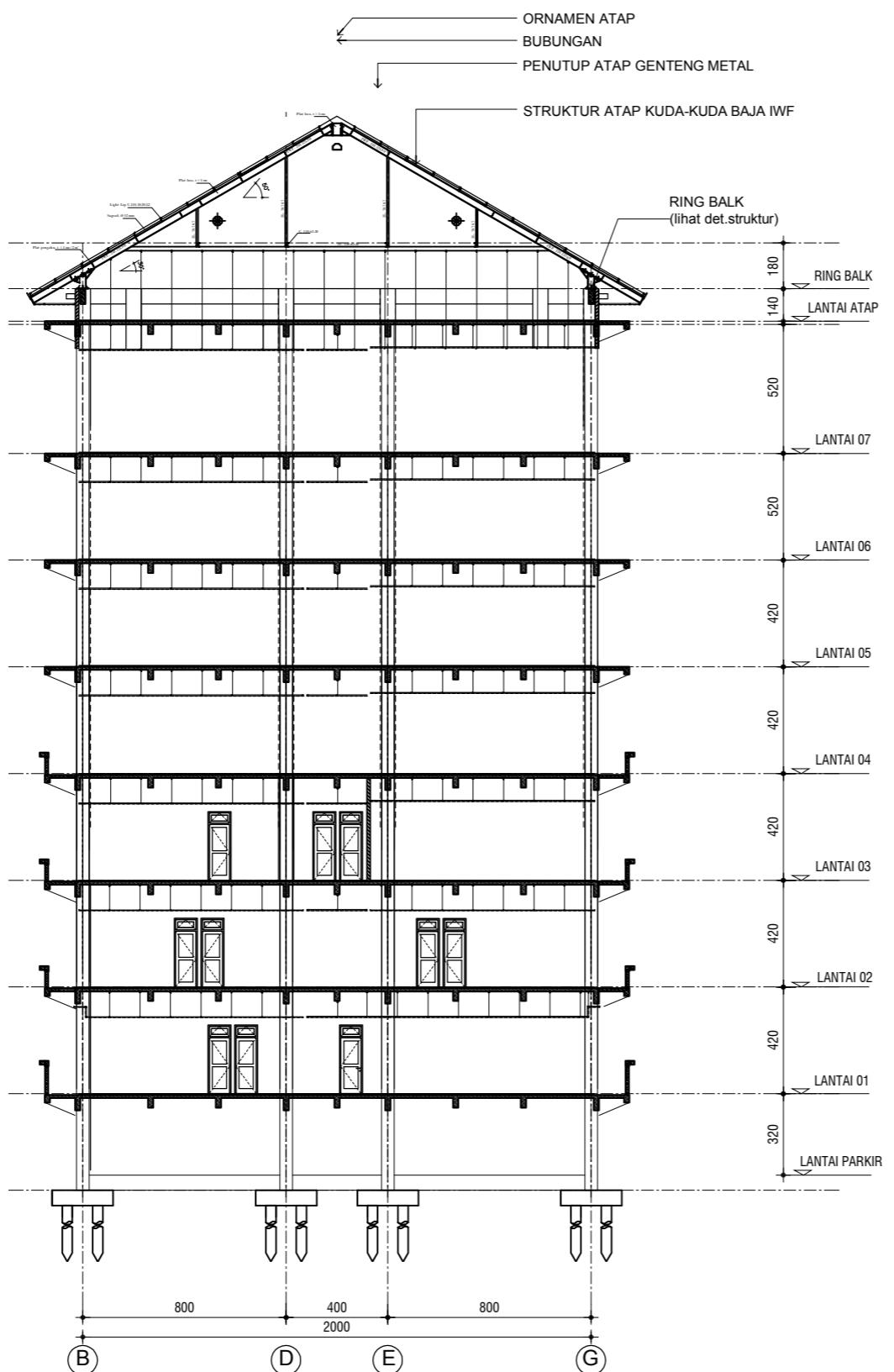
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

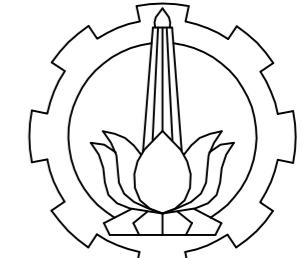
Potongan B-B

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
10	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

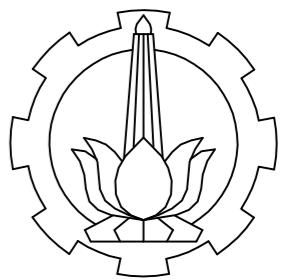
Tampak Depan Bangunan

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
11	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

Tampak Belakang Bangunan

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
12	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

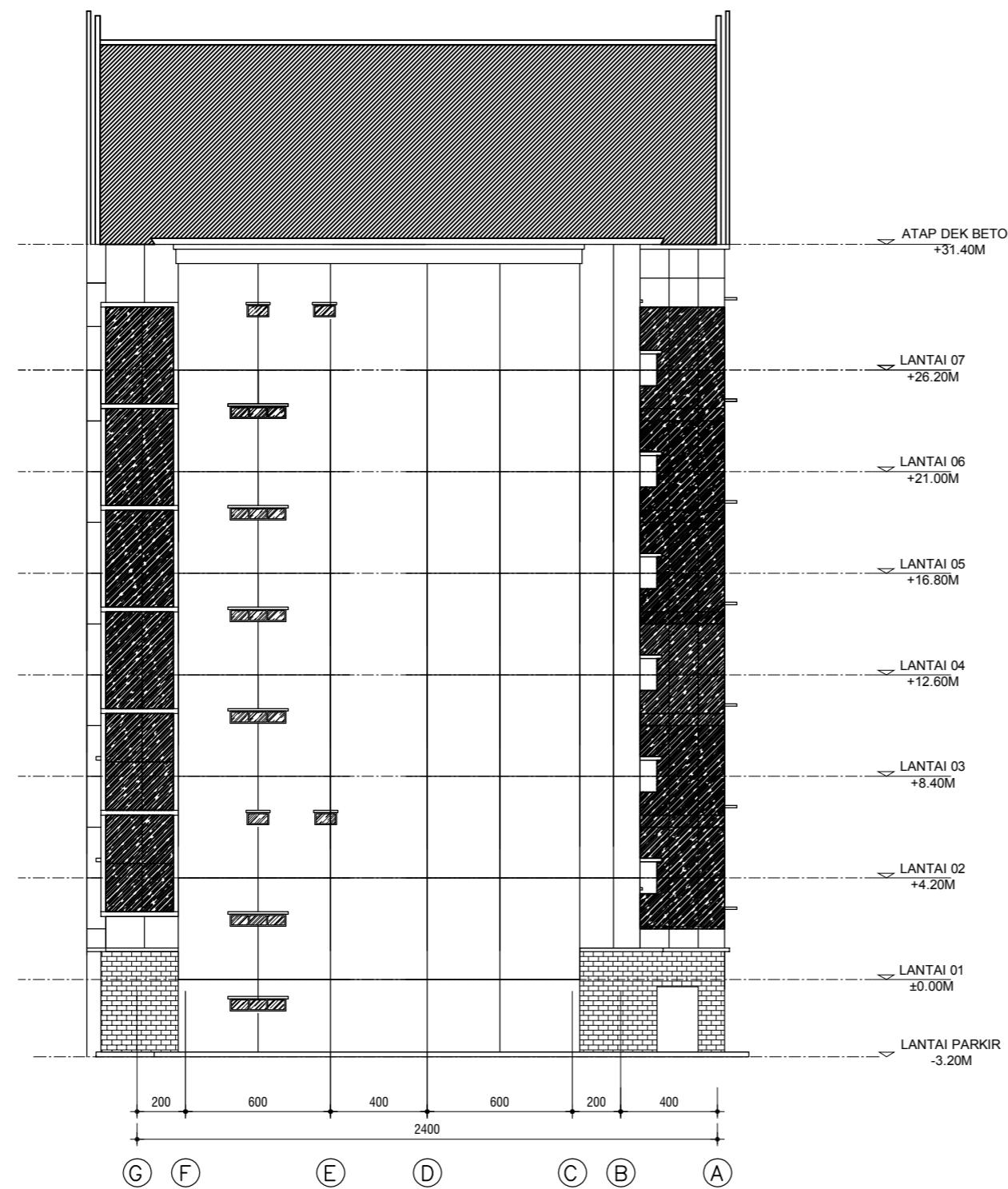
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

Tampak Samping Kiri Bangunan

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
13	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

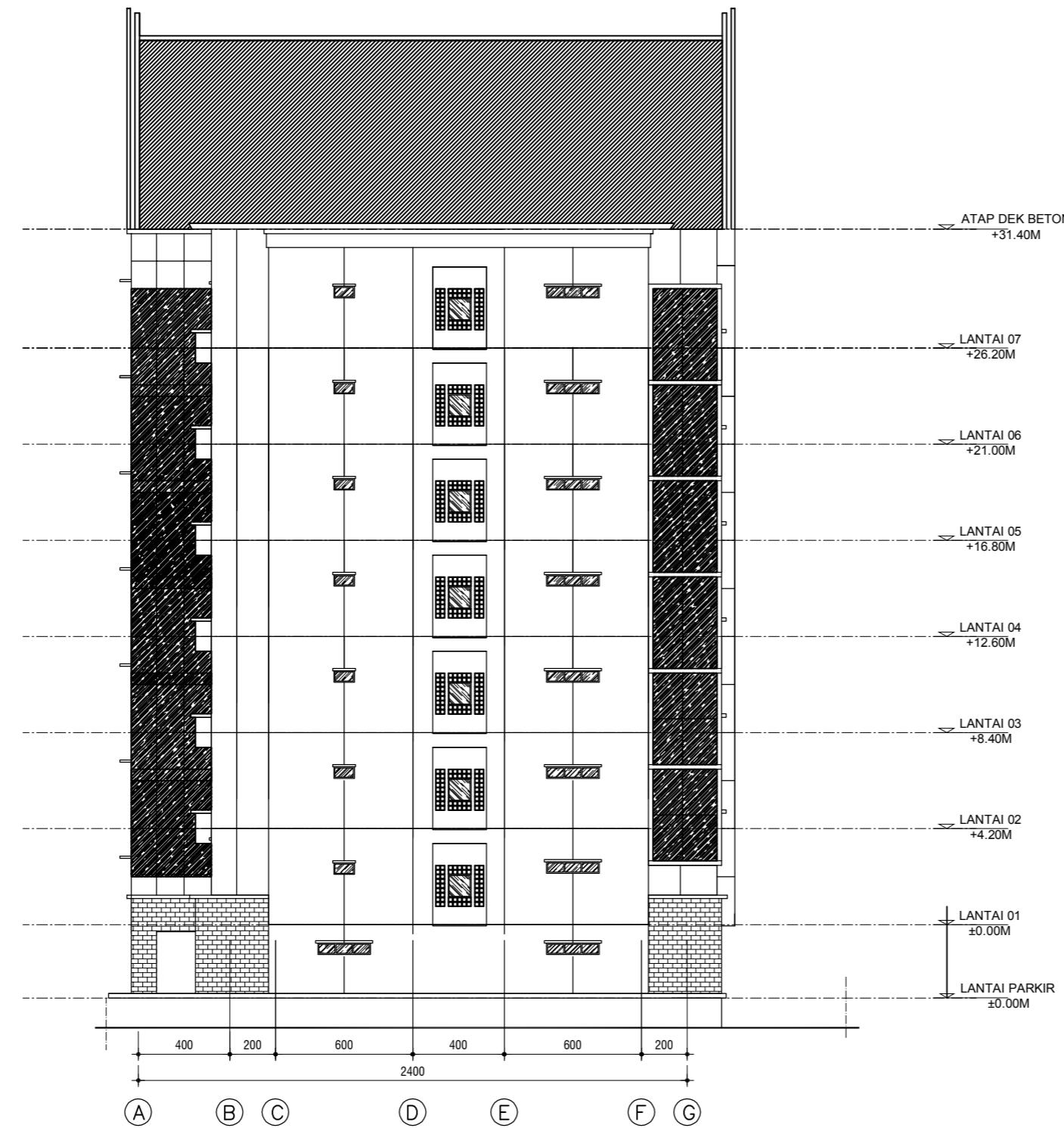
**NAMA GAMBAR**  
**Tampak Samping Kanan  
Bangunan**

**SKALA**

**1:250**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

<b>14</b>	<b>52</b>
-----------	-----------





DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

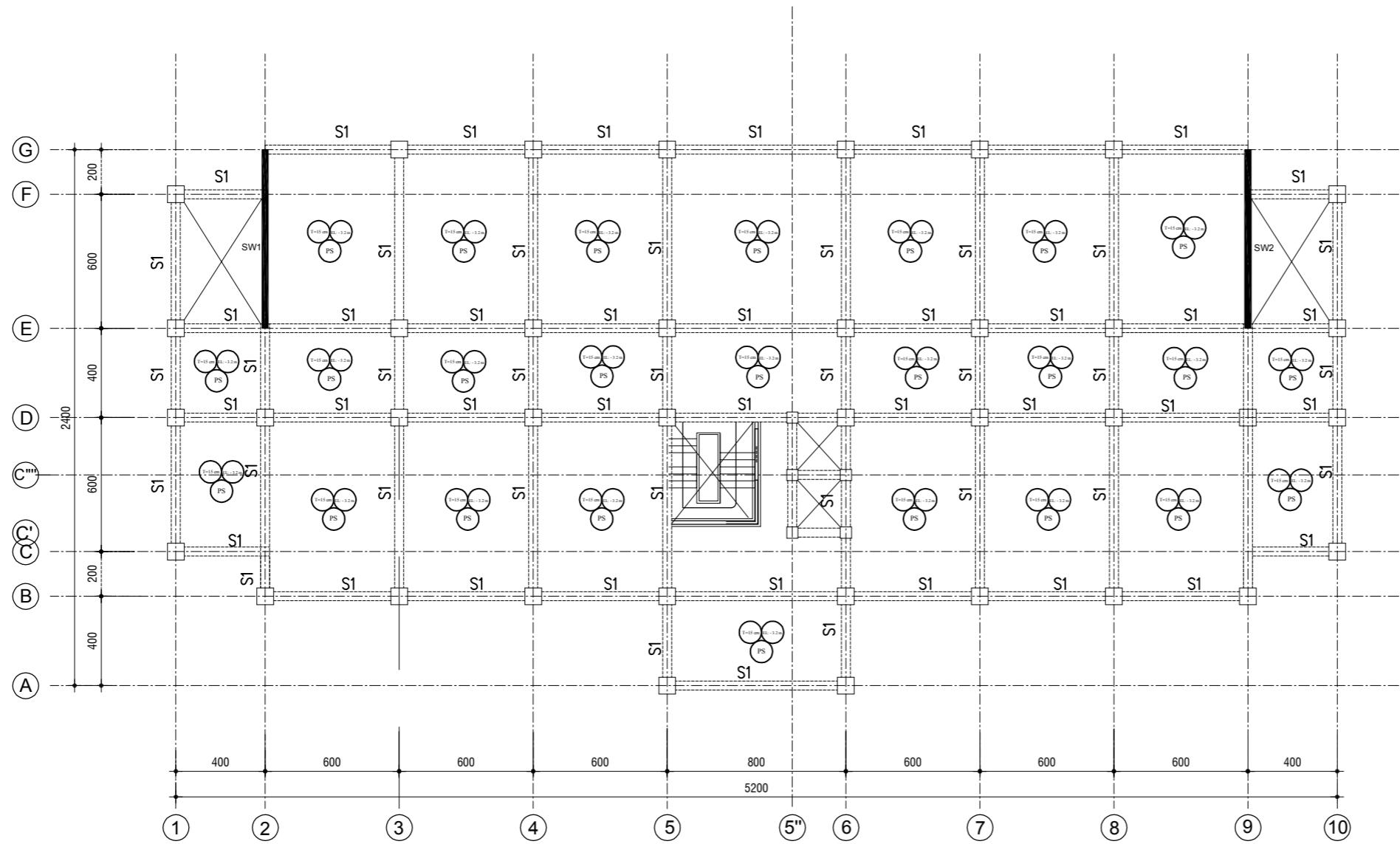
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

Denah Rencana Plat Lantai Semi  
Basement

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
15	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

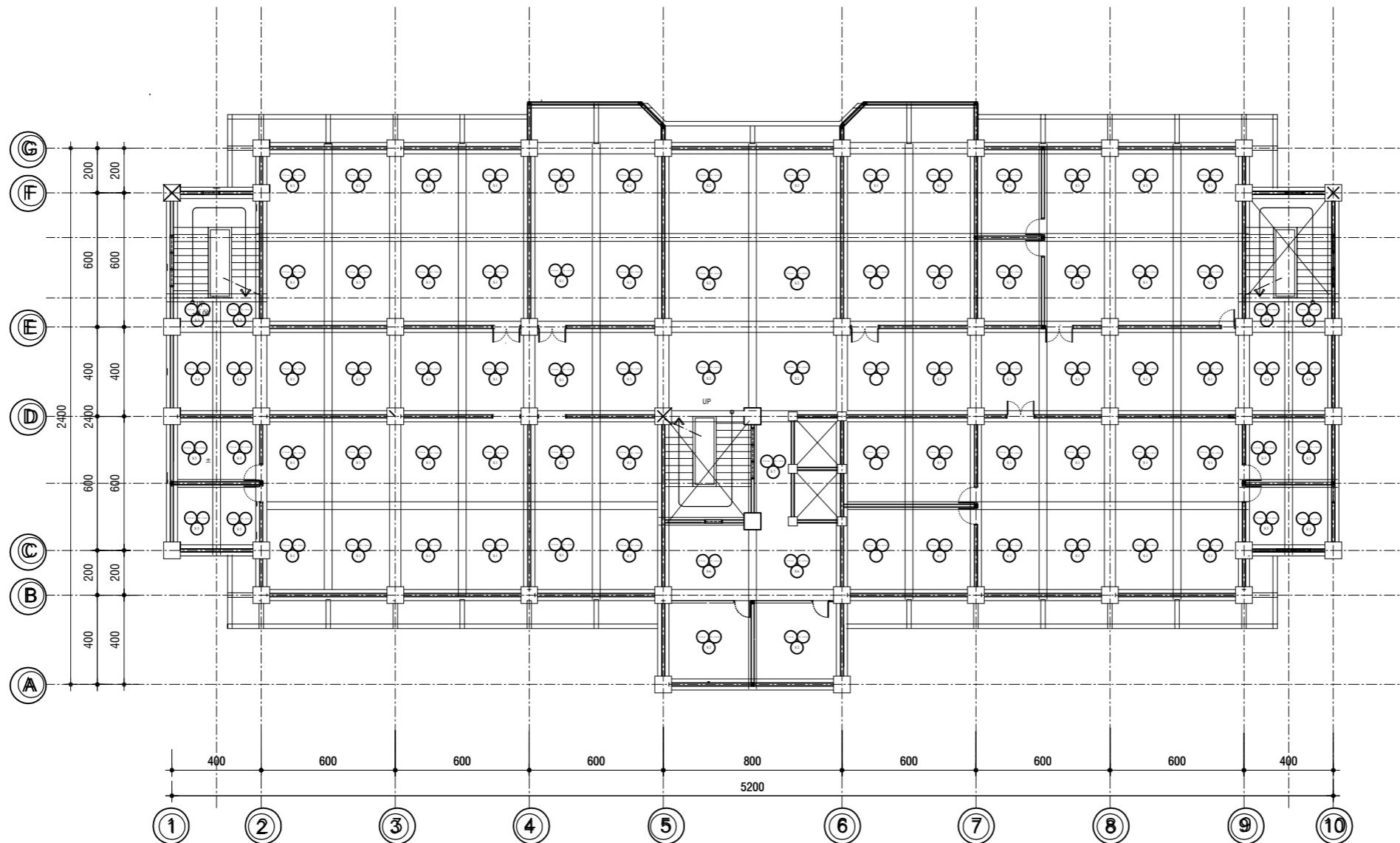
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

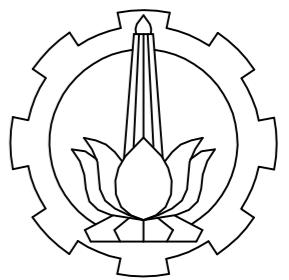
**Denah Rencana Plat Lantai 01**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>16</b>	<b>52</b>



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

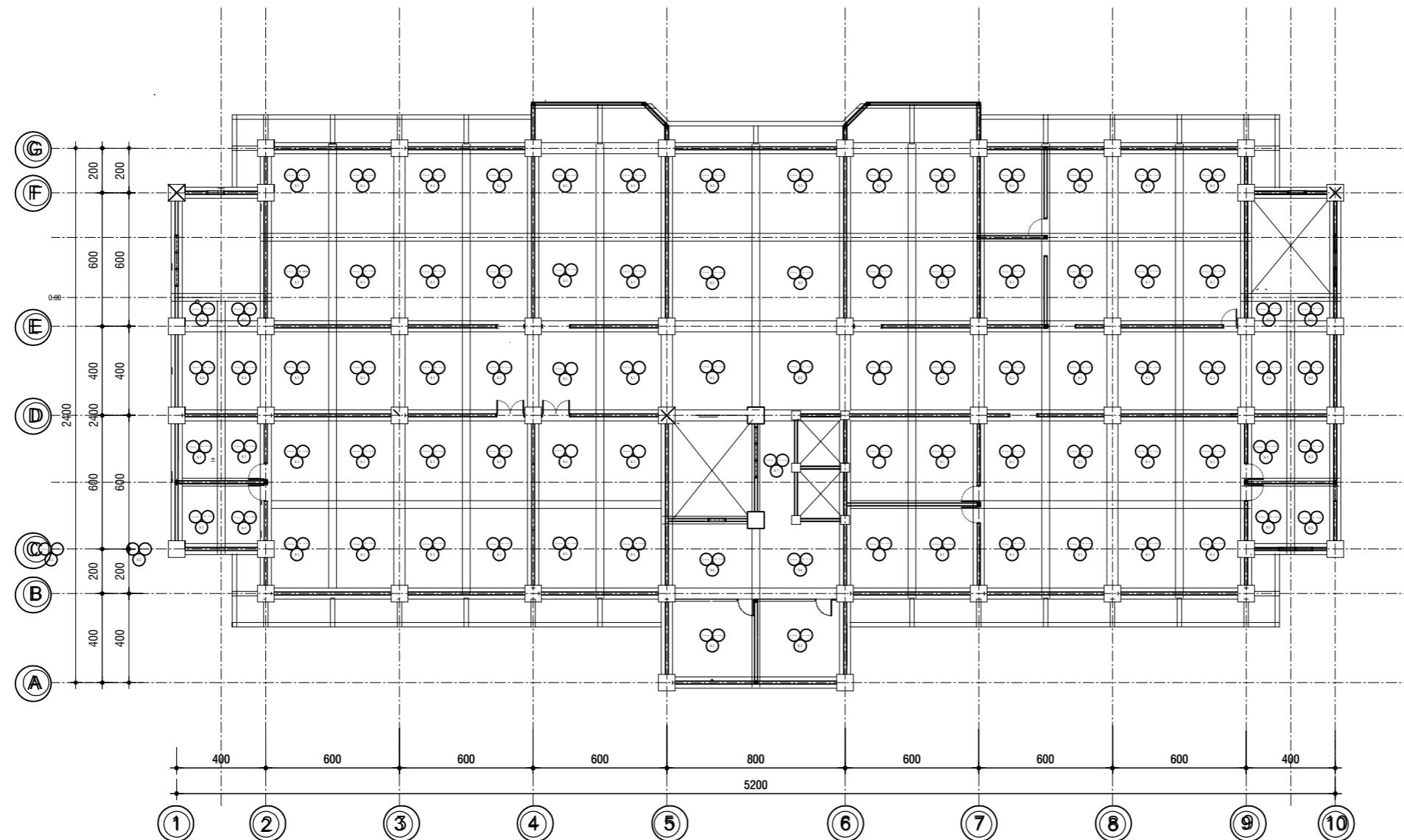
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

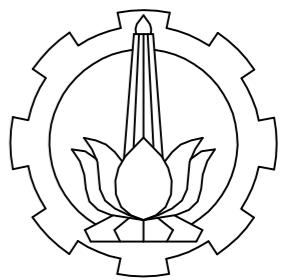
Denah Rencana Plat Lantai 02

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
17	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

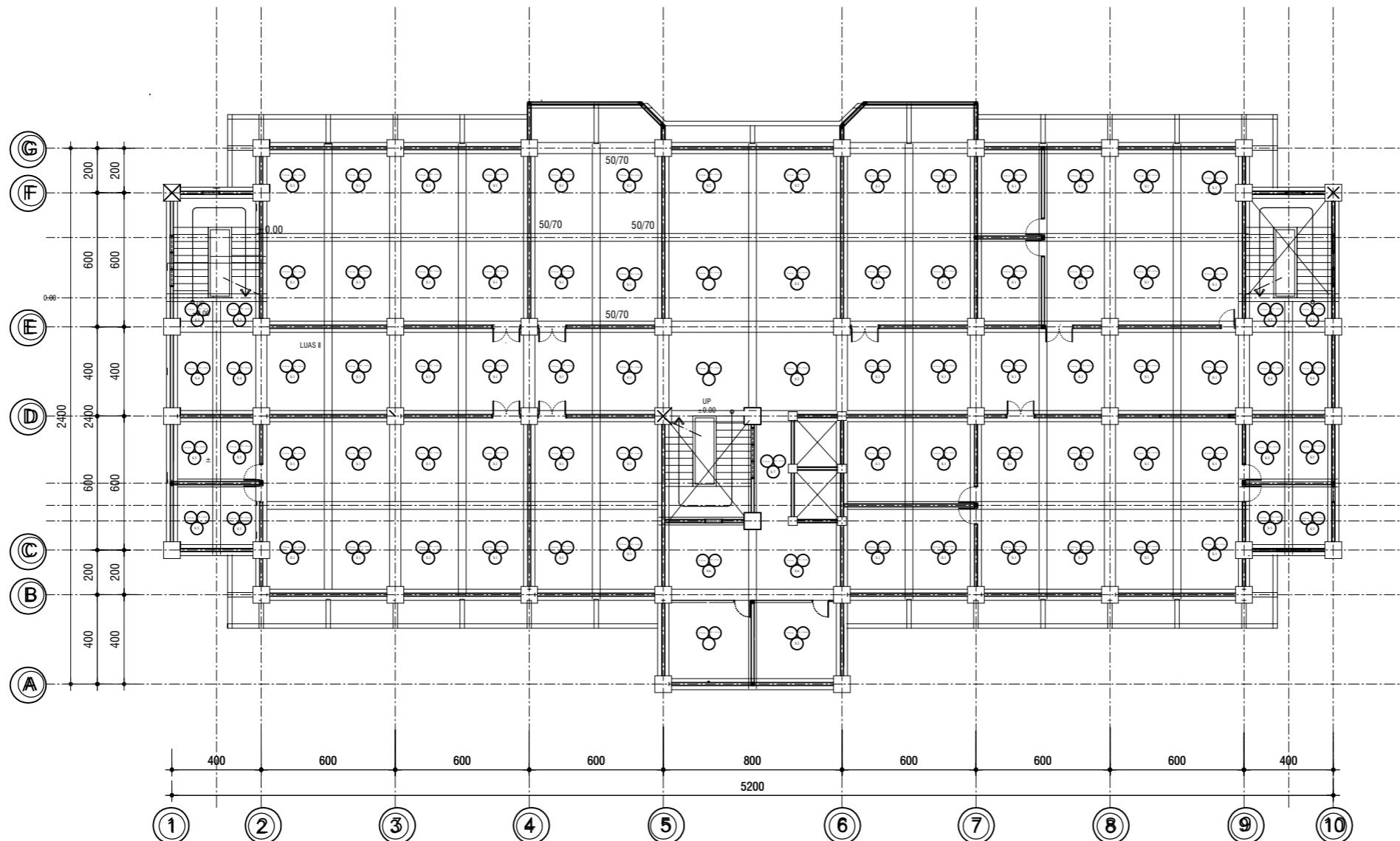
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

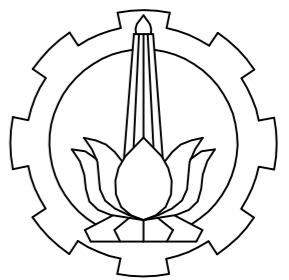
Denah Rencana Plat Lantai 03

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
18	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

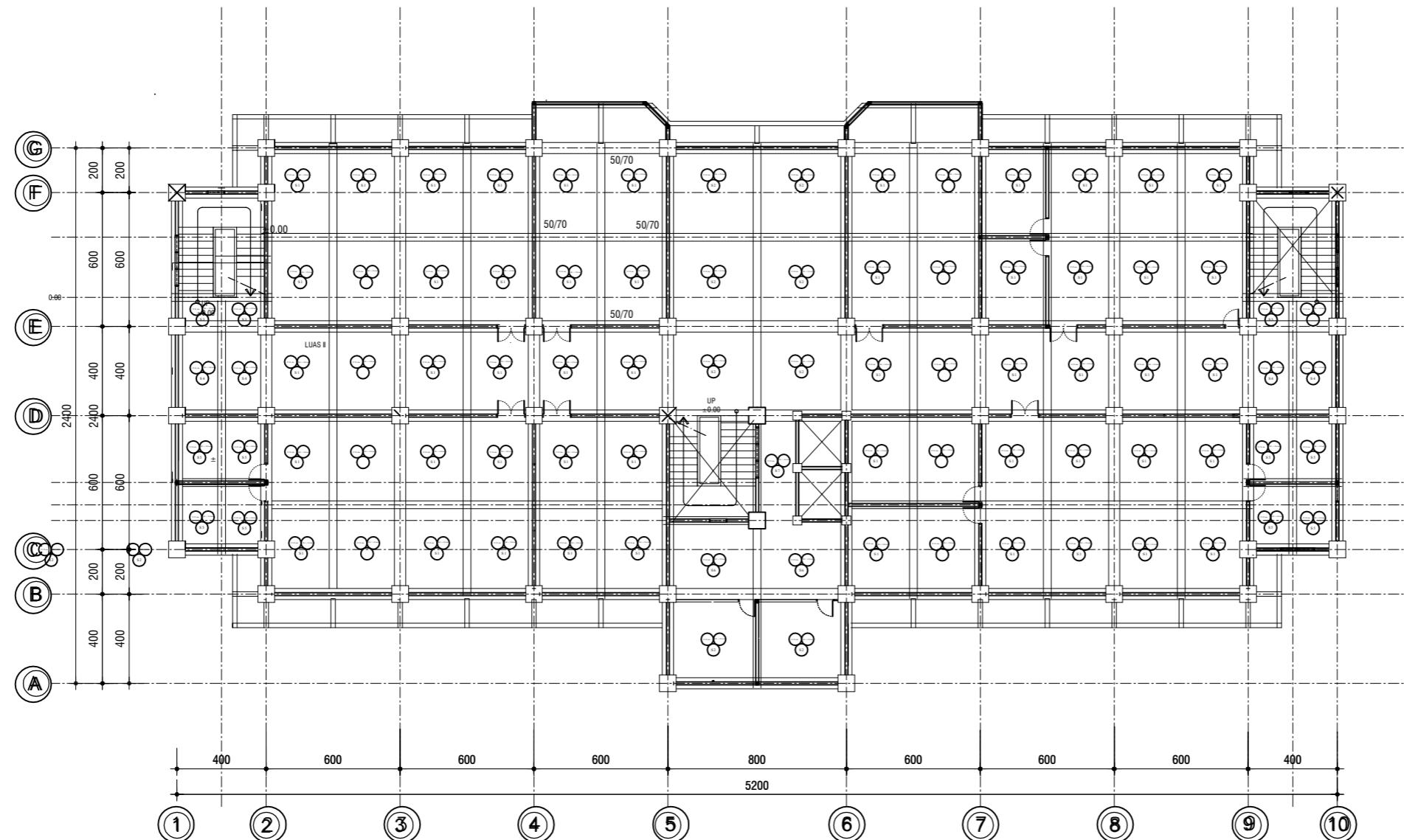
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

Denah Rencana Plat Lantai 04

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
19	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

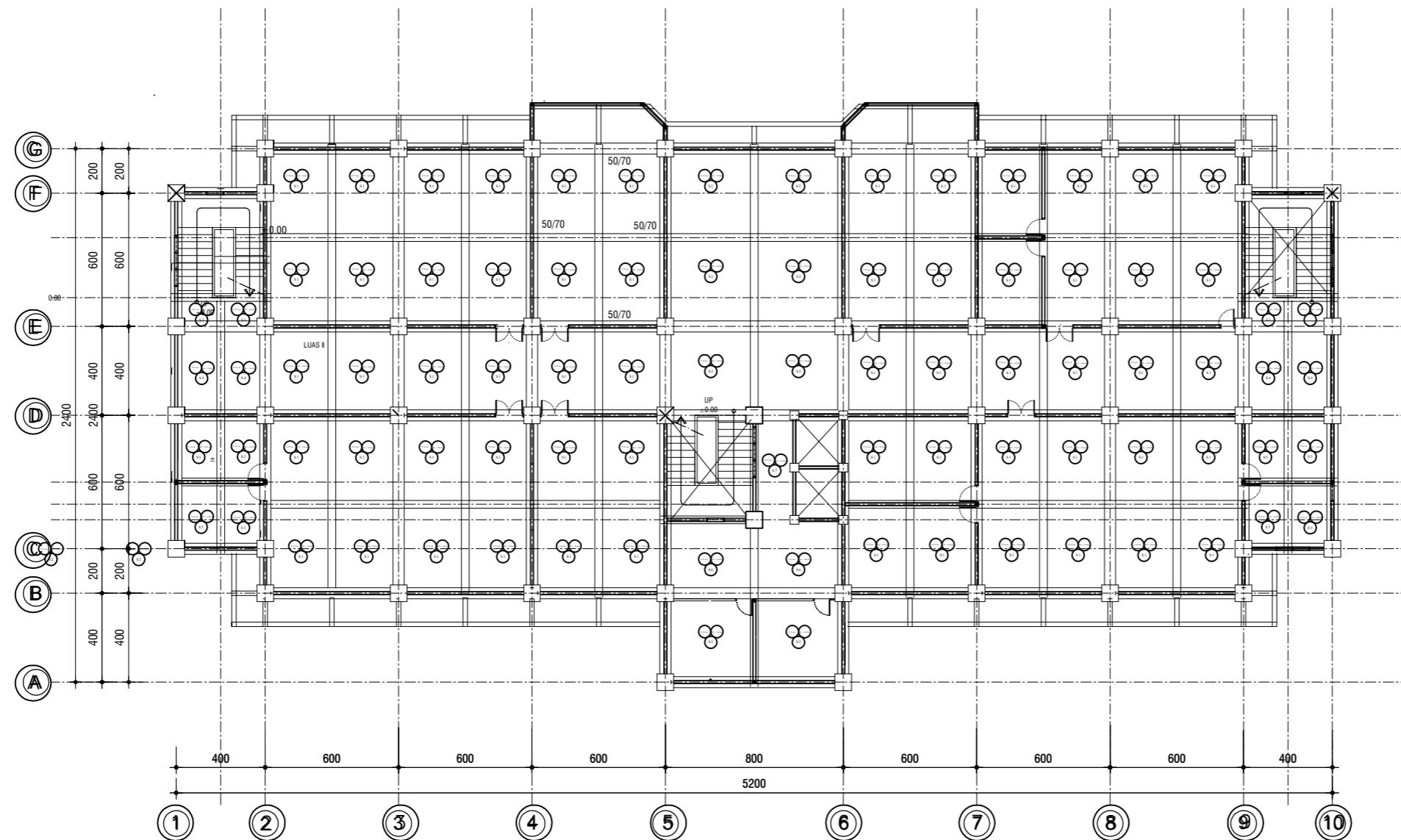
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

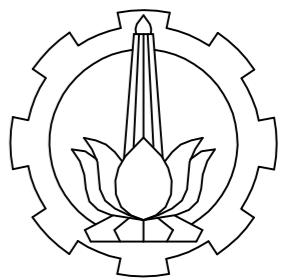
**Denah Rencana Plat Lantai 05**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>20</b>	<b>52</b>



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

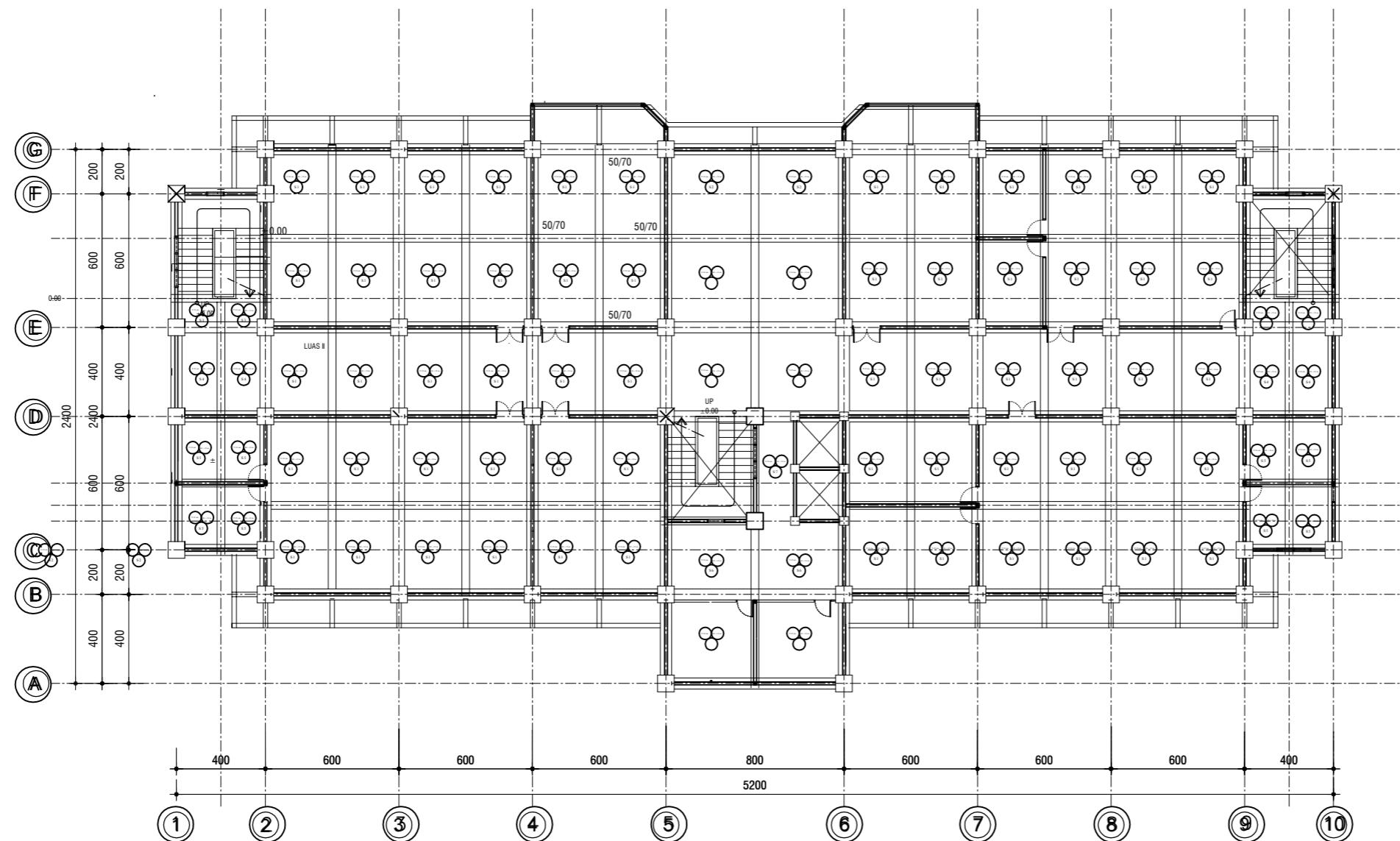
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

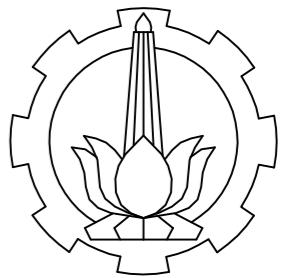
Denah Rencana Plat Lantai 06

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
21	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

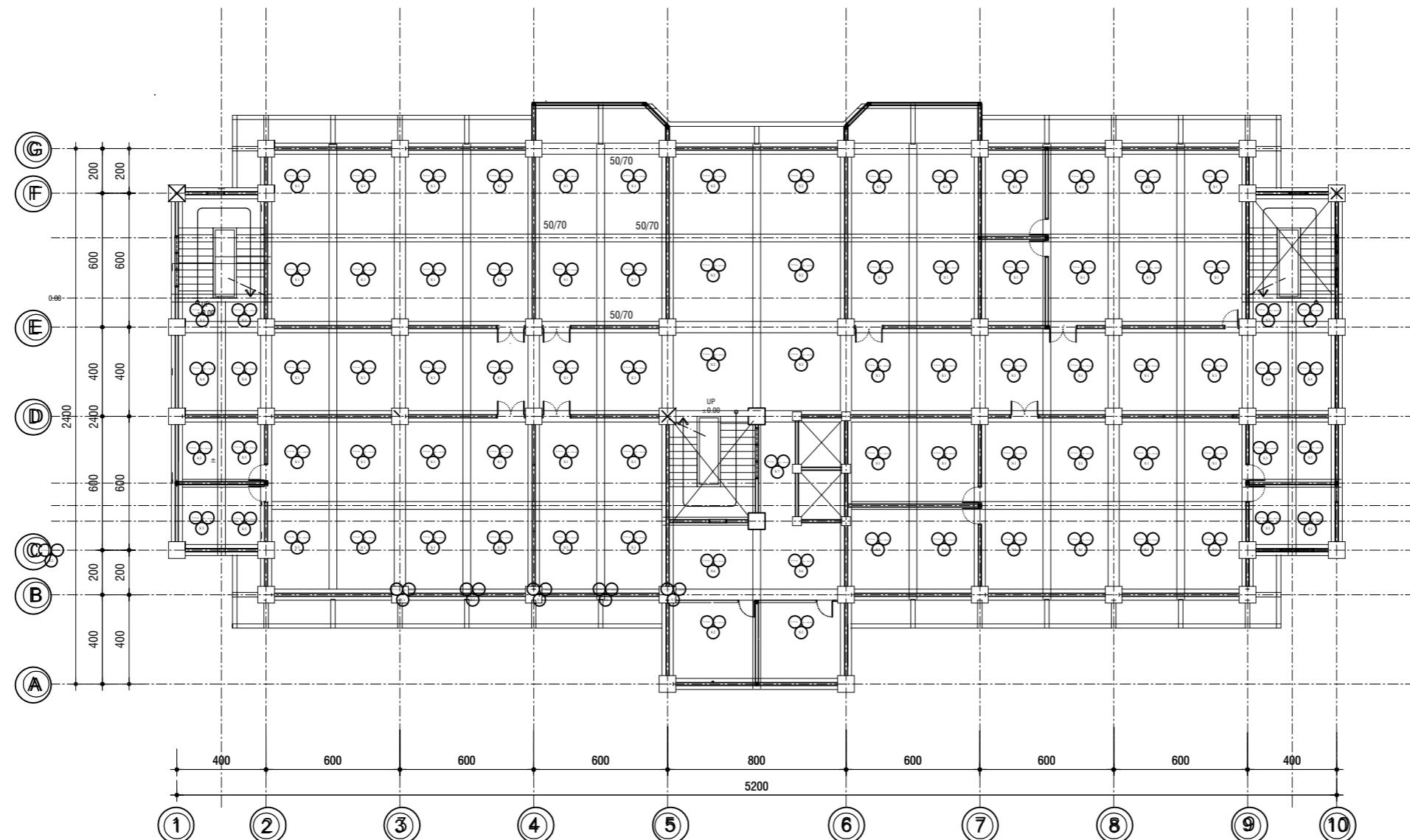
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

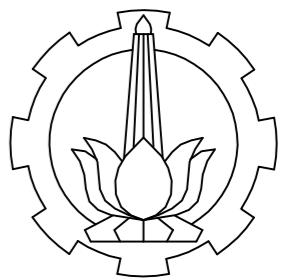
Denah Rencana Plat Lantai 07

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
22	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

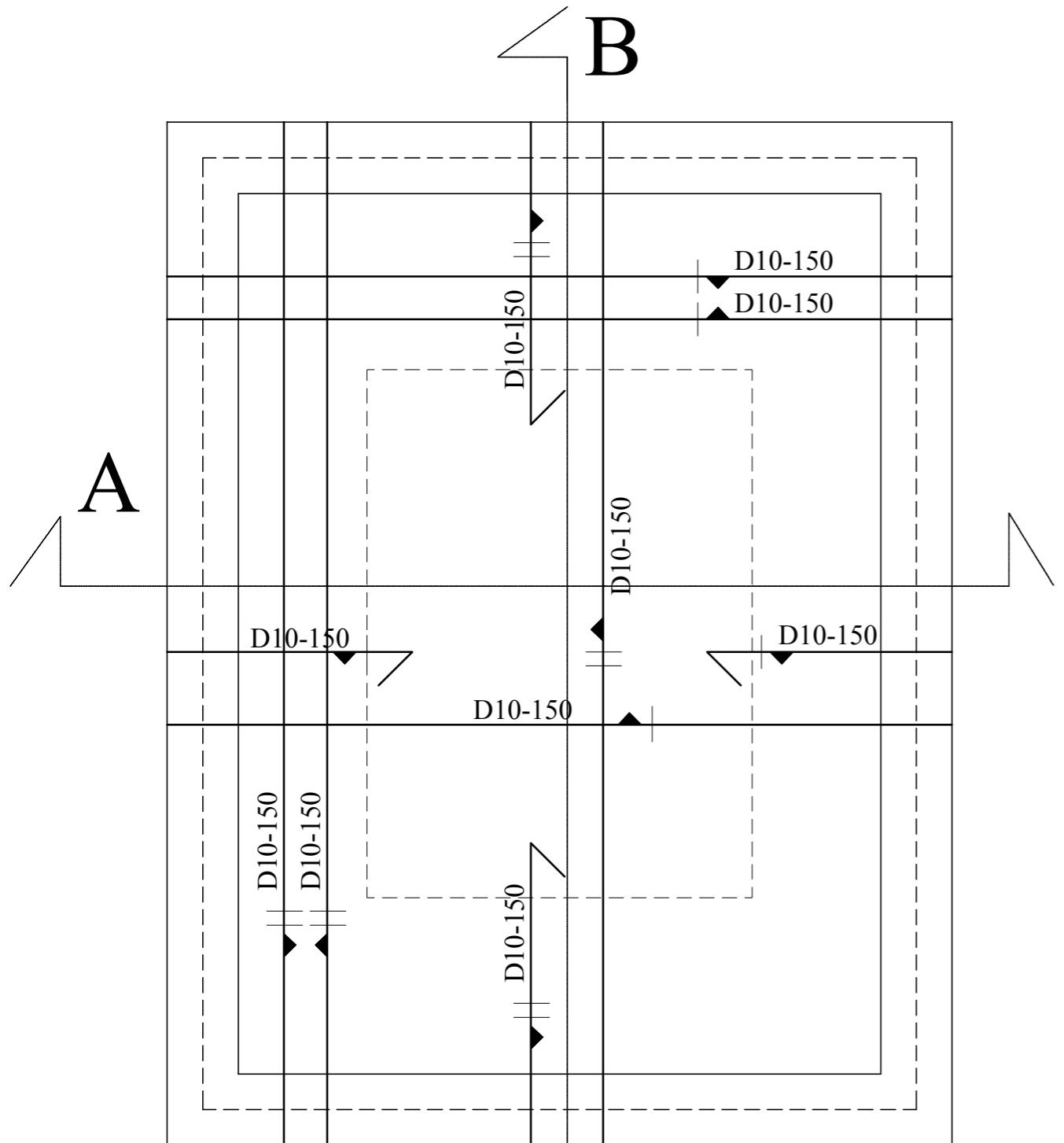
Denah Penulangan Plat P1

SKALA

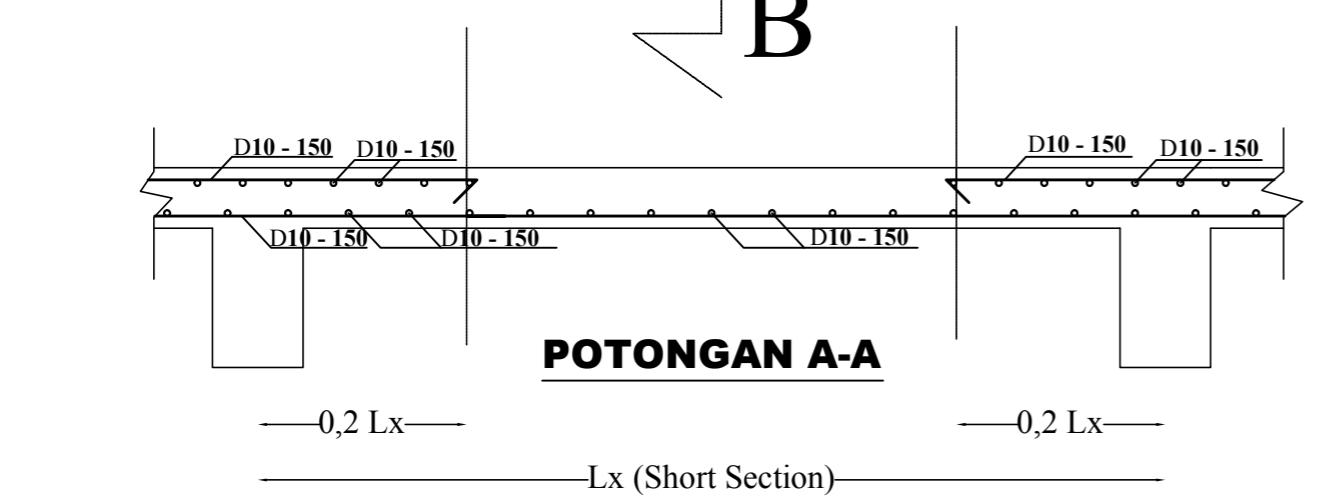
1:250

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

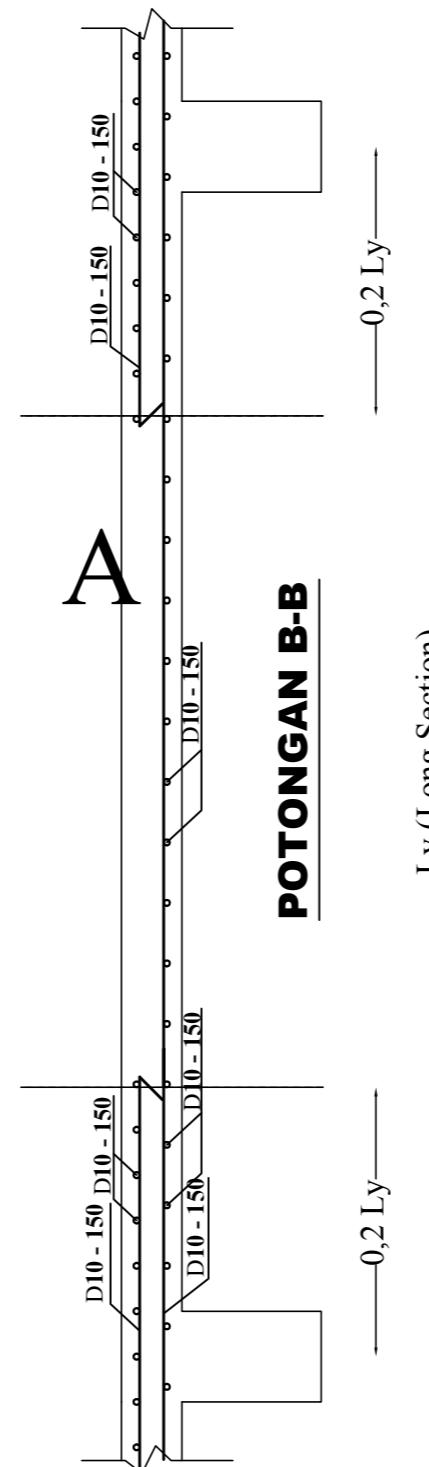
23 52



POTONGAN A-A



—0,2 Lx—  
Lx (Short Section)



POTONGAN B-B



**DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER**

## JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

## MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

**Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D**  
**NIP. 19730710 199802 1 002**

## NAMA MAHASISWA

**Vionita Krisma Maharani**  
**NRP. 3113041049**

## KETERANGAN

## NAMA GAMBAR

## Denah Penulangan Plat P2

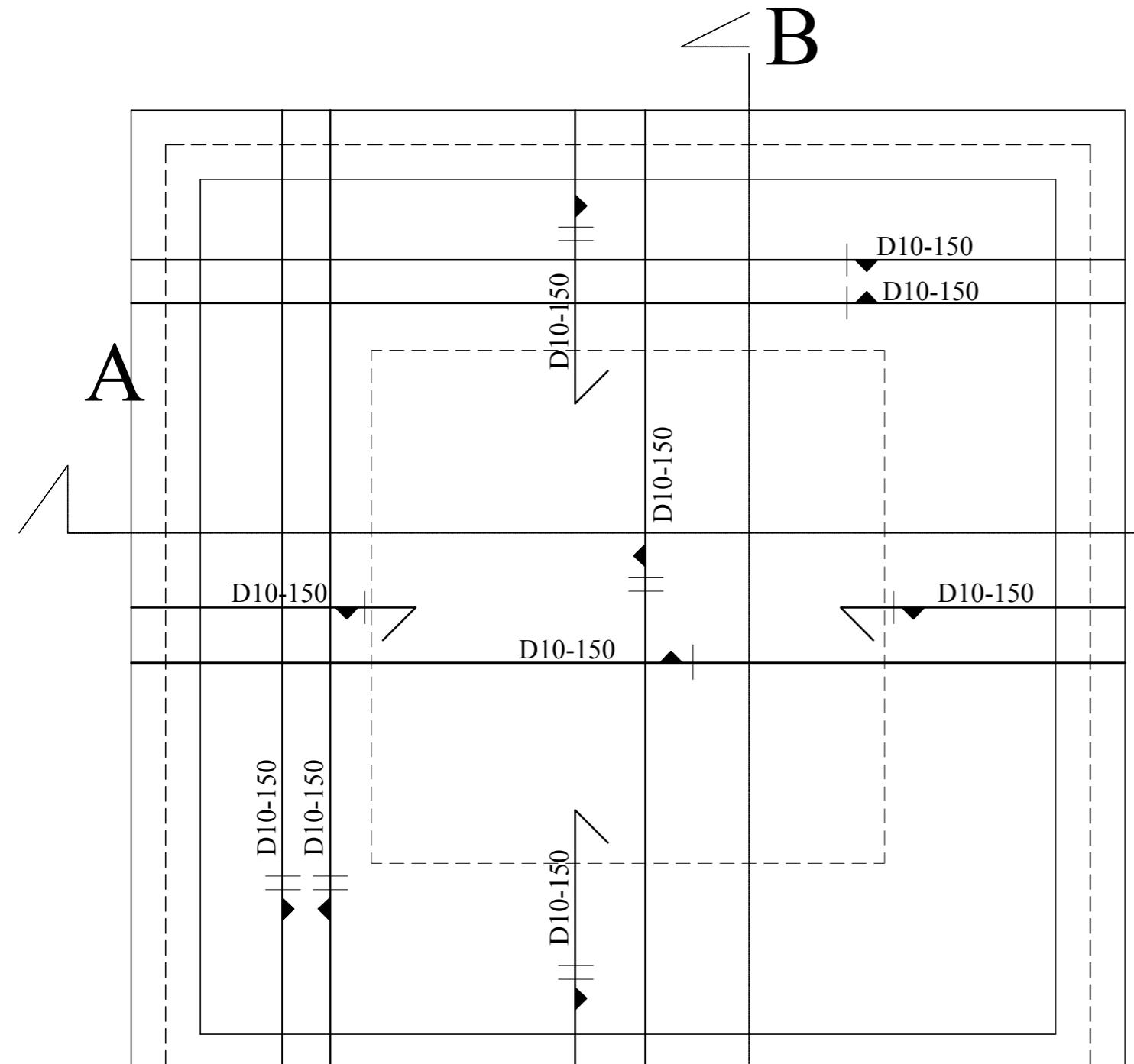
---

SKALA

1:250

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

24 52

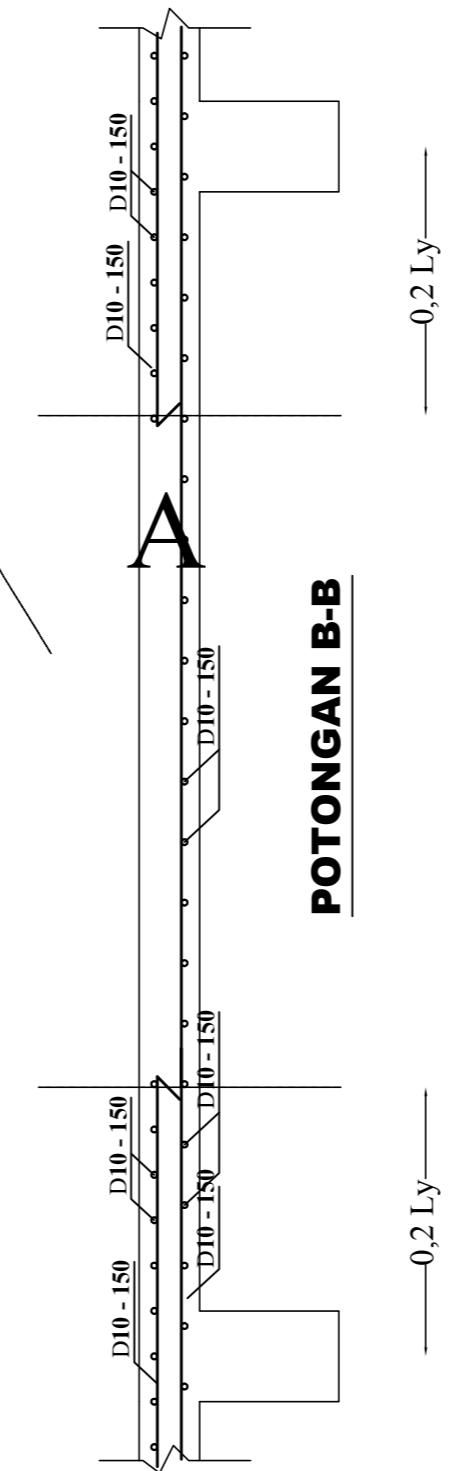


POTONGAN A-A

← 0,2 Lx →

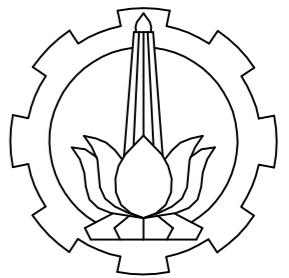
---

### Lx (Short Section)



POTONGAN B-B

—0,2 Ly—  
—0,2 Ly—



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

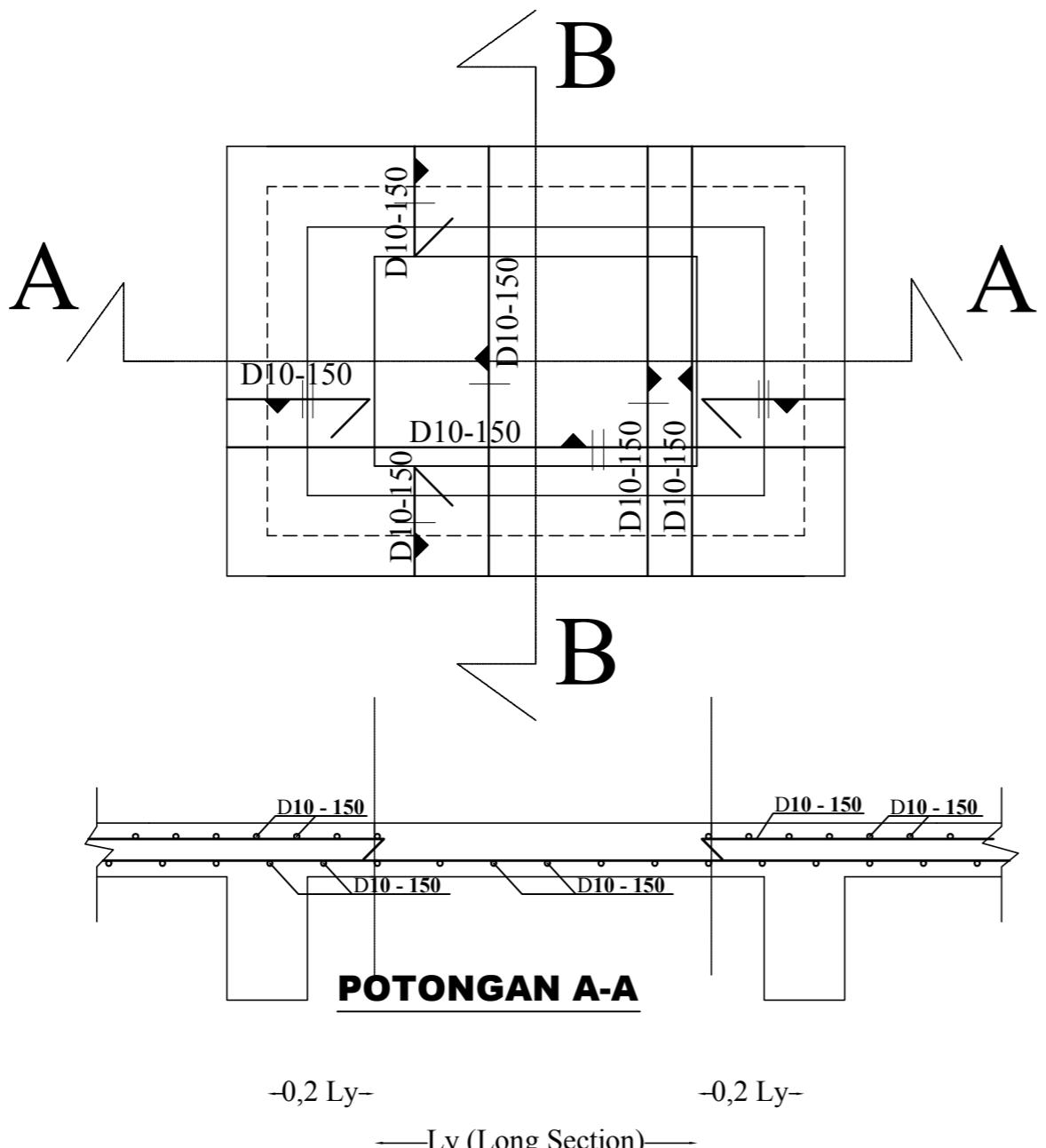
Denah Penulangan Plat P3

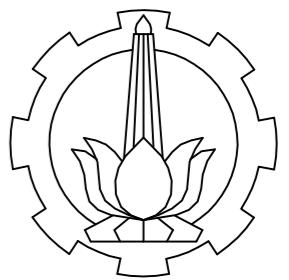
SKALA

1:250

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

25	52
----	----





DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

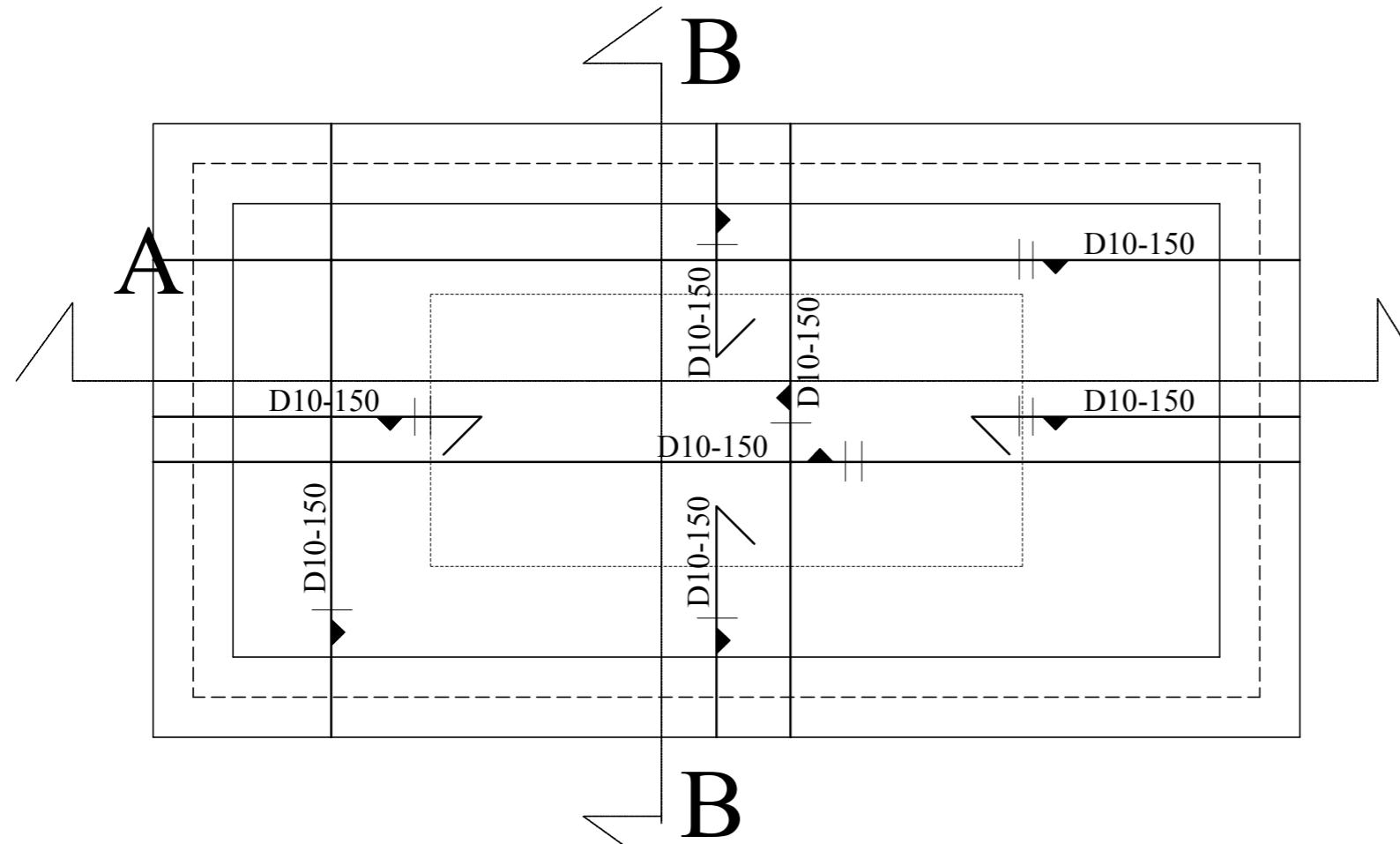
Denah Penulangan Plat P4

SKALA

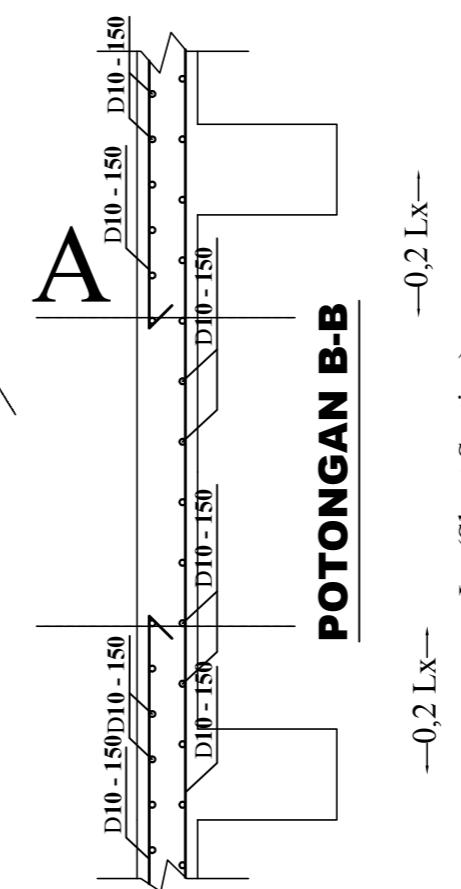
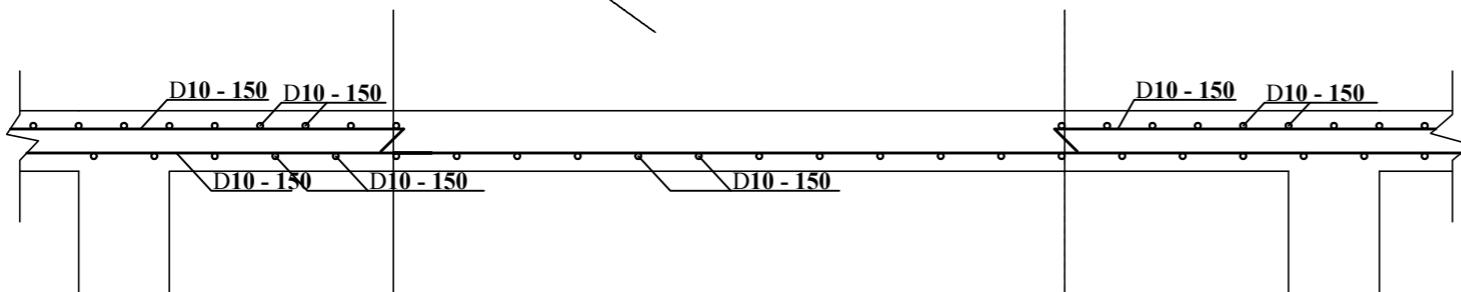
1:250

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

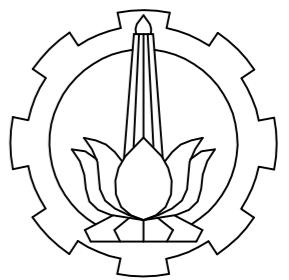
26	52
----	----



**POTONGAN A-A**



**POTONGAN B-B**



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

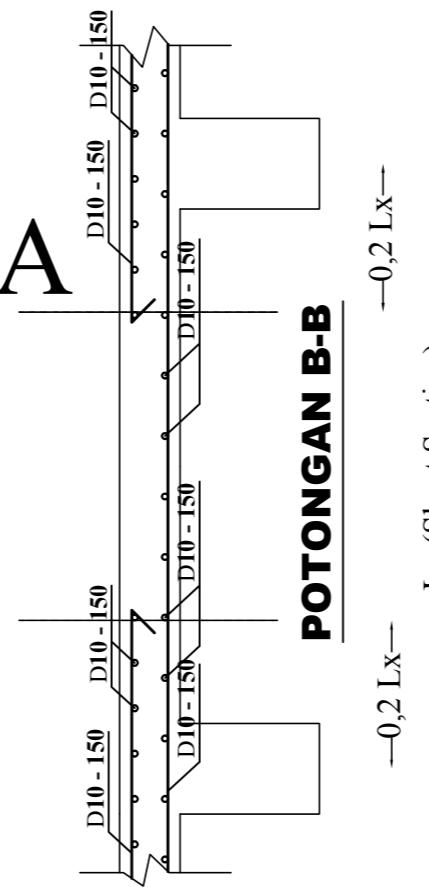
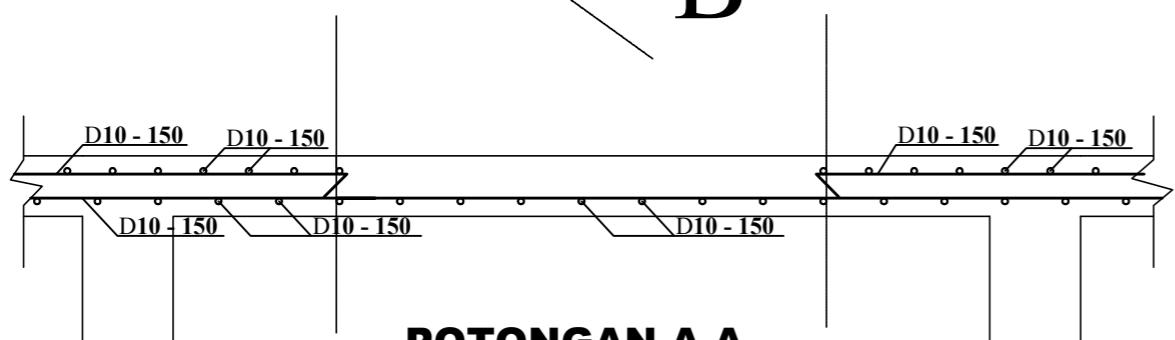
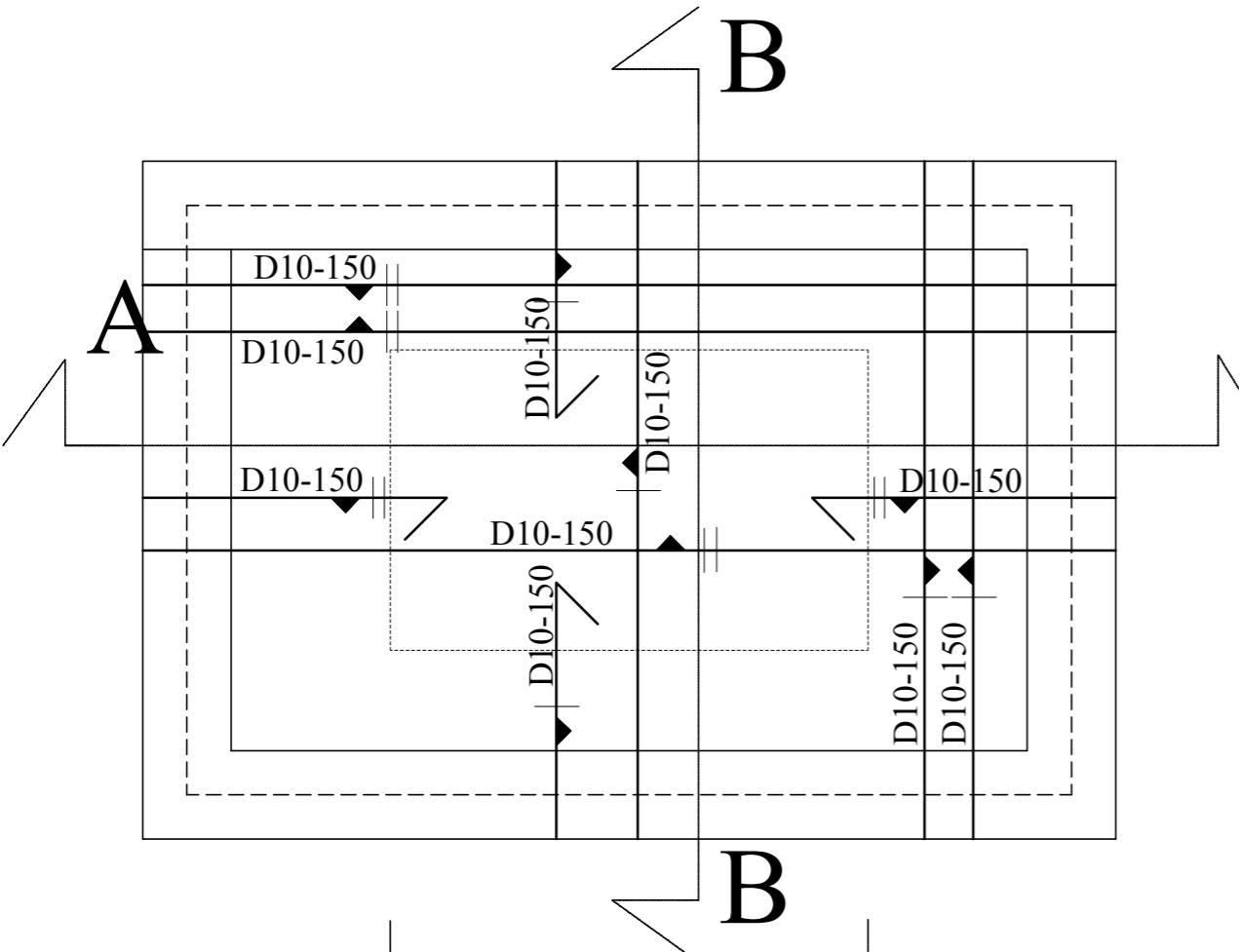
**Denah Penulangan Plat P5**

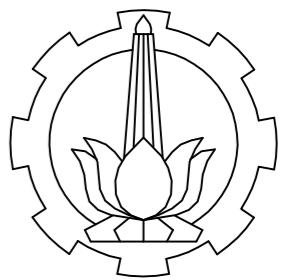
SKALA

**1:250**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

<b>27</b>	<b>52</b>
-----------	-----------





DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

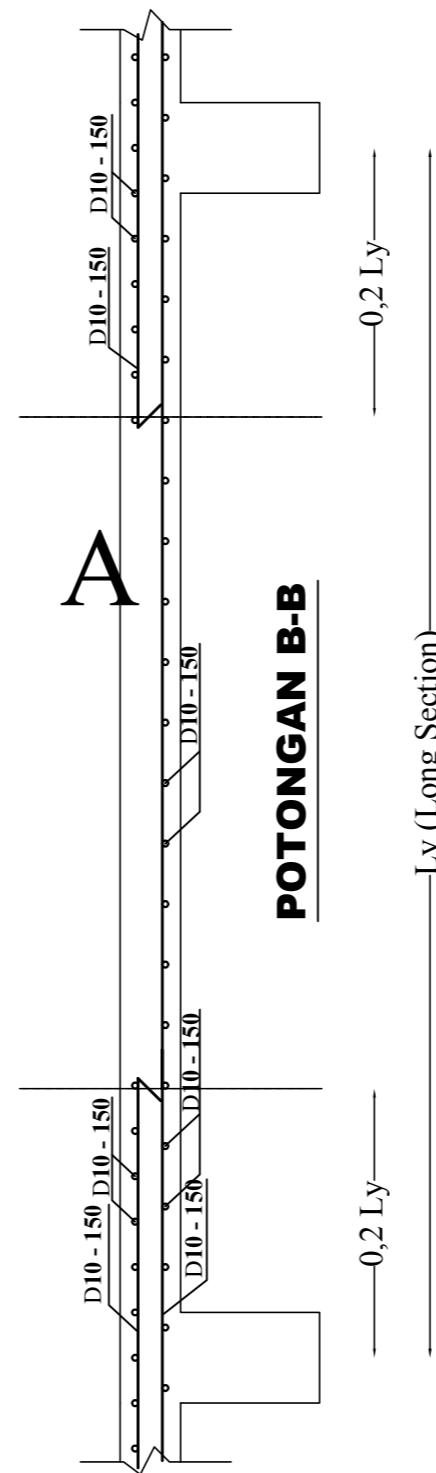
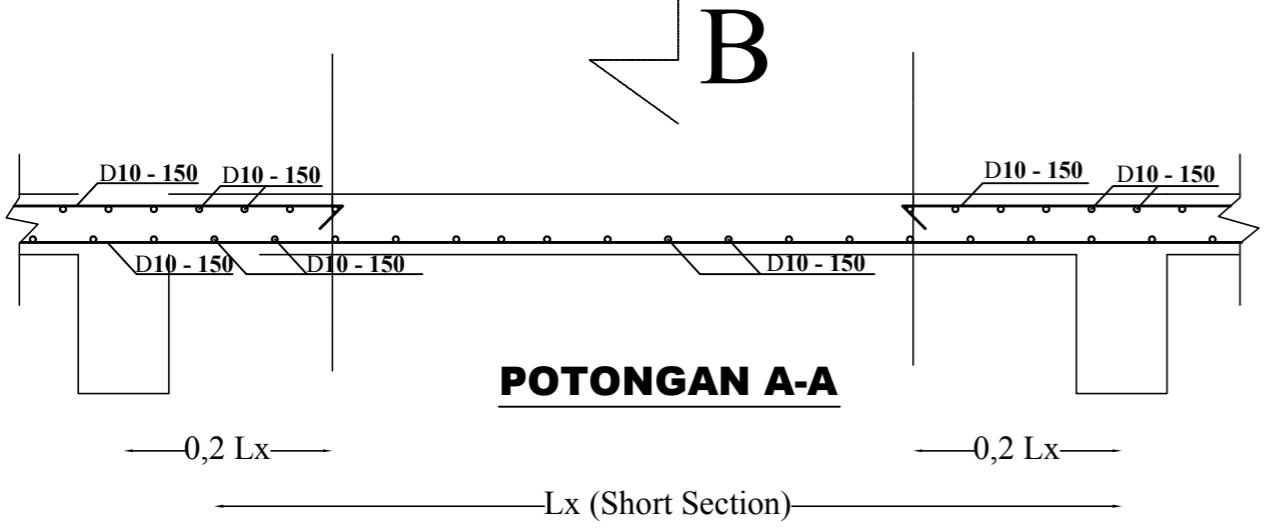
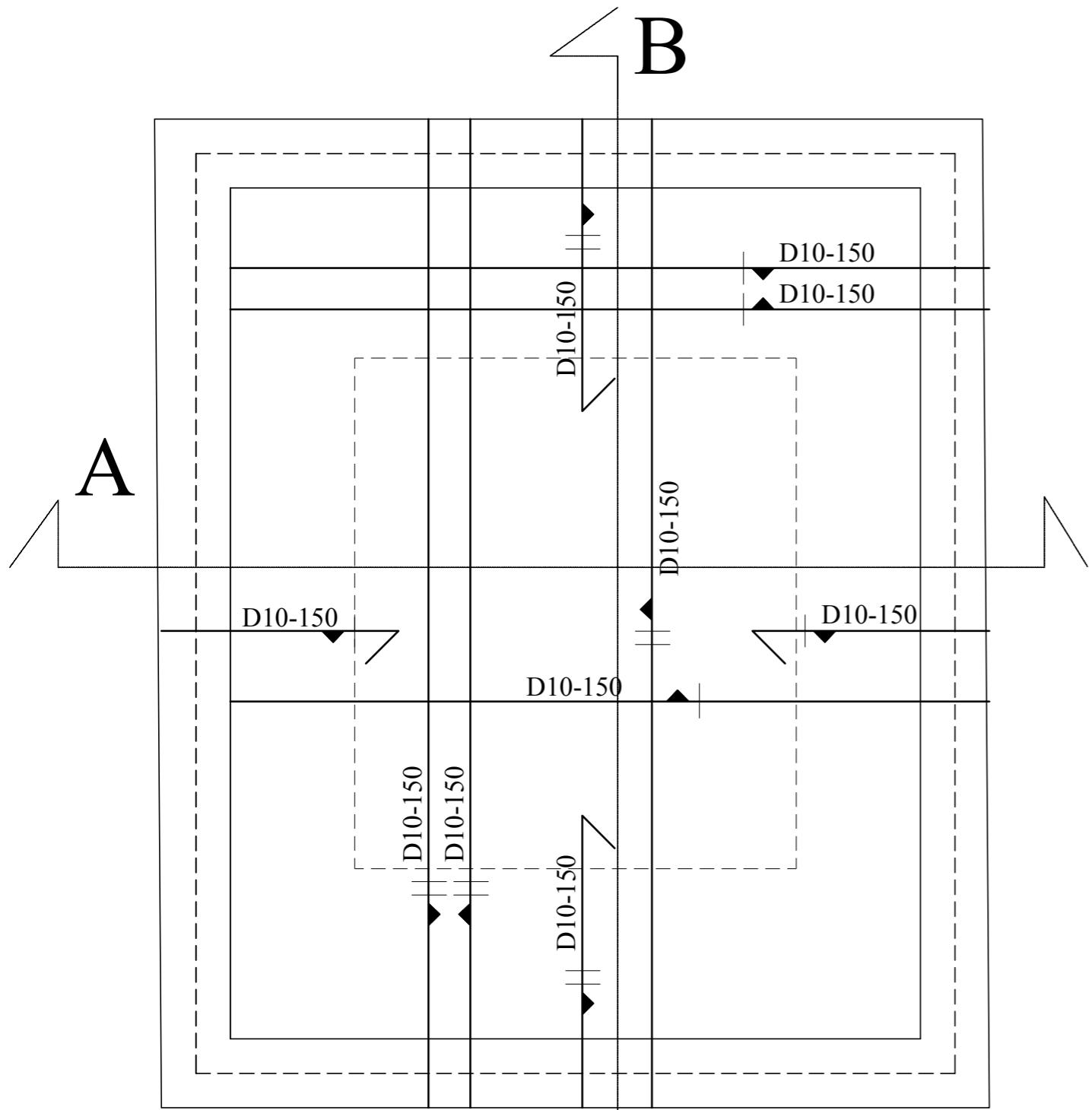
Denah Penulangan Plat P6

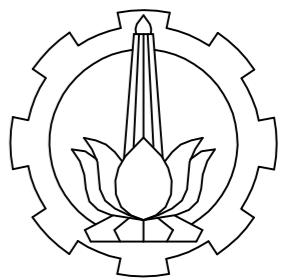
SKALA

1:250

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

28 52





DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

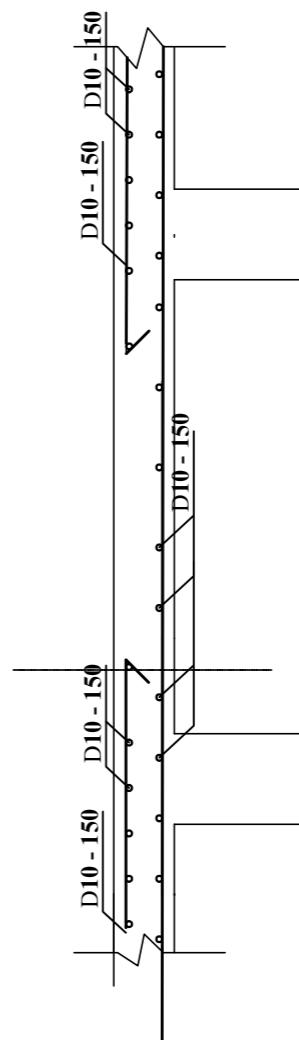
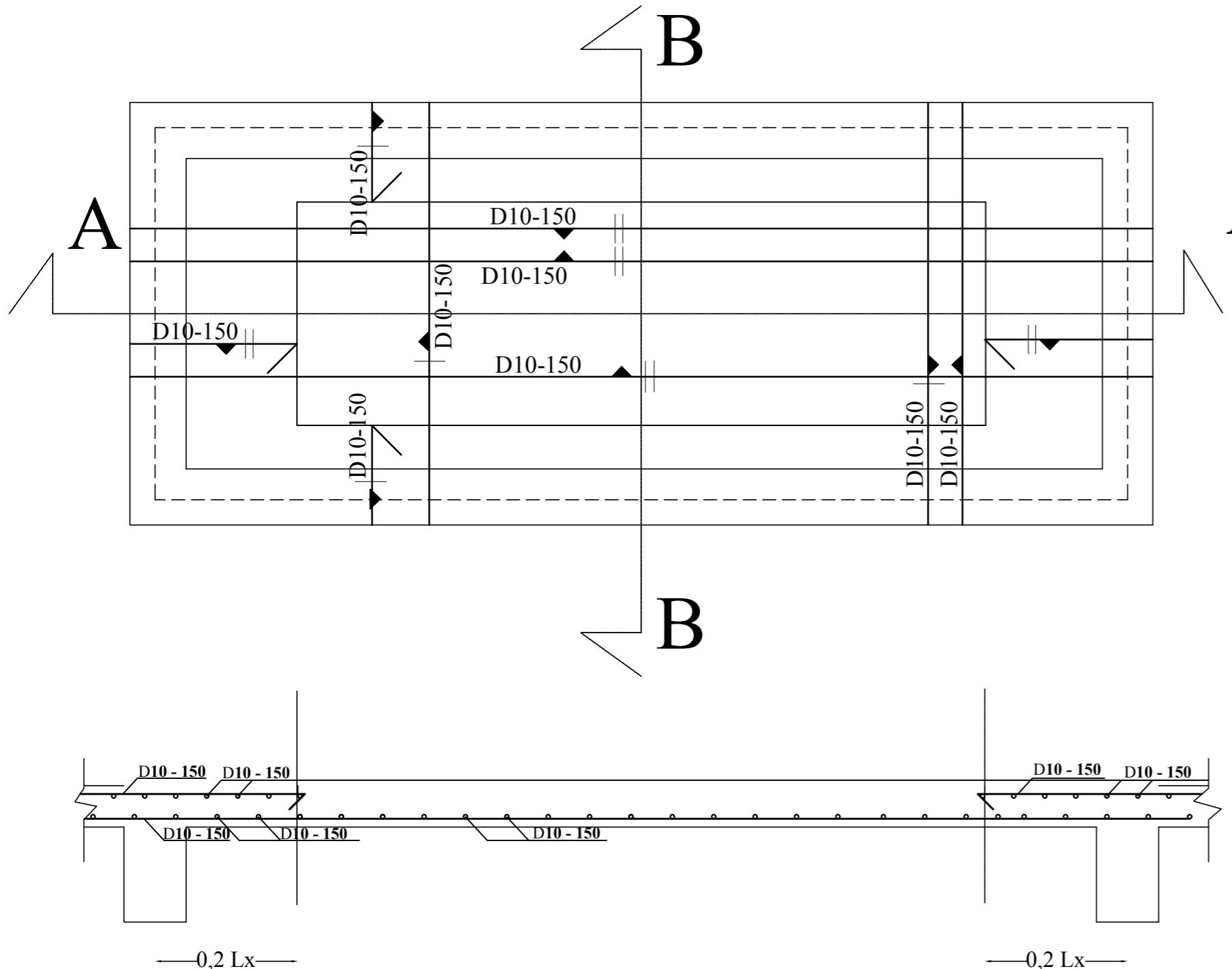
Denah Penulangan Plat P7

SKALA

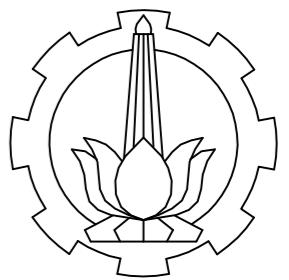
1:250

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

29	52
----	----



POTONGAN B-B



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

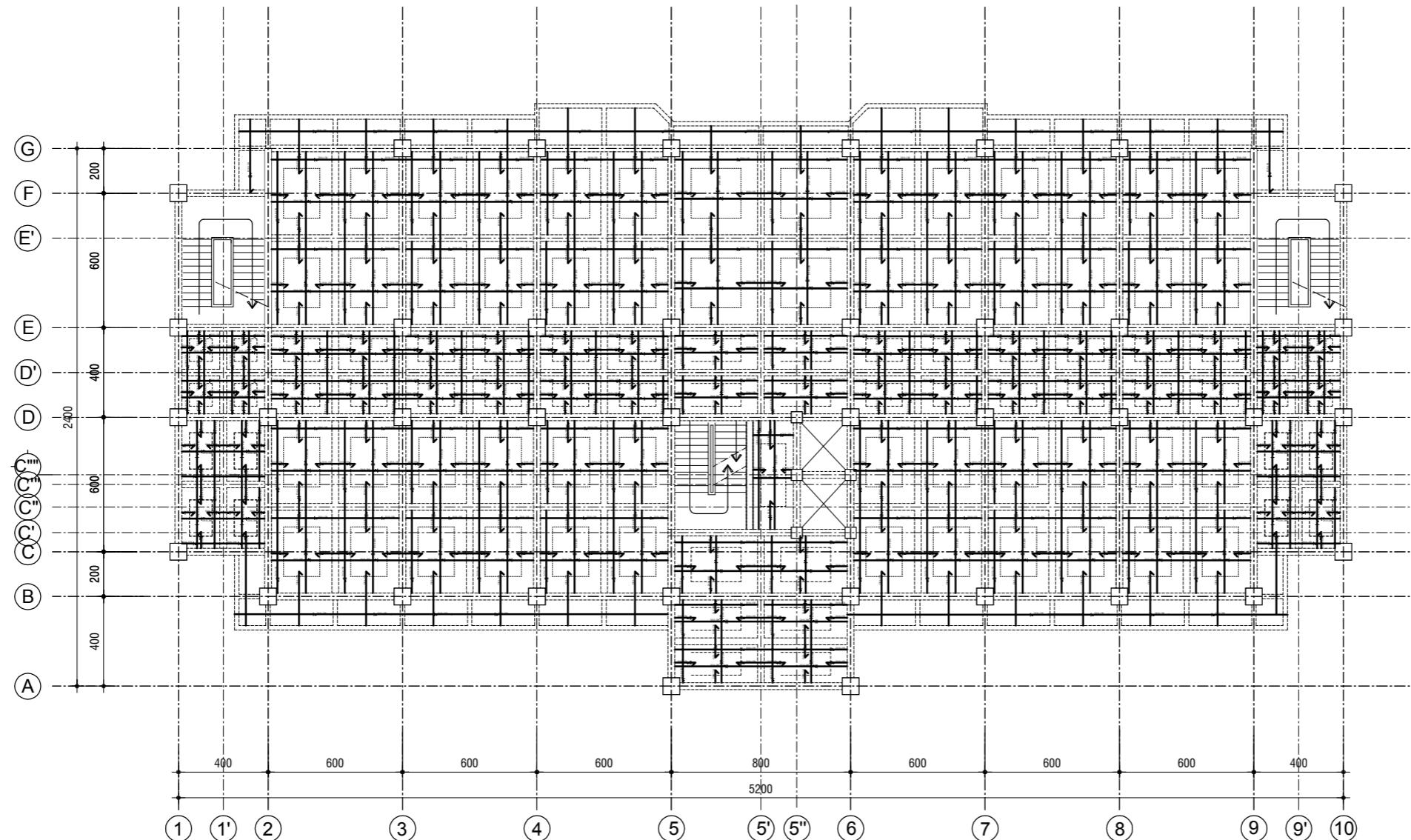
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

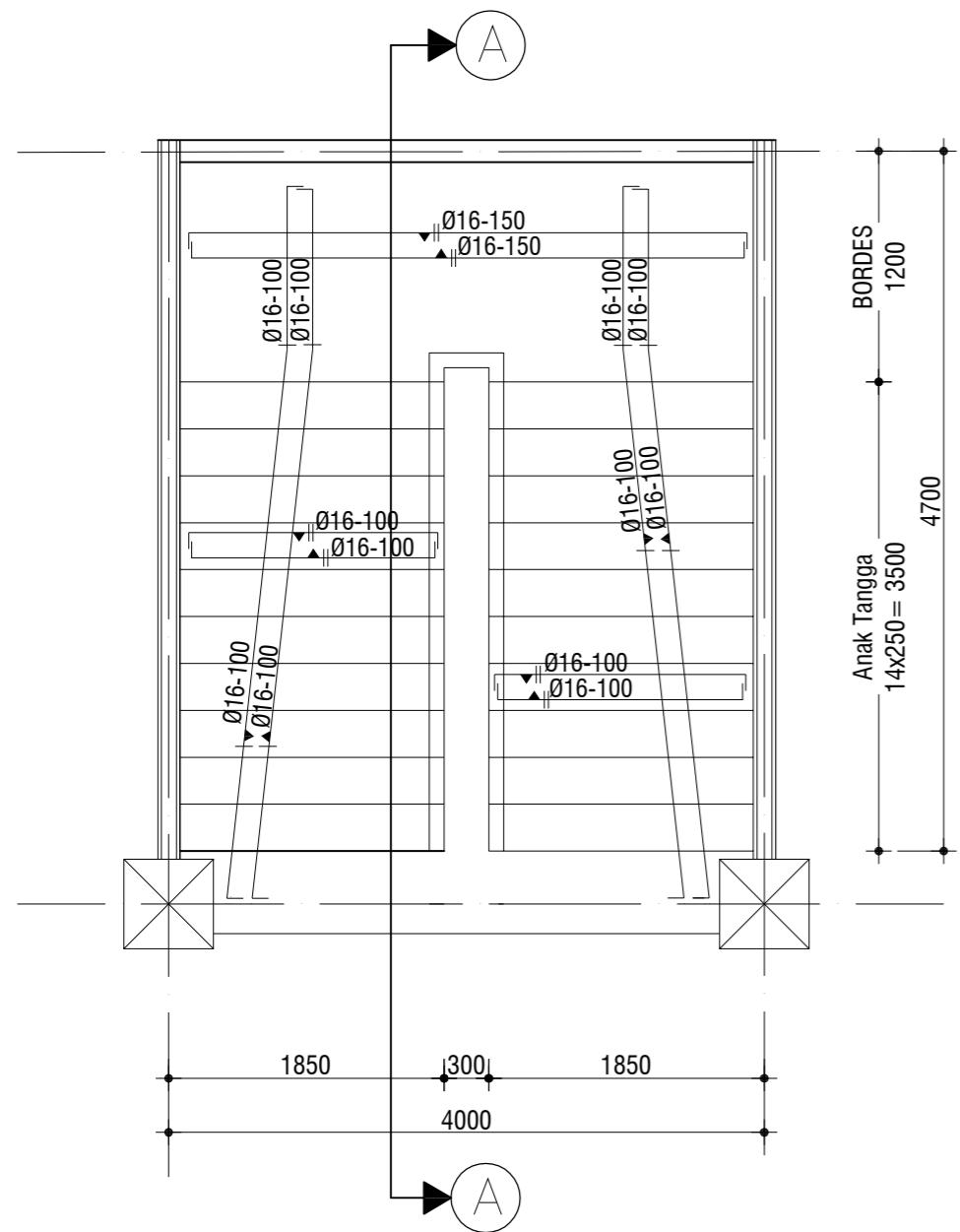
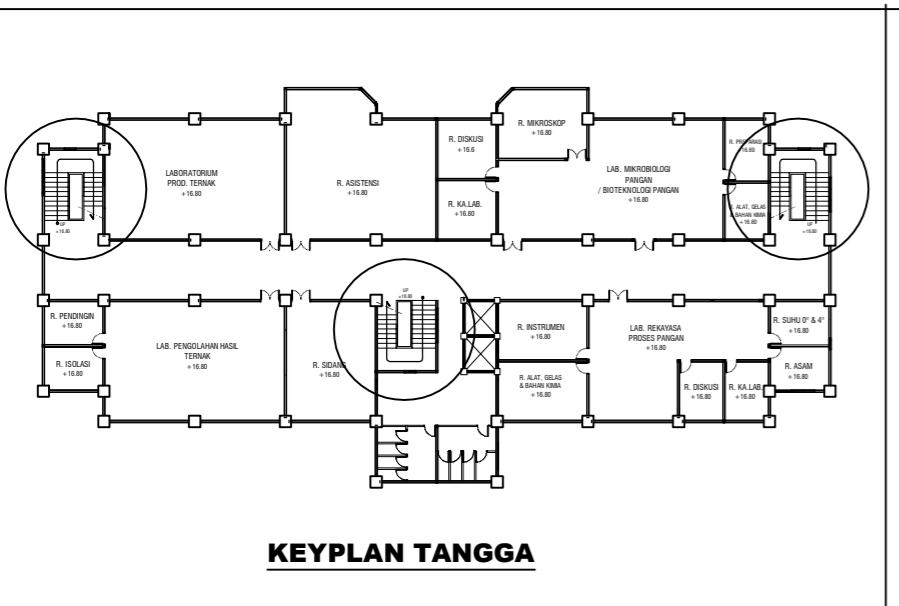
**Denah Penulangan Plat Lantai  
1-7**

**SKALA**

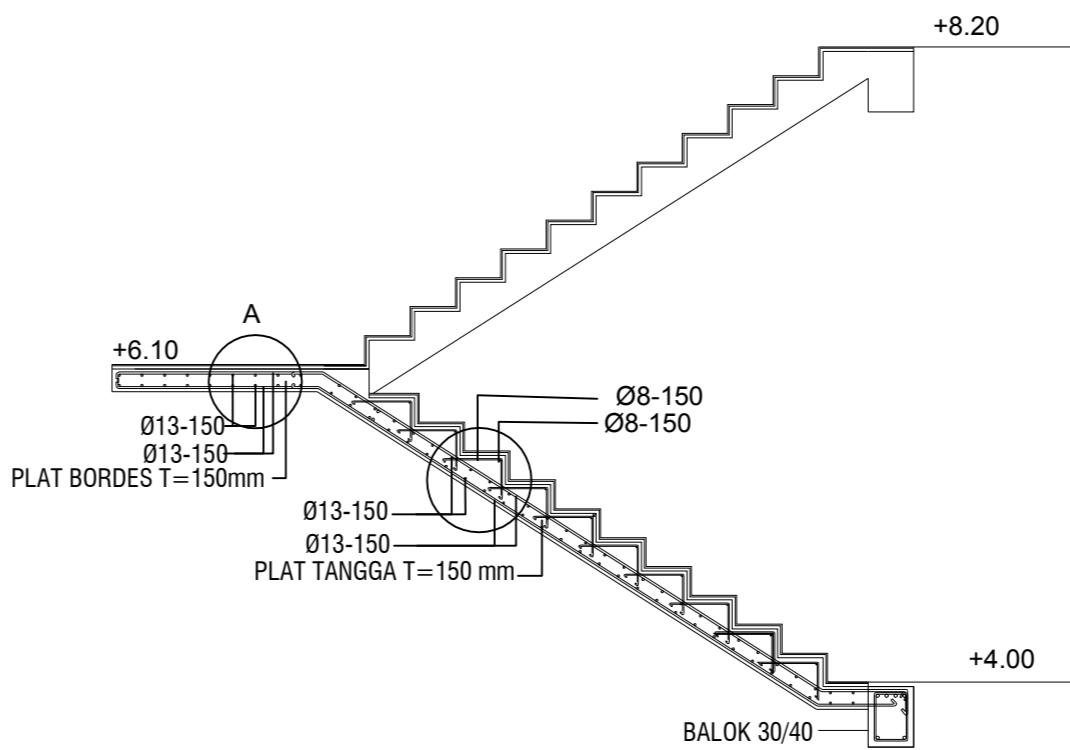
**1:250**



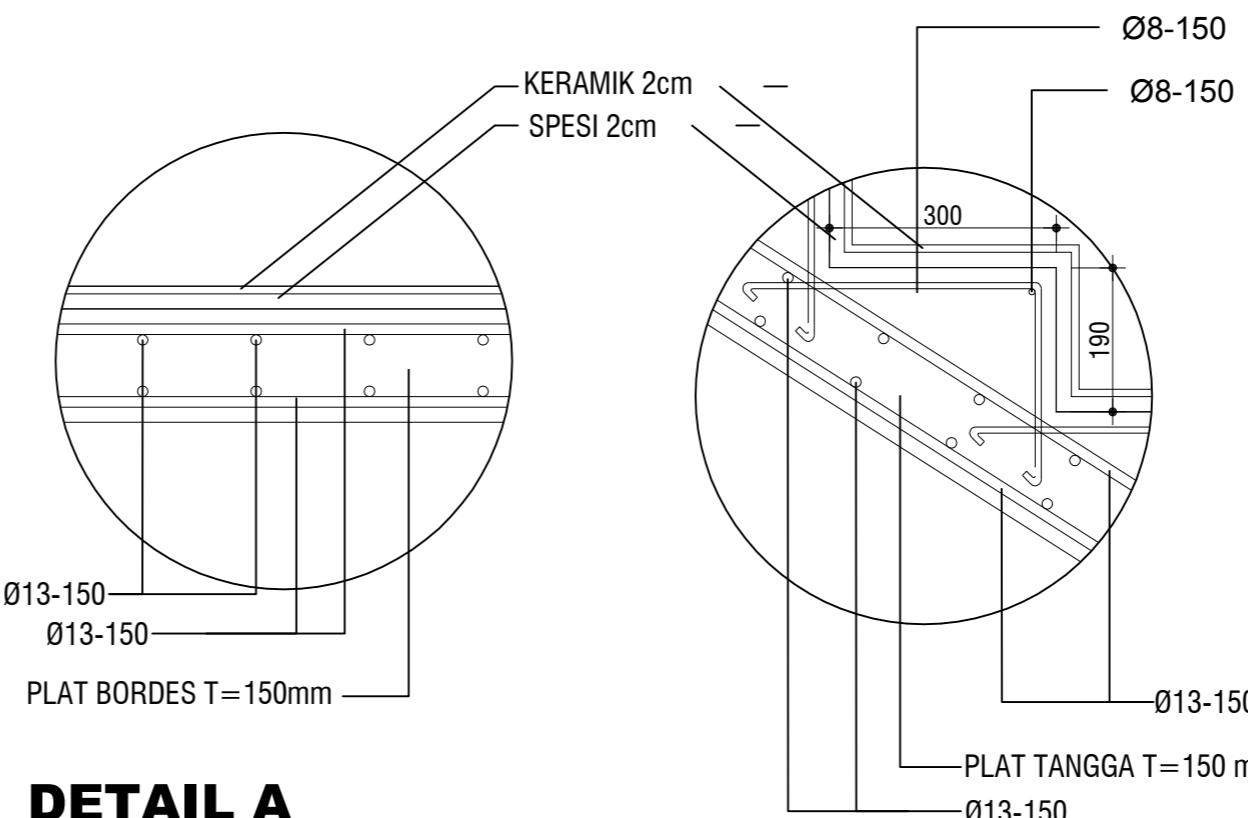
NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>30</b>	<b>52</b>



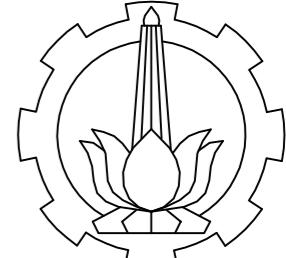
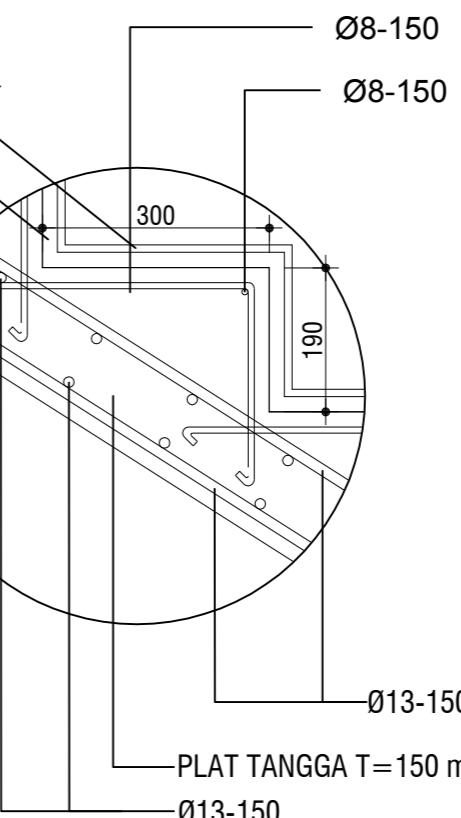
**POTONGAN A - A**  
Skala 1:50



**DETAIL A**  
Skala 1:10



**DETAIL B**  
Skala 1:10



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

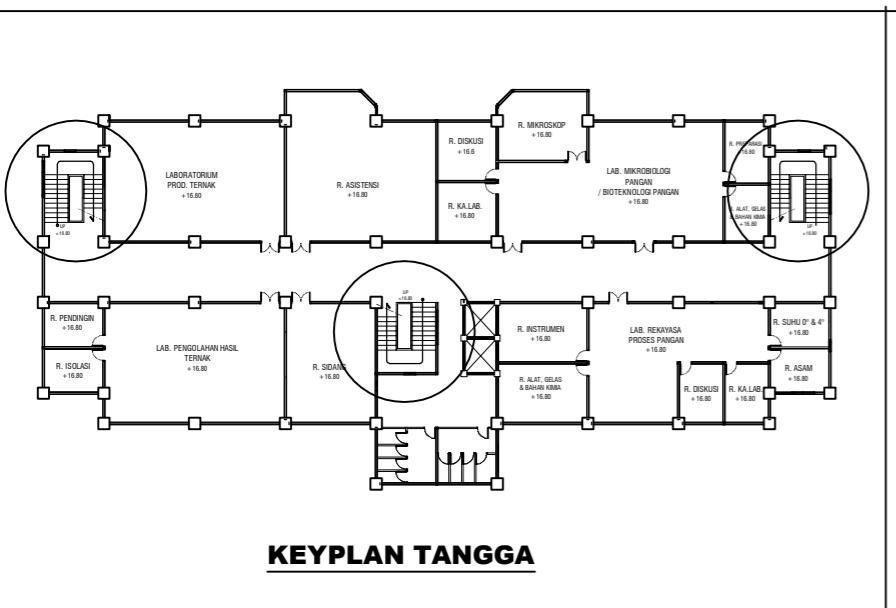
**NAMA GAMBAR**

Gambar Tangga 4.2m

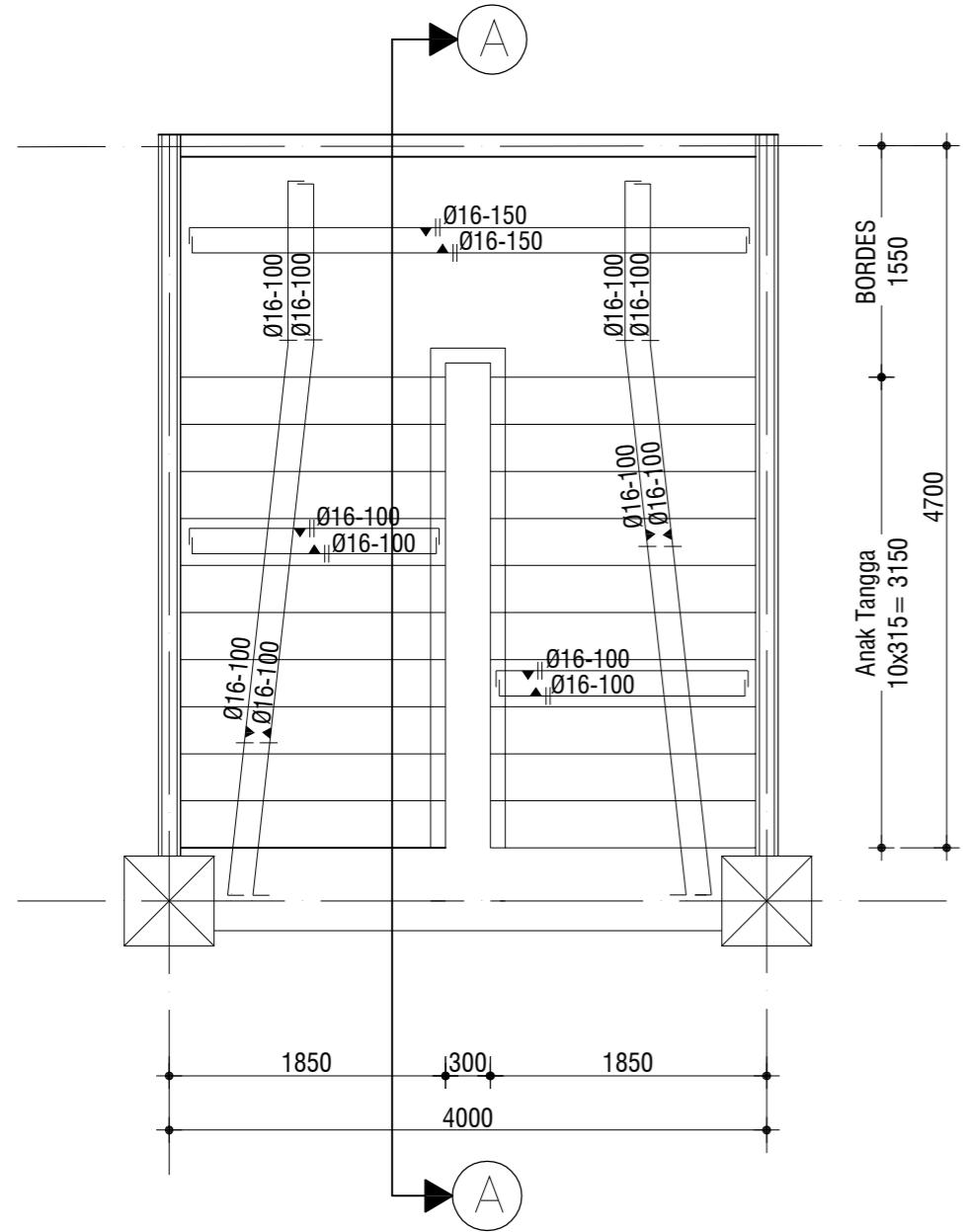
**SKALA**

**1:50**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>31</b>	<b>52</b>



KEYPLAN TANGGA



# **DENAH TANGGA (h = 3,2 m)**

---

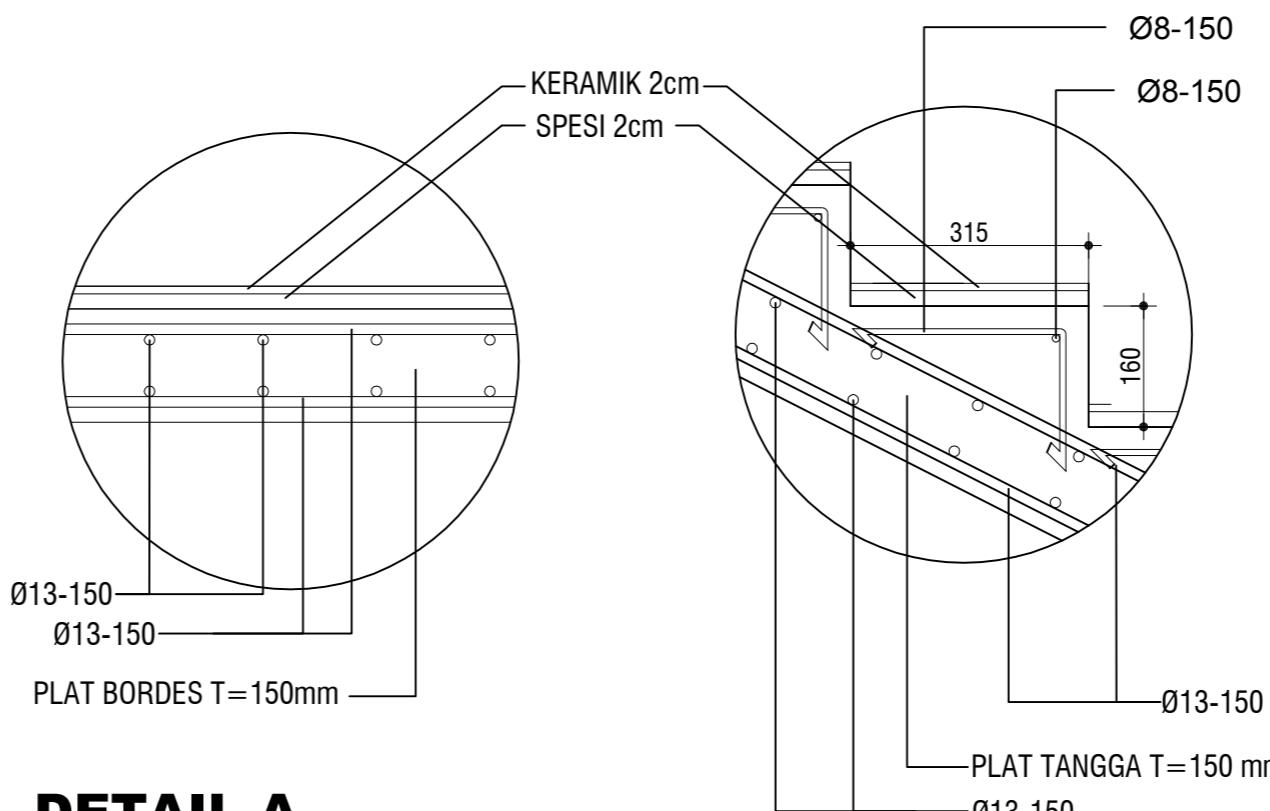
# **POTONGAN A - A**

---

## Skala 1:50

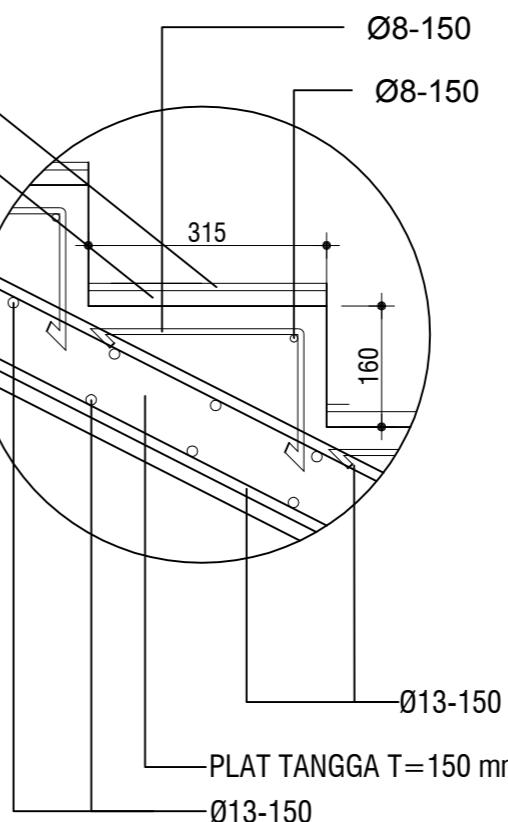
---

Skala 1:50



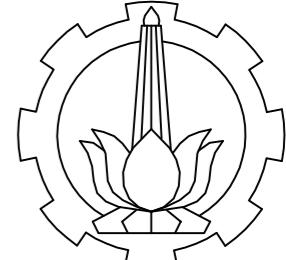
## **DETAIL A**

---



# **DETAIL B**

---



**DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER**

## JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

## MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI MENGGUNAKAN BALOK PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

**Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D**  
**NIP. 19730710 199802 1 002**

## NAMA MAHASISWA

**Vionita Krisma Maharani**  
**NRP. 3113041049**

## KETERANGAN

## NAMA GAMBAR

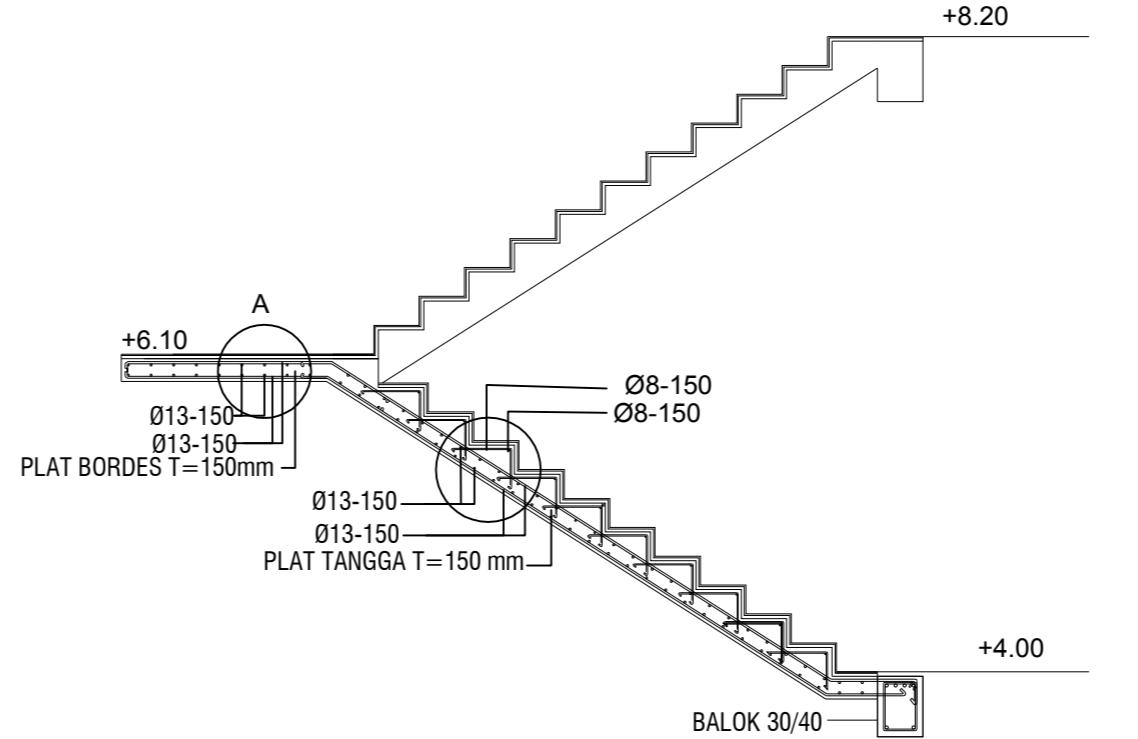
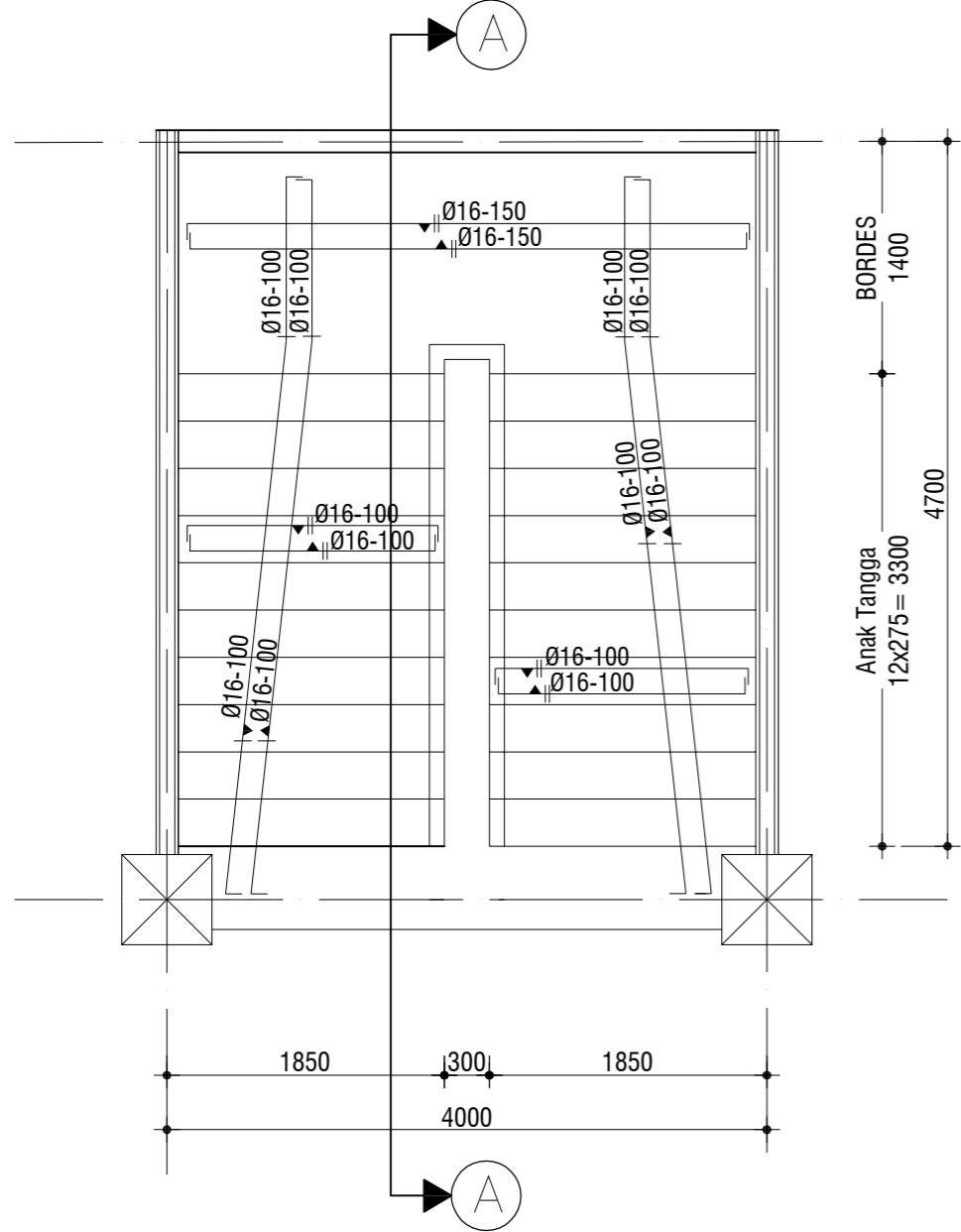
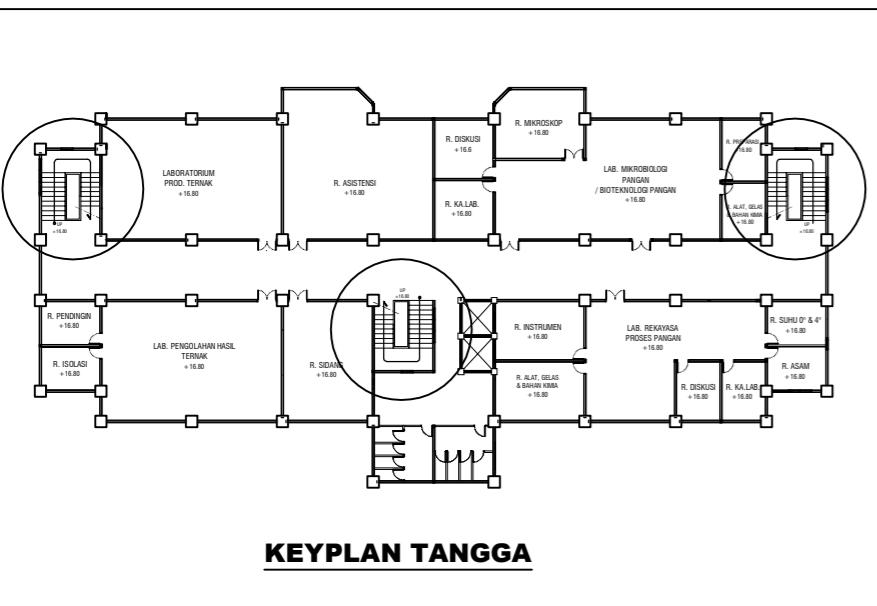
Gambar Tangga 3.2m

---

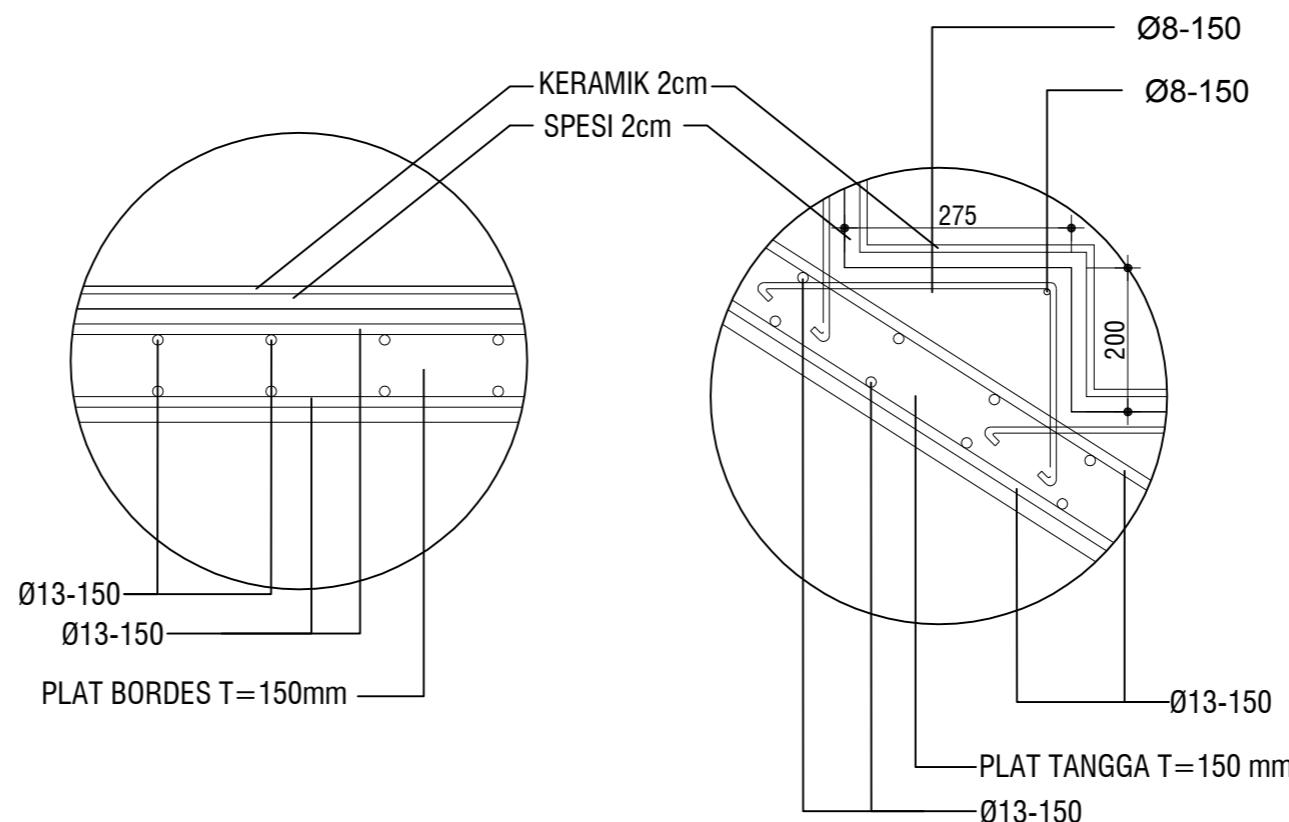
SKALA

1:50

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
32	52



**POTONGAN A - A**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

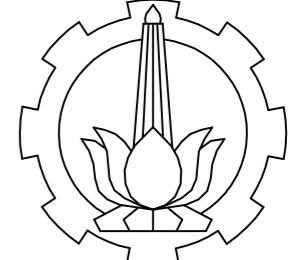
**NAMA GAMBAR**

Gambar Tangga 5.2m

**SKALA**

**1:50**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>33</b>	<b>52</b>



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG 8 LANTAI  
MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

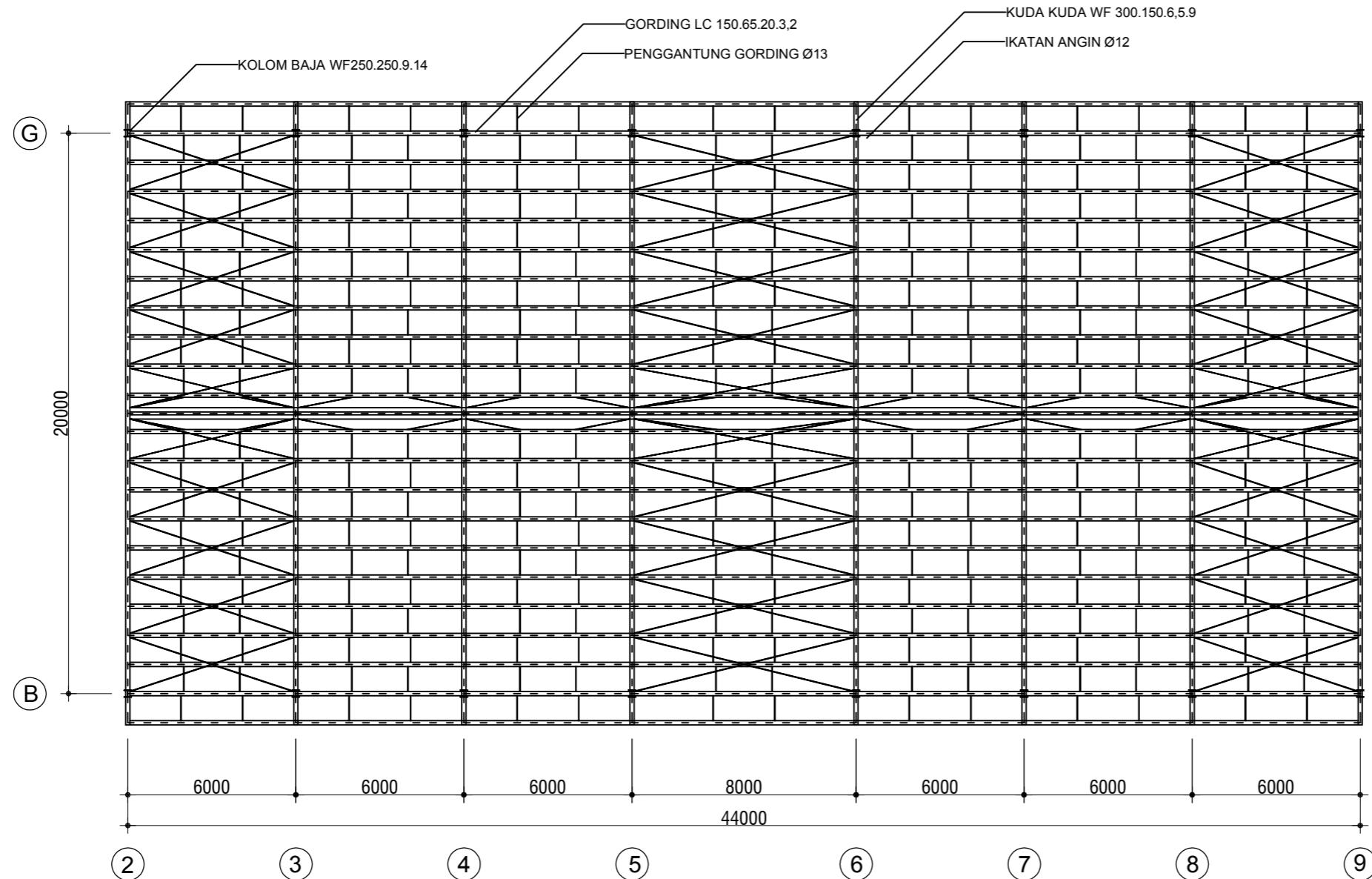
**NAMA GAMBAR**

**Denah Rencana Atap**

SKALA

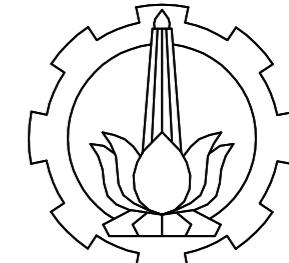
**1:200**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>34</b>	<b>52</b>



**DENAH RENCANA ATAP**

Skala 1:200



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

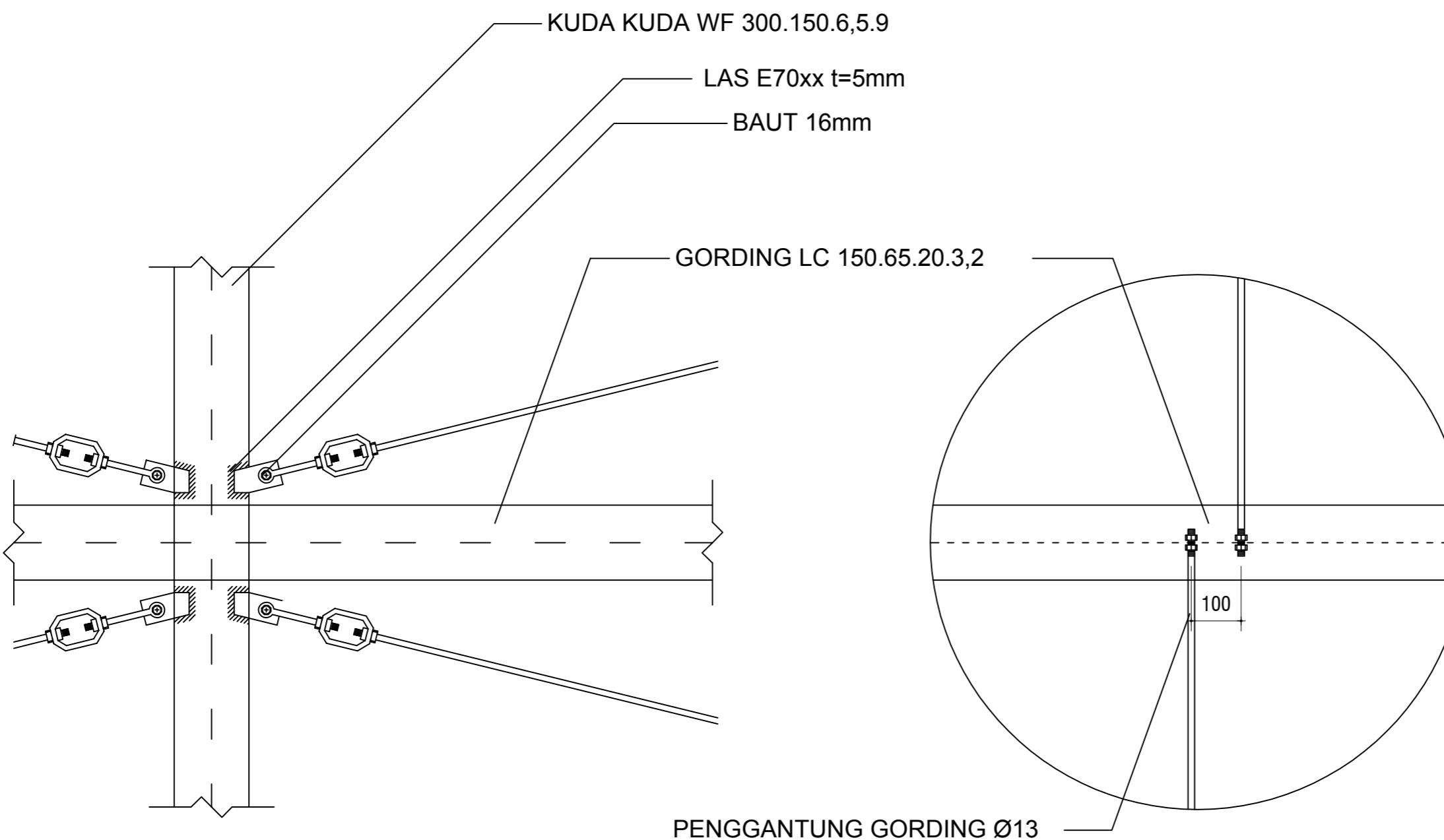
**NAMA GAMBAR**

Detail Ikatan Angin dan  
Penggantung Gording

SKALA

**1:10**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>35</b>	<b>52</b>

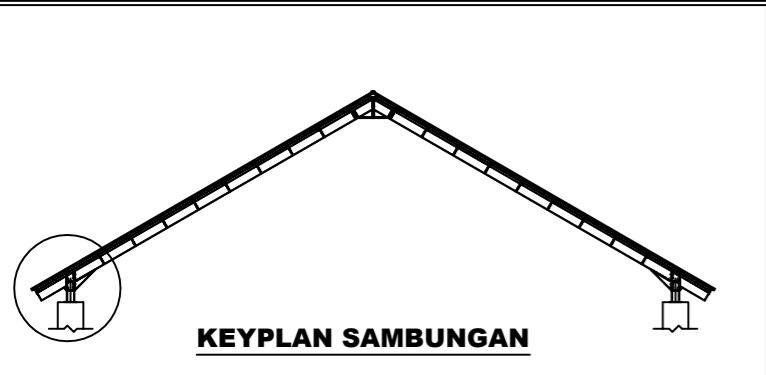


**DETAIL IKATAN ANGIN**

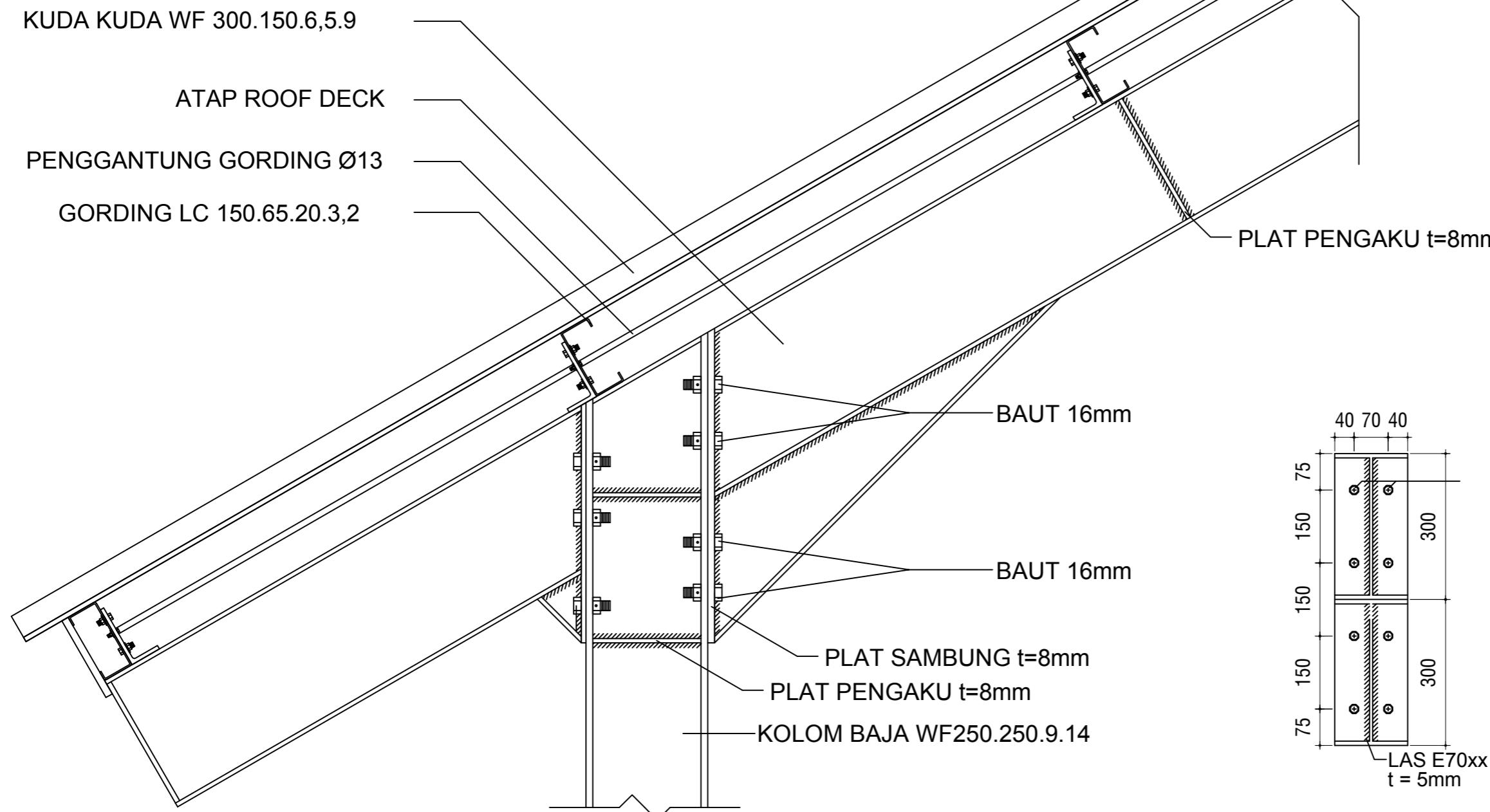
Skala 1:10

**DETAIL PENGGANTUNG GORDING**

Skala 1:10

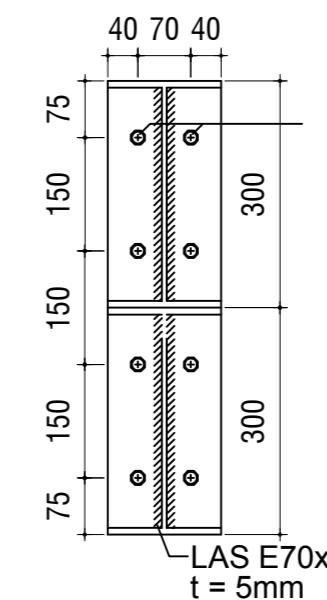


**KEYPLAN SAMBUNGAN**

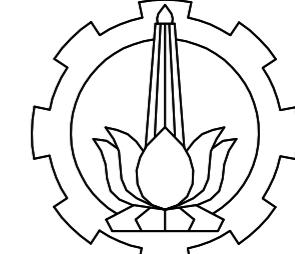


## **SAMBUNGAN A**

Skala 1:10



**DETAIL SAMBUNGAN A**  
Skala 1:10



**DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER**

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG**

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

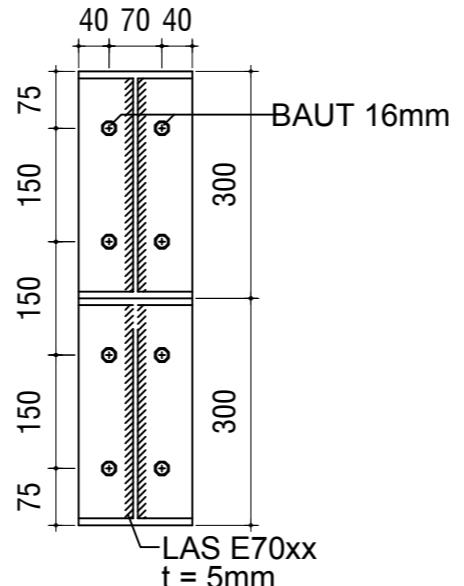
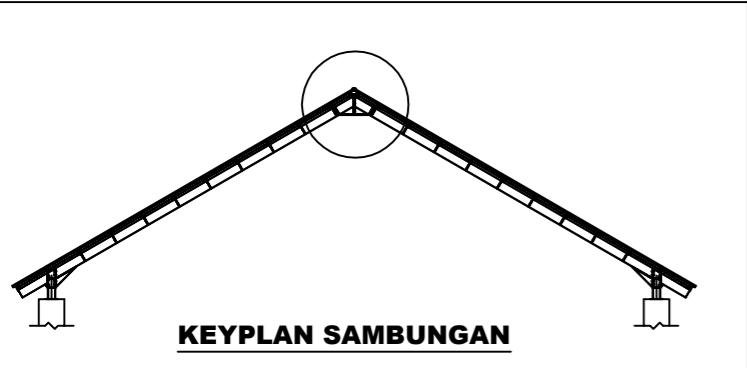
**NAMA GAMBAR**

**Detail Sambungan A**

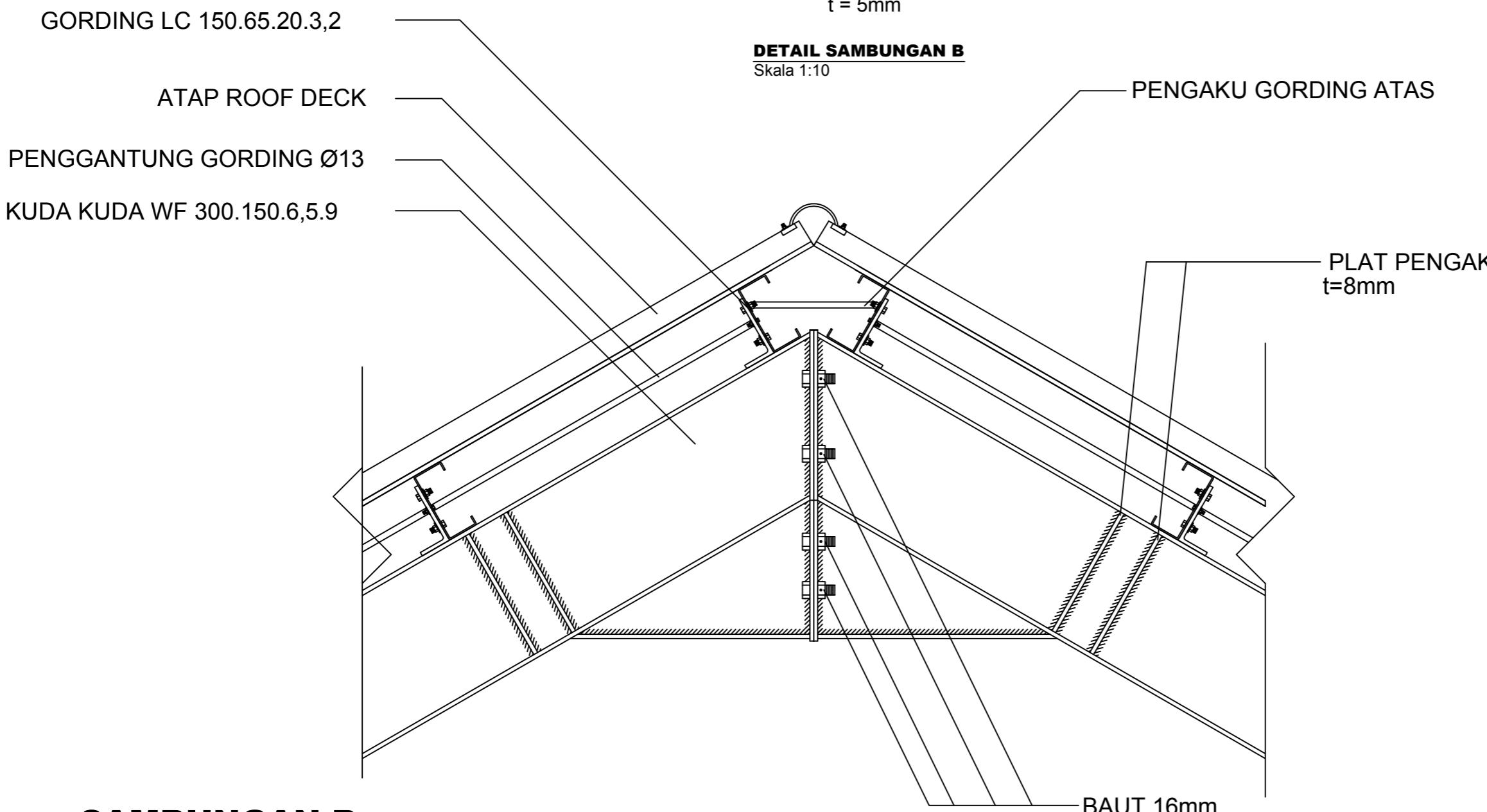
**SKALA**

**1:10**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>36</b>	<b>52</b>

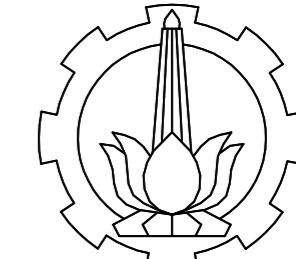


**DETAIL SAMBUNGAN B**  
Skala 1:10



## **SAMBUNGAN B**

Skala 1:10



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

KETERANGAN

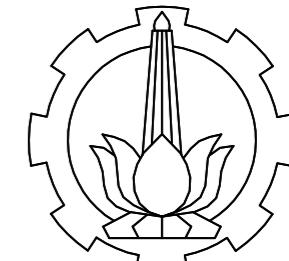
**NAMA GAMBAR**

**Detail Sambungan B**

**SKALA**

**1:10**

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
<b>37</b>	<b>52</b>



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

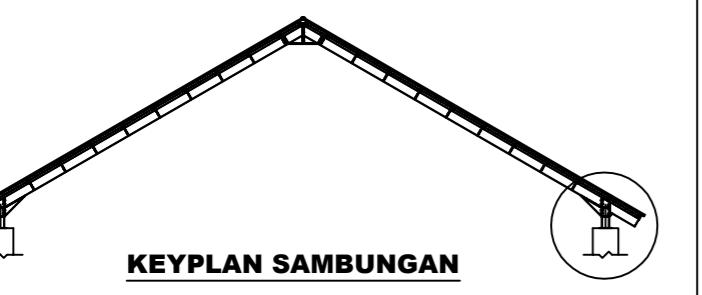
KETERANGAN

NAMA GAMBAR

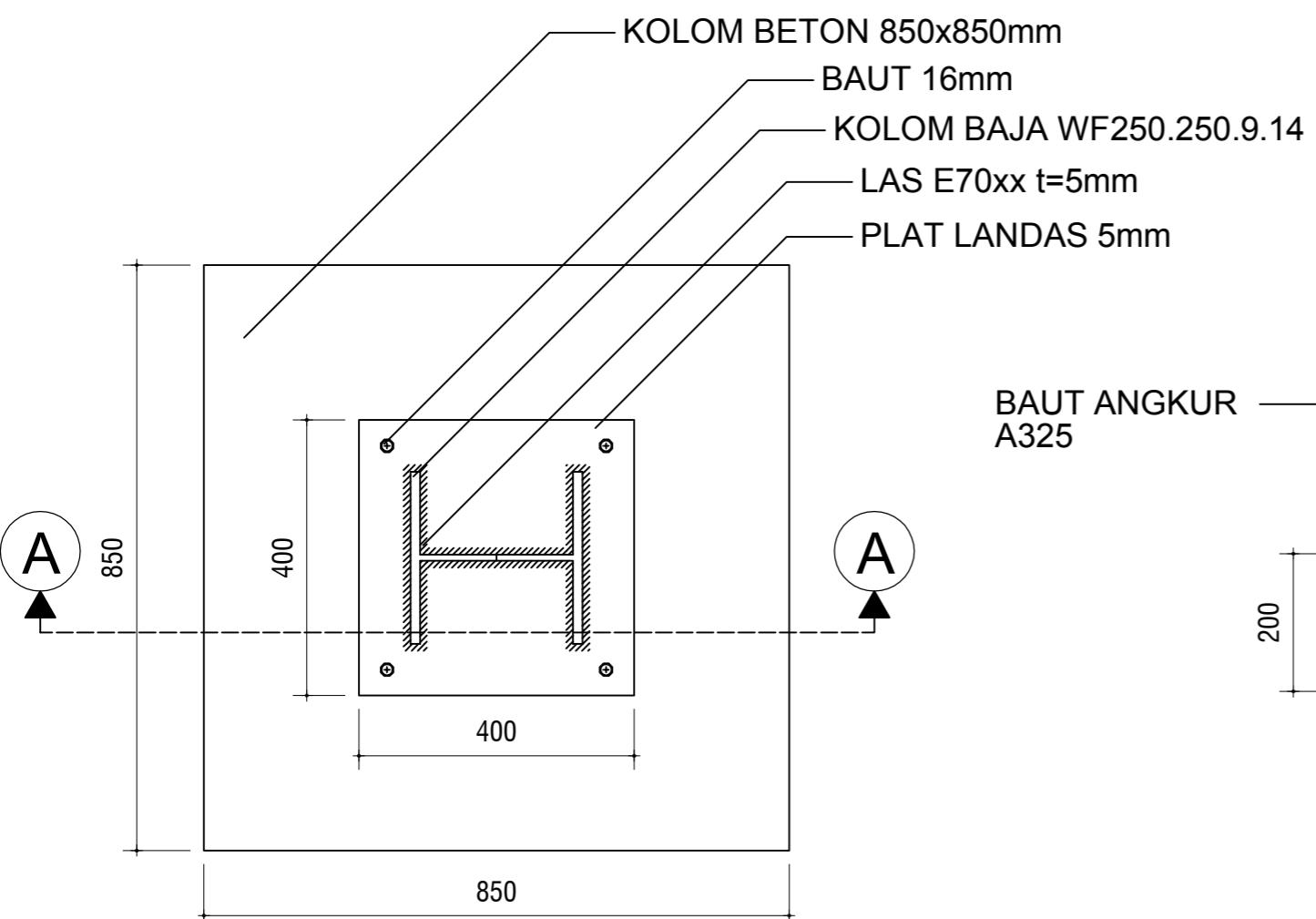
Detail Sambungan C

SKALA

1:10

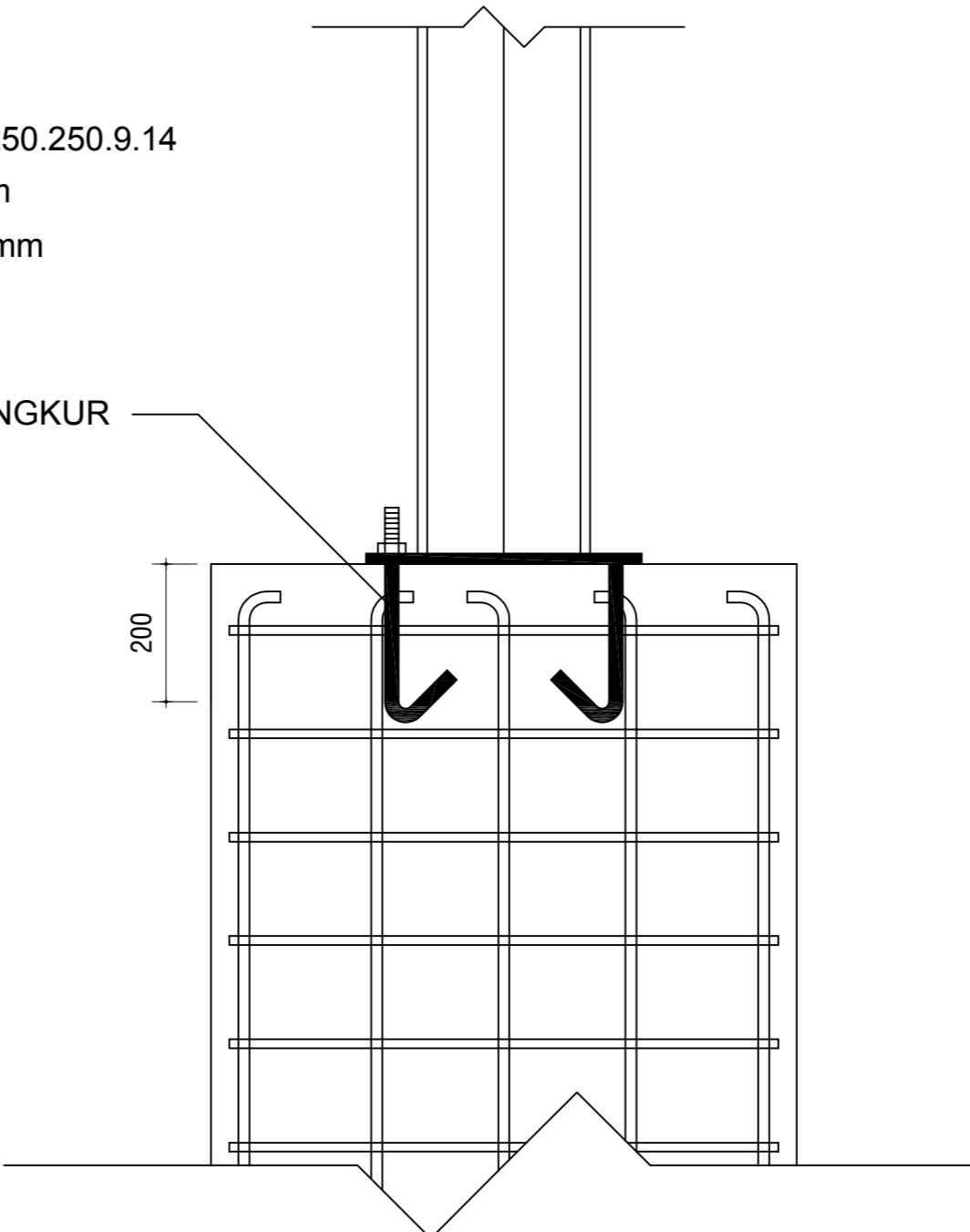


KEYPLAN SAMBUNGAN



## DETAIL SAMBUNGAN C

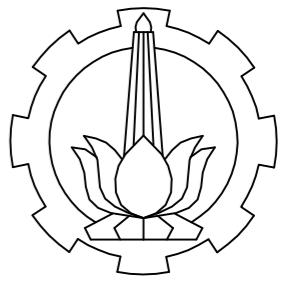
Skala 1:10



## POTONGAN A - A

Skala 1:10

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
38	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

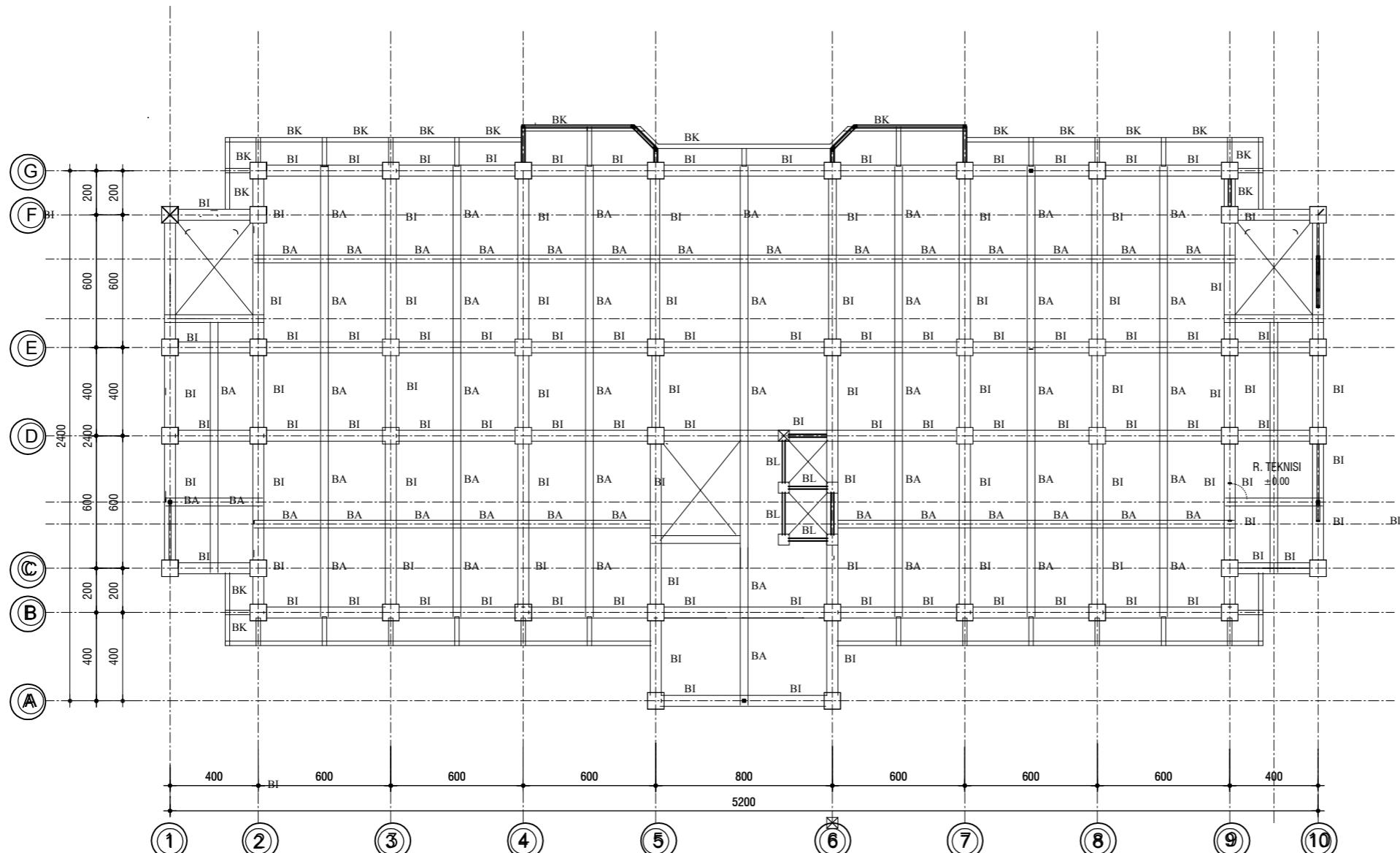
BI 50 x 70 cm BL 35 X 50 cm  
BA 35 x 50 cm BK 30 x 40 cm

NAMA GAMBAR

Denah Balok Lantai 1-Lantai 6

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
39	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

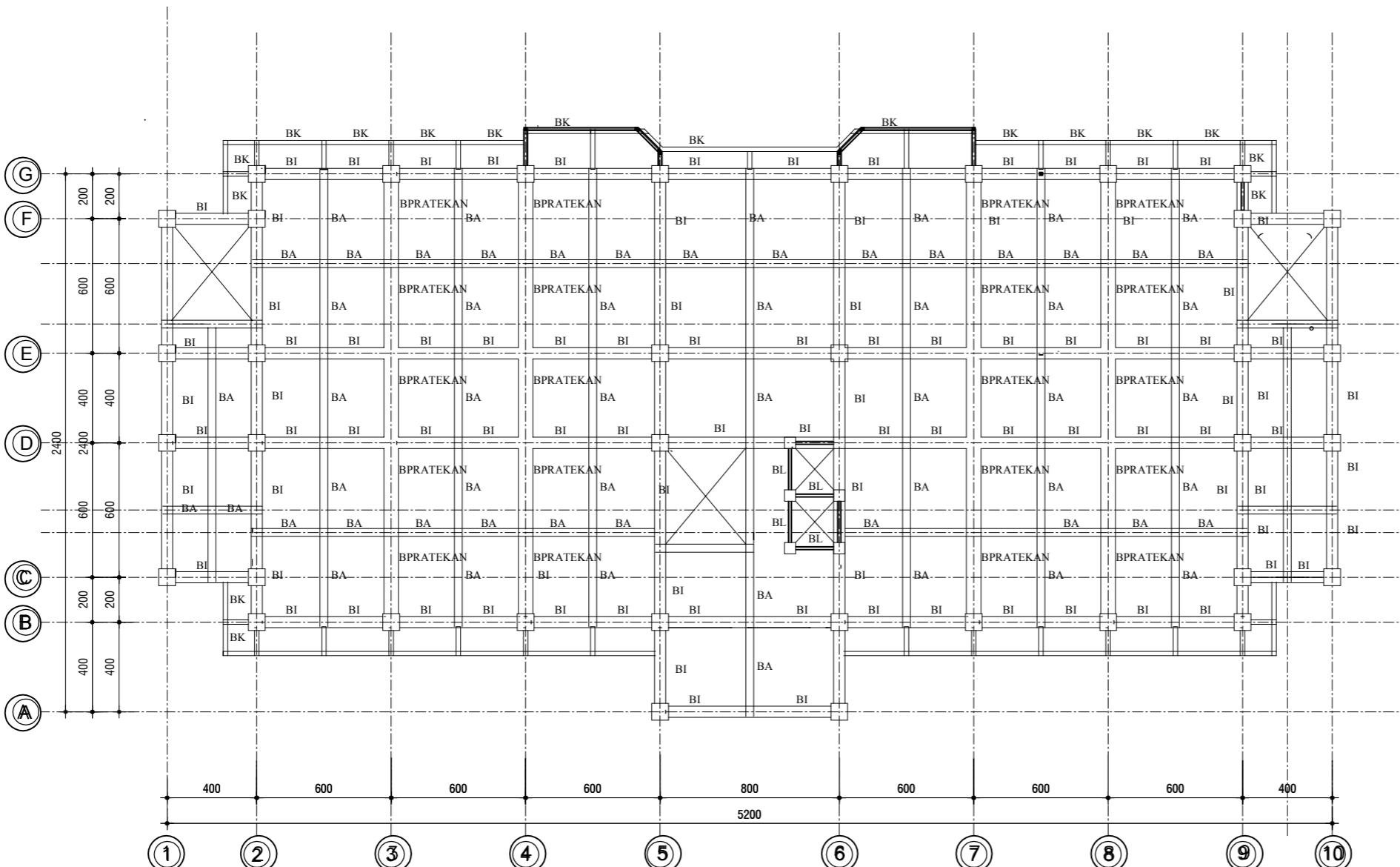
BI 50 x 70 cm BL 35 X 50 cm  
BA 35 x 50 cm BK 30 x 40 cm  
BPRATEKAN 60 x 80 cm

NAMA GAMBAR

Denah Balok Lantai 7

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
40	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

KODE DIMENSI

K1A 85 x 85 cm

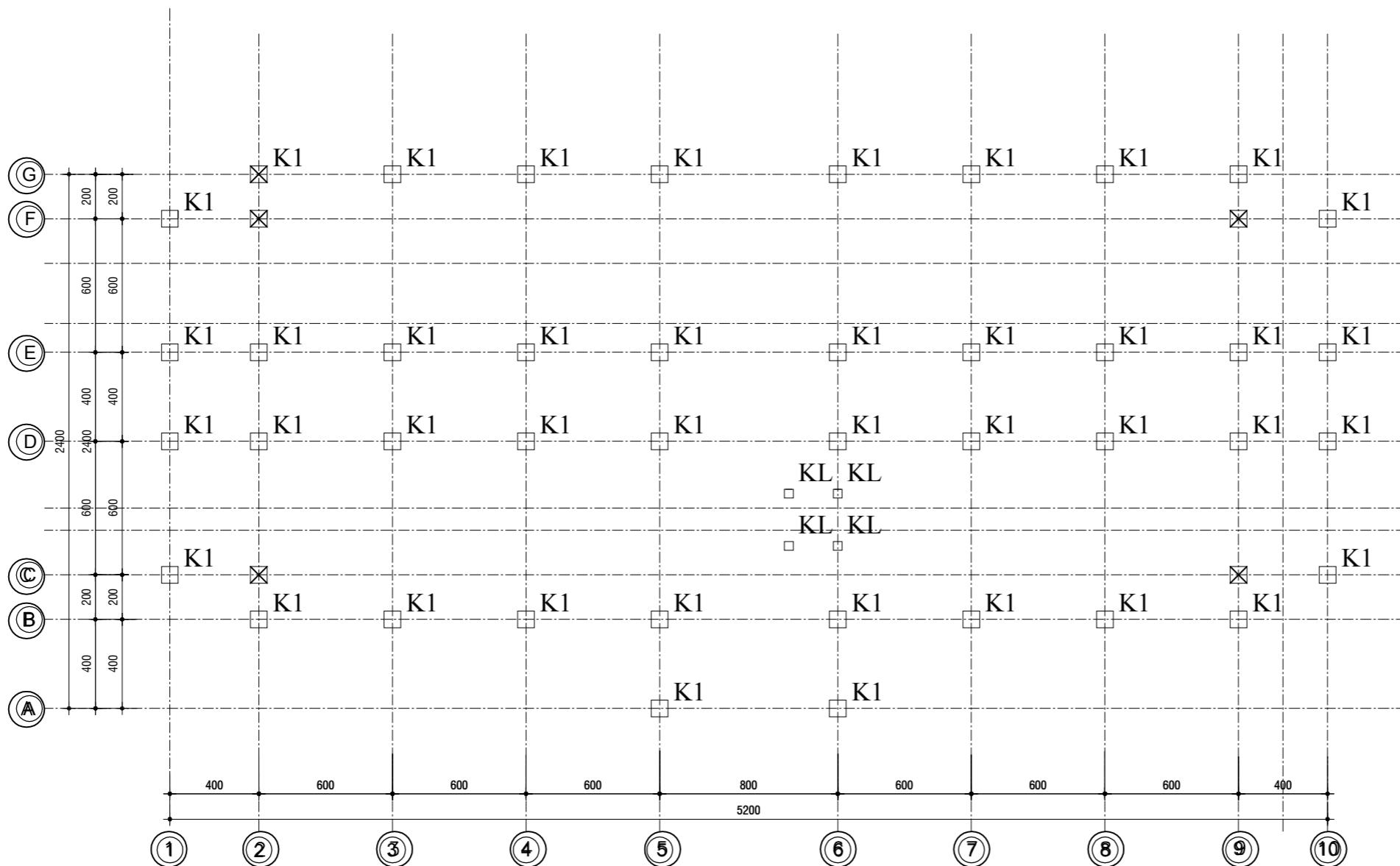
KL 40 x 40 cm

**NAMA GAMBAR**

**Denah Kolom Lt. Bawah-Lt.6**

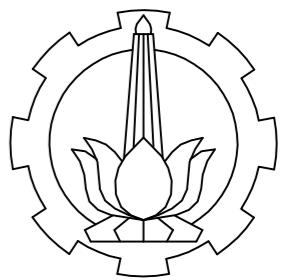
**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

**41 52**



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

KODE DIMENSI

K1A 85 x 85 cm

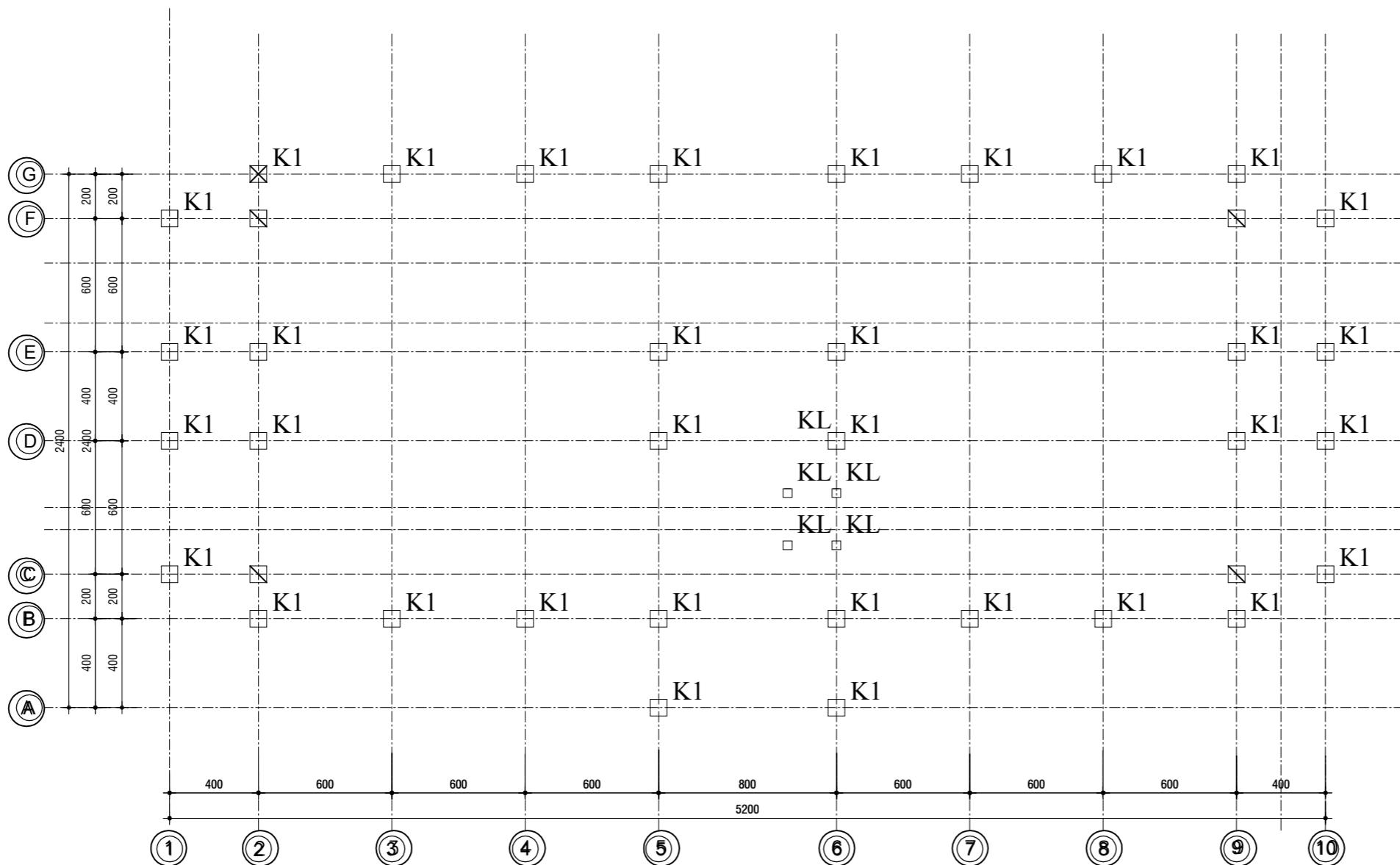
KL 40 x 40 cm

NAMA GAMBAR

Denah Kolom Lantai 7

SKALA

1:250



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
42	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

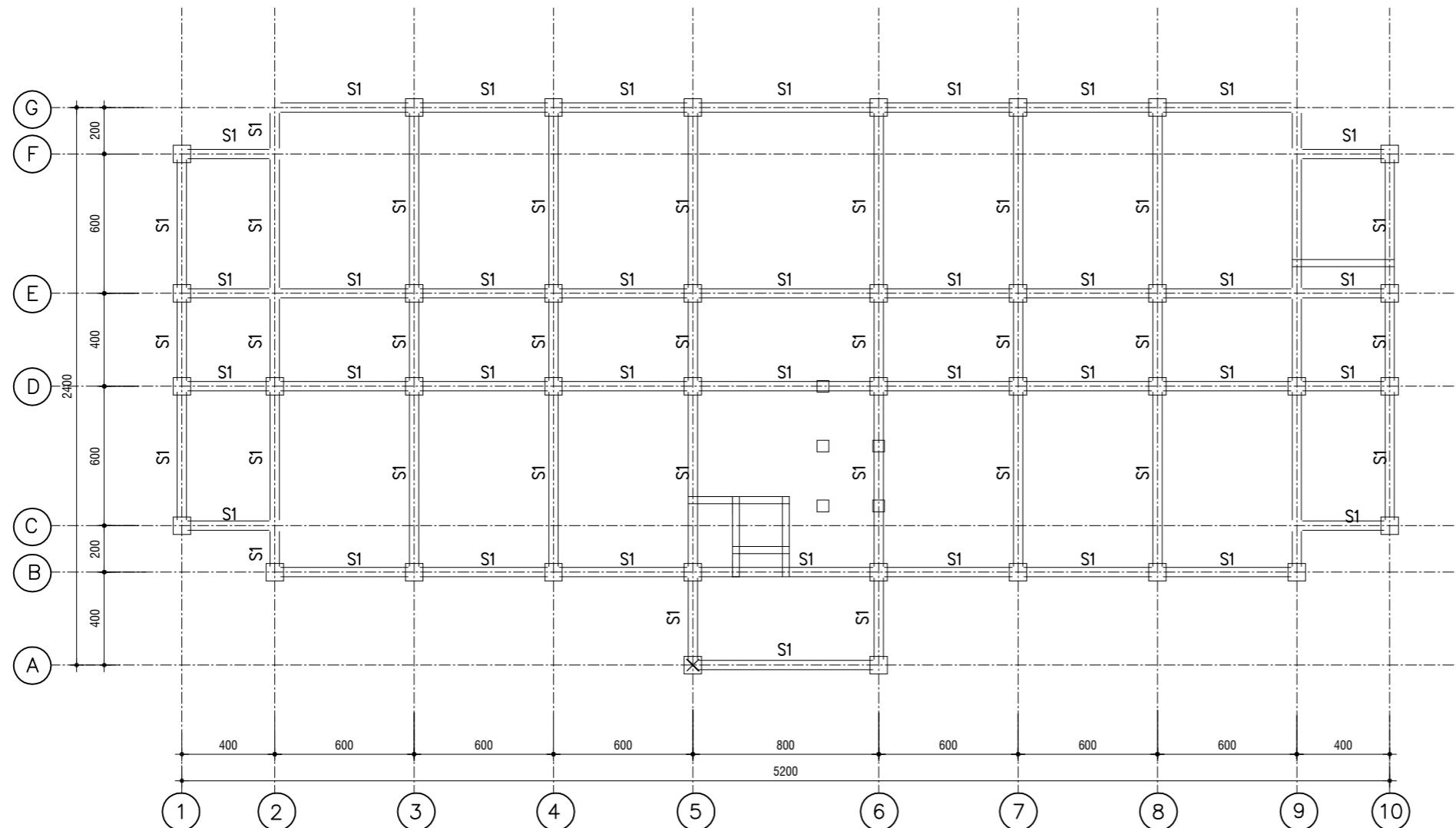
**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

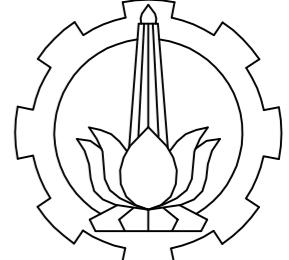
**Denah Rencana Sloof**

**SKALA**

**1:250**



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
43	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

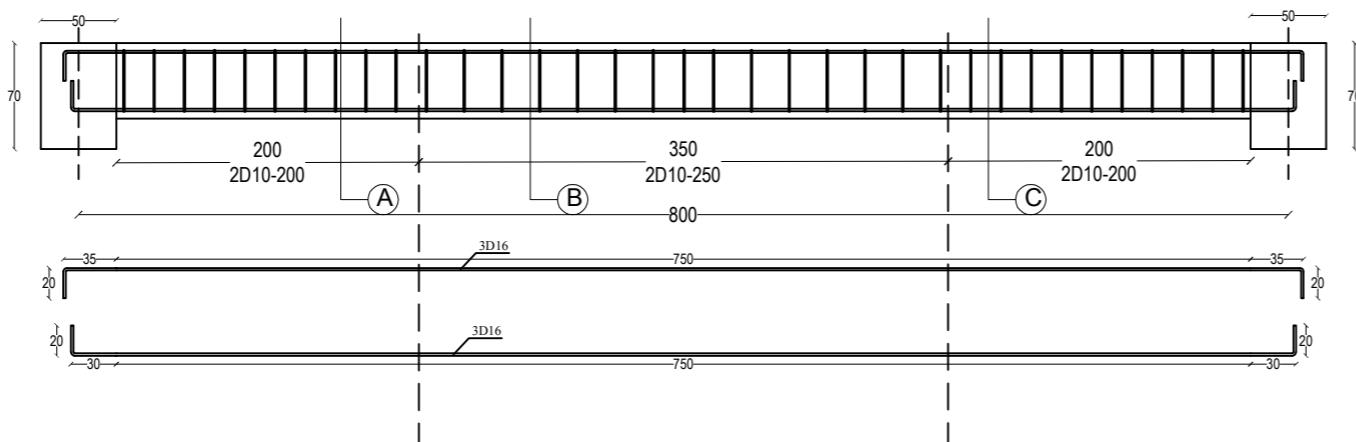
**NAMA GAMBAR**

Detail Penulangan Balok Anak

SKALA

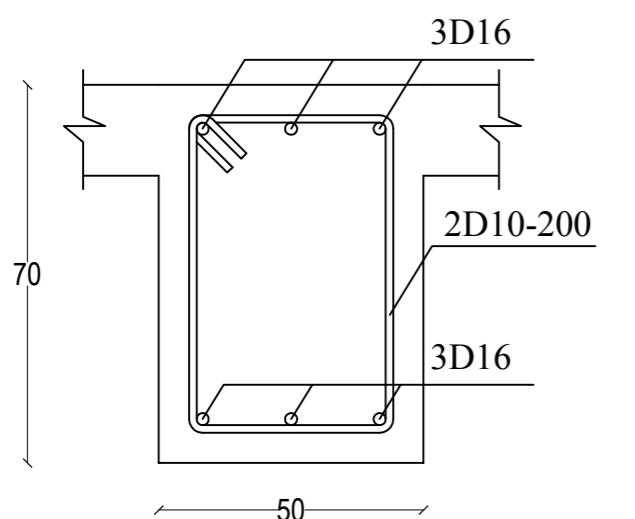
NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

**44** **52**

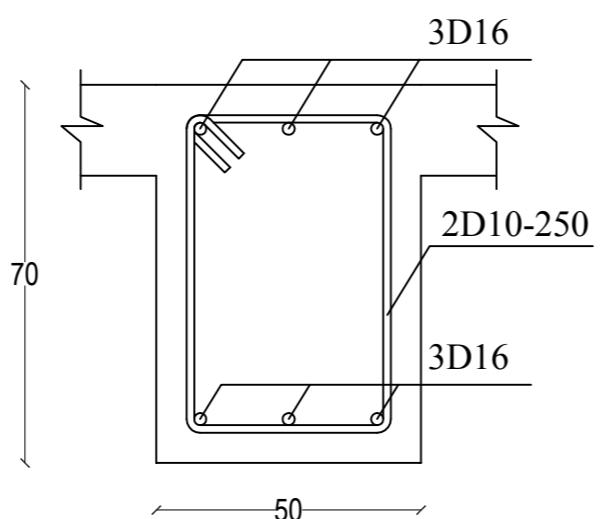


**PENULANGAN BALOK ANAK**

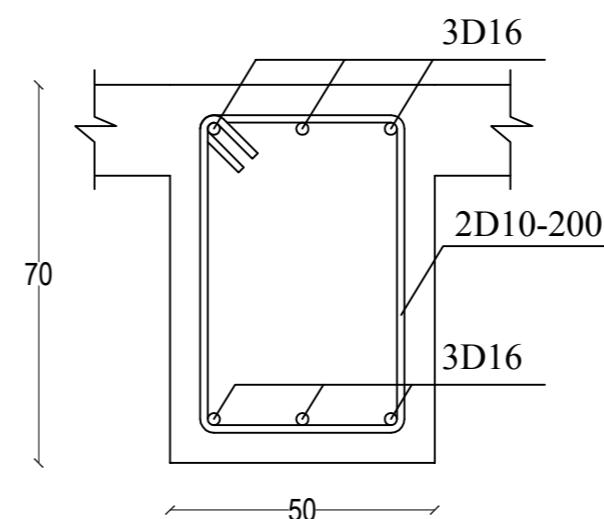
Skala 1:50



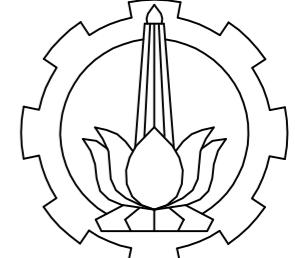
**POTONGAN A-A**  
Skala 1:10



**POTONGAN B-B**  
Skala 1:10



**POTONGAN C-C**  
Skala 1:10



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

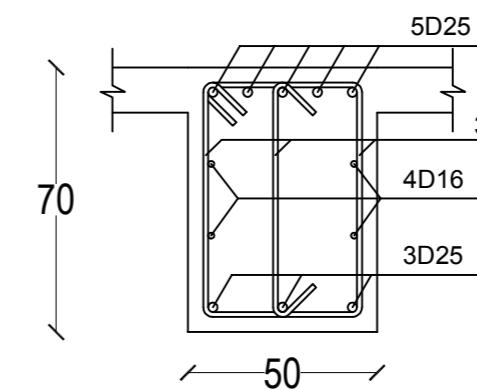
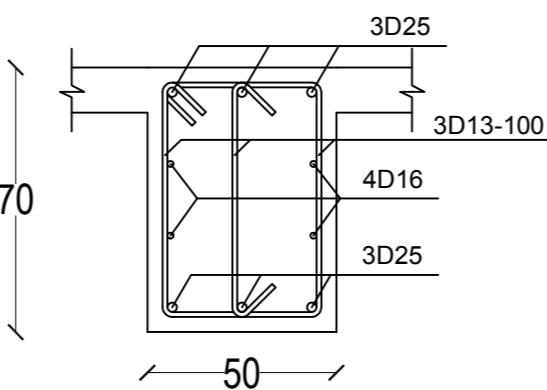
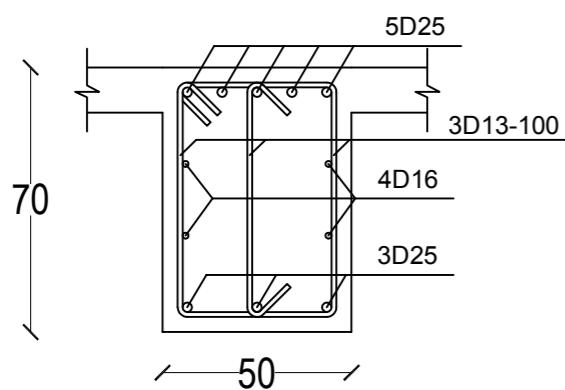
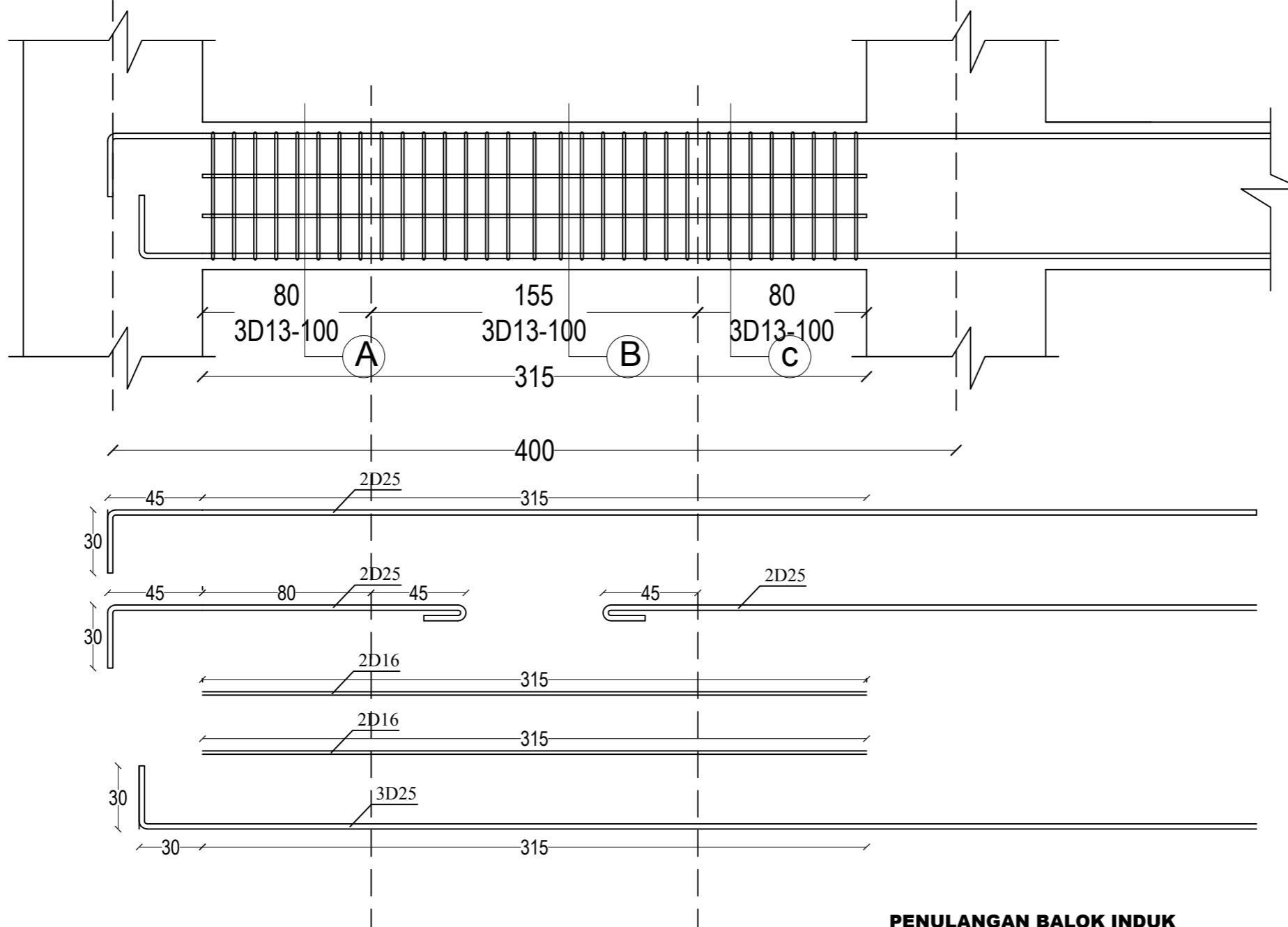
Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

**Detail Penulangan Balok Induk 1**

SKALA



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
45	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

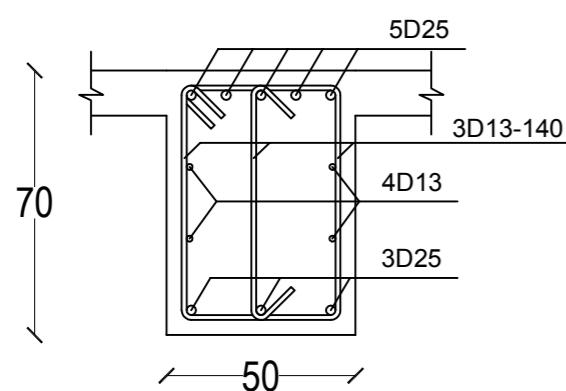
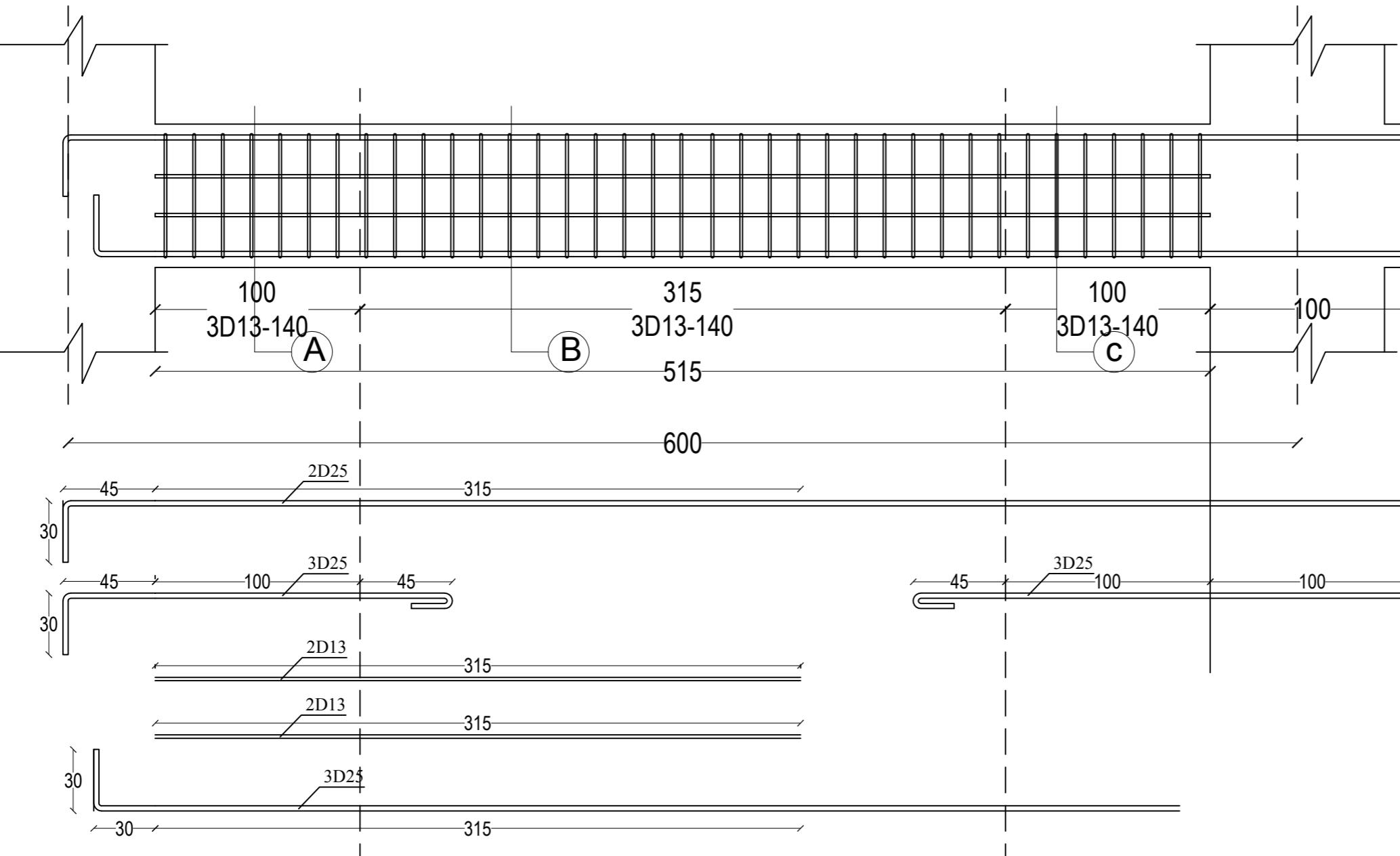
Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

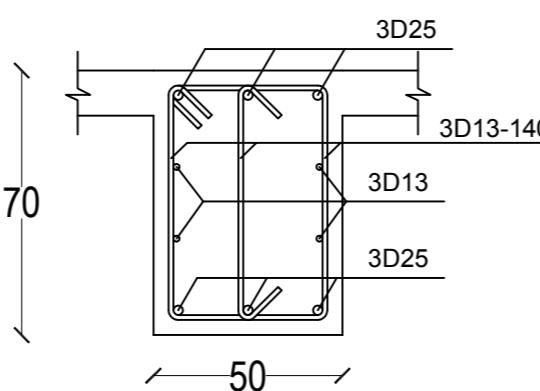
Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

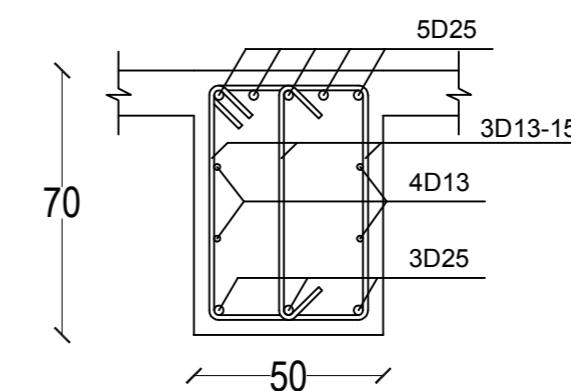
**PENULANGAN BALOK INDUK**  
Skala 1:25



**POTONGAN A-A**  
Skala 1:20



**POTONGAN A-A**  
Skala 1:20



**POTONGAN A-A**  
Skala 1:20

**Detail Penulangan Balok Induk 2**

SKALA

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

**46** **52**



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Kriska Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

**NAMA GAMBAR**

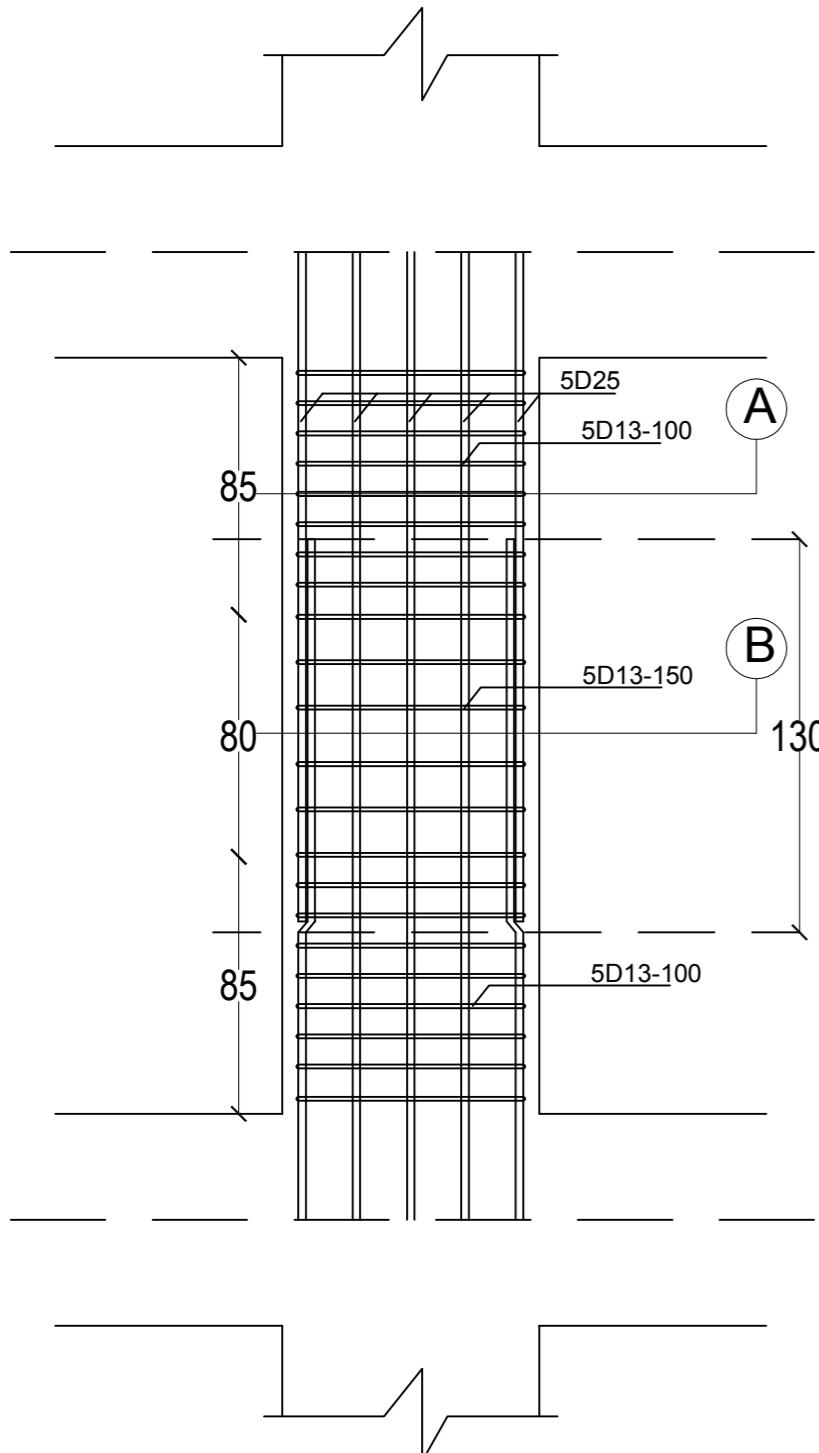
**Detail Penulangan Kolom**

SKALA

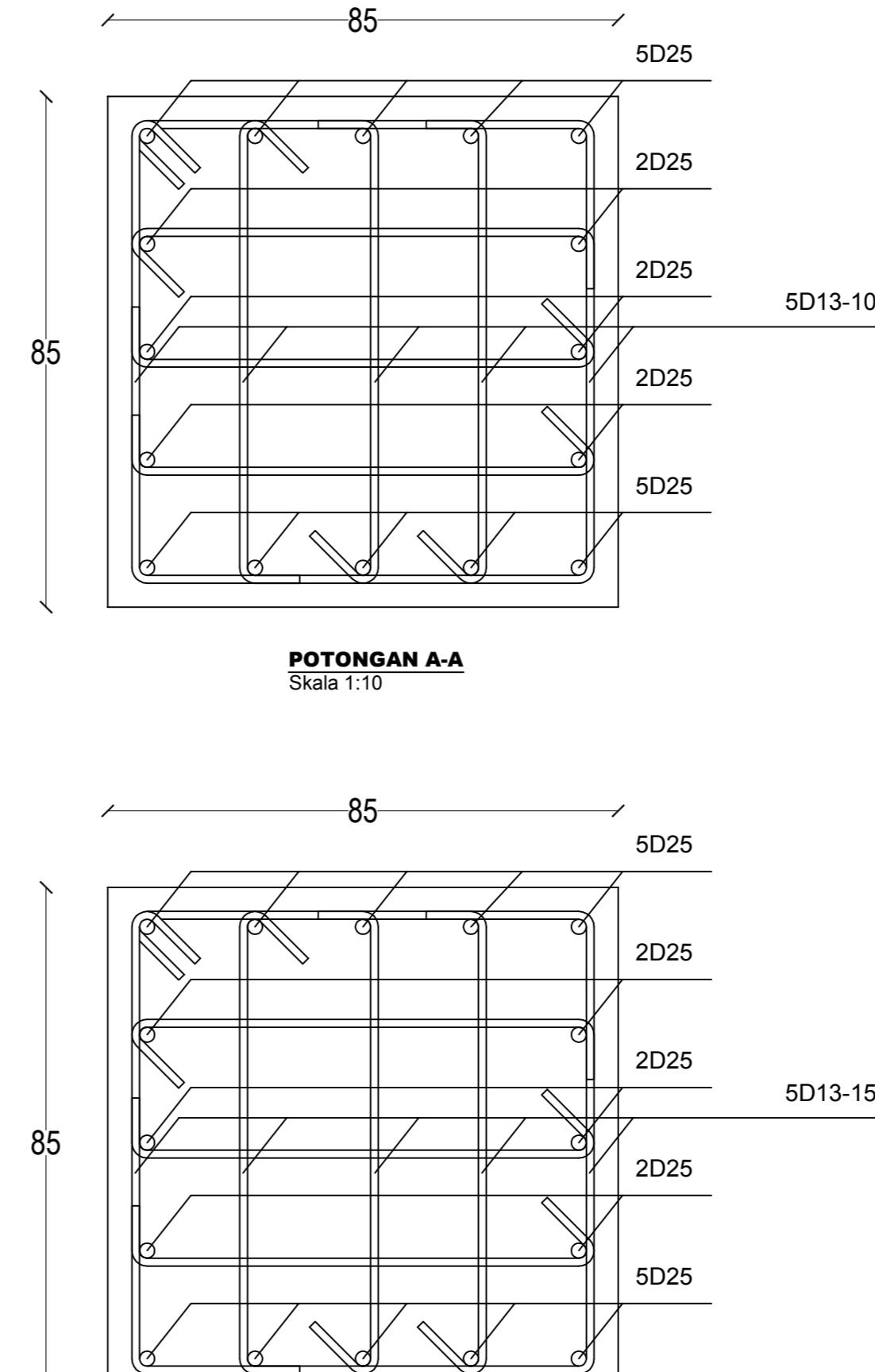
NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

47

52

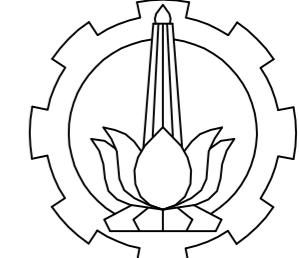


**PENULANGAN KOLOM**  
Skala 1:25



**POTONGAN A-A**  
Skala 1:10

**POTONGAN B-B**  
Skala 1:10



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

**JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN**

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

**DOSEN PEMBIMBING**

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

**NAMA MAHASISWA**

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

**KETERANGAN**

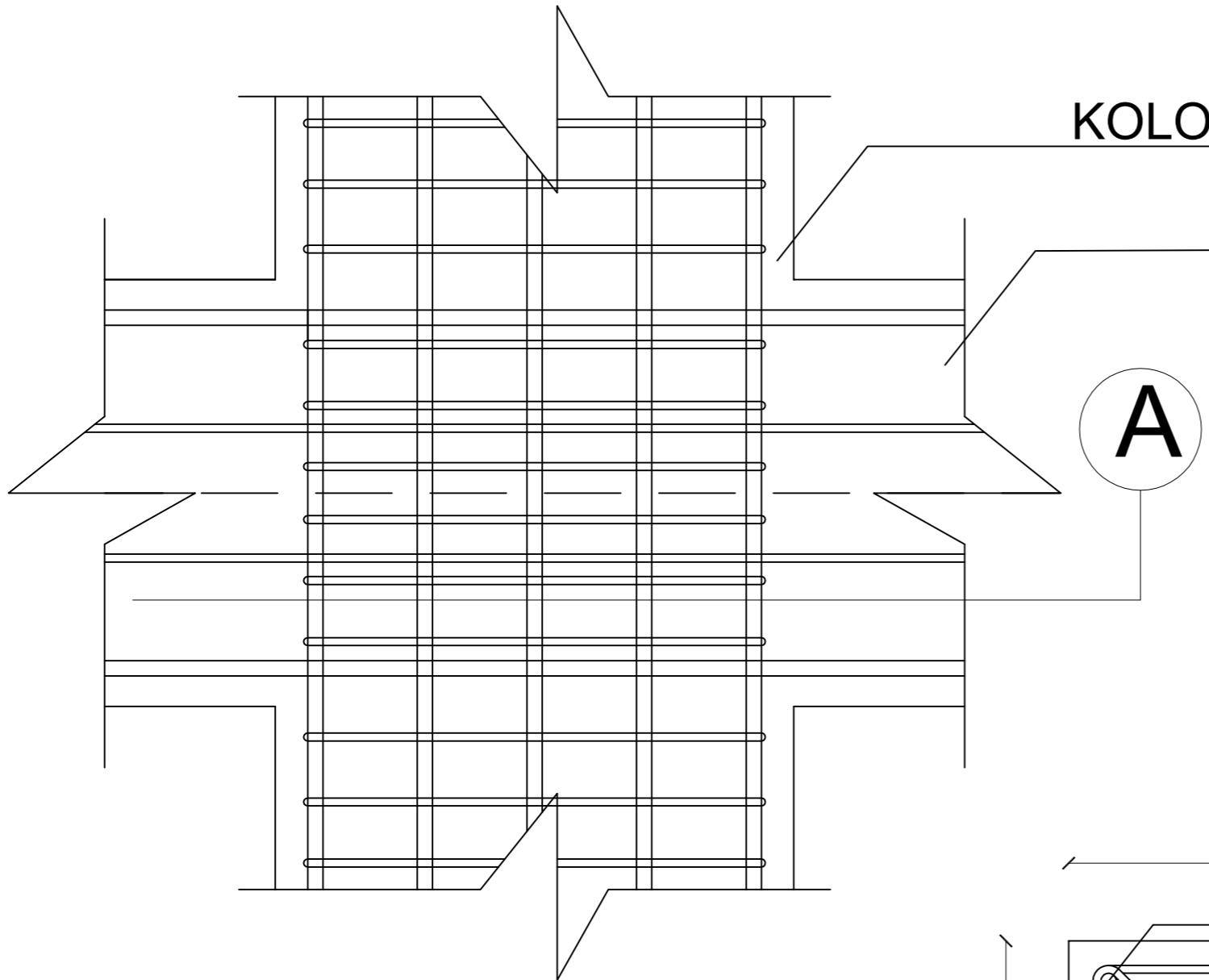
**NAMA GAMBAR**

**Detail Penulangan Hubungan Balok  
Kolom**

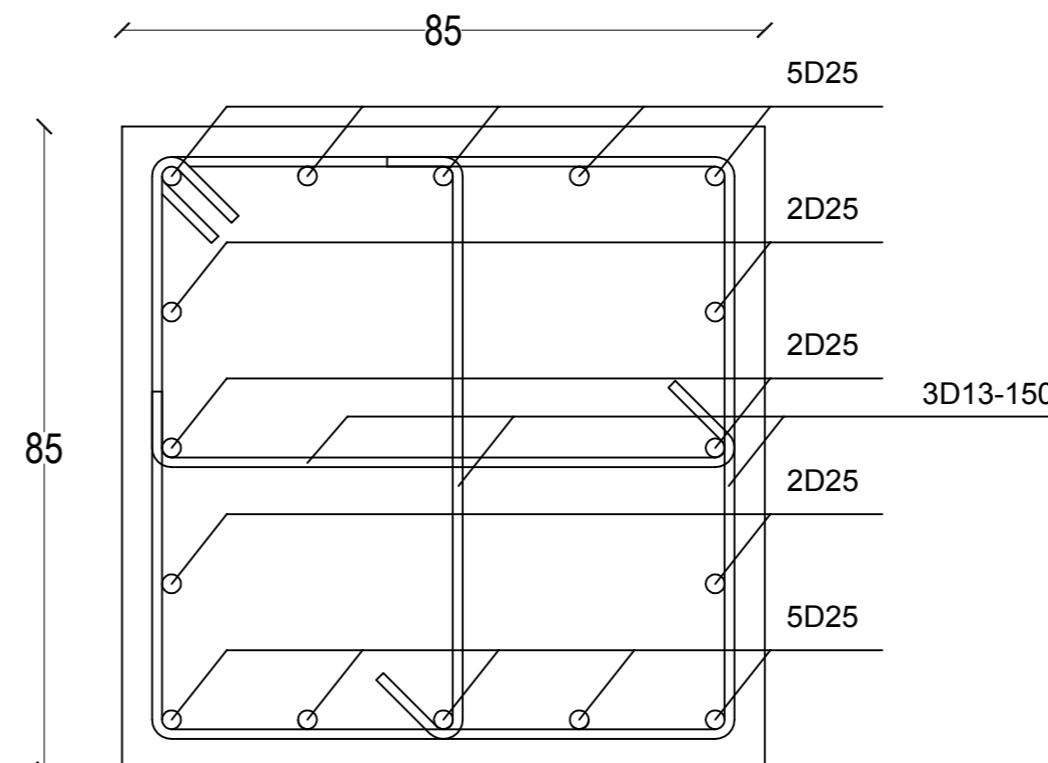
**SKALA**

**NO. LEMBAR** **JUMLAH LEMBAR**

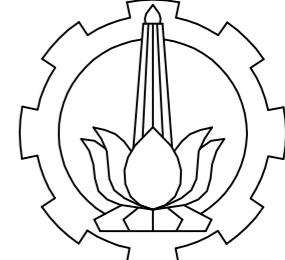
**48** **52**



**PENULANGAN HUBUNGAN BALOK KOLOM B-B**  
Skala 1:10



**POTONGAN A-A**  
Skala 1:10



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

### JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

### DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

### NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

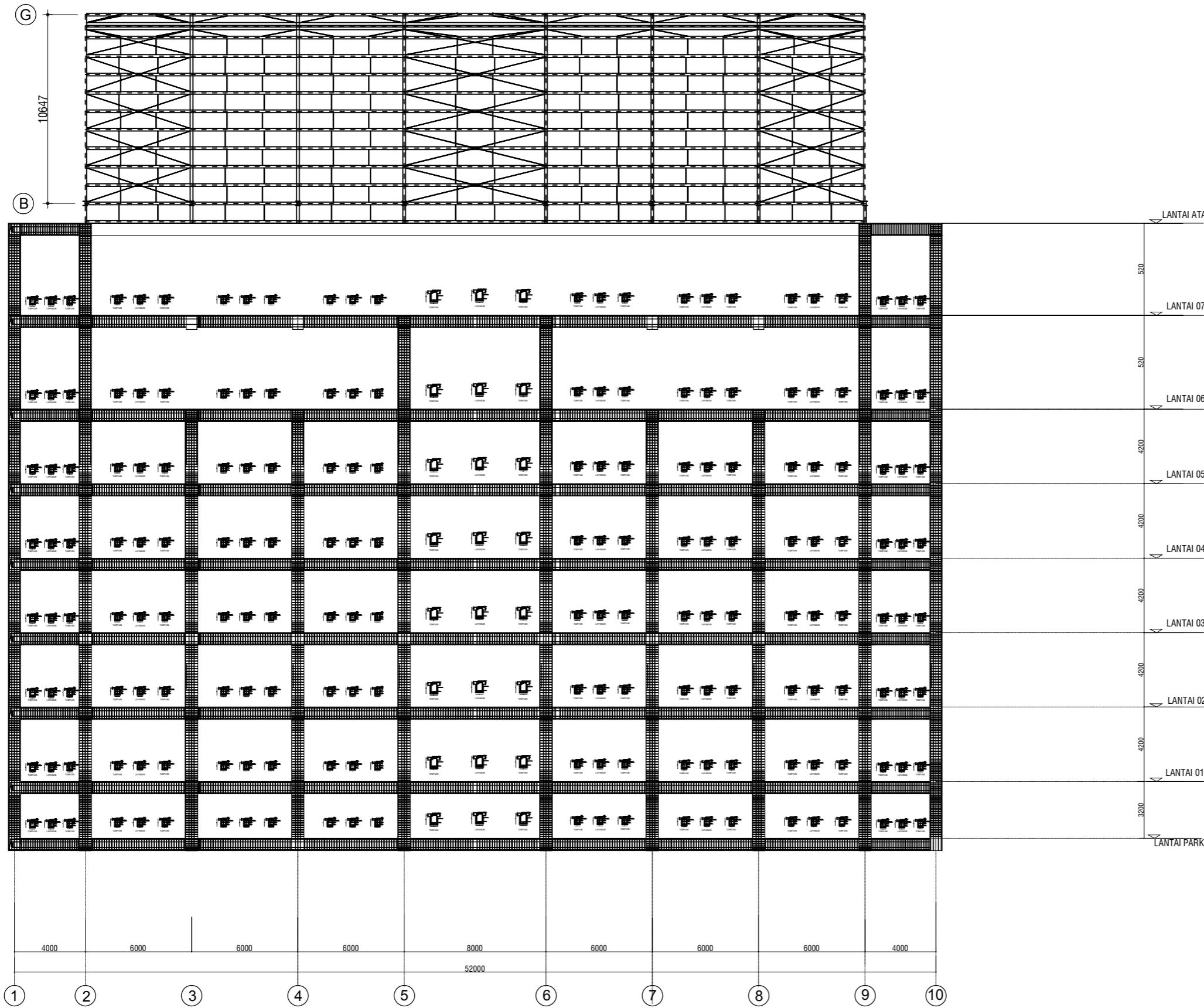
### KETERANGAN

### NAMA GAMBAR

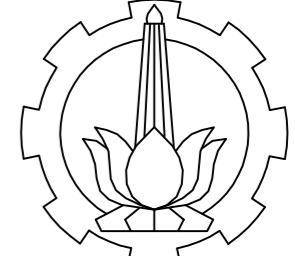
Penulangan Portal A-A

### SKALA

1:200



NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
49	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

### JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

### DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji, ST., MT, Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

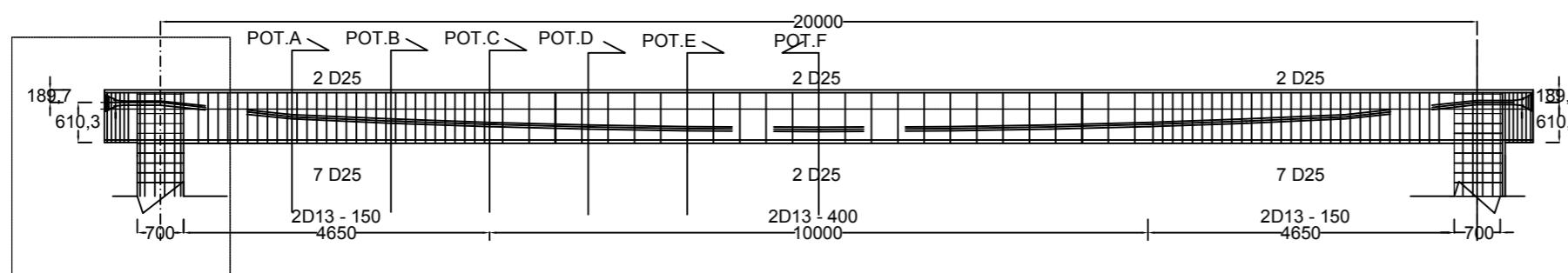
### NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

### KETERANGAN

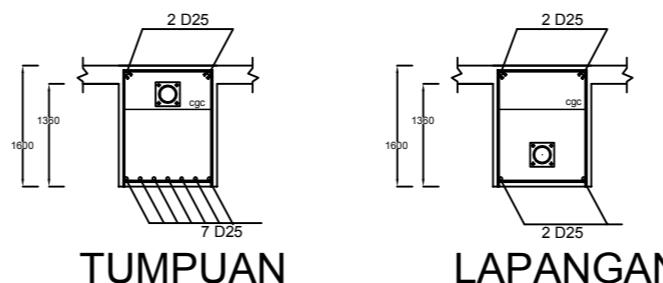
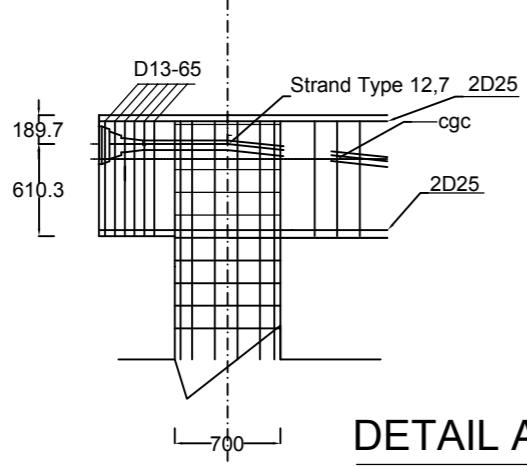
X	0	2000	3500	5000	6500	8000	10000	12000	13500	15000	16500	18000	20000
Y	0	108	173.25	225	263.25	288	300	288	263.25	225	173.25	108	0
	510.27	402.27	337.02	285.27	247.02	222.27	210.26	222.27	247.02	285.27	337.02	402.27	510.27

DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEGANG 60x80mm



POTONGAN MEMANJANG BALOK PRATEGANG 60x80mm

TABEL LETAK TENDON DARI BAWAH



DETAIL A

### Detail Balok Prategang

### SKALA

1:100

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
50	52



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

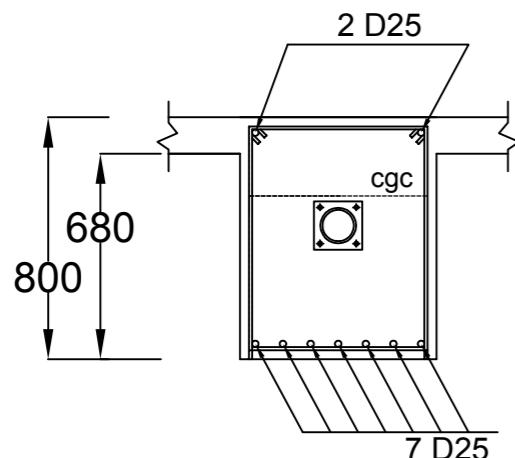
Detail Penulangan Balok Prategang

SKALA

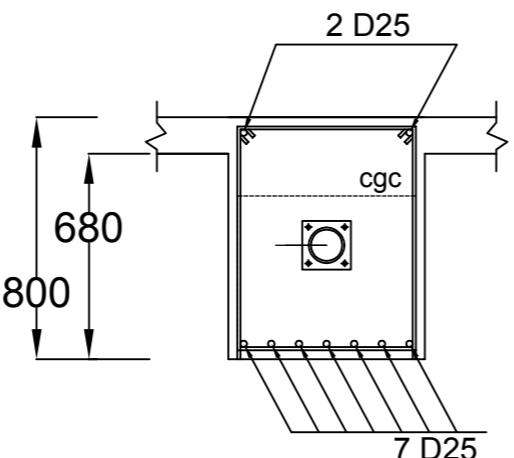
1:100

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

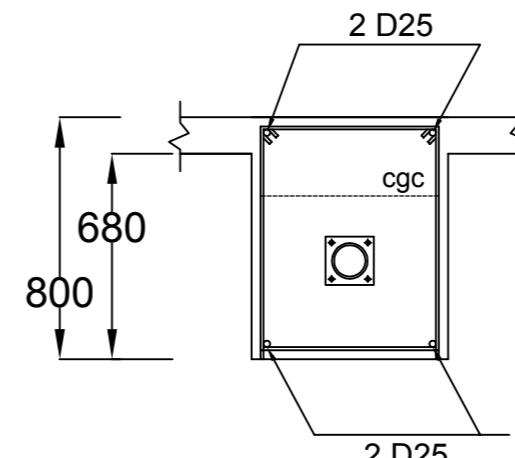
51	52
----	----



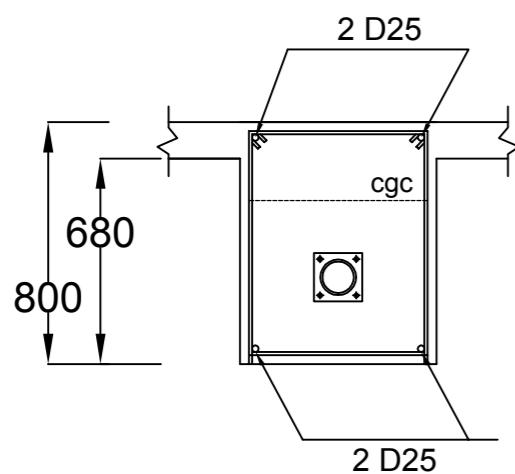
POT.A



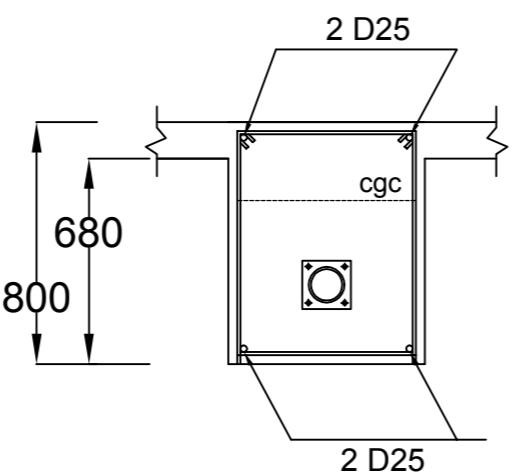
POT.B



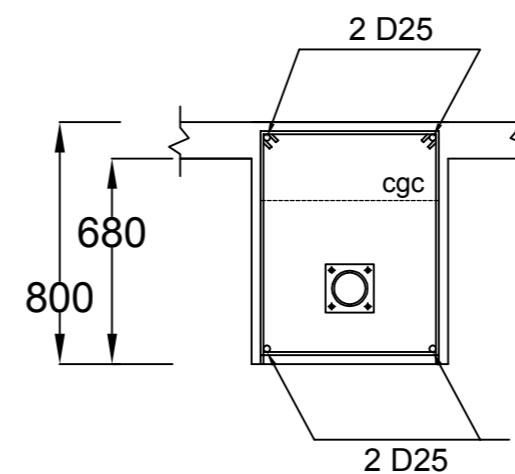
POT.C



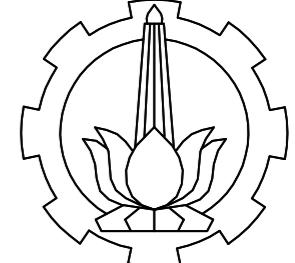
POT.D



POT.E



POT.F



DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG 8  
LANTAI MENGGUNAKAN BALOK  
PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Ridho Bayuaji,ST.,MT,Ph.D  
NIP. 19730710 199802 1 002

NAMA MAHASISWA

Vionita Krisma Maharani  
NRP. 3113041049

KETERANGAN

NAMA GAMBAR

Detail Angkur Balok Prategang

SKALA

1:100

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

52	52
----	----

# BRUSTING STEEL TENDON

# ANGKUR

