



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 144542

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

DINIARSHINTA AYU FEBRINA
NRP. 10111715000024

Dosen Pembimbing

Ir. Srie Subekti. MT
NIP. 19560520 198903 2 001

Afif Navir Refani, ST., MT.
NIP. 19840919 201504 1 001

DIPLOMA IV LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 144542

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

DINIARSHINTA AYU FEBRINA
NRP. 10111715000024

Dosen Pembimbing

Ir. Srie Subekti. MT
NIP. 19560520 198903 2 001

Afif Navir Refani, ST., MT.
NIP. 19840919 201504 1 001

DIPLOMA IV LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT APPLIED - RC144542

MODIFICATION OF STRUCTURE RECTORATE BUILDING THE 9TH FLOOR IN MALANG USING PRECAST CONCRETE METHOD

DINIARSHINTA AYU FEBRINA

NRP. 10111715000024

Supervisor:

Ir. Srie Subekti. MT

NIP. 19560520 198903 2 001

Afif Navir Refani, ST., MT.

NIP. 19840919 201504 1 001

DIPLOMA IV OF CIVIL ENGINEERING EXTENSION
DEPARTEMENT OF ENGINEERING INFRASTRUKTUR CIVIL
FACULTY VOCATION
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS , Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Diniarshinta Ayu F

2

NRP

: 101117150000 29

2

Judul Tugas Akhir

: Modifikasi Struktur Gedung Rectorat g Lantai di Malang
Dengan Metode Baton Precast (Precast)

Dosen Pembimbing

: 1. Ir. Sri Subekti, MT. (NIP. 19560520 198903 2 001)
2. Apip Mariv Riyami, ST, MT (NIP. 19840919 201509 1 001)

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
1.	08 - 02 - 2018	* Preliminari Pelat 6/4q * Permodelan plat balok * Identifikasi bangunan		B C K
2.	08 - 02 - 2018	* Iteratif plat precast * Preliminari Pelat balok lantai		B C K
3.	15 - 02 - 2018	* Basement dimodifikasi ukuran sama Lantai dratanya * Laporan Bab 1 Pendahuluan Bab 2 Tinjauan Pustaka Bab 3 Metodologi Bab 4 Preliminary desain		B C K
4.	23 - 02 - 2018	* Bab 1 Bab 2 Bab 3 Bab 4 → Rincian Balok precast Bab 5 / Rincian Kolom preCast ti30 Pembelahan Kantor 240 * Gambar Basement modifikasi		B C K
5.	23 - 02 - 2018	* Balok 4/6 balok (6,7,1) * Perencanaan struktur lanjut Lanjutkan		B C K

Ket:

- B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terambat 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. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 Diniarshinta Ayu F

2

NRP

: 1 101115000024

2

Judul Tugas Akhir

: Modifikasi struktur Gedung Rektorat g lantai di Malang
Dengan Metode beton pracetak (Precast)

Dosen Pembimbing

: 1. Ir. Srie Subekti, MT (NIP. 19560301 198903 2 001)

2. Afriz Hajar, ST-MT. (NIP. 19840919 201504 1 001)

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
				B	C	K
6.	09-03-2018	<ul style="list-style-type: none">• Pelat dan balok prelim pracetak• Dimensi dinding basement• Permodelan				
7.	10-03-2018	<ul style="list-style-type: none">• Permodelan• Basement tetap eksisting		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	23-03-2018	<ul style="list-style-type: none">• Perencanaan tulungan<ul style="list-style-type: none">- Tambahan perhitungan tul. geber- Diameter tul. pelat precast D10-150• Permodelan lanjut		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	28-03-2018	<ul style="list-style-type: none">• Tambahkan gambar pracetak pada perencanaan tulungan.• Perencanaan tulungan<ul style="list-style-type: none">- tambahkan kontrol rotat .		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	13-04-2018	<ul style="list-style-type: none">• Kontrol kebutuhan tumpuan• Bal 4 tambah informasi Balon pelat dan balok• Bal 5 kontrol - kontrol pindah kan sesuai yang dikontrol + Gambar• stud gunungan & ketip• kontrol fundamental, simpangan, gaya geber		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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 Diniarshinta Ayu F

2

NRP

: 1 1611171500024

2

Judul Tugas Akhir

: Modifikasi Struktur Gedung Kekorat 9 Lantai di Malang
Dengan Metode Beton Pracetak (precast)

Dosen Pembimbing

: 1. Ir. Sri Subakti, MT (NIP. 19560520 198002 2 001)

: 2. Afif Nurul Farani, ST, MT (NIP. 19840919 201504 1001)

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
1.	26 -09 -2018	<ul style="list-style-type: none">• Permodelan Etab & kontrol- kontrol fundamental- kontrol Dinamis- kontrol geser• Preliminary plat tangga• Perhitungan & penulangan pelat tangga dan border• Perhitungan penulangan balok border		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.	27 -09 -2018	<ul style="list-style-type: none">• Preliminary plat tangga• Pembenturan tangga• Perhitungan penulangan pelat tangga & border tambah momen arah penek.• Penulangan balok border• Permodelan balok lift bekain disesuaikan lagi• Perhitungan balok lift.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.	30 - 5 - 2018	<ul style="list-style-type: none">• Perhitungan penulangan balok arat• Perhitungan penulangan balok Induk		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

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 INFORMATIKA DAN SISTEM

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 Diniarshinta Aruf	2
NRP	: 1 10111715200029	2
Judul Tugas Akhir	: Modifikasi Struktur Gedung Rektorat g Lantai dimakang Dengan Metode Beton Precast (Precast)	
Dosen Pembimbing	: 1. Ir. Sriwij Subekti, MT (NIP. 19560520 198003 2 001) 2. Asep Navir Repan, ST, MT (NIP. 19840919 201509 1 001)	

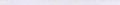
Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

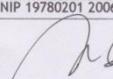


**BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG
TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS**

No. Agenda :
041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 3-7-2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Modifikasi Struktur Gedung Rektorat 9 Lantai Di Malang Dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak (Precast)		
Nama Mahasiswa	Diniarshinta Ayu Febrina	NRP	1011171500024
Dosen Pembimbing 1	Ir. Srije Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	Atif Navir Refiani, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Pengaji
<p>Cek sambungan batok - batok i. kolom - batok cek tulangan batok 2. kolom → lentur gesek formasi</p>	
	Ir. Sungkono, CES NIP 19591130 198601 1 001
<ul style="list-style-type: none"> - cek kapasitas pondasi - konstruksi detail joint granciale - cek D aftershaft 	Dr. Yuyun T, ST. MT NIP 19780201 200604 2 002
	
	Mohamad Khori, S.T. M.T. NIP. 19740626 20811001
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Pengudi 1	Dosen Pengudi 2	Dosen Pengudi 3	Dosen Pengudi 4
Ir. Sungkono, CES NIP 19591130 198601 1 001	Dr. Yuyun T, ST, MT NIP 19780201 200604 2 002	Mr. Eko Irawan NIP 19740619 2001 01 1	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	Ir. Srie Subekti, MT	
NIP 19560520 198903 2 001	Afif Navir Refani, ST. MT	NIP 19840919 201504 1 001

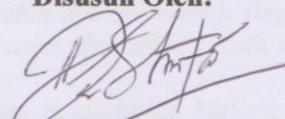
LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

PROYEK AKHIR TERAPAN

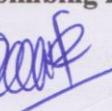
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Terapan
Pada
Konsentrasi Bangunan Gedung
Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh:


DINIARSHINTA AYU F

NRP. 10111715000024

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan:
Pembimbing 1  Ir. Srie Subekti, MT.
NIP. 19560520 198903 2 001

Pembimbing 2  Afif Navir Refani, ST., MT.
NIP. 19840919 201504 1 001

18 JUL 2018



MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

Nama	:	Diniarshinta Ayu Febrina
NRP	:	10111715000024
Departemen	:	DIV Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing	:	Ir. Srie Subekti. MT Afif Navir Refani, ST., MT.

ABSTRAK

Struktur beton pracetak merupakan elemen bangunan yang menggunakan beton bertulang/tak bertulang dengan komponen - komponen yang dicetak terlebih dahulu di tempat khusus (fabrication) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (installation). Metode beton pracetak (precast) memiliki kelebihan meliputi waktu pelaksanaan yang cepat, biaya pembangunan yang lebih murah, ramah lingkungan, dan tidak pengaruh terhadap cuaca, dan efisien baik segi biaya maupun waktu.

Struktur Gedung Rektorat di Malang yang dimodifikasi struktur atap dak beton dengan ketinggian $\pm 45,8$ m (Termasuk atap deck beton) menggunakan metode pracetak (precast) pada balok dan pelat dengan vol. $\pm 2.667 \text{ m}^3$. Sistem struktur gedung ini dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Elemen pracetak hanya balok dan pelat, sedangkan pada elemen kolom, tangga, lift, dan basement direncanakan menggunakan metode cor ditempat.

Hasil perencanaan Gedung Rektorat ini meliputi ukuran plat 140 mm dengan dimensi pracetak 80 mm dan overtopping 60 mm, dimensi balok induk 450/650 mm dengan dimensi balok induk pracetak 450/510 mm, dimensi balok anak 30/45 dengan balok anak pracetak 300/310 mm, dan dimensi kolom 75x75 cm. Sambungan yang digunakan antara lain untuk sambungan balok

induk-kolom menggunakan sambungan menerus serta korbel, dan sambungan balok anak kebalok induk menggunakan sambungan korbel dengan sambungan angkur. Struktur bawah menggunakan pondasi pilecap dengan 6 tiang pancang kedalaman 1400 mm.

Metode pelaksanaan pada tugas akhir ini dengan Fabrikasi, Proses transportasi, Proses penyimpanan, Proses pelaksanaan di lapangan dengan instalasi pracetak, perawatan.

Kata Kunci: SRPMK, Beton Pracetak, Sambungan

MODIFICATION OF STRUCTURE RECTORATE BUILDING THE 9TH FLOOR IN MALANG USING PRECAST CONCRETE METHOD

Name	:	Diniarshinta Ayu Febrina
NRP	:	10111715000024
Departement	:	DIV Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Advisor	:	Ir. Srie Subekti. MT Afif Navir Refani, ST., MT.

ABSTRACT

Concrete structure is a building element that uses reinforced / non-boned concrete with components used for special process (fabrication) and subsequently installed at the project site (installation). The precast method (preprinted) has a high rate of rapid implementation time, cheaper development cost, environmentally friendly, and does not affect the weather, and efficiency in terms of both cost and time.

The structure of Rectorate Building in Malang using roof structure of concrete with height of ± 45,8 m (consuming concrete deck roof) by using precast method on beam and plate with vol. ± 2,667 m3. System structures designed using the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) Precise elements are only beams and plates, whereas on column elements, ladders, lifters and basements use cast methods in place.

The design of this Rectorate Building planning include 140 mm plate size with 80 mm precast dimension and 60 mm overtopping, 450/650 mm beam dimension with precast beam dimension 450/510 mm, 30/45 beam dimension with precast beam 300/310 mm, and 75x75 cm column dimensions. The connections used include, among others, the parent-column connections using continuous connections as well as the corbel, and the connections of the parent's parent's main beam using a corbel connection with

an anchor connection. The bottom structure uses a pilecap foundation with 6 piles with 1400 mm depth.

Method of implementation in this final project with Fabrication, Transportation Process, Storage Process, Field implementation process with precast installation, maintenance.

Keywords: SRPMK, Precast Concrete, Connection

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir terapan dengan judul **“MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)“** sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan. Pada program Diploma IV Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan proyek akhir terapan ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, dan dukungan moral serta materiil. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik doa dan materiil
2. Ibu Ir. Srie Subekti. MT dan Bapak Afif Navir Refani, ST., MT selaku dosen pembimbing
3. Teman-teman Teknik Infrastruktur Sipil yang membantu dan mendukung dalam proses penyelesaian Proyek Akhir Terapanini.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan ini. Seluruh dosen pengajar, staff dan karyawan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Proyek Akhir Terapan ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan selanjutnya. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat.....	4
1.6. Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan Umum.....	7
2.2. Sistem Struktur.....	7
2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	7
2.3. Beton Precast.....	8
2.4. Penerapan Beton Pracetak Elemen Struktur.....	8
2.5. Jenis-jenis Beton Pracetak.....	9
2.6. Macam-macam Komponen Pracetak.....	10

2.7.	Keuntungan dan Kerugian Beton Pracetak.....	11
2.8.	Elemen Struktur Pracetak.....	12
2.8.1.	Pelat	12
2.8.2.	Balok	14
2.9.	Perencanaan Sambungan Pracetak.....	15
2.8.1.	Sambungan Cor Setempat	16
2.8.2.	Sambungan Las	17
2.8.3.	Sambungan Baut.....	17
2.9.	Tipe Sambungan.....	18
2.9.1.	Sambungan antar Balok Pracetak dan Pelat Pracetak	18
2.9.2.	Sambungan antar Balok Pracetak dan Kolom	19
2.10	Titik Angkat Elemen Pracetak dan Sokongan.....	19
2.10.1	Pengangkatan Pelat Pracetak	20
2.10.2	Pengangkatan Balok Pracetak	21
2.11	Fase Penanganan Beton Pracetak.....	22
2.12	Pondasi.....	23
2.13	Metode Konstruksi Sistem Pracetak.....	25
2.14	Tugas Akhir yang Terdahulu.....	26
2.14.1.	Tugas Akhir Terapan Heraldy Bhaskarawan P.	26
2.14.2.	Tugas Akhir Terapan Darda Abdurahman F.	27
BAB III METODOLOGI		29
3.1.	Pengumpulan Data.....	31
3.2.	Pemilihan Kriteria Design.....	32
3.3.	<i>Preliminary Design</i>	33
3.4.	Pembebanan Struktur.....	37

3.4.1.	Beban Struktur.....	37
3.4.2.	Kombinasi Beban	39
3.5.	Permodelan Struktur.....	39
3.6.	Perencanaan Penulangan.....	41
3.7.	Perencanaan Dimensi Elemen Pracetak.....	42
3.8.	Kontrol Elemen Pracetak.....	43
3.8.1.	Kontrol Pengangkatan	43
3.8.2.	Kontrol Penumpukan	44
3.8.3.	Kontrol Pemasangan.....	45
3.8.4.	Kontrol Pengecoran	45
3.8.5.	Kontrol Komposit.....	46
3.9.	Sambungan.....	47
3.9.1.	Sambungan Balok dengan Kolom	47
3.9.2.	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak....	48
3.9.3.	Sambungan Pelat dengan Balok	48
3.9.4.	Sambungan Pelat dengan Pelat.....	49
3.10.	Metode Pelaksanaan.....	49
3.10.1.	Proses Produksi.....	49
3.10.2.	Proses Penyimpanan	51
3.10.3.	Transportasi	51
3.10.4.	Proses Pengangkatan	51
3.10.5.	Proses Pemasangan.....	52
3.11.	Desain Bangunan Bawah.....	54
3.11.1.	Perencanaan Struktur Pondasi	54
3.12.	Gambar Perencanaan.....	54

BAB IV PRELIMINARY DESAIN.....	57
4.1. Umum.....	57
4.2. Data Perencanaan.....	57
4.3. Pembebanan.....	58
4.4. Perencanaan Dimensi Balok.....	58
4.4.1. Dimensi Balok Induk dan Balok Anak.....	60
4.5. Perencanaan Tebal Pelat.....	62
4.5.1. Peraturan Perencanaan Pelat.....	63
4.6. Perencanaan Dimensi Kolom.....	64
4.6.1. Pembebanan Satu Lantai	65
4.7. Preliminary Tangga.....	65
BAB V PERMODELAN STRUKTUR	69
5.1. Umum.....	69
5.2. Data Perencanaan.....	69
5.3. Pembebanan Gravitasi.....	70
5.4. Perhitungan Struktur.....	71
5.5. Gempa Rencana.....	71
5.6. Parameter Respon Spektrum Rencana.....	71
5.7. Kombinasi Pembebanan.....	72
5.8. Kontrol Desain.....	74
5.8.1. Kontrol Partisipasi Massa.....	74
5.8.2. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental	74
5.8.3. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum.....	76
5.8.4. Kontrol Batas Simpang Antar Lantai (Drift).....	77
BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR.....	79

6.1.	Perencanaan Pelat Pracetak.....	79
6.1.1.	Data Perencanaan Pelat	79
6.1.2.	Pembebanan Pelat Lantai.....	79
6.1.3.	Perhitungan Tulangan Pelat Lantai.....	81
6.2.	Perencanaan Tangga.....	122
6.2.1.	Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes.....	123
6.2.2.	Penulangan Pelat Tangga dan Bordes.....	124
6.2.3.	Penulangan Balok Bordes.....	130
6.3.	Perencanaan Balok Lift.....	134
6.3.1.	Perencanaan Dimensi Balok Lift	135
6.3.2.	Pembebanan Lift.....	136
6.3.3.	Perhitungan Penulangan Balok Lift.....	137
6.4.	Perencanaan Balok Anak Pracetak BA-1.....	142
6.4.1.	Pembebanan Balok Anak Pracetak	143
6.4.2.	Perhitungan Tulangan Balok	145
6.4.2.1.	Kondisi Saat Pengangkatan	145
6.4.2.2.	Kondisi Sebelum Komposit.....	150
6.4.2.3.	Kondisi Setelah Komposit	155
6.4.3.	Penulangan Angkat Balok	167
6.4.4.	Kontrol Balok Anak Pracetak.....	168
6.5.	Perencanaan Balok Induk Pracetak.....	172
6.5.1.	Perencanaan Balok Induk Pracetak BI-1	173
6.5.2.	Pembebanan Balok Induk Pracetak B1.....	173
6.5.3.	Perhitungan Tulangan Balok	175
6.5.4.	Penulangan Angkur Balok.....	209

6.5.5.	Kontrol Lendutan Balok Induk.....	211
6.6.	Perencanaan Kolom.....	215
6.6.1.	Data Perencanaan	215
6.6.2.	Hasil output ETABS.....	216
6.6.3.	Cek Persyaratan Kolom SRPMK	217
6.6.4.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Penulangan Lentur.....	217
6.6.5.	Cek Syarat Strong Column Weak Beam	219
6.6.6.	Tulangan Transversal Sebagai Confinement....	221
6.6.7.	Desain Tulangan Geser.....	222
6.6.8.	Lap Splices	225
6.6.9.	Desain Hubungan Balok Kolom.....	227
6.7.	Perencanaan Struktur bawah.....	229
BAB VII PERENCANAAN SAMBUNGAN		241
7.1.	Perencanaan Sambungan.....	241
7.1.1.	Perencanaan Sambungan Balok Induk-Kolom..	242
7.1.2.	Perhitungan Sambungan Balok Induk-Balok Anak	255
7.1.3.	Perhitungan Konsol pada Balok Induk.....	256
7.1.4.	Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok.....	268
7.1.5.	Sambungan Pelat Pracetak dengan Pelat Topping Cor Insitu (Penghubung Geser).....	269
BAB VIII METODE PELAKSANAAN.....		271
8.1.	Umum.....	271
8.1.1.	Fabrikasi	271
8.1.2.	Transportasi	271

8.1.3.	Penyimpanan	272
8.1.4.	Pengangkatan.....	273
8.1.5.	Pelaksanaan Section A.....	274
BAB IX KESIMPULAN DAN SARAN.....		277
9.1.	Kesimpulan.....	277
9.2.	Saran.....	278
DAFTAR PUSTAKA.....		279
BIODATA PENULIS		281
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Elemen Beton Pracetak pada Bangunan.....	9
Tabel 2. 2 Perbedaan Sistem Pelaksanaan Antara Sistem Konvensional (Cor di Tempat) dengan Sistem Pracetak.....	11
Tabel 2. 3 Angka Pengali Beban Statis Ekivalen Untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan gaya dinamik	22
Tabel 3. 1 Peraturan yang Digunakan	31
Tabel 3. 2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	32
Tabel 3. 3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik	32
Tabel 3. 4 Tabel Minimum Pelat Satu Arah	33
Tabel 3. 5 Tebal Minimum Pelat Dua Arah	34
Tabel 3. 6 Tabel Minimum Tebal Balok	36
Tabel 3. 7 Flowchart Perhitungan Struktur Atas (Balok dan Kolom)	41
Tabel 3. 8 Flowchart Perhitungan Struktur Atas (Pelat dan Tangga).....	42
Tabel 4. 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Dimensi Balok Induk dan Balok Anak.....	62
Tabel 5. 1 Parameter Respon Spektrum	72
Tabel 5. 2 Partisipasi Massa	74
Tabel 5. 3 Periode ETABS 16.0.2	75
Tabel 5. 4 Berat Struktur	76
Tabel 5. 5 Simpangan pada sumbu x	78
Tabel 5. 6 Simpangan pada sumbu y	78
Tabel 6. 1 Rekapitulasi Tulangan Pelat Pracetak Tipe A	121
Tabel 6. 2 Rekapitulasi Pelat Pracetak	122
Tabel 6. 3 Spesifikasi Lift IRIS NV	135
Tabel 6. 4 Rekapitulasi Penulangan Balok BA1	166

Tabel 6. 5 Rekapitulasi Momen.....	188
Tabel 6. 6 Rekapitulasi tulangan balok induk.....	197
Tabel 6. 7 Momen Balok Akibat Kombinasi Gempa dan Gravitasi	199
Tabel 6. 8 Gaya Geser di Muka Kolom Int kiri & Kanan.....	200
Tabel 7. 1 <i>Required Development Lengths</i>	250
Tabel 7. 2 Required Development Lengths	263

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Hubungan Antara Biaya dan Volume Komponen Pracetak untuk Sistem Konvensional dan Sistem Pracetak.....	12
Gambar 2. 2 Hollow Core Slabs.....	13
Gambar 2. 3 Solid Flat Slab	13
Gambar 2. 4 Double Tee slab	14
Gambar 2. 5 Rectangular Beam.....	14
Gambar 2. 6 L-Shaped Beam	15
Gambar 2. 7 Inverted Tee Beam.....	15
Gambar 2. 8 Sambungan dengan cor setempat.....	16
Gambar 2. 9 Sambungan dengan las	17
Gambar 2. 10 Sambungan dengan menggunakan baut.....	18
Gambar 2. 11 Sambungan Balok Pracetak dan Pelat Pracetak....	18
Gambar 2. 12 Sambungan antar Balok dan Kolom	19
Gambar 2. 13 Pengangkatan 4 titik	20
Gambar 2. 14 Pengangkatan 8 titik	21
Gambar 2. 15 Pengangkatan Balok Pracetak.....	22
Gambar 3. 1 Diagram Aliran Perhitungan Struktur SRPMK	29
Gambar 3. 2 Diagram Aliran Perhitungan Elemen Pracetak	30
Gambar 3. 3 Permodelan Struktur Gedung Rektorat Malang.....	40
Gambar 3. 4 Pengangkatan Elemen Pracetak dengan 4 Titik.....	43
Gambar 3. 5 Sambungan Balok dengan Kolom	48
Gambar 3. 6 Pemasangan Balok Anak Pracetak	48
Gambar 3. 7 Sambungan Pelat dengan Balok	49
Gambar 3. 8 Flowchart proses produksi beton pracetak.....	50
Gambar 3. 9 Proses pengangkatan.....	52
Gambar 3. 10 Proses Pemasangan.....	53
Gambar 4. 1 Denah Pembalokan	60
Gambar 4. 2 Denah Rencana Pelat Precast.....	63
Gambar 5. 1 Permodelan 3D Struktur Utama (properties view) .	70
Gambar 6. 1 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)	82
Gambar 6. 2 Denah Pelat Tipe A.....	82
Gambar 6. 3 Sketsa Penulangan Pelat Arah X	83

Gambar 6. 4 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	85
Gambar 6. 5 Sketsa Penulangan Pelat Arah Y	86
Gambar 6. 6 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	88
Gambar 6. 7 Sketsa Penulangan Pelat Arah X.....	97
Gambar 6. 8 Perletakkan Pembebanan	97
Gambar 6. 9 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	99
Gambar 6. 10 Sketsa Penulangan Pelat Arah Y	100
Gambar 6. 11 Sketsa Penulangan Pelat Arah X.....	109
Gambar 6. 12 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	110
Gambar 6. 13 Sketsa Penulangan Pelat Arah Y	111
Gambar 6. 14 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	126
Gambar 6. 15 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	129
Gambar 6. 16 Denah Ruang Lift.....	135
Gambar 6. 17 Posisi balok anak dan pelat lantai	143
Gambar 6. 18 Titik Pengangkatan Balok.....	145
Gambar 6. 19 Sudut pengangkatan	146
Gambar 6. 20 Sketsa Penulangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	147
Gambar 6. 21 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	148
Gambar 6. 22 Sketsa Penulangan Balok Anak Sebelum Komposit	151
Gambar 6. 23 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan.....	152

Gambar 6. 24 Sketsa Penulangan Tekan Balok Anak Setelah Komposit	157
Gambar 6. 25 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan	158
Gambar 6. 26 Sketsa Penulangan Tekan Balok Anak Setelah Komposit	161
Gambar 6. 27 Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit ...	175
Gambar 6. 28 Titik Pengangkatan Balok.....	176
Gambar 6. 29 Sudut pengangkatan.....	176
Gambar 6. 30 Sketsa Penulangan Balok Induk Saat Pengangkatan	177
Gambar 6. 31 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan	179
Gambar 6. 32 Sketsa Penulangan Balok Induk Saat Pengangkatan	181
Gambar 6. 33 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan	183
Gambar 6. 34 Sketsa Lokasi Penampang dengan pada Balok B1 saat mengalami Goyangan ke Kanan.....	207
Gambar 6. 35 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar	208
Gambar 6. 36 Penampang Kolom K1.....	218
Gambar 6. 37 Diagram Interaksi K1 Lantai 2	218
Gambar 6. 38 Sketsa Penampang Desain Kolom K1	226
Gambar 7. 1 Panjang Penyaluran pada Tumpuan.....	242
Gambar 7. 2 Geometrik konsol pendek	243
Gambar 7. 3 Rencana Tulangan pada Balok Induk	248
Gambar 7. 4 Sketsa Sambungan <i>Dapped End</i>	256
Gambar 7. 5 Rencana Tulangan pada Balok Induk	261
Gambar 8. 1 Alur Metode Pelaksanaan Section A	274

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

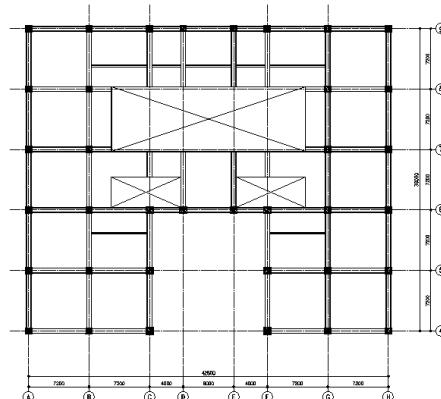
1.1. Latar Belakang

Pada kemajuan teknologi dan faktor efisiensi waktu uang menjadi prioritas utama dalam pelaksanaan proyek konstruksi, maka banyak upaya dilakukan kearah itu dengan sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan (Siti Aisyah Nurjannah, 2011). Selain dengan sistem pracetak pengendalian kualitas tiap proses produksi komponen beton pracetak lebih mudah dilakukan.

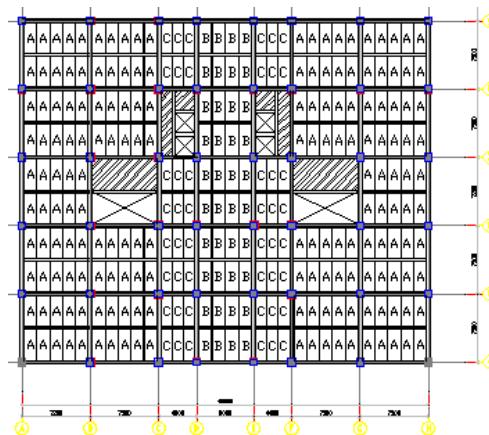
Struktur beton pracetak merupakan elemen bangunan yang menggunakan beton bertulang/tak bertulang yang dicetak di pabrik atau tempat lain dan jadi sebelum dipasang. Sistem beton pracetak ini dianggap mempunyai banyak keunggulan dibanding sistem beton konvensional. Beton pracetak ini tidak dicetak di tempat konstruksi seperti metode konvensional, melainkan dicetak di pabrikasi, lalu dibawa ke lokasi (transportasi/langsir) untuk disusun/dirangkai menjadi suatu struktur utuh (*erection*). Prinsip dari sistem ini ialah beton dicetak dengan dicor terlebih dahulu sebelum di-*install* di lapangan. Hal ini menjadikan mutu dari beton pracetak dapat terjaga dengan baik karena dikerjakan di pabrik. Selain itu, waktu pelaksanaan yang cepat, biaya pembangunan yang lebih murah, ramah lingkungan, dan pengaruh cuaca yang dapat diminimalkan menjadikan sistem beton pracetak ini dikatakan lebih terkontrol, cepat, ekonomis, dan efisien baik segi biaya maupun waktu. Menurut Jojok Widodo Soetjipto (2004) sistem pracetak akan lebih hemat jika volume pekerjaan komponen pracetak lebih besar $\pm 2200 \text{ m}^3$ dibandingkan dengan sistem konvensional.

Pada tugas akhir ini penulis menggunakan data pada Gedung Rektorat di Malang akan menjadi objek bahasan. Gedung

tersebut terdiri dari 9 lantai menggunakan struktur atap baja dengan ketinggian $\pm 50,8$ m (Termasuk atap baja) semula menggunakan metode cor. Sistem struktur gedung ini dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dimana struktur ini didesain untuk daerah rawan gempa sesuai peraturan SNI 1726:2012 dan pendetailan tulangannya mengikuti peraturan SNI 2847:2013.



Gambar 1. 1 Denah Lantai Eksisting



Gambar 1. 2 Denah Lantai Setelah Modifikasi

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam “Modifikasi Struktur Gedung Rektorat 9 Lantai di Malang Dengan Metode Beton Pracetak (*Precast*)” antara lain:

1. Bagaimana merencanakan elemen beton pracetak (balok dan pelat) termasuk dalam hal pengangkatan dan pemasangan elemen beton pracetak?
2. Bagaimana merecanakan sambungan pada komponen pracetak yang memenuhi kriteria perancangan struktur?
3. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan dan perhitungan dalam bentuk gambar teknik?
4. Bagaimana metode pelaksanaan beton pracetak (*precast*)?

1.3. Tujuan

Secara garis besar tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat merencanakan elemen beton pracetak (balok dan pelat) termasuk dalam hal pengangkatan dan pemasangan elemen beton pracetak.
2. Dapat Merencanakan sambungan pada komponen pracetak yang memenuhi kriteria Perancangan struktur yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas
3. Dapat Menuangkan hasil perencanaan dan perhitungan ke dalam gambar teknik
4. Dapat Mengetahui metode pelaksanaan pekerjaan beton pracetak pada gedung rektorat.

1.4. Batasan Masalah

Pada perencanaan modifikasi ini, penulis membatasi masalah meliputi:

1. Beton pracetak yang digunakan adalah beton pracetak biasa (non prestress).
2. Dalam modifikasi struktur gedung ini komponen struktur yang menggunakan beton pracetak adalah balok dan pelat pada struktur utama saja. Sedangkan komponen lain menggunakan metode cor ditempat.

3. Perhitungan perencanaan detail rangka utama struktur hanya meninjau 2 portal yaitu portal memanjang dan portal melintang.
4. Hanya meninjau metode pelaksaan yang berhubungan dengan perhitungan struktur.
5. Perhitungan beban gempa yang bekerja menggunakan gempa dinamis 2500 tahun.
6. Tidak meninjau basement.
7. Tidak membandingkan kecepatan pelaksanaan konstruksi menggunakan metode pracetak dan menggunakan metode cor ditempat.
8. Tidak meninjau analisa biaya dan menajemen konstruksi, hanya memperhitungkan kekuatan struktur.
9. Perencanaan tidak termasuk memperhitungkan sistem utilitas bangunan, sanitasi, instalasi listrik, serta pekerjaan *finishing*.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam perencanaan ini adalah:

1. Untuk meningkatkan kemampuan dalam perencanaan struktur beton bangunan gedung sesuai fungsi bangunan, wilayah kegempaan, dan aturan perencanaan sesuai Standar Nasional Indonesia
2. Dapat merencanakan suatu desain bangunan gedung pracetak yang berada di daerah Malang.
3. Dapat menerapkan ilmu yang telah didapat dari perkuliahan.

1.6. Sistematika Laporan

Pada penyusunan laporan Tugas Akhir Terapan ini akan membahas pokok bahasan dengan sistematika laporan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini membahas mengenai gambaran umum Tugas Akhir yang akan dibahas. Pembahasan bab ini yaitu Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan, Manfaat, Data Proyek.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas kutipan-kutipan para ilmuan atau orang yang terdahulu yang membahas mengenai tinjauan umum yang mengarah pada pembahasan Tugas Akhir

Bab III Metodologi

Pada bab ini membahas mengenai metode yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini agar menjadikan pedoman susunan dalam pengerjaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Bab IV Preliminary Desain

Pada bab ini membahas mengenai preliminari desain pelat pracetak, balok induk pracetak, balok anak pracetak, kolom, tangga

Bab V Permodelan

Pada bab ini membahas permodelan struktur yang dibantu dengan program ETABS 16.0.2

Bab VI Perencanaan Struktur

Pada bab ini membahas mengenai perencanaan struktur dimana akan mendapatkan hasil penulangan pelat pracetak, balok induk pracetak, balok anak pracetak, kolom, tangga, pondasi

Bab VII Sambungan Struktur

Pada bab ini membahas sambungan balok induk – kolom, sambungan balok anak – balok induk, sambungan plat pracetak dengan overtopping.

Bab VIII Metode Pelaksanaan

Pada bab ini membahas metode pelaksanaan beton precast di lapangan

Bab IX Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini membahas mengenai Kesimpulan hasil Tugas Akhir dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Pada kemajuan teknologi dan faktor efisiensi waktu uang menjadi prioritas utama dalam pelaksanaan proyek konstruksi, maka banyak upaya dilakukan kearah itu dengan sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan (Siti Aisyah Nurjannah, 2011).

2.2. Sistem Struktur

Adanya beberapa sistem struktur yang biasa digunakan sebagai penahan gaya gempa pada gedung akan tetapi pada sub bab ini hanya dijelaskan yang berkaitan dengan topik yang penulis ambil yaitu sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Membangun di wilayah resiko gempa tinggi, yang masuk wilayah gempa 5 dan 6, dan untuk memikul gaya-gaya akibat gempa harus menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK) atau sistem dual khusus. (purwono,2005). Menurut SNI 1726-2012 pasal 3.53, tentang perencanaan bangunan terhadap gempa menyebutkan bahwa SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa pemikul momen melalui mekanisme lentur. Persyaratan – persyaratan fundamental untuk SRPMK yang daktail adalah

- Sedapatnya menjaga keteraturan struktur

- Cukup kuat menahan gempa normative yang ditentukan berdasarkan kemampuan disipasi energi.
- Cukup kaku untuk membatasi penyimpanan
- Hubungan balok kolom cukup kuat menahan rotasi yang terjadi
- Komponen-komponen balok dan kolom mampu membentuk sendi plastis tanpa mengurangi kekuatan yang berarti
- Balok-balok mendahului terbentuknya sendi-sendi plastis yang tersebar diseluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom
- Tidak ada kolom yang lebih lemah yang akan menyebabkan sendi-sendi plastis di ujung atas dan bawah pada kolom-kolom lain ditingkat itu yang menjurus pada keruntuhan seluruh struktur.

Konsep “strong column weak beam” dalam sistem rangka pemikul momen khusus mengandung arti bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku daripada balok, sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral/gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok. Lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom. Dengan kata lain, balok-balok mendahului pembentukan sendi-sendi plastis yang tersebar diseluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom.

2.3. Beton Precast

Beton pracetak (*precast*) dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi elemen akan digunakan. Lawan dari pracetak adalah beton cor di tempat atau *cast-in place*, dimana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan ditempatkan (Wulfram I. Ervianto,2006).

2.4. Penerapan Beton Pracetak Elemen Struktur

Teknologi beton pracetak dapat digunakan pada hampir semua bagian struktur, pembuatannya dapat dilakukan di pabrik

ataupun di lapangan. Tabel 2. 1 menunjukkan elemen-elemen yang dapat dibuat dengan beton pracetak.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Elemen Beton Pracetak pada Bangunan

Bangunan		Elemen
Bawah		Pondasi
		<i>Sloof</i>
Atas	Struktural	Kolom
		Dinding
		Balok
		Lantai
		Tangga
		Partisi
		Aksesoris bangunan
	Non-struktural	Dekorasi

Sumber : Vambersky, 1994

Sistem struktural dari beton pracetak ada tiga macam yaitu sistem rangka, sistem panel, dan sistem boks/sel (Singsomboon,1987 dan Vambersky, 1994). Strukrur rangka adalah struktur yang menyalurkan bebananya melalui balok kemudian meneruskan ke kolom lalu ke pondasi. Keuntungan sistem ini adalah fleksibilitas yang tinggi, seperti bentang yang besar, ruang terbuka yang cukup (Singsomboon,1987 dan Vambersky, 1994).

Struktur panel adalah struktur yang menerima beban dan menyalurkan melalui pelat dinding dan pelat lantai. Struktur panel ini banyak digunakan bila ruanganruangan yang dibuat berbentuk sama, seperti hotel, asrama, dan apartemen. Sistem ini mempunyai keterbatasan ukuran dan bentang, dan cara pengangkatan dari struktur panel ini juga harus diperhatikan dengan baik karena kemampuan menerima beban yang terbatas (Singsomboon, 1987).

2.5. Jenis-jenis Beton Pracetak

Beton pracetak untuk elemen struktural dapat dibagi menjadi dua macam berdasarkan sistem penahan tariknya, yaitu

beton bertulang biasa dan beton pratekan (ACI Committee 311, 1984). Pada pembuatan beton pratekan tulangan diberi beban tarik dahulu kemudian dicor, sehingga beton mempunyai kapasitas tekan yang lebih besar dari pada beton bertulang biasa. Beton pracetak berdasarkan berat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Ringan, dimana beratnya komponen tidak melebihi 30 kg dan dipasang oleh satu orang.
2. Sedang, dengan berat sampai 500 kg dan pemasangan menggunakan peralatan mekanik yang sederhana.
3. Berat, dimana beratnya komponen lebih dari 500 kg, dan pemasangannya menggunakan alat berat.

2.6. Macam-macam Komponen Pracetak

Menurut Hendrawan Wahyudi dan Hery Dwi Hanggoro (2010) ada beberapa jenis komponen beton pracetak untuk struktur bangunan gedung dan konstruksi lainnya yang biasa dipergunakan, yaitu :

1. Tiang pancang
2. *Sheet pile* dan dinding diaphragma.
3. *Half solid slab (precast plank), hollow core slab, single-T, double-T, triple-T, channel slabs* dan lain-lain.
4. Balok beton pracetak dan balok beton pratekan pracetak (*PC I Girder*)
5. Kolom beton pracetak satu lantai atau multi lantai
6. Panel-panel dinding yang terdiri dari komponen yang solid, bagian dari *single-T* atau *double-T*. Pada dinding tersebut dapat berfungsi sebagai pendukung beban (*shear wall*) atau tidak mendukung beban.
7. Jenis komponen pracetak lainnya, seperti : tangga, balok parapet, panel-panel penutup dan unit-unit beton pracetak lainnya sesuai keinginan atau imajinasi dari insinyur sipil dan arsitek.

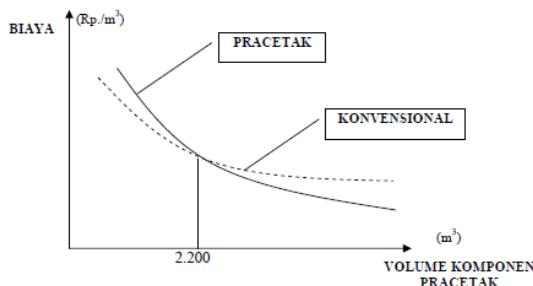
2.7. Keuntungan dan Kerugian Beton Pracetak

Menurut Jojok Widodo Soetjipto (2004) adapun perbedaan metode pelaksanaan antara sistem konvensional (cor di tempat dengan sistem pracetak dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Perbedaan Sistem Pelaksanaan Antara Sistem Konvensional (Cor di Tempat) dengan Sistem Pracetak.

Uraian		Konvensional	Pracetak
1	Perencanaan	Lebih Sederhana	Scope perencanaan lebih luas
2	Bentuk dan ukuran gedung	Bervariasi	Typical/repetitif
3	Pelaksanaan		
	3.1 Waktu	Lebih lama	Lebih singkat
	3.2 Biaya	Relatif lebih mahal jika volume besar	Lebih murah jika sesuai kondisi
	3.3 Teknologi	Konvensional	Perlu keahlian khusus
	3.4 Tenaga kerja di Lapangan	Banyak	Lebih sedikit sebagian di pabrik
	3.5 Koordinasi	Kompleks	Sederhana
	3.6 Pengawasan/pengendalian	Kompleks	Sederhana
	3.7 Sarana Kerja	Kompleks	Sederhana
	3.8 Kondisi Lapangan	Harus cukup luas	Site yang sempit bisa
	3.9 Pengaruh Cuaca	Relatif besar	Relatif kecil
	3.10 Finishing	Menunggu lebih lama dan perlu banyak perbaikan	Relatif Lebih sedikit perbaikan
4	Hasil Kerja		
	4.1 Dimensi	Kurang presisi	Lebih presisi
	4.2 Mutu	Kurang terjamin	Lebih terjamin, QC dilakukan di pabrik
	4.3 Finishing	Perlu banyak penyempurnaan, Resiko biaya tak terduga tinggi.	Penyempurnaan relatif lebih sedikit, Resiko biaya tak terduga rendah.

Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan maka hubungan antara biaya dengan volume pekerjaan sistem pracetak dengan sistem konvensional dapat dibuat grafik seperti pada **Gambar 2.1.**



Gambar 2. 1. Hubungan Antara Biaya dan Volume Komponen Pracetak untuk Sistem Konvensional dan Sistem Pracetak

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa biaya pelaksanaan untuk sistem pracetak akan lebih hemat jika volume pekerjaan komponen pracetak lebih besar ± 2200 m³ dibandingkan dengan sistem konvensional. Sedangkan jika volume pekerjaan beton kurang dari ± 2200 m³ maka disarankan lebih efektif jika menggunakan konvensional saja.

2.8. Elemen Struktur Pracetak

Seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, pembuatan beton pracetak dilakukan di pabrik. Untuk itu, agar elemen pracetak yang dibuat dapat sesuai dengan yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan dalam proses fabrikasi, hendaknya perencana mengetahui macam-macam elemen struktur pracetak yang umum digunakan dan diproduksi saat ini.

2.8.1. Pelat

Dalam *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga macam pelat yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain :

1. Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tak berlubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Pelat jenis ini memiliki tebal 4 – 16 inchi.



Gambar 2. 2 Hollow Core Slabs

(Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete)

2. Pelat Pracetak tak Berlubang (*Solid Flat Slab*)

Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat pracetak dengan lubang. Pelat pracetak tak berlubang ini bisa berupa pelat pratekan atau pelat beton bertulang biasa. Umumnya tebal dari pelat ini antara 4 hingga 8 inchi.



Gambar 2. 3 Solid Flat Slab

(Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete)

3. Pelat pracetak *Double Teeslab*

Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung. Pelat ini didesain dengan ketebalan 24-34 inch, lebar 8-15 feet, dan bentang 40-80 ft.



Gambar 2. 4 Double Tee slab

(Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete)

2.8.2. Balok

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan menurut *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete* :

1. Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan.

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan menurut *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete* :



Gambar 2. 5 Rectangular Beam

2. Balok berpenampang L (*L-Shaped Beam*)

Bentuk balok tipe ini biasanya menjadi balok di tepi bangunan digunakan untuk perletakan pelat



Gambar 2. 6 L-Shaped Beam

(Sumber : *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

3. Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*)

Balok tipe ini biasanya menjadi balok di tengah bangunan digunakan untuk perletakan dua pelat yang diletakkan pada kanan dan kiri



Gambar 2. 7 Inverted Tee Beam

(Sumber : *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

2.9. Perencanaan Sambungan Pracetak

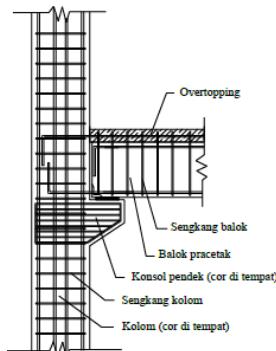
Salah satu bagian yang terpenting dalam perencanaan struktur pracetak adalah perencanaan desain sambungan. Sambungan dalam perencanaan elemen pracetak disamping sebagai penghubung antar elemen pracetak, juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang bekerja dari elemen struktur yang satu dengan elemen struktur yang lain yang nantinya akan diteruskan ke pondasi. Selain itu, desain sambungan juga dibuat

untuk menciptakan kestabilan. Kesalahan dalam perencanaan desain sambungan akan berakibat keruntuhan struktur yang sangat besar.

Sebuah sambungan akan dikatakan baik jika sambungan tersebut dapat memenuhi kriteria praktis dan ekonomis. Praktis dalam hal ini sambungan mudah dilaksanakan serta tidak memerlukan teknik tertentu dalam pemasangan sambungan tersebut.

2.8.1. Sambungan Cor Setempat

Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor di tempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam perancangan ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.

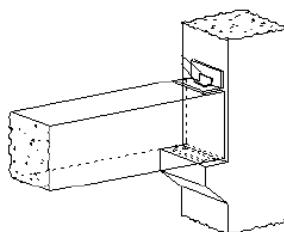


Gambar 2. 8 Sambungan dengan cor setempat

(Sumber: Kalingga, 2015)

2.8.2. Sambungan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti gambar 2.9. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.



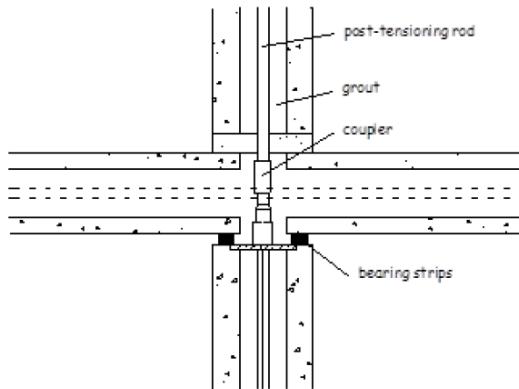
Gambar 2. 9 Sambungan dengan las

(Sumber: Kalingga, 2015)

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok di dukung oleh corbels atau biasa disebut dengan konsol yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dengan balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom

2.8.3. Sambungan Baut

Penyambungan cara ini diperlukan pelat baja dikedua elemen beton pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui pelat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi. Selanjutnya pelat sambung tersebut dicor dengan adukan beton, guna melindungi dari korosi.

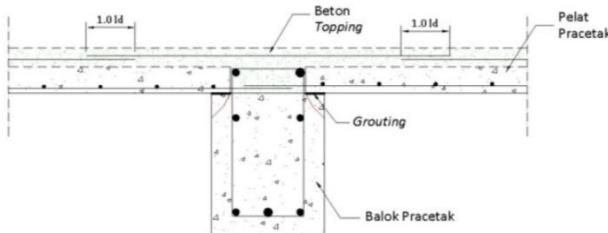


Gambar 2. 10 Sambungan dengan menggunakan baut
(Sumber: Kalingga, 2015)

2.9. Tipe Sambungan

2.9.1. Sambungan antar Balok Pracetak dan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus mengetahui pasti mengenai gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak yang tersalurkan pada komponen balok. Sambungan antara balok pracetak dan pelat pracetak dapat dilihat pada **Gambar 2.11.** berikut:

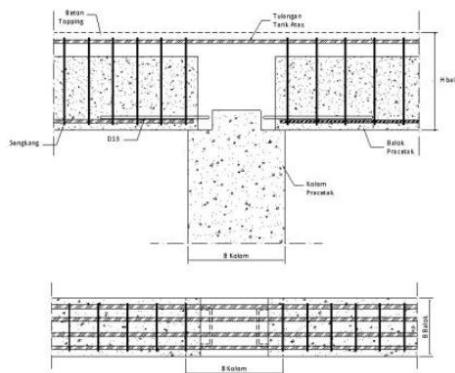


Gambar 2. 11. Sambungan Balok Pracetak dan Pelat Pracetak

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2.9.2. Sambungan antar Balok Pracetak dan Kolom

Pertemuan balok dan kolom merupakan daerah terjadinya interaksi tegangan yang sangat tinggi. Karena adanya beban gempa daerah pertemuan ini merupakan daerah potensial untuk terjadinya keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya geser diagonal yang terjadi akibat gempa. Untuk itu, sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus besifat kaku atau *monolit*. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Pada proses penyambungan antara balok anak dan balok induk digunakan coupler untuk keperluan *inject grouting* yang didapat dari produk *NMB Splice Sleeve*. Sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat dapat dilihat seperti pada Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2. 12. Sambungan antar Balok dan Kolom

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2.10 Titik Angkat Elemen Pracetak dan Sokongan

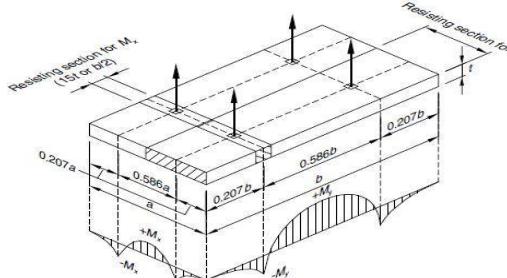
Titik angkat harus diletakkan untuk menjaga elemen pracetak agar tegangan yang dipikulnya tidak melebihi batas dan untuk membuat elemen dapat diangkat. Komponen pracetak yang tidak simetris dalam konfigurasi pendesainan harus menambahkan titik angkat serta penanganan yang lebih. Ketika

sebuah komponen pracetak memiliki luas area yang kecil, bagian yang dipotong atau kantilever yang panjang, maka harus ditambahkan baja yang sifatnya sementara atau pun permanen untuk menambah kekuatan pada komponen saat pengangkatan. Ada beberapa titik angkat yang disyaratkan untuk mengangkat elemen dari cetakan maupun saat akan melakukan pemasangan.

2.10.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pada perencanaan pelat perlu diperhatikan bahwa pelat nantinya akan mengalami pengangkatan menuju area pemasangan pelat atau area lantai tower yang direncanakan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

- Pengangkatan di bagian sisi lebar (4 titik angkat)



Gambar 2. 13 Pengangkatan 4 titik

Momen maksimum 4 titik angkat :

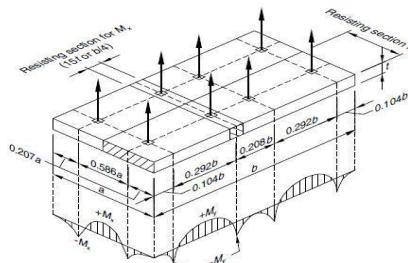
$$+M_x = -M_x = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0107 w a b^2$$

M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/2$

M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$

- b. Pengangkatan di bagian sisi lebar (8 titik angkat)



Gambar 2. 14 Pengangkatan 8 titik

Momen maksimum 8 titik angkat :

$$+M_x = -M_x = 0,0054 w a^2 b$$

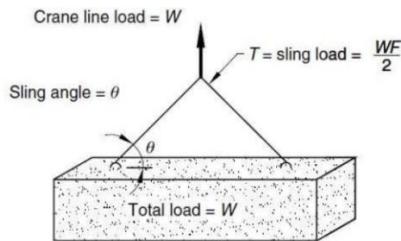
$$+M_y = -M_y = 0,0027 w a b^2$$

M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/4$

M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$

2.10.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan. Ada dua hal yang ditinjau, yaitu kekuatan angkur pengangkatan dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.



Gambar 2. 15 Pengangkatan Balok Pracetak

(Sumber : *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete, fig. 8.3.4*)

Pada waktu proses pengangkatan balok pracetak diperlukan perhitungan gaya pengangkatan yang terjadi akibat berat sendiri balok. Kemudian gaya yang terjadi tersebut dikalikan dengan angka pengali beban statis ekivalen yang terdapat pada tabel guna menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan tersebut.

Tabel 2. 3 Angka Pengali Beban Statis Ekivalen Untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan gaya dinamik

Table 8.3.1 Equivalent static load multipliers to account for stripping and dynamic forces^{a,b}

Product type	Finish	
	Exposed aggregate with retarder	Smooth mold (form oil only)
Flat, with removable side forms, no false joints or reveals	1.2	1.3
Flat, with false joints and/or reveals	1.3	1.4
Fluted, with proper draft ^c	1.4	1.6
Sculptured and other conditions	1.5	1.7
Yard handling^d and erection^b		
All products	1.2	
Transportation^d		
All products	1.5	

(Sumber : *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete, table 8.3.1*)

2.11 Fase Penanganan Beton Pracetak

Sebelum digunakan beton pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi:

1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut

- b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting
 - c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
 - d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang terbawa saat produk diangkat
2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi titik-titik angkat sementara
 - c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
 - d. Perlindungan dari sinar matahari langsung
 3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi sokongan vertikal maupun horizontal
 - c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
 - d. Pertimbangan dinamis saat transportasi
 4. Pemasangan (*erection*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
 - c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan
 - d. Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton *overtopping*.

2.12 Pondasi

Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan suatu bagian dari konstruksi yang berfungsi menahan gaya beban diatasnya. Pondasi dibuat menjadi satu kesatuan dasar bangunan yang kuat yang terdapat dibawah konstruksi. Pondasi dapat didefinisikan sebagai bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang kuat dan stabil (*solid*). Dalam perencanaan pondasi untuk suatu struktur dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan

pondasi berdasarkan fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, keadaan tanah dimana bangunan tersebut didirikan dan berdasarkan tinjauan dari segi ekonomi. Semua konstruksi yang direncanakan, keberadaan pondasi sangat penting mengingat pondasi merupakan bagian terbawah dari bangunan yang berfungsi mendukung bangunan serta seluruh beban bangunan tersebut dan meneruskan beban bangunan itu, baik beban mati, beban hidup dan beban gempa ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Bentuk pondasi tergantung dari macam bangunan yang akan dibangun dan keadaan tanah tempat pondasi tersebut akan diletakkan, biasanya pondasi diletakkan pada tanah yang keras.

Pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan sebagai struktur bawah (*substructure*) dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut :

- a. Terhadap tanah dasar
- b. Terhadap struktur pondasi itu sendiri harus cukup kuat sehingga tidak pecah akibat gaya yang bekerja
- c. Ekonomis dan dapat diterima
- d. Mudah dalam pelaksanaannya

Dengan pertimbangan dari pengumpulan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan di lokasi pekerjaan, dapat digunakan sebagai pedoman untuk memprediksi kedalaman pondasi. Untuk bangunan di atas tiga lantai atau lebih dianjurkan menggunakan pondasi dalam. Pemilihan tipe pondasi untuk perencanaan bangunan ini tidak lepas dari prinsip tersebut di atas. salah satu di antara tipe pondasi yang dapat digunakan adalah pondasi tiang pancang. Konstruksi pondasi tersebut bisa terbuat dari kayu, baja, atau beton yang berfungsi untuk meneruskan beban - beban dari struktur bangunan atas ke lapisan tanah pendukung (*bearing layers*) dibawahnya pada kedalaman tertentu. dibandingkan dengan pembuatan pondasi lain, pondasi tiang pancang ini waktu pelaksanaannya relatif lebih cepat, maka tipe pondasi yang

penulis pilih sebagai alternatif terbaik adalah tipe pondasi tiang pancang.

2.13 Metode Konstruksi Sistem Pracetak

Dalam pelaksanaan suatu konstruksi yang menggunakan beton pracetak, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

- a. Serangkaian kegiatan yang dilakukan pada proses produksi adalah :
 1. Pembuatan rangka tulangan
 2. pembuatan cetakan
 3. Pembuatan campuran beton
 4. Pengecoran beton
 5. Perawatan (*curing*)
 6. Penyempurnaan akhir dan penyimpanan
- b. Transportasi dan Alat Angkut

Transportasi adalah pengangkatan elemen pracetak dari pabrik ke lokasi pemasangan. Sistem transportasi berpengaruh terhadap waktu, efisiensi konstruksi dan biaya transport. Yang perlu diperhatikan dalam sistem transportasi adalah:

1. Spesifikasi alat transportasi
2. Rute tranportasi
3. Perijinan transportasi

Alat angkat yaitu memindahkan elemen dari tempat penumpukan ke posisi penyambungan (perakitan). Peralatan angkat untuk memasang beton pracetak dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Keran mobile
 2. Keren teleskopis
 3. Keran menara
 4. Keran portal
- c. Pelaksanaan Konstruksi (Ereksi)
Metode dan jenis pelaksanaan konstruksi precast diantaranya adalah :
 1. Dirakit per elemen
 2. *Lift - Slab System* adalah pengikatan elemen lantai ke kolom dengan menggunakan dongkrak hidrolis.

Prinsip konstruksinya sebagai berikut :

- a) Lantai menggunakan plat-plat beton bertulang yang dicor pada lantai bawah
 - b) Kolom merupakan penyalur beban vertical dapat sebagai elemen pracetak atau cor di tempat.
 - c) Setelah lantai cukup kuat dapat diangkat satu persatu dengan dongkrak hidrolik.
3. *Slip - Form System*
Pada system ini beton dituangkan diatas cetakan baja yang dapat bergerak memanjang ke atas mengikuti penambahan ketinggian dinding yang bersangkutan
 4. *Push - Up / jack - Block System*
Pada system ini lantai teratas atap di cor terlebih dahulu kemudian diangkat ke atas dengan hidranlic – jack yang dipasang di bawah elemen pendukung vertical.
 5. *Box System*
Konstruksi menggunakan dimensional berupa modul-modul kubus beton.

2.14 Tugas Akhir yang Terdahulu

2.14.1. Tugas Akhir Terapan Heraldy Bhaskarawan P.

Putra, Heraldy Bhaskarawan (2017), Proyek Desain Rumah Sakit Dental Nano merupakan salah satu gedung bertingkat 10 lantai yang terletak di Jalan Ir. Soekarno Hatta No. 6-8 Malang dengan menggunakan metode pembangunan cast in situ. Pada proyek tugas akhir terapan ini akan dibuat dengan menggunakan metode pracetak khusus pada elemen struktur balok dan pelat. Gedung ini dirancang menggunakan Sistem Rangka Momen Khusus (SRPMK). Hasil perencanaan Gedung Dental Nano ini meliputi ukuran pelat dengan tebal 13 cm, dimensi balok induk 40/60, dimensi balok anak 30/40, dan dimensi kolom 75x75 cm. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek.

2.14.2. Tugas Akhir Terapan Darda Abdurahman F.

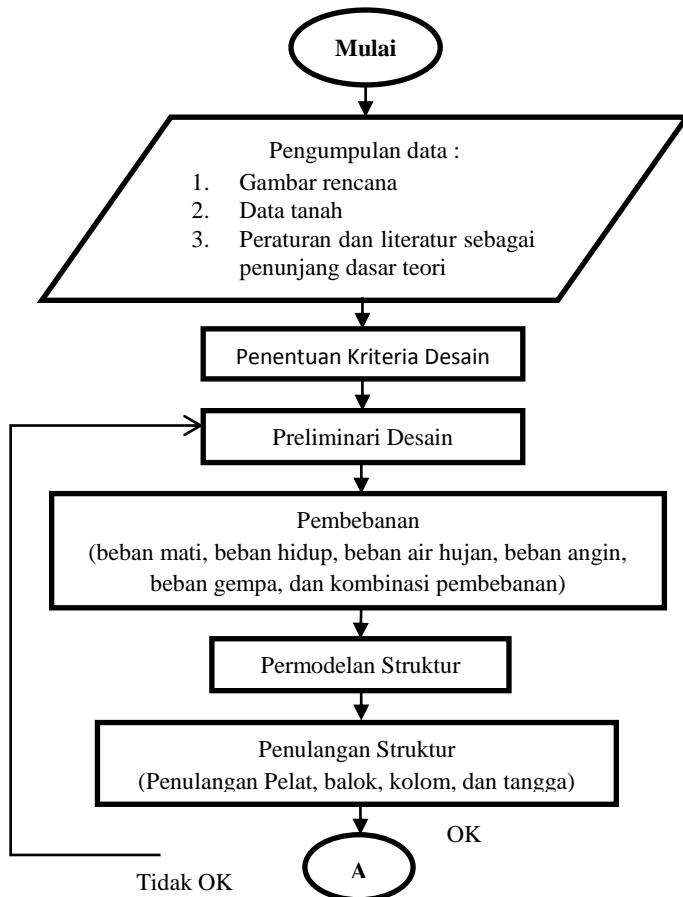
Faizi, Darda Abdurahman (2017), Proyek Desain Rumah Sakit Kidney Centre merupakan salah satu bagian pembangunan Rumah Sakit yang terletak di Jalan Mayjen Prof dr.Meostopo No. 6-8 Surabaya dengan menggunakan metode pembangunan cast in situ. Pada proyek tugas akhir terapan ini, akan dibuat dengan menggunakan metode pracetak pada elemen struktur sekunder yaitu balok anak dan plat serta elemen primer yaitu balok induk. Adapun hasil modifikasi yang didapatkan dari tugas akhir ini yaitu dimensi balok induk 400/700, balok anak 300/500, tebal plat 140, dan dimensi kolom 600/600. Sedangkan sambungan yang digunakan antara lain untuk sambungan plat-plat menggunakan sambungan menerus. Lalu untuk sambungan balok induk-kolom menggunakan sambungan menerus serta korbels, dan sambungan balok anak-balok induk menggunakan sambungan angkur.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB III

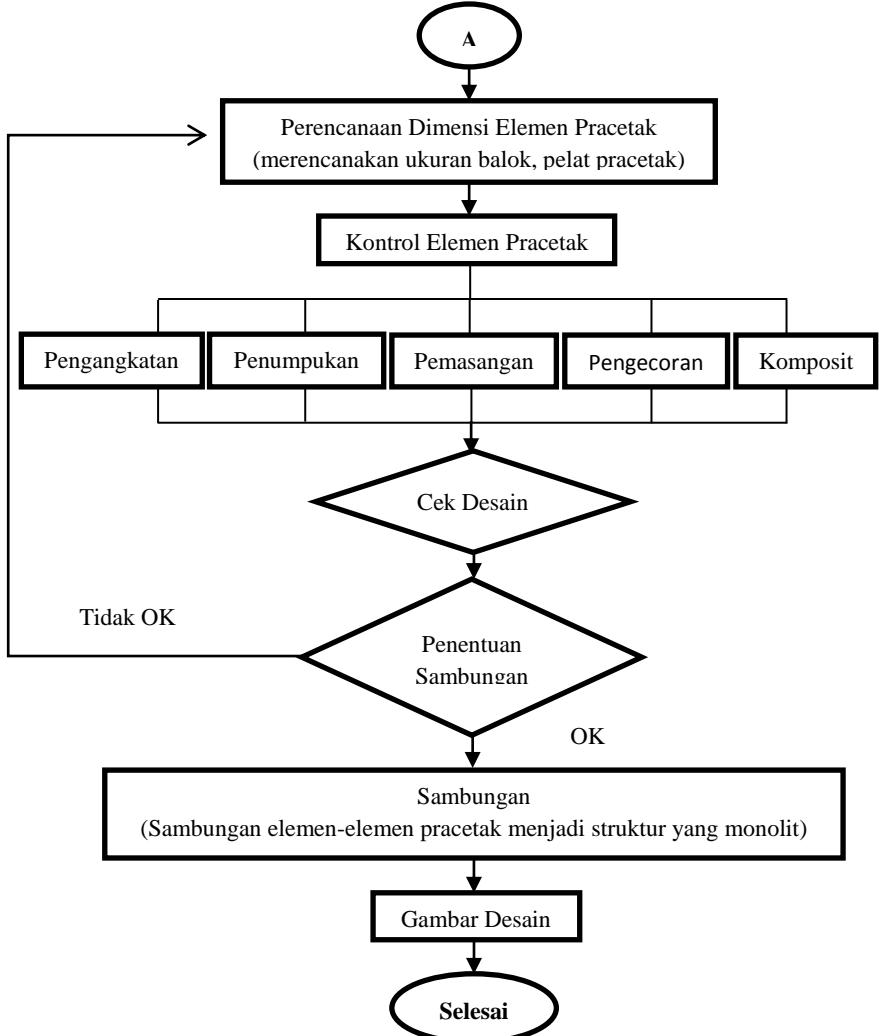
METODOLOGI

Diagram Aliran Perhitungan Struktur SRPMK



Gambar 3. 1. Diagram Aliran Perhitungan Struktur SRPMK

Diagram Aliran Perhitungan Elemen Pracetak



Gambar 3. 2. Diagram Aliran Perhitungan Elemen Pracetak

3.1. Pengumpulan Data

Data umum bangunan, data material bahan, data tanah, dan data gambar dari objek desain Tugas Akhir Terapan sebagai berikut:

1. Data Umum

Nama bangunan : Gedung Graha Rektorat
 Alamat : Jl. Semarang 5, Malang
 Fungsi : Kantor
 Jumlah Lantai : 9+1 basement
 Tinggi bangunan : $\pm 45,8$ m (Termasuk atap deck beton)
 Luas Bangunan : $2465,28\text{ m}^2$
 Struktur utama : Struktur beton pracetak
 Struktur atap : Beton

2. Data tanah : Terlampir

3. Data gambar : Terlampir

4. Data Bahan

Mutu Beton (f_c') : 35 MPa
 Mutu Baja tulangan geser (f_y) : 320 MPa
 Mutu Baja tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

Peraturan yang digunakan sebagai acuan dalam modifikasi desain dalam Tugas Akhir Terapan antara lain :

Tabel 3. 1. Peraturan yang Digunakan

NO.	PERATURAN	TENTANG
1	SNI 2847-2013	Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
2	SNI 1726-2012	Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3	SNI 1727-2013	Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain
4	Peta Hazard 2010	Peta Hazard Gempa Indonesia 2010
5	PPIUG 1983	Peraturan Pembebatan Indonesia Untuk Gedung

Beberapa literatur yang digunakan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir, yaitu:

1. Agus Setiawan. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga

2. Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik. 2009. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: Penerbit ITB.
3. PCI. 2010. *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestres Concrete*.
4. Wulfram I. Ervianto. 2006. Eksplorasi Teknologi dan Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting. Yogyakarta: Andi Yogyakarta

3.2. Pemilihan Kriteria Design

Dalam pemilihan kriteria desain, suatu bangunan harus direncanakan supaya kuat dan layak. Bangunan ini direncanakan dibangun di Malang dengan kelas situs SD (tanah sedang) dari data tanah. Berdasarkan aplikasi puskim.pu.go.id mempunyai parameter kecepatan respons spektral pada periode pendek, SDS = 0,781 dan parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik, SD1 = 0,330. Berdasarkan Tabel 3.1 dan 3.2 maka di Malang mempunyai kategori desain seismik D.

Tabel 3.2. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Tabel 3.3. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

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

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2012 disapatkan bahwa kriteria yang sesuai dengan kategori desain seismik untuk struktur gedung Rektorat Malang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan seluruh gaya gempa yang ditetapkan.

3.3. Preliminary Design

Preliminary Design adalah tahapan untuk memperkirakan perencanaan dimensi struktur. Struktur yang direncanakan dimensinya adalah struktur utama (balok, kolom) dan elemen pelengkap (pelat lantai, pelat tangga, serta atap).

1. Pelat Lantai satu arah

Untuk $Ly/Lx > 2$ maka termasuk pelat satu arah. Konstruksi satu arah harus memiliki ketebalan minimum sesuai yang diatur pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2 seperti tabel dibawah ini ;

Tabel 3. 4Tabel Minimum Pelat Satu Arah

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

Catatan :

- Panjang bentang dalam mm
- Nilai yang diberikan harus langsung digunakan untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan Mutu 420 Mpa
- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis, w_c , diantara 1440 sampai 1840 kg/m^3 , nilai di atas harus

dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09

- Untuk f_y selain 420 Mpa maka nilainya harus dikalikan $(0,4 + f_y/700)$
- Pelat Lantai dua arah

Untuk $L_y/L_x < 2$ maka termasuk pelat dua arah. Ketebalan konstruksi pelat dua arah dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya dan pelat tanpa balok interior pada semua sisinya harus memenuhi SNI 2847:2013 pasal 9.5.3

 - Pelat dua arah tanpa balok interior

Tabel 3. 5. Tebal Minimum Pelat Dua Arah

Tegangan leleh, f_y Mpa	Tanpa penebalan		Dengan penebalan			
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36	Ln/36	Ln/40	Ln/40
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33	Ln/33	Ln/36	Ln/36
520	Ln/28	Ln/31	Ln/31	Ln/31	Ln/34	Ln/34

Catatan :

- Ln adalah bentang bersih dalam arah panjang, diukur dari muka ke muka tumpuan pelat tanpa balok.
- Untuk f_y di antara nilai yang diberikan pada tabel maka tebal minimum harus dihitung dengan interpolasi linier.
- Panel drop dijelaskan pada pasal 13.2.5 SNI 2847:2013.
- Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior, nilai α_f tidak boleh kurang dari 0,8.

b. Pelat dua arah dengan balok interior

Tebal minimum pelat dua arah dengan balok interior dihitung berdasarkan rasio kekakuan balok terhadap pelat α_{fm} . Langkah penentuan α_{fm} adalah sebagai berikut :

$$\beta = \frac{Ln}{Sn}$$

Ln : Bentang bersih sumbu panjang

Sn : Bentang bersih sumbu pendek

- Menentukan lebar efektif dengan mengambil nilai terkecil dari
 $be = bw + 2hw$ dan $be = bw + 8hf$
- Modifikasi momen inersia penampang T menjadi persegi

Faktor modifikasi k

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

- Momen inersia penampang

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

- Momen inersia lajur pelat

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

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_{fm} = \frac{I_b}{I_p}$$

Nilai α_{fm} dihitung pada balok interior pada semua sisi pelat. Untuk mendapatkan tebal minimum pelat maka harus memenuhi ketentuan di bawah ini :

- Untuk $\alpha_{fm} \leq 0,2$ maka tebal minimum ditentukan dengan menggunakan tebal minimum pelat dua arah tanpa balok interior
- Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2$ maka h tidak boleh kurang dari

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

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

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

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

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

3. Balok

- Menentukan desain pada balok yang meliputi : tebal minimum balok. Dalam SNI 5.2.7.1.2 dijelaskan bahwa jika dalam pendesainan ketebalan balok telah sesuai dengan tabel 2 pada SNI 2847 2013, maka tidak perlu menghitung lendutan yang terjadi saat komposit.

Tabel 3. 6. Tabel Minimum Tebal Balok

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

Menentukan tinggi minimum balok.

- Apabila digunakan $F_y = 420$ Mpa
 $h_{min} = L/16$
- Selain $F_y = 420$ Mpa
 $h_{min} = L/16 (0,4 + f_y/700)$

Keterangan :

h_{min} = Tinggi minimum balok (mm)

- L = Panjang balok (mm)
 Fy = Tegangan leleh baja (MPa)
- c. Menentukan panjang balok. Mengacu pada SNI 2847 2013 pasal 21.5.1.2 bentang bersih untuk komponen struktur balok (l_n) tidak boleh kurang dari tinggi minimum balok.
 - d. Menentukan lebar balok (b). Pada SNI 2847 2013 pasal 21.5.1.3 dijelaskan bahwa untuk menentukan lebar balok tidak boleh kurang dari $0.3h$ dan 250 mm.
 4. Pelat Tangga
 Perencanaan dimensi anak tangga dan bordes meliputi dimensi injakan dan tanjakan dengan persyaratan sebagai berikut :

$$0,6 \leq (2t + i) \leq 0,65 \text{ (meter)}$$
 Dimana :
 $t = \text{tanjakan} \leq 25 \text{ cm}$
 $i = \text{injakan dengan nilai } 25 \leq i \leq 40 \text{ cm}$
 maksimal sudut kemiringan tangga = 40°

3.4. Pembebaan Struktur

Perhitungan beban-beban yang bekerja pada struktur berdasarkan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 03-1727-2013). Analisa pembebanan struktur adalah sebagai berikut :

3.4.1. Beban Struktur

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan kontruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai atap, plafon, tangga, dinding, pertisi tetap, finishing, kladding gedung dan komponen arsitektural (SNI 1727:2013 pasal 3.1.1).

Penentuan beban mati struktur bangunan sebagai berikut :

a. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari :

- Beban sendiri pelat
- Beban keramik

- Beban spesi
 - Beban plafond dan penggantung
 - Beban pemipaan air bersih dan kotor
 - Beban instalasi listrik
- b. Beban mati pada balok, terdiri dari :
- Berat sendiri balok
 - Beban mati pelat atap/ pelat lantai
 - Beban dinding
- c. Beban mati pada atap, terdiri dari :
- Beban sendiri pelat
 - Beban aspal
 - Beban plafond dan penggantung
 - Beban pemipaan air bersih dan kotor
 - Beban instalasi listrik
- d. Beban mati pada tangga, terdiri dari :
- Beban sendiri pelat tangga
 - Beban anak tangga
 - Berat sendiri pelat bordes
 - Beban keramik
 - Beban spesi
 - Beban palang pengaman
 - Beban susuran tangga
2. Beban Hidup
- Beban Hidup adalah beban yang berubah ubah pada struktur dan tidak tetap. Termasuk beban berat manusia dan perabotnya atau beban menurut fungsinya
- Beban hidup struktur bangunan ditentukan sebagai berikut :
- a. Beban hidup pada atap gedung ditentukan berdasarkan SNI 03-1727-2013 pasal 4.8.2
 - b. Beban hidup pada lantai gedung ditentukan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 pada tabel 4-1
 - c. Beban hidup pada tangga ditentukan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 pasal 4.5.4.

3. Beban Air Hujan

$$R = 0,0098(ds + dh)$$

R = Beban air hujan pada atap (kN/m^2)
ds = Kedalaman air pada atap (mm)
dh = Tambahan kedalaman air pada atap (mm)

4. Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja horisontal / tegak lurus terhadap tinggi bangunan. Untuk gedung – gedung yang dianggap tinggi angin harus diperhitungkan bebannya karena berpengaruh terhadap story drift/simpangan gedung dan penulangan geser. Ditentukan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 pasal 26.1.2.1.

5. Beban Gempa

Ditentukan dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2012).

3.4.2. Kombinasi Beban

Nilai gaya dalam diperoleh dari program bantuan Etabs 16.0.2 dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)
4. 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr atau R)
5. 0,9 D + 1,6 W
6. 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L
7. 0,9 D + 1,0 E

Dari kombinasi pembebanan yang telah di input pada permodelan struktur Etabs 16.0.2 diambil nilai yang terbesar untuk mengetahui tulangan sesuai dengan gaya maksimum yang terjadi.

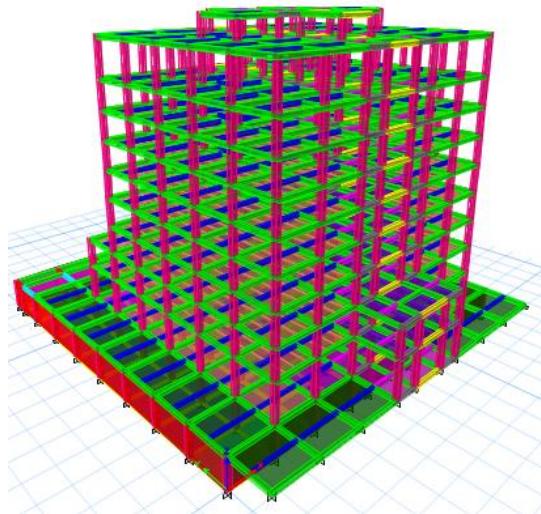
3.5. Permodelan Struktur

Permodelan struktur bertujuan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi. Pemodelan struktur dapat dibuat dengan bantuan program Etabs 16.0.2. Permodelan struktur yang telah dibuat dibebani oleh beban-beban yang telah dibahas pada subbab

3.4. Struktur bangunan yang telah dibebani kemudian dibuat kombinasi pembebanannya sesuai peraturan. Analisa Struktur Analisa gaya dalam dilakukan dengan alat bantu program Etabs 16.0.2. Gaya-gaya dalam hasil output Etabs kemudian dikoreksi dengan perhitungan manual. Struktur bangunan yang dianalisis sebagai berikut :

- a. Struktur Atas (pelat, tangga, sloof, balok, kolom)
- b. Struktur Bawah (poer dan pondasi, basement)

Struktur bangunan gedung Rektorat Malang dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi, pada perencanaan ini bangunan gedung memiliki 9 lantai dan basement dengan diasumsikan perletakan jepit pada dasar gedung. Pada bagian atap gedung ini menggunakan pelat beton. Pembebanan yang terjadi pada pelat lantai, pelat atap dan pelat tangga dibedakan karena memiliki tebal yang berbeda.

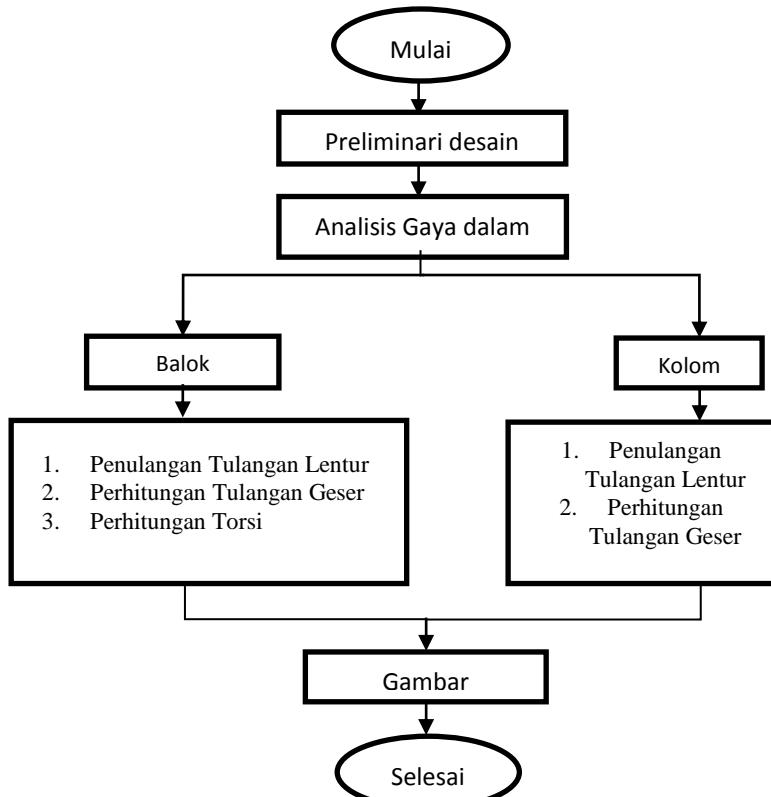


Gambar 3. 3. Permodelan Struktur Gedung Rektorat Malang

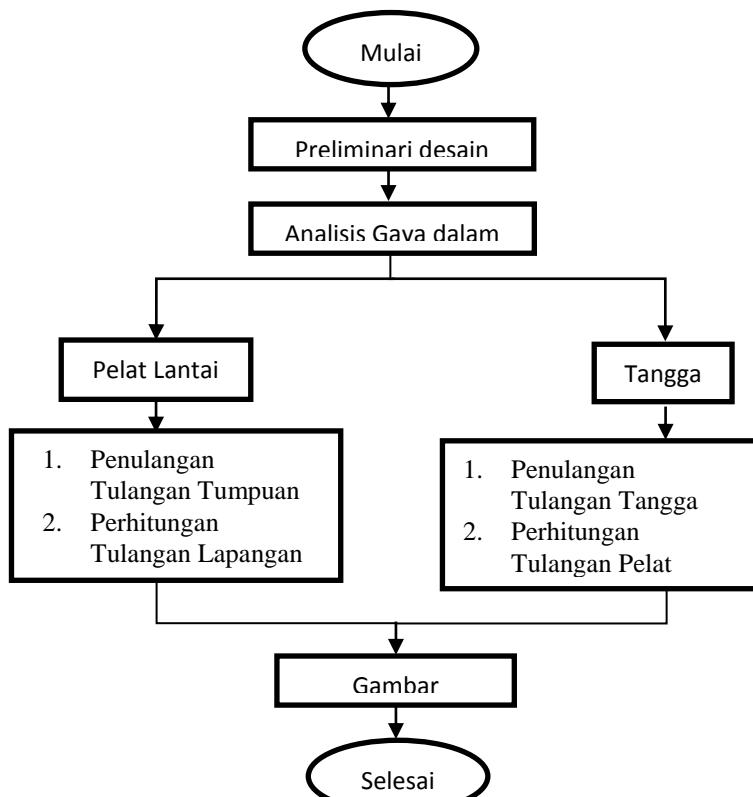
3.6. Perencanaan Penulangan

Perencanaan penulangan dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 dengan memperhatikan standar penulangan-penulangan serta menggunakan data-data yang diperoleh dari *output* Etabs 16.0.2. Perhitungan penulangan dilakukan pada struktur atas dan struktur bawah. Penulangan pada struktur atas yakni : Pelat, tangga, balok dan kolom. Dan juga pada struktur bawah yakni : poer dan pondasi.

Langkah-langkah merencanakan tulangan pada struktur :



Tabel 3. 7. Flowchart Perhitungan Struktur Atas (Balok dan Kolom)



Tabel 3. 8 Flowchart Perhitungan Struktur Atas (Pelat dan Tangga)

3.7. Perencanaan Dimensi Elemen Pracetak

Desain elemen struktur tidak menggunakan pracetak sepenuhnya, melainkan komposit dengan dicor ditempat. Perencanaan dimensi pelat pracetak satu arah berdasarkan peraturan SNI 2847:2013 pasal 16.4.1 dengan lebar tidak boleh lebih dari 3,7 m. Adapun referensi buku dalam perencanaan

dimensi elemen pracetak menggunakan *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress concrete*.

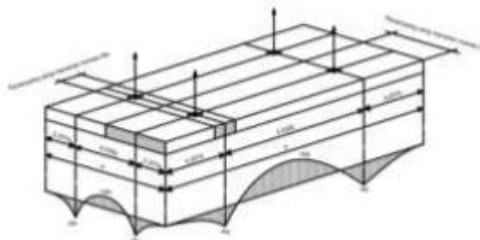
Adapun perencanaan dimensi elemen pracetak juga disesuaikan dengan kapasitas maksimum flatbed truck dan tower crane.

- Ukuran flatbed truck 9,55 x 3 x 3,18 m dengan kapasitas maksimum 30ton.
- Ukuran lengan maksimum tower crane 265m, mampu mencapai ketinggian 100m dengan kapasitas maksimum 7 ton.

3.8. Kontrol Elemen Pracetak

3.8.1. Kontrol Pengangkatan

Beton yang sudah berumur 3 hari dibawa dari pabrik menuju lokasi proyek. Pengangkatan dengan 4 titik dapat dilakukan dengan bantuan profil baja atau langsung diangkat dengan katrol tower crane



Gambar 3.4 Pengangkatan Elemen Pracetak dengan 4 Titik
Sumber : *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress Concrete*.

$$+M_x = -M_x = 0,0107 wa^2b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0107 wab^2$$

Dimana :

$$M_x \quad = \text{momen sumbu x}$$

$$M_y \quad = \text{momen sumbu y}$$

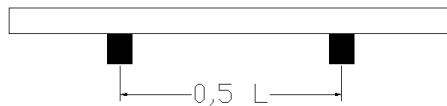
$$w \quad = \text{momen tahanan}$$

- a = lebar elemen pracetak
- b = panjang elemen pracetak

3.8.2. Kontrol Penumpukan

Beton pracetak diangkat kemudian ditumpuk di *flatbed truck* untuk diangkat dari pabrik menuju lokasi proyek. Sesampai dilokasi proyek beton pracetak juga ditumpuk di stock yard. Antar pracetak diberi balok kayu dengan ukuran 5x5 m. Beban yang bekerja saat penumpukan adalah beban sendiri precast dan beban bekerja.

1. Penumpukan dengan 2 titik tumpu



$$M_r = \frac{1}{8} x qu x (0,5L)^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} x qu x (0,5L)^2 + \frac{1}{4} x qu x (0,5L)$$

2. Penumpukan dengan 3 titik tumpu



$$M_r = \frac{1}{8} x qu x (0,6L)^2$$

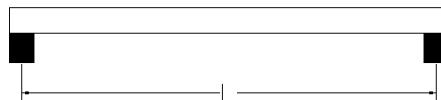
$$M_L = \frac{1}{10} x qu x (0,6L)^2 + \frac{1}{4} x qu x (0,6L)$$

Dimana :

- M_r = momen tumpuhan
- M_L = momen lapangan
- Qu = beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times$ berat sendiri pracetak
- Pu = beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100\text{kg}$
- L = panjang bentang

3.8.3. Kontrol Pemasangan

Pemasangan elemen pracetak pada posisi sebenarnya dilakukan saat umur beton 7 hari. Beton yang bekerja adalah berat sendiri pracetak dan pekerja.



$$M_r = \frac{1}{8} x qu x L^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} x qu x L^2 + \frac{1}{4} x qu x L$$

Dimana :

M_r	= momen tumpuhan
M_L	= momen lapangan
Qu	= beban ultimate yang bekerja = 1,2 x berat sendiri pracetak
Pu	= beban pekerja yang bekerja = 1,6 x 100kg
L	= panjang bentang

3.8.4. Kontrol Pengecoran

Pengecoran merupakan tahap akhir untuk menyatukan antara elemen pracetak. Pengecoran dilakukan saat beton pracetak berumur 7 hari. Pengecoran dilakukan dua kali. Pengecoran pertama dilakukan setinggi half slab dengan beban yang bekerja adalah balok termasuk insitu dan berat pelat pracetak. Pengecoran kedua dicor semuanya termasuk plat penuh dengan beban yang bekerja adalah berat sendiri balok dan pelat termasuk insitu.

Tebal pengecoran berkisar 50mm – 100mm. Pemindahan sepenuhnya gaya akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser yang timbul tidak melampaui tegangan geser ijin. Bila tegangan geser yang terjadi melampaui tegangan geser ijin maka pengecoran topping tidak dianggap struktur komposit, melainkan beban mati bekerja pada komponen pracetak.

1. Pengecoran menggunakan scaffolding di tengah bentang



$$M_r = \frac{1}{8} x qu x (0,5L)^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} x qu x (0,5L)^2 + \frac{1}{4} x qu x (0,5L)$$

2. Pengecora tidak menggunakan scaffolding



$$M_r = \frac{1}{8} x qu x L^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} x qu x L^2 + \frac{1}{4} x qu x L$$

Dimana :

M_r = momen tumpuhan

M_L = momen lapangan

qu = beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times$ beban mati

Pu = beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100\text{kg}$

L = panjang bentang

3.8.5. Kontrol Komposit

Setelah dilakukan pengecoran in situ maka beban menjadi material komposit. Dimana beban yang bekerja selain beban mati komposit dan pekerja juga ada beban hidup.

$$M_r = \frac{1}{8} x qu x L^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} x qu x L^2 + \frac{1}{4} x qu x L$$

Dimana :

M_r = momen tumpuhan

M_L = momen lapangan

qu	= beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times \text{beban mati} + 1,6 \times \text{beban hidup}$
Pu	= beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100\text{kg}$
L	= panjang bentang

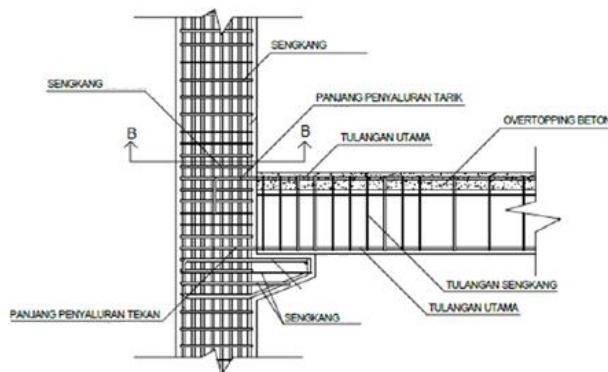
3.9. Sambungan

Salah satu kelemahan kontruksi pracetak pada sambungan yang relatif kurang monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan antara elemen pracetak direncanakan supaya memiliki kekuatan seperti beton monolit

Sambungan antar elemen pracetak dalam tugas akhir terapan ini menggunakan metode semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton cast in situ di atasnya. Diharapkan sambungan elemen - elemen tersebut memiliki perilaku mendekati sama dengan struktur monolit. Perencanaan sambungan pracetak didesign berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 16.6 mengenai sambungan.

3.9.1. Sambungan Balok dengan Kolom

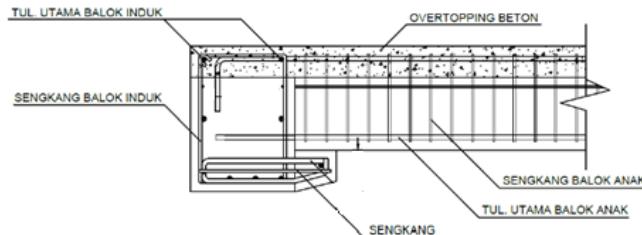
Sambungan balok dengan kolom manfaat konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pendek tersebut berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8. pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.13. untuk perencanaan kolom kuat – balok lemah (strong column weak beam) direncanakan berdasarkan SNI2847:2013 pasal 21.8 mengenai rangka momen khusus yang dibangun menggunakan beton pracetak.



Gambar 3. 5 Sambungan Balok dengan Kolom

3.9.2.Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

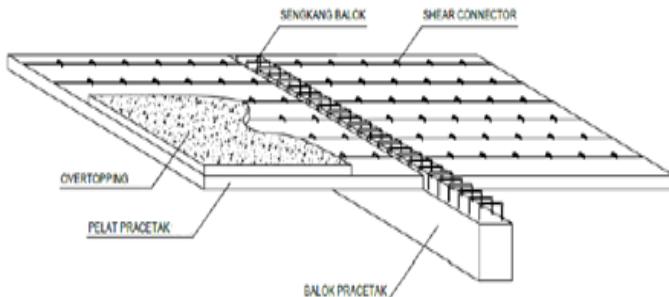
Sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pendek pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek balok induk, kemudian dilakukan pengecoran di tempat bersamaan setelah pelat pracetak terpasang.



Gambar 3. 6 Pemasangan Balok Anak Pracetak

3.9.3.Sambungan Pelat dengan Balok

Sambungan pelat dengan balok menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping 50mm – 100mm. Pendetailan tulangan sambungan yang dibutuhkan atau dilihat secara efektif menjadi satu kesatuan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.13.



Gambar 3. 7Sambungan Pelat dengan Balok

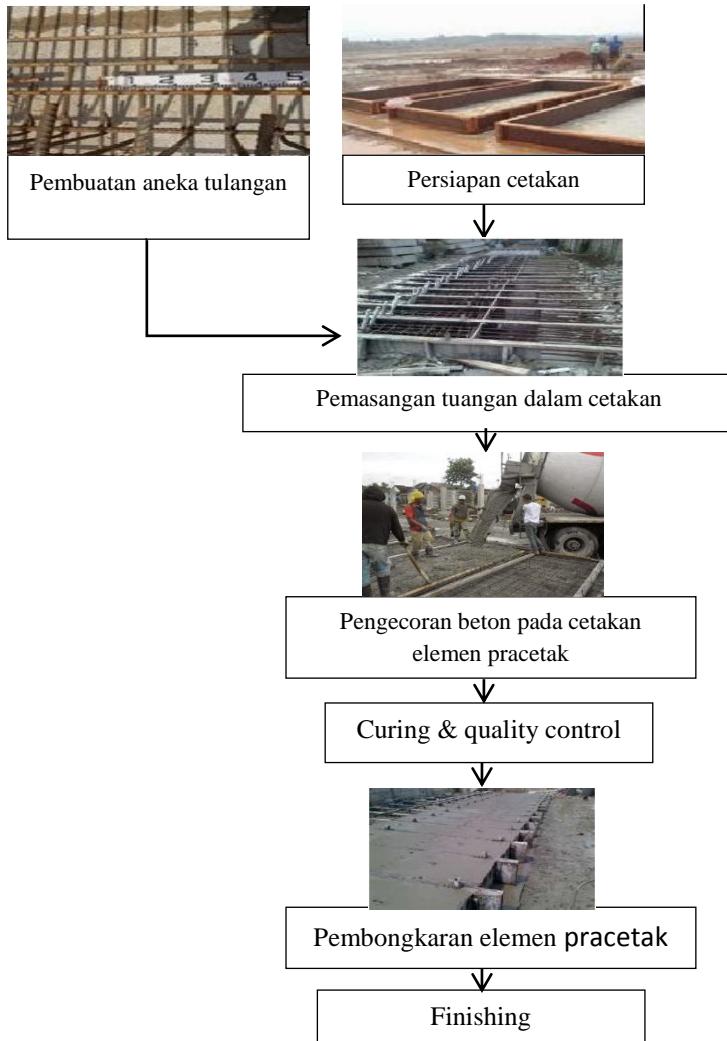
3.9.4.Sambungan Pelat dengan Pelat

Sambungan antar pelat bordes menggunakan cara grouting. Grouting untuk mengisi celah antar elemen pracetak menggunakan material semen. Caranya bisa langsung dituangkan atau menggunakan pompa untuk area yang sulit dijangkau.

3.10. Metode Pelaksanaan

3.10.1. Proses Produksi

Untuk proses produksi yang dilakukan di lokasi proyek, yang harus diperhatikan adalah area proyek harus tertata dengan baik. Mulai dari tempat penumpukan material dasar, tempat pengecoran, serta tempat penyimpanan komponen beton pracetak. Serangkaian proses produksi pracetak yaitu :



Gambar 3. 8 Flowchart proses produksi beton pracetak

3.10.2. Proses Penyimpanan

Pada proses penyimpanan dengan memperhatikan beberapa hal, antara lain :

1. Penyimpanan beton pracetak harus dilakukan sedemikian rupa sehingga beton tidak mengalami keretakan karena kelebihan tegangan akibat sistem penyimpanan yang tidak baik.
2. Pelaksana harus memperhitungkan tegangan-tegangan yang terjadi dalam sistem penyimpanan. Perhitungan tersebut harus diberikan kepada direksi lapangan untuk disetujui.
3. Jika lahan yang tersedia tidak cukup, penyimpanan beton pracetak boleh dilakukan dengan cara ditumpuk ke atas dengan titik tumpu penyangga yang segaris.
4. Tanah lokasi penumpukan harus cukup baik agar tidak terjadi penurunan atau *settlement* yang besar hingga menambah tegangan pada elemen pracetak.
5. Penumpukan harus memperhatikan urutan penggunaan elemen pracetak.
6. Penyangga dapat berupa kayu kaso yang relatif lurus (tidak bergelombang).
7. Beton pracetak yang telah disimpan harus ditandai dengan sistem kode tertentu agar tidak tertukar dengan elemen pracetak yang lain.

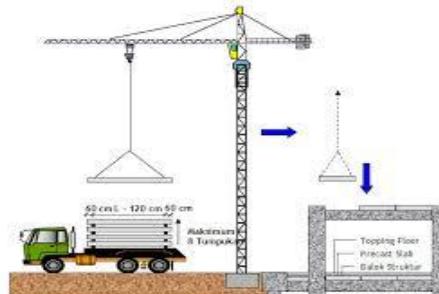
3.10.3. Transportasi

Transportasi adalah proses memindahkan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke lokasi proyek. Yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah ketersediaan alat angkut dan alat angkat yang berkaitan dengan dimensi dan berat komponen beton pracetak, dan jalur transportasi yang akan dilewati.

3.10.4. Proses Pengangkatan

Proses pengangkatan adalah proses memindahkan komponen beton pracetak dari tempat penumpukan ke posisi

penyambungan (Perakitan). Hal yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah jumlah titik angkat yang diperlukan tiap komponen pracetak agar komponen dapat dengan aman diangkat dan ketersediaan alat angkat, yang semuanya berkaitan dengan dimensi dan berat komponen beton.



Gambar 3. 9. Proses pengangkatan

3.10.5. Proses Pemasangan

Proses pemasangan merupakan proses penyatuan komponen beton pracetak menjadi satu kesatuan yang utuh sehingga membentuk suatu bangunan. Dalam proses ini yang perlu diperhatikan adalah ketersediaan alat yang digunakan, yang berkaitan dengan metode pemasangan yang akan digunakan.

Metode pelaksanaan yang akan digunakan. Metode pelaksanaan yang digunakan adalah metode Dirakit Per-Elemen. Pada metode ini tiap komponen dari beton pracetak dirakit satu persatu menggunakan crane. Metode ini dibedakan menjadi dua, yaitu metode vertikal dan metode horisontal. Untuk metode vertikal, proses pemasangan pada pelaksanaannya dilakukan pada arah vertikal struktur gedung. Kelebihan metode ini, karena dipemasangan secara vertikal maka kebutuhan lengan momen untuk crane tidak terlalu besar. Namun karena pelaksanaannya tersebut sambungan-sambungan pada lantai diatasnya harus dapat segera berkerja secara efisien. Sedangkan penyatuan komponen beton pracetak dengan metode horisontal adalah proses pemasangan yang pelaksanaannya tiap satu lantai (Arah horisontal bangunan). Sambungan pada metode ini tidak

harus segera dapat berfungsi karena tidak langsung dibebani oleh bangunan pada lantai diatasnya. Untuk kelemahan metode ini, diperlukan crane dengan lengan momen yang cukup besar karena harus dapat mencapai seluruh bagian bangunan. Peralatan yang digunakan pada saat proses pemasangan yaitu :

- Tower Crane : Digunakan untuk mengangkat komponen-komponen beton pracetak.
- Scafolding : Untuk menyanggah komponen pelat beton pracetak selama belum bisa menahan beratnya sendiri.
- Alat leveling (Theodolit, waterpas, atau dengan alat yang lain) : Untuk mengatur ketinggian dan menjamin kepresisionan posisi agar sesuai dengan yang direncanakan.



Gambar 3. 10. Proses Pemasangan
(sumber : Wika realty)

3.11. Desain Bangunan Bawah

3.11.1. Perencanaan Struktur Pondasi

Perencanaan struktur fondasi pada struktur gedung Rektorat ini menggunakan fondasi tiang pancang. Persyaratan fondasi mengacu pada tata cara SNI 1726:2012 pada pasal 7.13 bahwa untuk perencanaan fondasi kategori desain seismik C dan D bisa menggunakan tiang pancang. Fondasi tipe ini biasanya digunakan untuk tanah lunak, tanah berawa dengan kondisi data dukung tanah kecil. Perencanaan fondasi yaitu :

1. Daya dukung izin fondasi dihitung menggunakan metode meyerhoff dari data SPT diperolah nilai konus.
2. Perencanaan kelompok tiang pancang merujuk nuku Karl Terzaghi dan Ralp B.Peck
3. Perencanaan poer mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 21.12.2

3.12. Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan meliputi :

1. Gambar arsitektur :
 - Gambar denah
 - Gambar tampak
2. Gambar struktur :
 - Gambar potongan memanjang dan melintang
 - Gambar pelat
 - Gambar tangga dan bordes
 - Gambar Kolom
 - Gambar Balok
3. Gambar penulangan :
 - Gambar Penulangan pelat
 - Gambar Penulangan tangga dan bordes
 - Gambar Penulangan Kolom
 - Gambar Penulangan Balok
4. Gambar detail :
 - a. Gambar detail panjang penyaluran, meliputi :
 - Panjang Penyaluran Pelat

- Panjang Penyaluran Kolom
 - Panjang Penyaluran Balok
- b. Gambar detail penjangkaran tulangan
- c. Gambar sambungan

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

PRELIMINARY DESAIN

4.1. Umum

Preliminary design merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur gedung menurut peraturan SNI 2847:2013. *Preliminary design* yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, dinding geser, pelat, dan kolom. Sebelum melakukan *preliminary* sebaiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.2. Data Perencanaan

Sebelum perhitungan *preliminary design* maka perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima struktur gedung tersebut. Pada perencanaan tugas akhir ini dengan menggunakan Gedung Rektorat Malang dimodifikasi menggunakan beton pracetak biasa dengan data perencanaan sebagai berikut :

- a. Fungsi Bangunan : Gedung Rektorat
- b. Lokasi : Kota Malang, Jawa Timur
- c. Jumlah Lantai : 9 lantai *tower* dan 1 *basement*
- d. Ketinggian Lantai :
 - a) Lantai basement = 4,91 m
 - a) Lantai dasar dan lt.9 = 6,00 m
 - b) Lantai 2 s.d 8 = 4,50 m
- e. Tinggi Bangunan : 45,8 m
- f. Mutu beton ($f'c$)
 - Kolom : 35 Mpa
 - Balok dan Pelat : 35 MPa
- g. Mutu baja tulangan (f_y) : 400 MPa
- h. Letak bangunan : Jauh dari pantai

4.3. Pembebaan

1. Beban Statis

a. Beban Mati (ASCE-7-02)

- Berat volume beton bertulang : 2400 kg/m³
- Keramik (Brosur) : 16,5 kg/m²
- Spesi (PPIUG) : 21 kg/m²
- Bata Ringan (Brosur) : 81,25 kg/m²
- Plafond (Brosur) : 5,03 kg/m²
- Penggantung (PPIUG) : 8 kg/m²
- Mekanikal Elektrical : 40 kg/m²
- Plumbing : 25 kg/m²
- Floor Hardener : 5 kg/m²

b. Beban Hidup (SNI 03-1727-2013)

- Lantai publik (Kantor) : 240 kg/m³
- Pelat tangga dan Bordes : 479 kg/m³
- R. Mesin : 479 kg/m³
- Area Parkir : 192 kg/m³
- Hall dasar : 383 kg/m³
- Hall : 479 kg/m³
- Cafe & panorama : 479 kg/m³
- Ruang Seminar : 479 kg/m³
- Atap : 96 kg/m³

2. Beban Angin

- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap angin dikerjakan dengan aplikasi ETABS 16.0.2 sesuai dengan pedoman SNI 1727-2013.

3. Beban Gempa

- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726-2012.

4.4. Perencanaan Dimensi Balok

Perancangan pada tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (*rectangular beam*). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap

pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan *overtopping (cor in site)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan system tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit.

Dimensi balok yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{L}{16} x L_b$$

Untuk f_y selain 420 MPa, nilai dikalikan dengan $(0,4 + \frac{f_y}{700})$ sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a)).

Untuk lebar balok diambil $\frac{2}{3}$ dari tinggi balok:

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

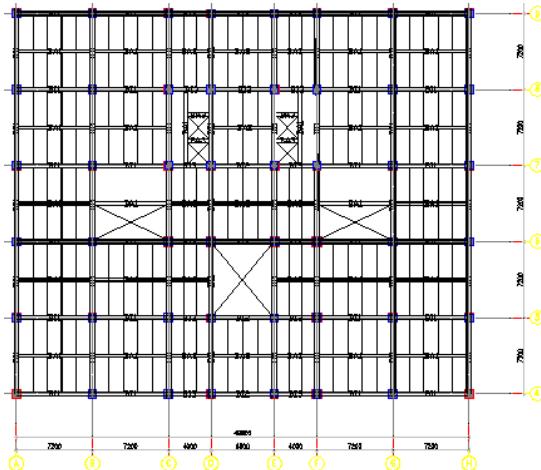
Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

L_b = lebar kotor dari balok

4.4.1. Dimensi Balok Induk dan Balok Anak



Gambar 4. 1. Denah Pembalokan

Dimensi balok induk yang direncanakan diasumsikan sebagai balok sederhana dengan dua tumpuan dengan mutu beton = 35 Mpa dan mutu baja = 400 Mpa.

- **Balok Induk Melintang (BI1), L = 7,2 m**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{720}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700}) = 43,71 \text{ cm,}$$

jadi digunakan h = 65 cm

$$b_{\min} = \frac{2}{3}L = \frac{2}{3} \times 43,71 = 29,14 \text{ cm,}$$

jadi digunakan b = 45 cm

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 45/65.

- **Balok Induk Memanjang (BI2), L = 6 m**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{600}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700}) = 36,43 \text{ cm,}$$

jadi digunakan h = 65 cm

$$b_{\min} = \frac{2}{3}L = \frac{2}{3} \times 36,43 = 24,29 \text{ cm,}$$

jadi digunakan b = 45 cm

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 45/65.

- **Balok Induk Memanjang (BI3), L = 4 m**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} x (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{400}{16} x (0,4 + \frac{400}{700}) = 24,29 \text{ cm}$$

jadi digunakan h = 65 cm

$$b_{\min} = \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} x 24,29 = 16,19$$

jadi digunakan b = 45 cm

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 45/65.

- **Balok Anak Memanjang (BA1), L = 7,2 m**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} x (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{720}{16} x (0,4 + \frac{400}{700}) = 43,71 \text{ cm},$$

jadi digunakan h = 45 cm

$$b_{\min} = \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} x 43,71 = 29,14 \text{ cm},$$

jadi digunakan b = 30 cm

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 30/45.

- **Balok Anak Memanjang (BA2), L = 6 m**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} x (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{600}{16} x (0,4 + \frac{400}{700}) = 36,43 \text{ cm},$$

jadi digunakan h = 45 cm

$$b_{\min} = \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} x 36,43 = 24,29 \text{ cm},$$

jadi digunakan b = 30 cm

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 30/45.

- **Balok Anak Memanjang (BA3), L = 4 m**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} x (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{400}{16} x (0,4 + \frac{400}{700}) = 24,29 \text{ cm}$$

jadi digunakan h = 45 cm

$$b_{\min} = \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} x 24,29 = 16,19$$

jadi digunakan b = 30 cm

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 30/45.

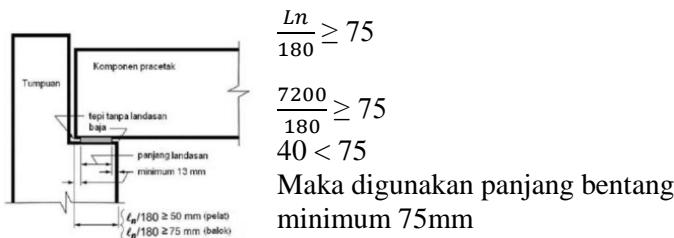
Berikut merupakan Tabel 4. 1 rekapitulasi hasil perhitungan dimensi balok induk dan balok anak pada perencanaan struktur gedung untun tugas akhir ini :

Tabel 4. 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Dimensi Balok Induk dan Balok Anak

Kode	L	h_{\min}	b	h_{pakai}	b_{pakai}	Dimensi cm^2
	cm	cm	cm	cm	cm	
BI1	740	44,93	29,95	65	45	45/65
BI1	720	43,71	29,41	65	45	45/65
BI2	600	36,43	24,29	65	45	45/65
BI4	500	30,36	20,24	65	45	45/65
BI3	400	24,29	16,19	65	45	45/65
BI5	240	14,57	9,714	65	45	45/65
BA1	720	43,71	29,41	45	30	30/45
BA2	600	36,43	24,29	45	30	30/45
BA3	400	24,29	16,19	45	30	30/45

NB: Untuk lebih jelas mengenai detail ukuran balok induk dan balok anak yang terpasang dapat dilihat pada Gambar Denah Pembalokan (lampiran).

Kontrol Perletakan Komponen Pracetak



4.5. Perencanaan Tebal Pelat

Perencanaan tebal pelat minimum satu arah pada tugas akhir ini menggunakan persyaratan pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5, tabel 9.5(a).

4.5.1. Peraturan Perencanaan Pelat

Pelat direncanakan berupa plat lantai dengan 3 tipe plat yang memiliki ukuran sebagai berikut :

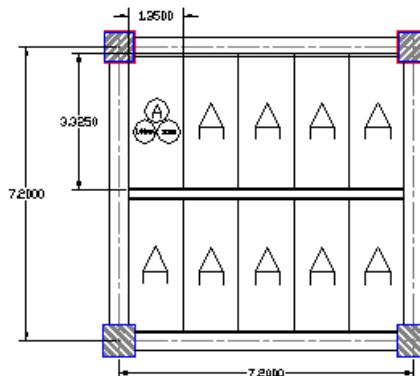
Pelat Tipe A : 335cm x 135cm

Pelat Tipe B : 335cm x 138cm

Pelat Tipe C : 335cm x 118cm

Direncanakan dengan spesifikasi mutu beton 35 Mpa serta mutu baja 400 Mpa. Dalam perencanaan ini pelat berupa plat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan dilanjutkan dengan *overtopping*.

Denah plat yang direncanakan sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Denah Rencana Pelat Precast

Dalam tugas akhir ini, tipe plat A dengan dimensi terbesar digunakan sebagai contoh perhitungan. Sehingga nilai L_n dan S_n yaitu :

$$L_n = 720 - \left(\frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right) = 685 \text{ cm}$$

$$S_n = 360 - \left(\frac{45}{2} + \frac{30}{2} \right) = 3225 + (50+50) = 3325 \text{ mm}$$

$$B = \frac{L_n}{S_n} = \frac{685}{332,5} = 2,045$$

Untuk nilai $\beta > 2$ dianggap memiliki distribusi pembebanan pelat satu arah. Sehingga diambil syarat berdasarkan SNI 2847-2013

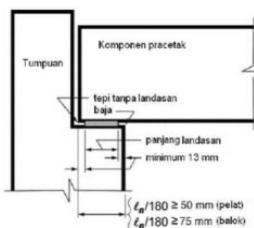
ps. 9.5.2 tabel 9.5 (a). Untuk fy selain 420 Mpa harus dikalikan dengan $(0,4 + Fy/700)$. Sehingga,

$$Ln = 332,5$$

$$h_{\min} = \frac{1}{24} \times 332,5 \times (0,4 + \frac{400}{700}) = 13,46 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Tebal plat direncanakan 14 cm. Sehingga telah memenuhi persyaratan tebal minimum.

Kontrol Perletakan Komponen Pracetak



$$\frac{Ln}{180} \geq 50$$

$$\frac{3325}{180} \geq 50$$

$$18,47 < 50$$

Maka digunakan panjang bentang minimum 50 mm

Perincian plat pracetak sebagai berikut :

Tebal plat pracetak = 80 mm

Tebal Overtopping = 60 mm

4.6. Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan dimensi kolom, kolom yang ditinjau adalah kolom yang mendapatkan beban terbesar, yaitu kolom yang memikul bentang 720 cm

Kolom yang direncanakan harus mampu memikul beban aksial yang disebabkan oleh elemen lantai. Ada pun data-data yang dibutuhkan dalam perencanaan dimensi kolom sebagai berikut :

- Tebal Plat = 140 mm
- Tinggi lt.1 dan lt.9 = 600 cm
- Tinggi lt.2 s.d lt. 8 = 450 cm
- Dimensi Blk. Memanjang = 450 cm x 650 cm
- Dimensi Blk. Melintang = 450 cm x 650 cm

4.6.1. Pembebanan Satu Lantai

Beban Mati

Pelat Lantai	= 7,2 x 7,2 x 0,14 x 2400	= 17418,24 kg
Balok Induk melintang	= 7,2 x 0,4 x 0,6 x 2400	= 46656 kg
Balok Induk memanjang	= 7,2 x 0,4 x 0,6 x 2400	= 46656 kg
Plafond	= 5,03 x 7,2 x 7,2	= 2607,55 kg
Penggantung Plafond	= 8 x 7,2 x 7,2	= 4147,2 kg
Keramik	= 16,5 x 1 x 7,2 x 7,2	= 8553,6 kg
Spesi	= 21 x 2x 7,2 x 7,2	= 435,46 kg
Tembok ½ bata	= 81,25 x 7,2 x 6	= 3510 kg
Mekanikal Elektrikal	= 40 x 7,2 x 7,2	= 20736 kg
Plumbing	= 25 x 7,2 x 7,2	= 12960 kg

Sehingga total beban mati (DL) 10 lantai yaitu 320444,21 kg

Beban Hidup

Beban Lantai Kantor	= 479 x 7,2 x 6	= 20692,8 kg
Sehingga total beban hidup (LL) 10 lantai yaitu 206928 kg		
Berat Total (Qu)	= 1,2 DL + 1,6 LL	
	= 384533 + 331085	
	= 715617,85 Kg	

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps. 9.3.2.2 koefisien reduksi kekuatan desain aksial tekan untuk komponen struktur yaitu 0,65. Dengan kuat tekan awal $F_c' = 35 \text{ Mpa}$.

$$A = \frac{qu}{\phi f_{c'}^{'}} = \frac{715617,85}{0,65 \times 350} = 3145,57 \text{ cm}^2$$

Apabila dimisalkan $b = h$, maka $h = 56,09 = 75 \text{ cm}$

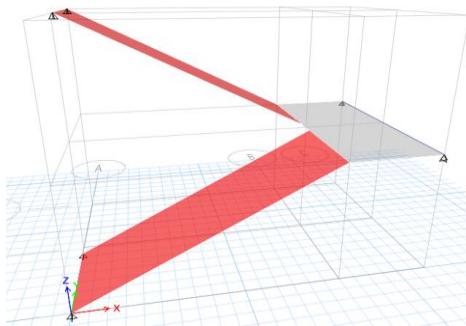
Sehingga dimensi kolom yang direncanakan dalam tugas akhir ini yaitu 75 cm x 75 cm.

4.7. Preliminary Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan program ETABS 16.0.2 Adapun data-data yang di input adalah sebagai berikut:

1. Perletakan = sendi-sendi

2. Pembebanan = Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
3. Kombinasi = $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
4. Distribusi = (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.



Gambar 4. 3 Mekanika Perencanaan Tangga

- Data perencanaan

Panjang datar tangga : 720 cm

Tinggi tangga : 450 cm

Tinggi plat bordes : 225 cm

Tebal plat tangga : 15 cm

Tebal plat bordes : 15 cm

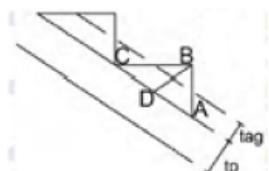
Lebar injakan (i) : 28,5cm

Tinggi tanjakan (t) : 16 cm

Panjang Miring Tangga :

$$= \sqrt{(4,0)^2 + (2,25)^2} = 4,59 \text{ m}$$

Panjang Miring Anak Tangga :



$$\text{BC} = 28,5 \text{ cm}$$

$$\text{AB} = 16 \text{ cm}$$

$$\text{AC} = \sqrt{(28,5)^2 + (16)^2}$$

$$\text{AC} = 32,68 \text{ cm}$$

Jumlah tanjakan (nt)

Tinggi bordes = 2,25 m = 225 cm

$$nt = \frac{tinggitangga}{tinggitanjakan} = \frac{450}{16} = 28 \text{ buah}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = arc \tan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = arc \tan \frac{16}{28,5}$$

$$\alpha = 29,31^\circ$$

Syarat sudut kemiringan

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

$25^\circ \leq 29,31^\circ \leq 40^\circ \rightarrow$ Memenuhi

$$60^\circ \leq (2t + i) \leq 65^\circ$$

$$60^\circ \leq 60,5^\circ \leq 65^\circ \rightarrow$$
 Memenuhi

Tebal plat rata-rata anak tangga

$$\begin{aligned} Tr &= (i/2) \sin \alpha \\ &= (28,5/2) \sin (29,31) \\ &= 7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka tebal efektif pelat tangga = $15 + 7 = 22 \text{ cm}$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PERMODELAN STRUKTUR

5.1. Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 2847:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

5.2. Data Perencanaan

Data-data perancangan Gedung Rektorat Malang adalah sebagai berikut :

Mutu beton (f_c') :

- a) Kolom : 35 Mpa
- b) Balok & Pelat : 35 MPa

Mutu baja tulangan (f_y) : 400 MPa

Fungsi bangunan : Gedung Rektorat Malang

Tinggi bangunan : 45,8 m

Jumlah tingkat : 9 lantai dan 1 *basement*

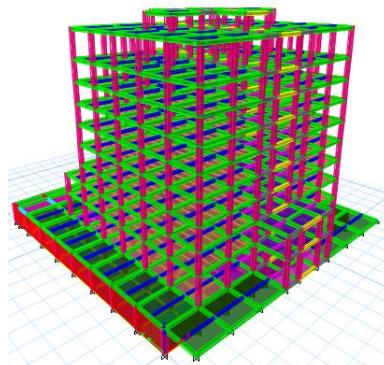
Tinggi tiap tingkat :

- a) Lantai *basement* : 4,91 m
- b) Lantai dasar dan 9 : 6 m
- c) Lantai 2 s.d. 8 : 4,5 m

Dimensi balok induk : 45/65

Dimensi balok anak : 30/45

Zona gempa : Sedang



**Gambar 5. 1 Permodelan 3D Struktur Utama
(properties view)**

5.3. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan Gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang bekerja pada gedung. Beban mati dan hidup yang dipehitungkan berupa:

- Beban Mati
 - Berat sendiri beton bertulang : 24 KN/m³
 - Keramik : 16,5 KN/m²
 - Spesi : 21 KN/m²
 - Dinding bata ringan : 81,25KN/m²
 - Plafond : 5,03 KN/m²
 - Penggantung : 8 KN/m²
 - Mekanical Elektrical : 40 KN/m²
 - Plumbing +ducting : 25 KN/m²
 - Floor Hardener : 5 KN/m²
- Beban Hidup (SNI 1727 : 2013)
 - Lantai Atap : 0,96 KN/m³
 - Lantai Kantor : 2,4 KN/m³
 - Lantai Parkir : 1,92 KN/m³
 - Pelat tangga dan Bordes : 4,79 KN/m³
 - R. Mesin : 4,79 KN/m³
 - Area Parkir : 1,92 KN/m³

➤ Hall dasar	: 3,83 KN/m ³
➤ Hall	: 4,79 KN/m ³
➤ Cafe & panorama	: 4,79 KN/m ³
➤ Ruang Seminar	: 4,79 KN/m ³

5.4. Perhitungan Struktur

Perhitungan nilai total berat struktur nantinya akan digunakan pada perhitungan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan apakah struktur gedung rektorat yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya gesernya sudah mencapai 80% gaya geser seismik.

5.5. Gempa Rencana

Sebagai input data pada ETABS 16.0.2, diperlukan data percepatan respon spektrum (MCE). Penentuan wilayah gempa dapat dilihat dan didapat didapat dari Puskim. Ss gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaikan (MCER). Parameter gerak tanah untuk percepatan respon spektral 0,2 detik dalam g, (5% redman kritis), kelas situs SB. Dalam tugas akhir ini menggunakan data tanah surabaya sebagai datanya, sehingga didapatkan nilai Ss = 0,781 g & S1 = 0,330.

5.6. Parameter Respon Spektrum Rencana

Parameter respon spektrum digunakan untuk menentukan gaya gempa yang direncanakan pada sebuah struktur. Tugas akhir terapan ini dalam perhitungan gaya gempa menggunakan analisis dinamis seusia dengan SNI 1726:2012. Berikut parameter respon spektrum untuk wilayah Malang dengan kondisi tanah sedang (kelas situs D).

Tabel 5. 1 Parameter Respon Spektrum

PARAMETER	NILAI	KETERANGAN
Ss =	0,781	Lihat Peta Hazard Gempa Indonesia 2010
S1 =	0,33	Lihat Peta Hazard Gempa Indonesia 2011
Fa =	1,186	Tabel 4 Koefisien Situs, Fa ((SNI 1726 : 2012))
Fv =	1,738	Tabel 5 Koefisien Situs, Fv ((SNI 1726 : 2012))
(Sms) = Fa.Ss =	0,926	Persamaan 5 (SNI 1726 : 2012)
(Sm1) = Fv.S1 =	0,574	Persamaan 6 (SNI 1726 : 2012)
SDs = 2/3 Sms =	0,618	Persamaan 7 (SNI 1726 : 2012)
SD1 = 2/3 Sm1 =	0,382	Persamaan 8 (SNI 1726 : 2012)

Dari data tabel diketahui SDS = 0,6183 dan SD1 = 0,3828. Maka kriteria desain seismik termasuk kriteria D.

5.7. Kombinasi Pembebaan

Kombinasi pembebaan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanya beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktivitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebaan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance FactorDesign*).

Kombinasi pembebaan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1727:2013 bangunan tahan gempa sebagai berikut :

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL

3. 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
4. 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
5. 1,0DL+1,0 LL
6. 0,9 DL + 1,0 Ex
7. 0,9 DL + 1,0 Ey

Menurut SNI 1726 : 2012 Pasal 8.3.1.3 pengaruh gempa pada kombinasi dasar untuk desain kekuatan :

8. $(0,9D - 0,2Sds) + 1E$
9. $(1,2D + 0,2Sds) + 1E + L + 0,2LR$

Dimana, $0,2 \times Sds = 0,2 \times 0,781 = 0,156$ maka,

8. $(0,9D - 0,2Sds) + 1E$
9. $(1,2D + 0,2Sds) + 1E + L + 0,2LR$

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.4.2.1 Pengaruh gempa horizontal harus ditentukan sebagai berikut :

$$E = p \times Qe$$

Dimana,

$$p = \text{Faktor redundansi} = 1,3 (\text{Ps 7.3.4.2})$$

$$E = 1,3 \times 1E = 1,3E$$

Sehingga kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisa program ETABS 16.0.2 adalah sebagai berikut :

1. 1DL + 1LL
2. 1,4DL
3. 1,2D + 1,6L + 0,5Lr
4. 1,2D + 1,6L + 0,5R
5. 1,2D + 1,6Lr + 0,5W
6. 1,2D + 1,6R + 0,5W
7. 1,2D + 1Ex + 1L
8. 1,2D + 1Ey + 1L

9. $1,2D + 1W + 1L + 0,5Lr$
10. $1,2D + 1W + 1L + 0,5R$
11. $(0,9D - 0,2Sds) + 1,3Ex + 0,39Ey + 1L$
12. $(1,2D + 0,2Sds) + 1,3Ex + 0,39Ey + 1L$

5.8. Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3D, pembebanan struktur serta running ETABS 16.0.2. Maka hasil analisis struktur harus dikontrol dengan batasan-batasan yang sudah tertera dalam SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem tersebut.

5.8.1. Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 Ps 7.9.1 Perhitungan analisa dinamis harus mempunyai kombinasi partisipasi massa paling sedikit 90% dari massa aktual masing-masing arah. Berikut hasil partisipasi massa menggunakan bantuan program ETABS 16.0.2 :

Tabel 5. 2 Partisipasi Massa

Case	Item Type	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	100	93.57
Modal	Acceleration	UY	100	93.98
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Dari tabel di atas di dapat partisipasi massa arah X sebesar 93,57% dan partisipasi massa arah Y sebesar 93,98%. Maka disimpulkan bahwa analisis struktur yang dilakukan telah memenuhi syarat SNI 1726:2012 Pasal 7.91 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90%.

5.8.2. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah terjadinya struktur bangunan yang terlalu fleksibel, maka nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Untuk periode fundamental struktur harus ditentukan dari :

Nilai T tersebut adalah batas bawah periode struktur, sedangkan untuk mendapatkan nilai batas atas maka dikalikan dengan koefisien, yang tergantung dari SD1

$$C_t = 0,0466a$$

$$x = 0,9a$$

$$h_n = 45,8 \text{ m}$$

Sehingga,

$$T_a = 1,456 \text{ s (batas bawah)}$$

Untuk SD1 = 0,3828 maka Cu adalah 1,4

$$\begin{aligned} Cu \times T &= 1,4 \times 1,456 \\ &= 2,038 \text{ (batas atas)} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa ETABS 16.0.2 didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 5. 3 Periode ETABS 16.0.2

Mode	Period sec
1	1,691
2	1,588
3	1,417
4	0,584
5	0,544
6	0,5
7	0,359
8	0,339
9	0,32
10	0,251
11	0,239
12	0,226
13	0,181
14	0,174
15	0,165

Dari tabel di atas di dapatkan hasil $T = 1,691$. Sehingga, berdasarkan kontrol yang sudah dihitung, batas atas yang didapat sebesar 2,038. Menurut persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.82 mengenai kontrol waktu getar alami fundamental masih memenuhi syarat.

5.8.3. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan peraturan SNI 03-1726-2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditentukan tidak boleh kurang dari 85% nilai respon statik.

Rumus Gaya Geser : $V = C_s \times W$ (ps. 7.8.1)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,6183}{\frac{8}{1}} = 0,0773$$

Nilai C_s yang diambil tidak perlu melebihi dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,781}{1,691\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0283$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,0272$$

Sehingga diambil nilai $C_s = 0,0283$

Dari analisis yang didapatkan dari ETABS 16.0.2, nilai berat struktur gedung Rektorat adalah

Tabel 5. 4 Berat Struktur

Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
D+L	-2,9388	-591,8034	276313,265

$$\begin{aligned} V \text{ statik} &= C_s \times W \\ &= 0,0283 \times 276.313,27 \\ &= 7818,79 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dari tabel di atas didapat berat struktur (W) berdasarkan kombinasi 1D + 1L = 276.313,27KN. Sehingga, nilai base shear yang didapat dari SAP .

Maka kontrol yang dilakukan,

- Untuk gaya gempa arah X
 V Dinamik $> 85\%$ V statik
 $6050,23 > 6645,979$ **NOT OK**
- Untuk gaya gempa arah Y
 V Dinamik $> 85\%$ V statik
 $3780,18 > 6645,979$ **NOT OK**

Dibutuhkan perbesaran gaya gempa,

$$Fs_x = \frac{6645,979}{6050,23} = 1,0985$$

$$Fs_y = \frac{6645,979}{3780,18} = 1,7581$$

Maka didapat hasil perbesaran,

- Untuk gaya gempa arah X

$$V_{Dinamik} = 6974,905$$

$$Fs_x = \frac{6645,979}{6974,905} = 1,0$$

- Untuk gaya gempa arah Y

$$V_{Dinamik} = 5952,04$$

$$Fs_y = \frac{6645,979}{5952,04} = 1,0$$

5.8.4. Kontrol Batas Simpang Antar Lantai (Drift)

Pembatasan simpangan antar lantai dilakukan bertujuan untuk mencegah kerusakan atau kehancuran struktur saat beban gempa diterapkan.

$$\Delta a = 0,02 hax \text{ (SNI 1726 : 2012 tb. 16)}$$

$$P = 1,3 \text{ (Faktor redundansi ps. 7.3.4.2)}$$

Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.12 simpangan ijin pada rangka pemikul momen dengan kategori desain D yaitu,

$$\Delta i < \frac{\Delta a}{p}$$

Sehingga kontrol simpangan antar lantai,

$$\Delta 1 \text{ untuk lantai } 1, \delta 1 = \frac{Cd \times \delta e 1}{I_e}$$

Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.9.3 untuk masing-masing lantai harus ditinjau simpangan yang terjadi,

$$\Delta 1 \text{ untuk lantai } 1, \delta 1 = \frac{Cd \times (\delta e 2 - \delta e 1)}{I_e}$$

Dimana,

$$Cd = 5,5 \text{ (SNI 1726 : 2012 tb.9)}$$

$$I_e = 1 \text{ (SNI 1726 : 2012 ps 4.1.2)}$$

$\delta e 1$ = Simpangan akibat gempa lantai 1

$\delta e 2$ = Simpangan akibat gempa lantai 2

Dari analisa akibat beban lateral (beban gempa) dengan program ETABS 16.0.2, diperoleh simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

Tabel 5. 5 Simpangan pada sumbu x

SIMPANGAN PADA SUMBU X							
Lantai	Elevasi m	Tinggi Antar	δe mm	δe_x mm	δx mm	δa mm	Ket
11	45,8	2,3	29,047	-0,877	-4,8235	46	OK
10	43,5	6	29,924	1,771	9,7405	120	OK
9	37,5	4,5	28,153	1,885	10,3675	90	OK
8	33,0	4,5	26,268	2,555	14,0525	90	OK
7	28,5	4,5	23,713	3,159	17,3745	90	OK
6	24,0	4,5	20,554	3,693	20,3115	90	OK
5	19,5	4,5	16,861	4,167	22,9185	90	OK
4	15,0	4,5	12,694	4,002	22,011	90	OK
3	10,5	4,5	8,692	3,945	21,6975	90	OK
2	6,0	6	4,747	4,726	25,993	120	OK
1	0,0	4,91	0,021	0,002	0,011	98,2	OK
Base	-4,91		0,019	0,019	0	0	

Tabel 5. 6 Simpangan pada sumbu y

SIMPANGAN PADA SUMBU Y							
Lantai	Elevasi m	Tinggi Antar	δe mm	δe_x mm	δx mm	δa mm	Ket
11	45,8	2,3	47,787	0,231	1,2705	46	OK
10	43,5	6	47,556	2,947	16,2085	120	OK
9	37,5	4,5	44,609	3,153	17,3415	90	OK
8	33	4,5	41,456	4,232	23,276	90	OK
7	28,5	4,5	37,224	5,203	28,6165	90	OK
6	24	4,5	32,021	6,07	33,385	90	OK
5	19,5	4,5	25,951	6,805	37,4275	90	OK
4	15	4,5	19,146	6,94	38,17	90	OK
3	10,5	4,5	12,206	5,481	30,1455	90	OK
2	6	6	6,725	6,447	35,4585	120	OK
1	0	4,91	0,278	0,272	1,496	98,2	OK
Base	-4,91	0	0,006	0,006	0	0	

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR

6.1. Perencanaan Pelat Pracetak

Desain tebal pelat yang direncanakan dalam tugas kahir terapan ini menggunakan ketebalan 14 cm. Dengan tebal plat pracetak 8 cm dan pelat cor di tempat 6 cm. Adapun peraturan yang digunakan dalam perencanaan yaitu SNI 1727:2013. Plat yang direncanakan pada beberapa keadaan :

1. Sebelum Komposit

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran di mana antara komponen pracetak dengan komponen topping belum dapat menyatu dalam memikul beban.

2. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan jepit-jepit.

6.1.1. Data Perencanaan Pelat

- Tebal plat pracetak = 80 mm
- Tebal Overtopping = 60 mm
- Fc' beton = 35Mpa
- Fy baja = 400 Mpa
- Diameter tulangan = 10 mm

6.1.2. Pembebaan Pelat Lantai

Saat Pengangkatan

- Beban Mati (DL)
Berat sendiri Pracetak = $0,08 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}^2$
Berat Topping = $0,5 \times 192 = 96 \text{ Kg/m}^2$
DL = 288 Kg/m^2

$$\begin{aligned}\text{Maka beban ultimate (qu)} &= 1,4\text{DL} \\ &= 1,4 \times 288 = 403,2 \text{ Kg/m}^2\end{aligned}$$

- Beban untuk 1 meter pias lebar pelat
 $= 403,2 \text{ Kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 403,2 \text{ Kg/m}$

Sebelum Komposit

- **Beban Mati (DL)**

Berat Sendiri	$= 0,08 \times 2400$	$= 192 \text{ Kg/m}^2$
Berat Topping	$= 0,06 \times 2400 \times 1,5$	$= 216 \text{ Kg/m}^2$
	DL	$= 408 \text{ Kg/m}^2$
- **Beban Hidup (LL)**

Beban Pekerja (2 orang)	$LL = 200 \text{ Kg/m}^2$
Maka beban ultimate (qu) = $1,2DL + 1,6LL$	
	$= 489,6 + 320 = 809,6 \text{ Kg/m}^2$
- Beban untuk 1 meter pias lebar pelat
 $= 809,6 \text{ Kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 809,6 \text{ Kg/m}$

Setelah Komposit

- **Beban Mati (DL)**

Berat sendiri	$= 0,14 \times 2400$	$= 336 \text{ Kg/m}^2$
Plafond	$= 0,01 \times 503$	$= 5,03 \text{ Kg/m}^2$
Penggantung		$= 8 \text{ Kg/m}^2$
Keramik	$= 0,01 \times 1650$	$= 16,5 \text{ Kg/m}^2$
Spesi	$= 0,02 \times 2100$	$= 42 \text{ Kg/m}^2$
Mekanikal Elektrical		$= 40 \text{ Kg/m}^2$
Plumbing		$= 25 \text{ Kg/m}^2$
	DL	$= 473 \text{ Kg/m}^2$

- **Beban Hidup (LL)**
 $Lo = 479 \text{ Kg/m}^2$

Mengacu pada SNI 1727:2013 Pasal 4.7.2, komponen struktur yang memiliki K_{LLA_T} adalah $37,16 \text{ m}^2$ atau lebih diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi dengan rumus berikut:

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

KLL = 1 pelat satu arah

ATT = luas tributary = $7,2 \times 7,2 \text{ m}^2$

KLL AT = $1 \times 7,2 \times 7,2 = 51,84 \text{ m}^2 (> 37,16 \text{ m}^2)$

$$L = Lo \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{51,84}} \right)$$

$L \geq 0,50 Lo$

$L \geq 0,50 (423,8)$

$L \geq 211,9 \text{ kg/m}^2$

$L = 423,8 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Beban total} &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 567 + 678,1 \\ &= 1245,13 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban untuk 1 meter pias lebar pelat = $1245,13 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m}$

$$qu = 1245,13 \text{ kg/m}$$

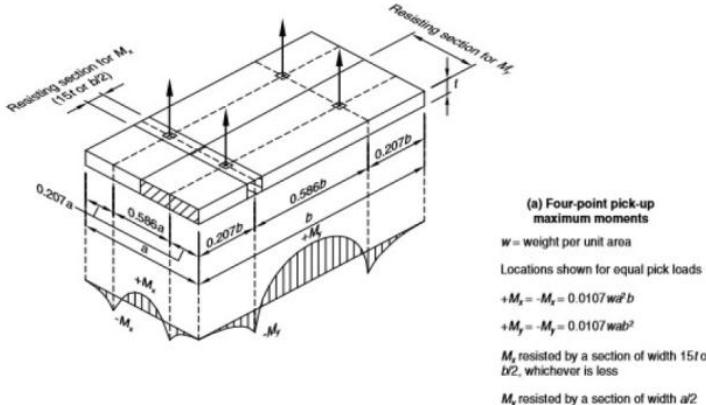
6.1.3. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Perhitungan pelat terdiri dari berbagai tipe yaitu tipe pelat A,B, dan C. Selanjutnya akan ditampilkan mengenai contoh perhitungan penulangan pada pelat tipe A dengan dimensi total adalah $7,2 \times 3,6 \text{ m}$ (As balok – As balok) dengan penggerjaan pelat pracetak dengan dimensi per pelat adalah $3,325 \times 1,35 \text{ m}$. Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam tiga tahap, penulangan saat pengangkatan, sebelum komposit dan saat komposit. Kondisi **saat pengangkatan** merupakan kondisi *half slab* saat diangkat menggunakan *tower crane*. Kondisi **sebelum komposit** merupakan kondisi saat *half slab* sudah menumpu pada balok dan akan dilakukan pengecoran topping. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan proses pelaksanaan.

6.1.5.1. Kondisi Saat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (*erection*).

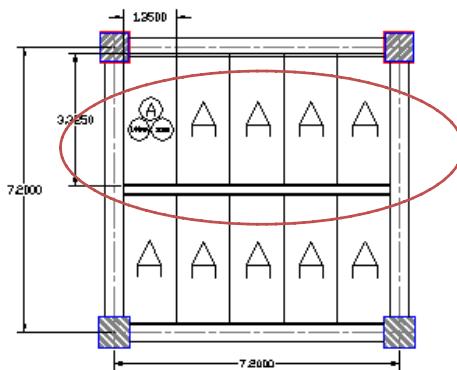
Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan referensi *PCI Design Handbook* seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



Gambar 6. 1 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

Berikut ini merupakan contoh penulangan pada pelat lantai tipe A seperti pada Gambar 6. 2, antara lain :



Gambar 6. 2 Denah Pelat Tipe A

Momen yang Terjadi

Momen Arah X:

$$M_x = 0,0107 \text{ qu } a^2 b$$

$$M_x = 0,0107 \times 403,2 \times 3,3^2 \times 1,35$$

$$M_x = 64,39 \text{ kgm} = 643,904 \text{ Nmm}$$

Momen Arah Y:

$$M_y = 0,0107 \text{ qu } a b^2$$

$$M_y = 0,0107 \times 403,2 \times 3,3 \times 1,35^2$$

$$M_y = 26,14 \text{ kgm} = 261,435 \text{ Nmm}$$

Data Perencanaan untuk penulangan pelat tipe A:

- Mutu tulangan baja(f_y) : 400 Mpa
- Mutu beton (f'_c) : 35 Mpa
- Dimensi pelat : 720 x 360 cm
- Dimensi pelat pracetak : 332,5 x 135cm
- Tebal plat practak : 80 mm (sebelum komposit)
- Tebal overtopping : 60 mm
- Diameter tulangan rencana : 10 mm
- Tebal decking : 20 mm

➤ Penulangan arah X (tulangan utama)



Gambar 6. 3 Sketsa Penulangan Pelat Arah X

$$dx = h - 20 - \frac{1}{2} (10) = 80 - 20 - 5 = 55$$

Perencanaan awal, ϕ diasumsikan = 0,9

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{35-28}{7} = 0,8 > 0,65$$

$$R_n = \frac{\mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{643904,3646}{0,9 \times 1000 \times 55^2} = 0,24$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{Fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,24}{400}} \right) = 0,00059 \\
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{Fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035
 \end{aligned}$$

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syarat bahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1 \\
 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 \times f'c \times \beta_1}{\rho \times f_y} - 1 \\
 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{\rho \times 400} - 1 \\
 \rho_{\max} &= 0,0255
 \end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0037 > 0,00059 < 0,0255$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan ρ_{pakai} .

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0037 \\
 A_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0037 \times 1000 \times 55 = 203,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 \times ASD10}{AS_{\text{perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{203,37} = 386,2 \text{ mm}$$

Syarat :

$S \leq 3(h)$ atau 450 mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)

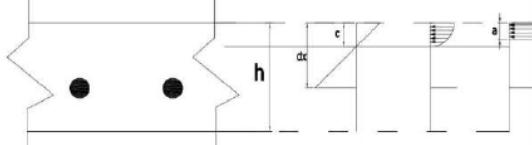
$S \leq 3(80) = 240$ atau 450 mm

Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 200 \text{ mm}^2$

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$AS_{\text{pakai}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{200} = 392,7 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Faktor Reduksi :
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 6. 4 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{392,7 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,28 \text{ mm}$$
- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,28}{0,8} = 6,6 \text{ mm}$$
- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{55}{6,6} - 1 \right) 0,003 = 0,022$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 392,7 \times 400 \times \left(55 - \frac{1}{2} \times 5,28 \right)$$

$$= 7402221,48 \text{ Nmm} = 7,402 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 7,402 \text{ kNm} > Mu = 0,644 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$
- Kotrol Terhadap Persyaratan Geser :
Kontrol persyaratan geser ditinjau berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.1 Vu pada jarak d dari tumpuan adalah sebesar :

$$Vu = qu \left(\frac{lx}{2} - \frac{dx}{1000} \right)$$

$$= 403,2 \left(\frac{3,33}{2} - \frac{55}{1000} \right)$$

$$= 648,1 \text{ kg} = 6,48 \text{ KN}$$

$$\emptyset Vc = \emptyset (0,17 \lambda \sqrt{fc} \cdot b \cdot dx)$$

$$\emptyset V_c = 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{35} \times 1000 \times 55)$$

$$\emptyset V_c = 41486,5 \text{ N} = 41,49 \text{ KN}$$

Syarat : $\frac{1}{2} \emptyset V_c \geq V_u$

$$20,743 \geq 6,481 \text{ (Memenuhi)}$$

Dengan demikian kekuatan geser pelat mencukupi.

- Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847:2013 pasal 10.5.1

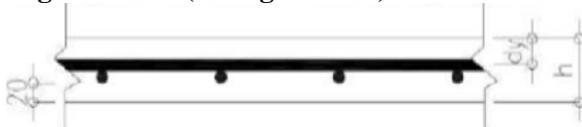
$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} 1000 \times 55 = 203,37 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \times 1000 \times 55 = 192,5 \text{ mm}^2$$

As pakai = $235,62 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min}$ (**Memenuhi**)

Sehingga digunakan tulangan **D10 - 200 mm**.

➤ Penulangan arah Y (tulangan susut)



Gambar 6.5 Sketsa Penulangan Pelat Arah Y

$$\begin{aligned} dy &= h - 20 - 10 - \frac{1}{2} (10) \\ &= 80 - 20 - 10 - 5 = 45 \end{aligned}$$

Perencanaan awal, ϕ diasumsikan = 0,9

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{35-28}{7} = 0,8 > 0,65$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{261434,85}{0,9 \times 1000 \times 55^2} = 0,14$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} P_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,14}{400}} \right) = 0,00036 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syarat bahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 \times f'c \times \beta_1}{\rho \times f_y} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{\rho \times 400} - 1$$

$$\rho_{\max} = 0,0255$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0037 > 0,00036 < 0,0255$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan ρ_{pakai} .

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$$

$$A_{\text{perlu}} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,0037 \times 1000 \times 45 = 166,39 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 \times ASD10}{A_{\text{perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{166,39} = 472,03 \text{ mm}$$

Syarat :

$S \leq 5(h)$ atau 450 mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)

$S \leq 5(80) = 400$ atau 450 mm

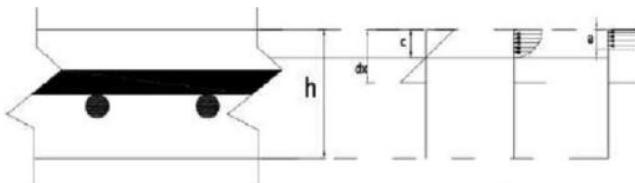
Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 300 \text{ mm}^2$

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$AS_{\text{pakai}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{300} = 261,8 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Faktor Reduksi :

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 6. 6 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{261,8 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 3,52 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,52}{0,8} = 4,4 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{45}{6,6} - 1 \right) 0,003 = 0,028$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset M_n = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_n &= 0,9 \times 261,8 \times 400 \times \left(45 - \frac{1}{2} \times 3,52 \right) \\ &= 4075274,38 \text{ Nmm} = 4,075 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\emptyset M_n = 4,075 \text{ KNm} > M_u = 0,261 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

- Kotrol Terhadap Persyaratan Geser :

Kontrol persyaratan geser ditinjau berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1 Vu pada jarak d dari tumpuan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} Vu &= qu \left(\frac{ly}{2} - \frac{dy}{1000} \right) \\ &= 403,2 \left(\frac{1,35}{2} - \frac{45}{1000} \right) \\ &= 254 \text{ kg} = 2,54 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\emptyset V_c = \emptyset (0,17 \lambda \sqrt{fc} \cdot b \cdot dx)$$

$$\emptyset V_c = 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{35} \times 1000 \times 45)$$

$$\emptyset V_c = 33943,5 \text{ N} = 33,94 \text{ KN}$$

Syarat : $\frac{1}{2} \bar{\sigma} Vc \geq Vu$
 $16,972 \geq 2,54$ (Memenuhi)

Dengan demikian kekuatan geser pelat mencukupi.

- Kontrol Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013.
Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 3 hari:

$$F'_c = 0,46 \times f_c = 0,46 \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{16,1} = 2,488 \text{ Mpa}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 80^3 = 42666666,67 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{fr \times I}{c} = \frac{2,488 \times 42666666,67}{4,4} = 24.123.575,72 \text{ Nmm}$$

Momen layan yang bekerja adalah :

$$M_x = M_y = 0,0107 qDL.a^2.b$$

$$= 0,0107 \times 288 \times 3,325^2 \times 1,35$$

$$= 45,9932 \text{ kgm} = 459.931,689 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = 24.123.575,72 \text{ Nmm} \geq M_x = 459.931,689 \text{ Nmm} \textbf{ OK}$$

$$M_{cr} = 24.123.575,72 \text{ Nmm} \geq M_y = 459.931,689 \text{ Nmm} \textbf{ OK}$$

- Kontrol Tegangan akibat Pengangkatan :

Kontrol ini mengacu pada metode pengangkatan pelat yang dikeluarkan oleh PCI edisi ke-7 atau pada Gambar 5.2. Diasumsikan pelat pracetak diangkat setelah berumur 3 hari. Tegangan ditahan oleh b yang merupakan nilai terkecil dari $a/2$, $b/2$, atau $15t$.

$$b/2 = 1,35/2 = 0,675$$

$$a/2 = 3,33/2 = 1,6625$$

$$15t = 15 \times 0,08 = 1,2 \text{ m}$$

Dipakai $b = 0,675 \text{ m} = 675 \text{ mm}$

$$S = 1/6.b.h^2 = 1/6 \times 675 \times 80^2 = 720.000 \text{ mm}^3$$

$$P = \frac{a \times b \times tp \times \gamma_{beton}}{n} = \frac{3,3 \times 1,35 \times 0,08 \times 2400}{4}$$

$$P = 215,46 \text{ kg} = 2155 \text{ N}$$

$$\theta_1 = 45^\circ$$

$$P_1 = P \sin \theta_1 = 2154,6 \sin 45^\circ = 1523,53 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mx \cdot c}{I} + \frac{P1}{b \cdot x \cdot t}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{459931,689 \times 4,4}{42666666,67} + \frac{1523,53}{675 \times 80} = 0,076$$

Syarat $\sigma_{\max} \leq Fr$

$$= 0,076 \text{ Mpa} \leq 2,488 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi)}$$

- Dimensi Angkur Pengangkatan

Setiap angkur (*hook*) menerima beban sebesar P, yaitu 768 kg. Maka, dibutuhkan diameter angkur sebesar:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P1}{\pi \cdot fy}} = \sqrt{\frac{4 \times 185,2}{\pi \times 400}} = 0,7$$

Digunakan 4 buah angkur dengan diameter 10 mm.

- Kontrol Lendutan

Momen Akibat Beban Mati:

$$M_{DL} = 45,99 \text{ kgm}$$

- Momen tak terfaktor maksimum yang terjadi pada elemen struktur pada saat lendutan dihitung:

$$Ma = M_{DL} = 45,99 \text{ kgm} = 459931,689 \text{ Nmm}$$

- Momen inersia bruto terhadap sumbu berat penampang tanpa memperhitungkan tulangan baja:

$$Ig = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 80^3 = 42.666.666,67 \text{ mm}^4$$

- Momen batas retak:

$$I = (0,1 + 25\rho) \left(1,2 - 0,2 \frac{bw}{d} \right) Ig = 10673936$$

$$M_{cr} = \frac{fr \times I}{c} = \frac{2,488 \times 10673936}{4,4} = 6035003,88 \text{ Nmm}$$

- Momen inersia retak penampang, dengan tulangan baja yang ditransformasikan ke penampang beton. Dicari nilai x terlebih dahulu.

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{18858,7} = 10,605$$

$$\frac{b \cdot x^2}{2} - n \cdot x \cdot As \cdot (dx - x) = 0$$

$$\frac{1000 \cdot x^2}{2} - 10,61 \cdot x \cdot 78,54 \cdot (45 - x) = 0$$

$$500x^2 + 832,93x - 45811,21 = 0$$

Maka nilai x adalah $x_1 = 8,78$

$$x_2 = -10,43$$

dipakai $x = 8,78$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot x^2}{2} + n \cdot x \cdot A_s (dx - x)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1000 \cdot x \cdot 8,78^3}{2} + 10,605 \cdot x \cdot 78,54 \cdot (55 - 8,78)^2$$

$$I_{cr} = 2004993,11 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Efektif

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$\left(\frac{6035003,88}{459931,689} \right)^3 42.666.666,7 + \left[1 - \left(\frac{6035003,88}{459931,689} \right)^3 \right] 2004993,11 \\ = 91.864.430.887,31 \text{ mm}^4$$

Syarat : Nilai $I_e \leq I_g$

$$91.864.430.887,31 \leq 42.666.666,67 \text{ mm}^4 \text{ NOT OK}$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{16,1} = 18858,66 \text{ Mpa}$$

$$(\Delta i)DL = \frac{5ql^4}{384 \cdot E_c \cdot I_e} = \frac{5 \times 2,88 \times 3325^4}{384 \times 18858,67 \times 42.666.666,67} \\ = 5,7 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 batas lendutan untuk pelat lantai adalah 1/240

$$\frac{l}{240} = \frac{3325}{240} = 13,85 \text{ mm}$$

Check syarat : $(\Delta i)DL \leq 1/240$

$$5,7 \text{ mm} \leq 13,85 \text{ mm OK}$$

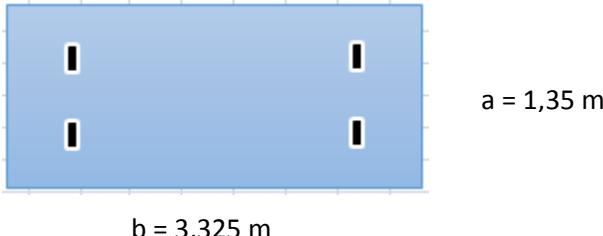
- Kontrol Saat Pengangkatan

Pengangkatan pelat pracetak dilakukan dengan 4 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$F_{ci} (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{Fci} = 0,7 \times \sqrt{16,1} = 2,8 \text{ MPa} = 28 \text{ Kg/cm}^2$$

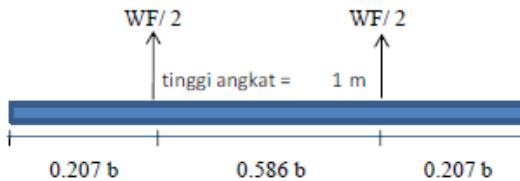
Pada saat pengangkatan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat = 1,2 (0,08 x 2400) = 230,4 Kg/m²



Tegangan arah X (memanjang)

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times Q \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 230,4 \times 3,325^2 \times 1,35 = 36,8 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



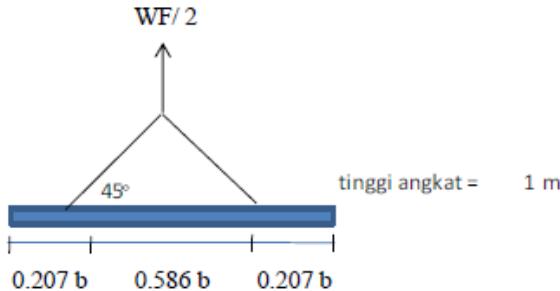
Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} M_x \text{ total} &= 1,5 (M_x) \\ &= 1,5 (36,8) \\ &= 55,19 \text{ kgm} = 5519,2 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

Tegangan arah Y (melintang)

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times Q \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 230,4 \times 3,325 \times 1,35^2 = 14,94 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

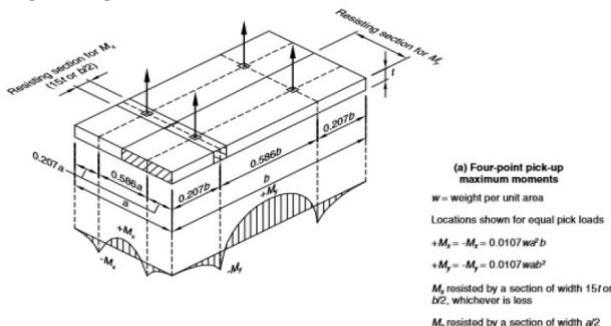
Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} M_y \text{ total} &= 1,5 (M_y) \\ &= 1,5 (14,94) \\ &= 22,4 \text{ kgm} = 2240,9 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

- Menghitung momen tahanan



Sumber : PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete,

- M_x ditahan oleh penampang selebar $b/2$

$$Wx = \frac{1}{6} \times \frac{b}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{3,325}{2} \times 8^2 = 1773,3 \text{ cm}^3$$

- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2$

$$Wy = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{1,35}{2} \times 8^2 = 720 \text{ cm}^3$$

- $\sigma_x = \frac{Mx \cdot \text{total}}{Wx} = \frac{5519,2}{1773,3} = 3,11 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 28 \text{ kg/cm}^2$

(Memenuhi)

$$- \sigma_y = \frac{My.total}{Wy} = \frac{11013}{1786,67} = 3,11 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(Memenuhi)

- Kontrol Saat Penumpukan

Penumpukan dengan menggunakan 2 tumpuan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$Fci (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{Fci} = 0,7 \times \sqrt{16,1} = 2,8 \text{ Mpa} = 28 \text{ Kg/cm}^2$$

Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban:

$$\text{berat sendiri pelat} = 1,2 (0,08 \times 2400) = 230,4 \text{ Kg/m}^2$$

$$Pu = 1,6 \times \text{Beban pekerja} = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m}^2$$



$$b = 3,325 \text{ m}$$

Tegangan arah X (melintang)

$$\begin{aligned} Mx &= \left[\frac{1}{8} \times qu \times L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} \times P \times L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} \times 230,4 \times 1,35^2 \right] + \left[\frac{1}{4} \times 320 \times 1,35 \right] = 160,5 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



Faktor kejut = 1,5

$$Mx \text{ total} = 1,5 (Mx)$$

$$= 1,5 (160,5)$$

$$= 240,73 \text{ kgm} = 24073 \text{ Kgcm}$$

Tegangan arah Y (memanjang)

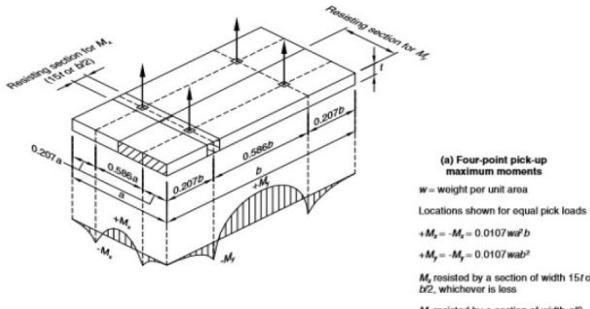
$$\begin{aligned} M_y &= \left[\frac{1}{8} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x 230,4 x 3,32^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x 320 x 3,32 \right] = 584,4 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} M_y \text{ total} &= 1,5 (M_x) \\ &= 1,5 (584,4) \\ &= 876,6 \text{ kgm} = 87660 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

- Menghitung momen tahanan



Sumber : PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete,

- M_x ditahan oleh penampang selebar $b/2$

$$Wx = \frac{1}{6} x \frac{b}{2} x t^2 = \frac{1}{6} x \frac{1,35}{2} x 8^2 = 720 \text{ cm}^3$$

- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2$

$$Wy = \frac{1}{6} x \frac{a}{2} x t^2 = \frac{1}{6} x \frac{3,325}{2} x 8^2 = 1773,3 \text{ cm}^3$$

- $\sigma_x = \frac{Mx \text{ total}}{Wx} = \frac{24073}{720} = 33,44 \text{ kg/cm}^2 < \text{fr} = 28 \text{ kg/cm}^2$

(Not ok)

- $\sigma_y = \frac{My \text{ total}}{Wy} = \frac{87660}{1773,3} = 49,43 \text{ kg/cm}^2 < \text{fr} = 28 \text{ kg/cm}^2$

(Not ok)

Dikarenakan tegangan beton yang terjadi melebihi modulus kehancuran beton, maka ditambah 1

Tegangan arah X (melintang)

$$\begin{aligned} Mx &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x 230,4 x 1,35^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x 320 x 1,35 \right] \\ &= 67,12 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} Mx \text{ total} &= 1,5 (Mx) \\ &= 1,5 (67,12) \\ &= 100,68 \text{ kgm} = 10068 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

Tegangan arah Y (memanjang)

$$\begin{aligned} My &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x 230,4 x 1,35^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x 320 x 1,35 \right] \\ &= 212,6 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} My \text{ total} &= 1,5 (My) \\ &= 1,5 (212,6) \\ &= 318,9 \text{ kgm} = 31890 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

- Tegangan yang terjadi

$$\begin{aligned} - \sigma_x &= \frac{Mx \text{ total}}{Wx} = \frac{10068}{720} = 13,98 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \sigma_y &= \frac{My \text{ total}}{Wy} = \frac{31890}{1773,3} = 17,98 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

6.1.5.2. Perhitungan Penulangan Sebelum Komposit

Penulangan Pelat A sebelum komposit diasumsikan sebagai pelat dengan perletakan bebas di atas dua tumpuan. Padapelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X

(arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

➤ **Penulangan arah X (tulangan utama)**

- **Data Perencanaan penulangan pelat tipe A:**

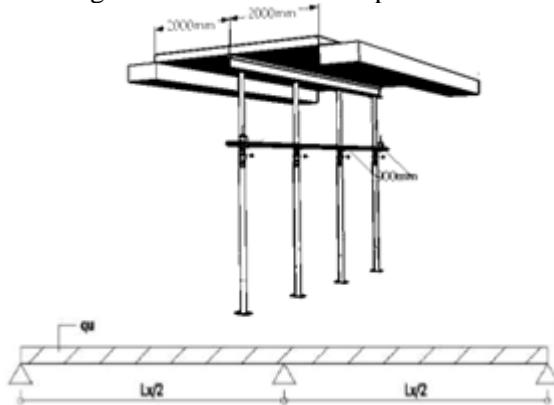
- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| Mutu tulangan baja (f_y) | : 400 Mpa |
| Mutu beton (f'_c) | : 35 Mpa |
| Dimensi pelat pracetak | : 332,5 x 135cm |
| Tebal plat practak | : 80 mm (sebelum komposit) |
| Tebal overtopping | : 60 mm |
| Diameter tulangan rencana | : 10 mm |
| Diameter tulangan susut | : 10 mm |
| Tebal decking | : 20 mm |



Gambar 6. 7 Sketsa Penulangan Pelat Arah X

$$dx = h - 20 - \frac{1}{2} (10) = 80 - 20 - 5 = 55$$

- Penulangan Pelat Sebelum Komposit



Gambar 6. 8 Perletakan Pembebanan

$$\begin{aligned} Mu &= \left(\frac{1}{10} q D l \left(\frac{l}{2} \right)^2 \right) + \left(\frac{1}{4} P u \left(\frac{l}{2} \right) \right) \\ &= 1028,063 \text{ kgm} = 10280634 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perencanaan awal, ϕ diasumsikan = 0,9

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{35-28}{7} = 0,8 > 0,65$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{10280634}{0,9 \times 1000 \times 55^2} = 3,78 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} p_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 3,78}{400}} \right) = 0,01013 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

$$\rho_{\max} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syarat bahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{\rho \times f_y} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{\rho \times 400} - 1$$

$$\rho_{\max} = 0,0255$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0037 > 0,01013 < 0,0255$ **(Memenuhi)**

Maka digunakan ρ_{pakai} .

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,01013$$

$$A_{\text{perlu}} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,01013 \times 1000 \times 55 = 557,169 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 \times ASD10}{AS_{\text{perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{557,169} = 140,96 \text{ mm}$$

Syarat :

$S \leq 3(h)$ atau 450 mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)

$S \leq 3(80) = 240$ atau 450 mm

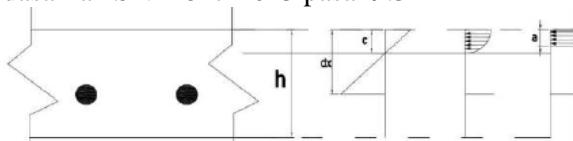
Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 125 \text{ mm}^2$

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$AS_{\text{pakai}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{125} = 628,3 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Faktor Reduksi :

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 6. 9 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{628,3 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 8,448 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,448}{0,8} = 10,56 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{55}{10,56} - 1 \right) 0,003 = 0,013$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

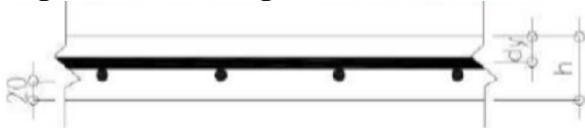
$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\begin{aligned} \emptyset Mn &= 0,9 \times 628,3 \times 400 \times \left(55 - \frac{1}{2} \times 8,448 \right) \\ &= 11.485.262,85 \text{ Nmm} = 11,49 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\emptyset Mn = 11,49 \text{ kNm} > Mu = 10,28 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Jadi dipakai tulangan utama **D10 – 125 mm**

➤ **Penulangan arah Y (tulangan susut)**



Gambar 6. 10 Sketsa Penulangan Pelat Arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{min} = 0,0018$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\text{Asperlu} = \rho \times b \times h = 0,0018 \times 1000 \times 80 = 144 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,

$$S = \frac{1000 \times AsD10}{Asperlu} = \frac{1000 \times 78,54}{144} = 545,42 \text{ mm}$$

$S_{maks} \leq 5 \times$ tebal pelat, maka:

$$\leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 300 \text{ mm}^2$

$$\text{Aspakai} = \frac{1000 \times AsD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{300} = 261,8 \text{ mm}^2$$

Syarat : Asperlu \leq Aspakai

$$144 \text{ mm}^2 \leq 261,8 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut **D10 – 300 mm**.

- Momen tumpuan yang berada diatas perancah :

$$\begin{aligned} M_{\text{tump}} &= \frac{1}{8} qu \left(\frac{Lx}{2} \right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 809,6 \times \left(\frac{3,3}{2} \right)^2 = 280 \text{ kgm} = 2797073 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{55}{10,56} - 1 \right) 0,003 = 0,013$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset M_n = \emptyset \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\emptyset M_n = 0,9 \times 628,3 \times 400 \times \left(55 - \frac{1}{2} \times 8,448 \right)$$

$$= 11.485.262,85 \text{ Nmm} = 11,49 \text{ KNm}$$

$$\emptyset M_n = 11,49 \text{ KNm} > M_u = 2,797 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

- Kontrol Terhadap Persyaratan Geser :

Kontrol persyaratan geser ditinjau berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1 Vu pada jarak d dari tumpuan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} V_u &= qu \left(\frac{l_x/2}{2} - \frac{dx}{1000} \right) \\ &= 809,6 \left(\frac{3,33/2}{2} - \frac{55}{1000} \right) \times 10^{-2} \\ &= 6,28 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\emptyset V_c = \emptyset (0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot dx)$$

$$\emptyset V_c = 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{35} \times 1000 \times 55)$$

$$\emptyset V_c = 41,49 \text{ KN}$$

$$\text{Syarat : } \frac{1}{2} \emptyset V_c \geq V_u$$

$$20,74 \geq 6,285 \text{ (Memenuhi)}$$

Dengan demikian kekuatan geser pelat mencukupi.

- Kontrol Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013. Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 3 hari:

$$F'_c = 0,46 \times f_c = 0,46 \times 35 = 16,1 \text{ MPa}$$

$$F_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{16,1} = 2,488 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 80^3 = 42666666,67 \text{ mm}^4$$

Momen layan yang bekerja adalah :

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{10} qDL \left(\frac{Lx}{2}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{10} x (408 + 200) x \left(\frac{3,325}{2}\right)^2 \\
 &= 160 \text{ kgm} = 1680455 \text{ Nmm} \\
 \sigma &= \frac{Mx \cdot c}{I} \leq Fr \\
 \sigma &= \frac{1680455 x 10,56}{42666666,67} = 0,416 \leq 2,488 \text{ Mpa} \text{ (Memenuhi)} \\
 Mcr &= \frac{fr \times I}{c} = \frac{2,488 x 42666666,67}{10,56} = 10.051.489,88 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat $= Mcr \geq Fr$
 $= 10.051.489,88 \geq 1.680.455 \text{ Mpa}$ (Memenuhi)

- Kontrol Lendutan

Momen tak terfaktor maksimum yang terjadi pada elemen struktur pada saat lendutan dihitung :

$$\begin{aligned}
 Ma &= \frac{1}{10} qDL \left(\frac{Lx}{2}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{10} x (408) x \left(\frac{3,325}{2}\right)^2 \\
 &= 112,8 \text{ kgm} = 1.127.674 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Momen inersia bruto terhadap sumbu berat penampang tanpa memperhitungkan tulangan baja:

$$Ig = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} x 1000 x 80^3 = 42.666.666,67 \text{ mm}^4$$

- Momen batas retak:

$$I = (0,1 + 25\rho) \left(1,2 - 0,2 \frac{bw}{d}\right) Ig = 20.004.299 \text{ mm}^4$$

$$Mcr = \frac{fr \times I}{c} = \frac{2,488 x 20.004.299}{10,56} = 5025744,94 \text{ Nmm}$$

- Momen inersia retak penampang, dengan tulangan baja yang ditransformasikan ke penampang beton. Dicari nilai x terlebih dahulu.

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{18858,7} = 10,605$$

$$\frac{b \cdot x^2}{2} - n \cdot x \cdot As \cdot (dx - x) = 0$$

$$\frac{1000 \cdot x^2}{2} - 10,61 \cdot x \cdot 78,54 \cdot (55 - x) = 0$$

$$500x^2 + 832,93x - 45811,21 = 0$$

Maka nilai x adalah $x_1 = 8,77$

$$x_2 = -10,43$$

dipakai $x = 8,77$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot x^2}{2} + n \cdot x \cdot As \cdot (dx - x)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1000 \cdot x \cdot 8,77^3}{2} + 10,61 \cdot x \cdot 78,54 \cdot (55 - 8,77)^2$$

$$I_{cr} = 2004993,15 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Efektif

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$\left(\frac{5025744,94}{1.127.674} \right)^3 42.666.666,7 + \left[1 - \left(\frac{5025744,94}{1.127.674} \right)^3 \right] 2004993,15 \\ = 3.601.455.185,13 \text{ mm}^4$$

Syarat : Nilai $I_e \leq I_g$

$$= 3.601.455.185,13 \leq 42.666.666,67 \text{ mm}^4 \quad \text{NOT OK}$$

$$E_c = 4700 \cdot x \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{16,1} = 18858,66 \text{ Mpa}$$

$$(\Delta i)DL = \frac{5ql^4}{384 \cdot E_c \cdot I_e} = \frac{5 \cdot x \cdot 6,08 \cdot x 3325^4}{384 \cdot x 18858,7 \cdot x 42.666.666,67} \\ = 12 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 batas lendutan untuk pelat lantai adalah 1/240

$$\frac{l}{240} = \frac{3325}{240} = 13,85 \text{ mm}$$

Check syarat : $(\Delta i)DL \leq 1/240$

$$12 \text{ mm} \leq 13,85 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

- Momen tumpuan berada diatas perancah

$$M_{tump} = \frac{1}{8} qu \left(\frac{L}{2} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8} x (809,6) x \left(\frac{3,325}{2} \right)^2 \\
 &= 1118,83 \text{ kgm} = 11.188.292,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perencanaan awal, ϕ diasumsikan = 0,9

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05x \frac{35-28}{7} &= 0,8 > 0,65 \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi x b x dx^2} = \frac{11.188.292,5}{0,9 x 1000 x 55^2} &= 4,11 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{F_y}{0,85 x F_c} = \frac{400}{0,85 x 35} &= 13,45 \\
 P_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 13,45 x 4,11}{400}} \right) = 0,0111 \\
 \rho_{min} &= \frac{0,25 x \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 x \sqrt{35}}{400} &= 0,0037 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} &= 0,0035
 \end{aligned}$$

maka dipakai ρ_{min} yaitu 0,0037

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syaratbahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= 0,003 x \frac{dx}{c} - 1 \\
 0,004 &= 0,003 x \frac{0,85 x f'_c x \beta_1}{\rho x f_y} - 1 \\
 0,004 &= 0,003 x \frac{0,85 x 35 x 0,8}{\rho x 400} - 1
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,0255$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$$0,0037 > 0,0111 < 0,0255 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,0111$

$$\begin{aligned}
 P_{perlu} &= \rho_{pakai} x b x d \\
 &= 0,0111 x 1000 x 55 = 610,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 \times ASD10}{AS_{\text{perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{610,64} = 128,62 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S \leq 3(h) \text{ atau } 450 \text{ mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)}$$

$$S \leq 3(80) = 240 \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

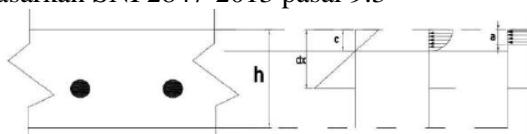
Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 125 \text{ mm}^2$

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$AS_{\text{pakai}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{125} = 628,3 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Faktor Reduksi :

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 4.25 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{628,3 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 8,448 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,448}{0,8} = 10,56 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{55}{10,56} - 1 \right) 0,003 = 0,013$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 628,3 \times 400 \times \left(55 - \frac{1}{2} \times 8,448 \right) \\ = 11.485.262,85 \text{ Nmm} = 11,49 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 11,49 \text{ kNm} > Mu = 11,19 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

Jadi dipakai tulangan utama **D10 – 125 mm**

- Kontrol Saat Pemasangan

Pemasangan dengan menggunakan 2 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$F_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,65 \times 35 = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{F_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{22,75} = 3,3 \text{ Mpa} = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban:

$$\text{berat sendiri pelat} = 1,2 (0,08 \times 2400) = 230,4 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times \text{Beban pekerja} = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m}^2$$

Tegangan arah X (melintang)

$$\begin{aligned} M_x &= \left[\frac{1}{8} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x 230,4 x 1,35^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x 320 x 1,35 \right] = 160,5 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



Faktor kejut = 1,5

$$M_x \text{ total} = 1,5 (M_x)$$

$$= 1,5 (160,5)$$

$$= 240,73 \text{ kgm} = 24073 \text{ Kgcm}$$

Tegangan arah Y (memanjang)

$$\begin{aligned} M_y &= \left[\frac{1}{8} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x 230,4 x 3,325^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x 320 x 3,325 \right] \\ &= 584,4 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

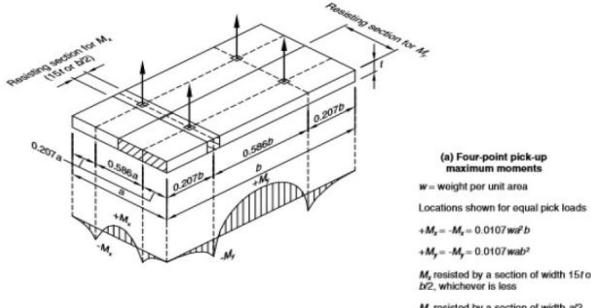
Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$M_y \text{ total} = 1,5 (M_y)$$

$$= 1,5 (584,4) \\ = 876,6 \text{ kgm} = 87660 \text{ Kgcm}$$

- Menghitung momen tahanan



Sumber : PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete,

- M_x ditahan oleh penampang selebar $b/2$
 $W_x = \frac{1}{6} \times \frac{b}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{1,35}{2} \times 8^2 = 720 \text{ cm}^3$
- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2$
 $W_y = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{3,325}{2} \times 8^2 = 1773,3 \text{ cm}^3$
- $\sigma_x = \frac{M_{x.total}}{W_x} = \frac{24073}{720} = 33,44 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 33 \text{ kg/cm}^2$
(Not ok)
- $\sigma_y = \frac{M_{y.total}}{W_y} = \frac{87660}{1773,3} = 49,43 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 33 \text{ kg/cm}^2$
(Not ok)

Dikarenakan tegangan beton yang terjadi melebihi modulus kehancuran beton, maka ditambah 1



Tegangan arah X (melintang)

$$M_x = \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x P x L \right]$$

$$= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x 230,4 x 1,35^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x 320 x 1,35 \right] \\ = 67,12 \text{ Kgm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} Mx \text{ total} &= 1,5 (\text{Mx}) \\ &= 1,5 (67,12) \\ &= 100,68 \text{ kgm} = 10068 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

Tegangan arah Y (memanjang)

$$\begin{aligned} My &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x 230,4 x 3,325^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x 320 x 3,325 \right] \\ &= 212,6 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} My \text{ total} &= 1,5 (\text{My}) \\ &= 1,5 (212,6) \\ &= 318,9 \text{ kgm} = 31890 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

- Tegangan yang terjadi

$$\begin{aligned} - \sigma_x &= \frac{Mx.\text{total}}{Wx} = \frac{10068}{720} = 13,98 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad (\text{Memenuhi}) \\ - \sigma_y &= \frac{My.\text{total}}{Wy} = \frac{31890}{1773,3} = 17,98 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

6.1.5.3. Penulangan Kondisi Setelah Komposit

Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3 didapat persamaan momen untuk asumsi perlakuan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit di kedua sisinya:

$$Ly = 685 \text{ cm} \text{ dan } Lx = 335 \text{ cm}$$

$$\frac{Ly}{Lx} = \frac{685}{335} = 2,03 > 2 \quad (\text{Pelat satu arah})$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur

Data Perencanaan untuk penulangan pelat tipe A:

- Mutu tulangan baja(f_y) : 400 Mpa
- Mutu beton (f'_c) : 35 Mpa
- Dimensi pelat pracetak : 332,5 x 135cm
- Tebal pelat : 140 mm (setelah komposit)
- Diameter tulangan rencana : 10 mm
- Diameter tulangan susut : 10 mm
- Tebal decking : 20 mm

➤ Penulangan arah X (tulangan utama)



Gambar 6. 11 Sketsa Penulangan Pelat Arah X

$$dx = h - 20 - \frac{1}{2}(10) = 140 - 20 - 5 = 115$$

$$Mu = \left(\frac{1}{8} \cdot qu \cdot (lx)^2\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8} \cdot 1245,1 \cdot (3,325)^2\right)$$

$$= 1720,7 \text{ kgm} = 17.207.168,73 \text{ Nmm}$$

Perencanaan awal, ϕ diasumsikan = 0,9

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05x \frac{35-28}{7} = 0,8 > 0,65$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{17.207.168,73}{0,9 \times 1000 \times 115^2} = 1,45 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$P_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) = \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,45}{400}} \right) = 0,01013$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syarat bahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1 \\ 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 \times f'c \times \beta_1}{\rho \times f_y} - 1 \\ 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{\rho \times 400} - 1 \\ \rho_{\max} &= 0,0255\end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0037 > 0,003707 < 0,0255 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,003707$

$$\begin{aligned}\text{Asperlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,003707 \times 1000 \times 115 = 426,25 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan
Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 \times ASD10}{AS_{\text{perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{426,25} = 184,26 \text{ mm}$$

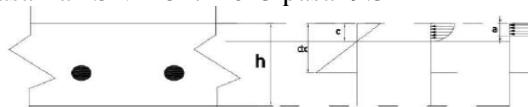
Syarat :

$$S \leq 3(h) \text{ atau } 450 \text{ mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)}$$

$$S \leq 3(80) = 240 \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}^2$

- Kontrol kebutuhan tulangan
 $AS_{\text{pakai}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{150} = 523,6 \text{ mm}^2$
- Kontrol Faktor Reduksi :
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 6. 12 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{523,6 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 7,04 \text{ mm}$$
- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,04}{0,8} = 8,8 \text{ mm}$$
- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{115}{8,8} - 1 \right) 0,003 = 0,036$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

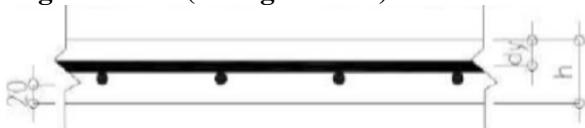
$$\emptyset Mn = 0,9 \times 523,6 \times 400 \times \left(115 - \frac{1}{2} \times 7,04 \right)$$

$$= 21.013.486,49 \text{ Nmm} = 21,01 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 21,01 \text{ KNm} > Mu = 17,21 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

Jadi dipakai tulangan utama D10 – 150 mm

➤ **Penulangan arah Y (tulangan susut)**



Gambar 6. 13 Sketsa Penulangan Pelat Arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{min} = 0,0018$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$As_{perlu} = \rho \times b \times h = 0,0018 \times 1000 \times 140 = 252 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,

$$S = \frac{1000 \times As_{D10}}{As_{\square}} = \frac{1000 \times 78,54}{252} = 311,67 \text{ mm}$$

$S_{maks} \leq 5 \times$ tebal pelat, maka:

$$\leq 5 \times 140 = 700 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 300 \text{ mm}^2$

$$\text{Aspakai} = \frac{1000 \times AsD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{300} = 261,8 \text{ mm}^2$$

Syarat : Asperlu \leq Aspakai

$$252 \text{ mm}^2 \leq 261,8 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan susut **D10–300** mm.

- Kotrol Terhadap Persyaratan Geser :

Kontrol persyaratan geser ditinjau berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.1 Vu pada jarak d dari tumpuan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} Vu &= qu \left(\frac{lx/2}{2} - \frac{dx}{1000} \right) \\ &= 1245 \times \left(\frac{3,33/2}{2} - \frac{115}{1000} \right) \times 10^{-2} \\ &= 8,92 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\emptyset V_c = \emptyset (0,17 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b \cdot dx)$$

$$\emptyset V_c = 0,75 (0,17x 1 \sqrt{35} x 1000 x 115) x 10^{-3}$$

$$\emptyset V_c = 86,74 \text{ KN}$$

$$\text{Syarat : } \frac{1}{2} \emptyset V_c \geq Vu$$

$$43,37 \text{ KN} \geq 8,918 \text{ KN} \text{ (Memenuhi)}$$

Dengan demikian kekuatan geser pelat mencukupi.

- Kontrol Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013. Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 7 hari:

$$F'_c = 0,7 \times f_c = 0,7 \times 35 = 24,5 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f_c} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{24,5} = 3,07 \text{ Mpa}$$

$$I = \frac{1}{12} b \square^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 140^3 = 228.666.666,7 \text{ mm}^4$$

Momen layan yang bekerja adalah :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} qDL (Lx)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times (472,5 + 424) \times (3,325)^2 \\ &= 991 \text{ kgm} = 9.909.613 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{Mx \cdot c}{I} \leq Fr$$

$$\sigma = \frac{9.909.613 \times 8,8}{228.666.666,7} = 0,381 \leq 3,07 \text{ Mpa} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$Mcr = \frac{fr \times I}{c} = \frac{2,488 \times 228.666.666,7}{8,8} = 79.743.618,04 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= Mcr \geq Fr \\ &= 79.743.618,04 \geq 9.909.613 \text{ Nmm} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

- Kontrol Lendutan

Momen akibat beban mati :

$$\begin{aligned} MDL &= \frac{1}{8} qDL (Lx)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times (472,5) \times (3,325)^2 \\ &= 653 \text{ kgm} = 6.530.143,102 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned} MLL &= \frac{1}{8} qDL (Lx)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times (424) \times (3,325)^2 \\ &= 585,7 \text{ kgm} = 5.856.873,13 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen tak ter faktor maksimum yang terjadi pada elemen struktur pada saat lendutan dihitung :

$$\begin{aligned} Ma &= MDL + MLL \\ &= 6.530.143,102 + 5.856.873,13 \\ &= 12.387.016,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen inersia bruto terhadap sumbu berat penampang tanpa memperhitungkan tulangan baja:

$$Ig = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 140^3 = 228.666.666,7 \text{ mm}^4$$

- Momen batas retak:

$$I = (0,1 + 25\rho) \left(1,2 - 0,2 \frac{bw}{d} \right) Ig = 23.751.817 \text{ mm}^4$$

$$Mcr = \frac{fr \times I}{c} = \frac{3,07 \times 23.751.817}{8,8} = 19.935.904,51 \text{ Nmm}$$

- Momen inersia retak penampang, dengan tulangan baja yang ditransformasikan ke penampang beton. Dicari nilai x terlebih dahulu.

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{23263,8} = 8,597$$

$$\frac{b \cdot x^2}{2} - n \cdot x \cdot As \cdot (dx - x) = 0$$

$$\frac{1000 \cdot x^2}{2} - 8,6 \cdot x \cdot 78,54 \cdot (115 - x) = 0$$

$$500x^2 + 675,21x - 77649,17 = 0$$

Maka nilai x adalah x1 = 11,8

$$x2 = -13,16$$

dipakai x = 11,8

$$Icr = \frac{b \cdot x^2}{2} + n \cdot x \cdot As \cdot (dx - x)^2$$

$$Icr = \frac{1000 \cdot x \cdot 11,8^3}{2} + 8,579 \cdot x \cdot 78,54 \cdot (115 - 11,8)^2$$

$$Icr = 7.738.827,43 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Efektif

$$Ie = \left(\frac{Mcr}{Ma} \right)^3 Ig + \left[1 - \left(\frac{Mcr}{Ma} \right)^3 \right] Icr$$

$$\left(\frac{19935904,5}{12387016,2} \right)^3 228666666,7 + \left[1 - \left(\frac{19935904,5}{12387016,2} \right)^3 \right] 7738827,4 \\ = 928.735.708,44 \text{ mm}^4$$

Syarat : Nilai Ie ≤ Ig

$$= 928.735.708,44 \leq 228.666.666,7 \text{ mm}^4 \text{ NOT OK}$$

Maka digunakan nilai Ie = Ig = 228.666.666,7 mm⁴

$$Ec = 4700 \times \sqrt{fc'} = 4700 \sqrt{24,5} = 23263,8 \text{ Mpa}$$

$$(\Delta i)DL = \frac{5ql^4}{384 \cdot Ec \cdot Ie} = \frac{5 \times 8,963 \times 3325^4}{384 \times 23263,8 \times 228.666.666,7} \\ = 2,68 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 batas lendutan untuk pelat lantai adalah l/240

$$\frac{l}{240} = \frac{3325}{240} = 13,85 \text{ mm}$$

Check syarat : $(\Delta i)DL \leq l/240$

$$2,682 \text{ mm} \leq 13,85 \text{ mm OK}$$

- Kontrol Saat Pengecoran

Pengecoran overtopping menggunakan batuan scalfolding di tengah bentang dengan umur beton 7 hari

$$F_{ci} \text{ (7 hari)} = 0,65 \times 35 = 22,75 \text{ MPa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{F_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{22,75} = 3,3 \text{ MPa} = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban:

$$\text{berat sendiri pelat} = 1,2 (0,08 \times 2400) = 230,4 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_u = 1,6 \times \text{Beban pekerja} = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m}^2$$



Tegangan arah X (melintang)

$$\begin{aligned} M_x &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x 374,4 x 1,35^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x 320 x 1,35 \right] \\ &= 75,32 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} M_x \text{ total} &= 1,5 (M_x) \\ &= 1,5 (75,32) \\ &= 112,98 \text{ kgm} = 11298 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

Tegangan arah Y (memanjang)

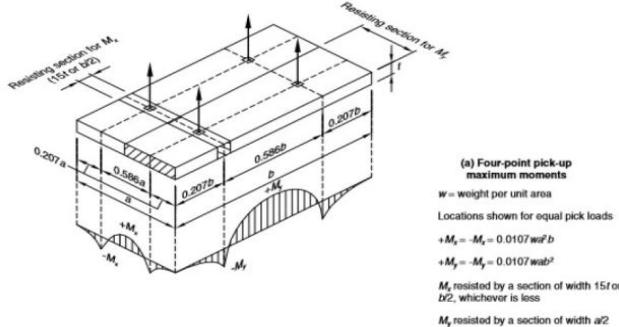
$$\begin{aligned} M_y &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x qu x L^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x P x L \right] \\ &= \left[\frac{1}{8} x \frac{1}{4} x 374,4 x 3,325^2 \right] + \left[\frac{1}{4} x \frac{1}{2} x 320 x 3,325 \right] \\ &= 262,35 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)

Faktor kejut = 1,5

$$\begin{aligned} M_y \text{ total} &= 1,5 (M_y) \\ &= 1,5 (262,35) \\ &= 393,53 \text{ kgm} = 39353 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

- Menghitung momen tahanan



Sumber : PCI Design Handbook 7th PreCast and Prestressed Concrete,

- M_x ditahan oleh penampang selebar $b/2$
 $Wx = \frac{1}{6} \times \frac{b}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{1,35}{2} \times 8^2 = 720 \text{ cm}^3$
- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2$
 $Wy = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{3,325}{2} \times 8^2 = 1773,3 \text{ cm}^3$
- Tegangan yang terjadi
 - $\sigma_x = \frac{Mx.\text{total}}{Wx} = \frac{11298}{720} = 15,69 \text{ kg/cm}^2 < fr = 33 \text{ kg/cm}^2$
(Memenuhi)
 - $\sigma_y = \frac{My.\text{total}}{Wy} = \frac{39353}{1773,3} = 22,19 \text{ kg/cm}^2 < fr = 33 \text{ kg/cm}^2$
(Memenuhi)

6.1.5.4. Perencanaan Shear Connector

Untuk pelat pracetak yang diberi topping cor di atasnya, berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.11.4, slab dengan lapisan atas komposit yg dicor di tempat di atas lantai atau atap pracetak di-ijinkan untuk digunakan sebagai diafragma struktur, asalkan slab lapisan atas ditulangi dan permukaan beton yang sebelumnya mengeras dimana slab lapisan atas dicor telah bersih, bebas dari kapur per-mukaan (laitance), dan dikasarkan dengan sengaja.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.11.6, slab beton & slab dengan lapisan atas komposit yang bekerja sebagai

diafragma struktur yang digunakan untuk menyalurkan gaya-gaya gempa tidak boleh kurang dari tebal 50 mm.

Perencanaan Geser Diafragma Struktural (Pasal 21.11.9) Kuat geser nominal, V_n . Diafragma struktural tidak boleh melampaui :

$$V_n = A_{cv} \left(0,17\lambda\sqrt{f'c} + \rho_t \cdot f_y \right)$$

Untuk diafragma slab lapisan atas cor di tempat di atas komponen struktur lantai atau atap pracetak A_{cv} harus dihitung menggunakan tebal slab lapisan atas hanya utk diafragma slab lapisan atas bukankomposit dan tebal kombinasi elemen cor di tempat dan pracetak untuk diafragma slab lapisan atas komposit. Untuk diafragma slab lapisan atas komposit, nilai f'_c yang digunakan untuk menentukan V_n harus tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari f'_c untuk komponen struktur pracetak & f'_c untuk slab lapisan atas. V_n diafragma struktural tidak boleh melebihi 2 persamaan di bawah :

$$V_n = \frac{2}{3} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c}$$

$$V_n = A_{vf} \cdot f_y \cdot \psi$$

Dimana A_{vf} dihitung berdasarkan luas total tulangan geser friksi tebal penutup (topping), termasuk luas tulangan distribusi dan luas tulangan boundary,dalam arah tegak lurus penampang join. Koefisien friksi, $\psi = 1,0\lambda$, dimana λ adalah 1,0 untuk beton normal, dimana A_{cv} adalah luas penampang bruto diafragma.

$$\begin{aligned} A_{cv} &= b \times t_p \\ &= 1000 \times 60 = 60000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 11.9.9.2 SNI 2847-2013, ψ dapat diambil 0,0025

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv}(0,17\lambda\sqrt{f'c} + \rho_t + f_y) \\ &= 60000 (0,17\lambda\sqrt{35} + 0,0025 \times 400) \\ &= 120344,014 \text{ N} = 120 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai V_n hasil diatas tidak boleh melebihi :

$$V_n = \frac{2}{3} \times A_{cv} \times \sqrt{f'c}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2/3 \times 60000 \times \sqrt{35} \\
 &= 236643,191 \text{ N} = 236,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_v f_y q \\
 &= 0,25 \times \pi \times (10)^2 \times 400 \times 1 \\
 &= 31415,9 \text{ N} = 31,416 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai $V_n = 120,3 \text{ kN}$

$$\text{Mencari nilai } V_u = \frac{V_n}{\phi} = \frac{120,3}{0,75} = 160,5 \text{ kN}$$

Mencari nilai $\emptyset V_c = 86,74 \text{ kN}$ (Didapat dari perhitungan geser pelat setelah komposit).

Berdasarkan pasal 11.4.6.1 SNI 2847-2013 apabila $V_u > \emptyset V_c$, Maka dapat digunakan luas tulangan geser minimum, $A_v \text{ min.}$

Digunakan $A_v \text{ min}$ dengan jarak

- $S < 4 \times \text{Dimensi terkecil atau } 600 \text{ mm}$
- $< 4 \times 80 \text{ mm atau } 600 \text{ mm}$
- $< 320 \text{ atau } 600 \text{ mm}$

Digunakan jarak $S = 250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Mencari nilai } A_v \text{ min} &= 0,062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{bw \times s}{f_y t} \\
 &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{1000 \times 250}{400} \\
 &= 229 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

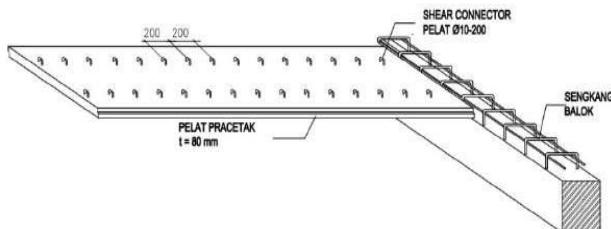
Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{0,35 \times bw \times s}{f_y t} = \frac{0,35 \times 1000 \times 250}{400} = 219 \text{ mm}$$

Maka dipakai $A_v \text{ min} = 219 \text{ mm}$

Maka dipasang shear connector D10-250

($A_v = 314 \text{ mm}^2 > A_v \text{ min} = 219 \text{ mm}$) **OK**



6.1.5.5. Panjang Penyaluran Tulangan

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 dan pasal 12.5.2:

$$Idh \geq 8 \times db = 8 \times 10 = 80\text{mm}$$

SNI 2847:2013 ps. 12.5.1

$$Idh \geq 150 \text{ mm} \quad \text{SNI 03-2847-2013 ps. 12.5.1}$$

$$Idh = (0,24 \times fy \times \sqrt{fc'}) / db \quad \text{SNI 03-2847-2013 ps. 12.5.2}$$

$$= 0,24 \times 400 \times \sqrt{35} / 10 = 56,79$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm

6.1.5.6. Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

Pembebatan

Beban Mati :

$$\begin{aligned} \text{Berat Pelat Pracetak} &= 0,08 \times 135 \times 3,33 \times 2400 \\ &= 86,84 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Stud+Tulangan Angkat} = 10\% \times 861,84 = 23,04 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = 861,84 + 86,18 = 948,02 \text{ kg}$$

Beban Hidup :

$$\text{P pekerja} = 1,6 \times 200 \text{ Kg} = 320 \text{ kg}$$

Menghitung tulangan angkat

$$\begin{aligned} \text{Beban Ultimate (qU)} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times 948,0 + 1,6 \times 200 = 1457,629 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sesuai *PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4 terdapat 4 titik angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar 45° sehingga harus dikalikan faktor F = 1,41

Beban yang diterima 1 titik angkat :

$$P = \frac{1457,629}{4} \times 1,41 = 513,814 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (fs) diambil sebesar 2/3 fy.

$$Fs = \frac{2}{3} fy = \frac{2}{3} \times 400 = 266,67 \text{ Mpa} = 2666,7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$As = \frac{p}{fs} = \frac{513,81 \text{ kg}}{2666,7 \text{ kg/cm}^2} = 0,193 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat D 10 mm

As pakai = $78,54 \text{ mm}^2 = 0,785 \text{ cm}^2 > 0,193 \text{ cm}^2$ (**memenuhi**)

Jadi dipakai tulangan angkat D 10 mm

SNI 2847:2013 pada lampiran D dijelaskan bahwa dalam pendesainan tulangan angkur, tarik pada angkur harus lebih kecil dibanding kekuatan nominal.

Tul. Angkur = 10 mm

Jumlah Angkur = 4 buah

Faktor sling 6 = 1,16

Faktor kejut = 1,5

W' = beban ultimate x faktor sling 60 x faktor kejut

$W' = 1457,629 \times 1,16 \times 1,5$

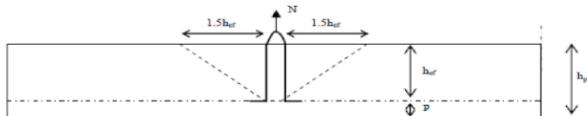
= 2536,274 kg

Dengan asumsi, jika setiap tulangan angkur dapat menerima beban total pada komponen pracetak, sehingga:

$$Nn = \frac{W'}{n} = \frac{2536,3}{4} = 634,069 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847:2013 Lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($kc=10$, angkur cor didalam) maka,

$$hef = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{kc\sqrt{fc'}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{630,348}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 22,563 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$



Menurut PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete, fig. 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi breakout yang terbesar dari,

$$de = \frac{hef}{\tan 35^\circ} = \frac{30}{\tan 35^\circ} = 63,3 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 \text{ hef} = 1,5 \times 30 = 45 \text{ mm}$$

Maka digunakan $de = 63,32 \text{ mm}$

Menghitung kebutuhan strand

$$P = 513,8 \text{ kg} \text{ (beban 1 titik angkat)}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete, table design aid 15.3.1* material properti prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

$$\text{Diameter} = \frac{1}{4} \text{ in} = 6,35$$

$$F_{pu} = 250 \text{ ksi} = 1724 \text{ Mpa}$$

$$A = 0,036 \text{ in} = 23,36 \text{ mm}^2$$

$$F_{strand} = 1724 \times 23,36 = 40272,64 \text{ kg}$$

$$\text{Maka gaya yang dipikul 1 strand} = 40272,64/4 = 10068,2 \text{ kg}$$

Kontrol : $P < F_{strand}$

$$513,8142 < 10068,2 \text{ kg} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi dipakai seven wire strand diameter $\frac{1}{4}$ in ($f_{pu} = 250$ ksi)

Tabel 6. 1 Rekapitulasi Tulangan Pelat Pracetak Tipe A

	Tul Utama	Tul Susut
Saat pengangkatan	D 10 – 200	D 10 - 300
Sebelum komposit	D 10 – 125	D 10 - 300
Setelah komposit	D 10 – 150	D 10 - 300

- Kontrol Retak

Pada SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 : spasi tulangan terdekat ke muka tarik, s , tidak boleh melebihi yang diberikan oleh

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Cc &= \text{jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik} \\ &= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan} \\ &= 20 + 0 + \frac{1}{2} \times 10 = 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$s = 380 \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5 \times 25 \leq 300 \left(\frac{280}{266,67} \right)$$

$$s = 336,5 \text{ mm} \leq 323,08 \text{ mm.....(OK)}$$

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 dan 12.5.2:

$$ldh > 8 \text{ db} = 8 \times 10 \text{ mm} > 80 \text{ mm} (\text{SNI 2847:2013 pasal 12.5.1})$$

$$ldh \geq 150 \text{ mm} (\text{SNI 2847:2013 pasal 12.5.1})$$

$$ldh = \frac{0,24 \times f_y \times \sqrt{fc}}{db} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 12.5.2})$$

$$ldh = \frac{0,24 \times 400 \times \sqrt{35}}{10} = 56,79 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar = 250 mm

Penulangan pelat yang terpasang atau yang dipakai dipilih dari penulangan yang paling banyak terpakai dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu seperti tabel dibawah:

Tabel 6. 2 Rekapitulasi Pelat Pracetak

Tipe pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Penjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	Ly (m)	Lx(m)	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)			
A	3,325	1,35	D10-150	D10-300	D10-150	250	D10
B	3,325	1,388	D10-150	D10-300	D10-150	250	D10
C	3,325	1,183	D10-150	D10-300	D10-150	250	D10

6.2. Perencanaan Tangga

Dalam perencanaan tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif untuk permodelan struktur maupun perletakannya. Dalam perencanaan Gedung Rektorat Malang ini,

tangga dimodelkan dalam aplikasi Etabs dengan asumsi perletakan sendi (diletakkan pada ujung bordes) dan jepit (diletakkan pada ujung sloof atau balok induk)

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- Tinggi antar lantai = 450 cm
- Panjang dataran tangga = 720 cm
- Lebar bordes = 150 cm
- Lebar tangga = 150 cm
- Tebal pelat tangga (tp) = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm
- Tinggi injakan (t) = 16 cm
- Lebar injakan (i) = 28,5 cm
- Jumlah injakan (ni) = 28 buah
- Jumlah tanjakan (nt) = 28 - 1 = 27 buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 14 buah
- Elevasi bordes = 225 cm
- Panjang horizontal plat tangga bordes = $i \times \text{jumlah tanjakan}$
= $30 \times 14 = 340$ cm
- Kemiringan tangga (α) = $29,31^\circ$
- Tebal plat rata-rata anak tangga = 7 cm
- Tebal plat efektif (tp+tr) = $15 \text{ cm} + 7 \text{ cm}$
= 22 cm

6.2.1. Pembebaan Pelat Tangga dan Bordes

A. Pembebaan Tangga

Beban Mati (DL)

Pelat tangga	= $0,22 \times 2400$	= 527 kg/m
Keramik	= $16,5 \text{ kg} \times 1 \text{ m}$	= 16,5 kg/m
Spesi t=2cm	= $21 \text{ kg} \times 2 \times 1 \text{ m}$	= 42 kg/m
Susuran tangga	= $89 \text{ kg} \times 1 \text{ m}$	= 89 kg/m
Palang pengaman	= $111 \text{ kg} \times 1 \text{ m}$	= 111 kg/m

Beban Hidup (LL)

Beban hidup tangga	= 479 kg/m
--------------------	------------

B. Pembebaan Pelat Bordes

Beban Mati (DL)

Pelat bordes	= 0,15 x 2400	= 360 kg/m
Keramik	= 16,5 kg x 1 m	= 16,5 kg/m
Spesi t=2cm	= 21 kg x 2 x 1m	= 42 kg/m

Beban Hidup (LL)

Beban hidup tangga	= 479 kg/m
--------------------	------------

6.2.2. Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

A. Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – data perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- Tebal pelat tangga (tp) = 15 cm
- Tebal Selimut beton = 20 cm
- Diameter tulangan lentur = 10 cm
- Diameter tulangan susut = 10cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

$$dx = \text{Tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\ = 150 - 20 - \frac{1}{2} (10) = 125 \text{ mm}$$

$$dy = \text{Tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\ = 150 - 20 - 10 - \frac{1}{2} (10) = 115 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syarat bahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{\rho \times f_y} - 1$$

$$\begin{aligned}
 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{\rho \times 400} - 1 \\
 \rho_{\max} &= 0,0255 \\
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \text{maka dipakai } \rho_{\min} \text{ yaitu } 0,0037 \\
 m &= \frac{F_y}{0,85 \times F_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45
 \end{aligned}$$

Penulangan Pelat Tangga

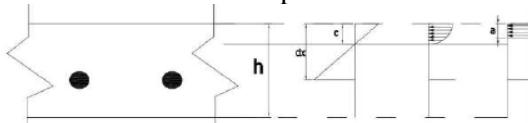
$$\begin{aligned}
 M_u &= 22177200 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_u}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{22177200}{0,9 \times 1000 \times 125^2} = 1,577 \text{ Nmm} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,577}{400}} \right) = 0,0041
 \end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0,0037 < 0,0041 < 0,0255$ **(Memenuhi)**

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0041$
 $A_{\text{perlu}} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$
 $= 0,0041 \times 1000 \times 125 = 506,63 \text{ mm}^2$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan
Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.
 $S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 \times ASD10}{A_{\text{perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{506,63} = 155,02 \text{ mm}$
Syarat :
 $S \leq 3(h)$ atau 450 mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)
 $S \leq 3(150) = 450$ atau 450 mm
Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}^2$
- Kontrol kebutuhan tulangan
 $A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{150} = 523,6 \text{ mm}^2$

- Kontrol Faktor Reduksi :
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 6. 14 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{523,6 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 7,04 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,04}{0,8} = 8,282 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{125}{8,282} - 1 \right) 0,003 = 0,042$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset M_n = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset M_n = 0,9 \times 523,6 \times 400 \times \left(125 - \frac{1}{2} \times 7,04 \right) \\ = 22.898.442,09 \text{ Nmm} = 2289,84 \text{ kNm}$$

$$\emptyset M_n = 2289,84 \text{ kNm} > M_u = 2217,72 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

- Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.5.1

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \\ = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \times 1000 \times 125 = 462,19 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \times 1000 \times 125 = 437,5 \text{ mm}^2$$

Aspakai $= 523,6 > 462,19 \text{ mm}^2$ (**Memenuhi**)

Sehingga digunakan tulangan **D10 – 150** mm

Penulangan arah melintang pelat tangga (susut)

Menurut SNI 2847-2013 pasal 7.12 luas tulangan susut dan suhu $\rho = 0,0018$ untuk $f_y = 400$ Mpa

$$Asperlu = 0,0018 \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 115 = 207 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{Asperlu}{ASD10} = \frac{207}{78,5} = 2,64 \approx 3 \text{ buah}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,

$$S = \frac{\text{lebar yang ditinjau}}{\text{Asperlu:Asul}} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ mm}$$

$S_{maks} \leq 5 \times$ tebal pelat, maka:

$$\leq 5 \times 150 = 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 250 \text{ mm}^2$

$$\text{Aspakai} = \frac{0,25 \pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,16 \text{ mm}^2$$

Syarat : Asperlu \leq Aspakai

$$314,16 \text{ mm}^2 \leq 207 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan tulangan susut **D10–250** mm.

B. Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

Data – data perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- Tebal Selimut beton = 20 cm
- Diameter tulangan lenthal = 10 cm
- Diameter tulangan susut = 10 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

$$dx = \text{Tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\ = 150 - 20 - \frac{1}{2}(10) = 125 \text{ mm}$$

$$dy = \text{Tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\ = 150 - 20 - 10 - \frac{1}{2}(10) = 115 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syarat bahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1 \\
 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 x f' c x \beta_1}{\rho x f_y} - 1 \\
 0,004 &= 0,003 \times \frac{0,85 x 35 x 0,8}{\rho x 400} - 1 \\
 \rho_{\max} &= 0,0255 \\
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 x \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 x \sqrt{35}}{400} = 0,0037 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \text{maka dipakai } \rho_{\min} \text{ yaitu } 0,0037 \\
 m &= \frac{F_y}{0,85 x F_c'} = \frac{400}{0,85 x 35} = 13,45
 \end{aligned}$$

Penulangan Pelat Bordes

$$\begin{aligned}
 M_u &= 15140000 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_u}{\emptyset x b x d^2} = \frac{15140000}{0,9 x 1000 x 125^2} = 1,077 \text{ Nmm} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 13,45 x 1,077}{400}} \right) = 0,0027
 \end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0037 < 0,0027 < 0,0255 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} x b x d \\
 &= 0,0037 x 1000 x 125 = 462,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

Menurut SNI 2847:2013 ps. 7.6.5 spasi tulangan lentur utama pada balok atau slab tidak melebihi tiga kali tebal.

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000 x A_{\text{SD10}}}{A_{\text{perlu}}} = \frac{1000 x 78,54}{462,19} = 169,93 \text{ mm}$$

Syarat :

$S \leq 3(h)$ atau 450 mm (SNI 2847-2013 pasal 10.5.4)

$S \leq 3(150) = 450$ atau 450 mm

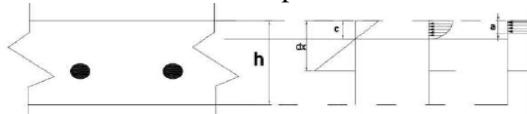
Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}^2$

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$AS_{\text{pakai}} = \frac{1000 \times ASD10}{S} = \frac{1000 \times 78,54}{150} = 523,6 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Faktor Reduksi :

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3



Gambar 6. 15 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{523,6 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1000} = 7,04 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,04}{0,8} = 8,282 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{125}{8,282} - 1 \right) 0,003 = 0,042$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 523,6 \times 400 \times \left(125 - \frac{1}{2} \times 7,04 \right) \\ = 22.898.442,09 \text{ Nmm} = 2289,84 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 2289,84 \text{ kNm} > Mu = 1514 \text{ kNm}$$

OK

- Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.5.1

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \times 1000 \times 125 = 462,19 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min} \quad &= \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \times 1000 \times 125 = 437,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Aspakai} \quad &= 523,6 > 462,19 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi}) \\
 \text{Sehingga digunakan tulangan D10 - 150 mm}
 \end{aligned}$$

Penulangan arah melintang pelat tangga (susut)

Menurut SNI 2847-2013 pasal 7.12 luas tulangan susut dan suhu $\rho = 0,0018$ untuk $f_y = 400 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
 \text{Asperlu} &= 0,0018 \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 115 = 207 \text{ mm}^2 \\
 \text{n_tulangan} &= \frac{\text{Asperlu}}{\text{ASD10}} = \frac{207}{78,5} = 2,64 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,

$$S = \frac{\text{lebar yang ditinjau}}{\text{Asperlu:Astul}} = \frac{1000}{3} = 333 \text{ mm}$$

$S_{\text{maks}} \leq 5 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\leq 5 \times 150 = 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Dipilih yang terkecil, jadi dipakai $S = 250 \text{ mm}^2$

$$\text{Aspakai} = \frac{0,25 \pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,16 \text{ mm}^2$$

Syarat : Asperlu \leq Aspakai

$$314,16 \text{ mm}^2 \leq 207 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan tulangan susut **D10 – 250 mm.**

6.2.3. Penulangan Balok Bordes

Dimensi balok bordes

$$L = 360 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{360}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700}) = 21,86 \text{ cm}$$

jadi digunakan $h = 30 \text{ cm}$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} \times 21,86 = 14,6$$

jadi digunakan $b = 20 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 20/30.

Data – data perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- Panjang balok = 360 cm
- Tebal Selimut beton = 40 cm
- Diameter tulangan lentur = 13 cm
- Diameter tulangan susut = 10 cm

Pembebanan balok bordes**Beban Mati (DL)**

Balok bordes	= 0,2 x 0,3 x 2400	= 144 kg/m
Bata ringan	= 81,25 kg x 2,25 m	= 183 kg/m
Acian	= 3 kg x 2,25 m	= 6,8kg/m
Plesteran	= 30 kg x 2,25 m	= 68kg/m

Penulangan balok bordes

$$d = \text{Tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} D$$

$$= 360 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (13) = 304 \text{ mm}$$

$\beta_1 = 0,8$ SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3

ρ maks:

Nilai rasio tulangan maksimum dihitung berdasarkan syaratbahwa regangan tarik netto minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat daktail.

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \frac{dx}{c} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 x f' c x \beta_1}{\rho x f_y} - 1$$

$$0,004 = 0,003 \times \frac{0,85 x 35 x 0,8}{\rho x 400} - 1$$

$$\rho_{\max} = 0,0255$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 x \sqrt{f_c}}{f_y} = \frac{0,25 x \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

$$m = \frac{Fy}{0,85 \times Fc'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

Penulangan Pelat Tangga

$$Mu = 102300 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{102300}{0,9 \times 1000 \times 304^2} = 0,00123 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} P_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{Fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,00123}{400}} \right) = 0,000003 \end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$$0,0037 < 0,000003 < 0,0255 \quad (\text{Not Ok})$$

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,0037$

$$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0037 \times 300 \times 304 = 336,66 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan D -13

$$n_{tulangan} = \frac{As_{perlu}}{AS_{D13}} = \frac{336,66}{132,67} = 2,54 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka dipasang 3 tulangan

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$\begin{aligned} As_{pakai} &= n \times AS_{D13} \\ &= 3 \times 132,67 = 398 > 336,66 \text{ mm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3 D 13

$$As_{perlu} = 0,5 \times As = 0,5 \times 336,66 = 168,33 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan 2 D 13

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} S_{rencana} &= \frac{\text{Lebar-decking-D-tul.pakai}}{\text{Tul.pakai}-1} \\ &= \frac{300-40-13}{2} = 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

25 mm < 123,5 mm < 450 mmOK

- Kontrol Kekuatan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As}{b \times d} = \frac{398}{300 \times 304} \\ &= 0,0044 > \rho_{perlu} = 0,0000031 \quad \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{398 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 17,84 \text{ mm}$$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 398 \times 400 \times \left(304 - \frac{1}{2} \times 17,84 \right)$$

$$= 42.207.084 \text{ Nmm} = 4220,71 \text{ KNm}$$

$\emptyset Mn = 4220,71 \text{ KNm} > Mu = 10,34 \text{ KNm}$ **Memenuhi**

- Cek Penampang

$$\frac{a}{d} = \frac{18}{304} = 0,05877$$

$$\frac{c}{d} = 0,375 \times \beta_1 = 0,375 \times 0,8 = 0,3$$

$$\text{Maka } \frac{a}{d} < \frac{c}{d} = 0,059 < 0,3 \quad \text{OK}$$

Tulangan geser balok

$$Vu = 1.462.000 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 304 = 89776,5 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 89776,5 = 67332,4 \text{ N}$$

$$0,5\phi Vc = 0,5 \times 67332,4 = 33666,19 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 67332,4 > Vu = 1.462.000 > 0,5\phi Vc = 33666,19 \text{ N}$$

(Not Ok)

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5 : Bila Vu kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton $\emptyset Vc$,maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena $0,5\emptyset Vc < Vu < \emptyset Vc$ maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} \times 200 \times 302 = 20133,3 \text{ N}$$

$$Av = 2 \times As \\ = 2 \times 78,5 = 157 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{maks} = \frac{A_v \times f_y \times d}{Vs} = \frac{157 \times 240 \times 304}{20133,3} = 565,2 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang $2h = 2 \times 360 = 720$ mm dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. $d/4 = 304/4 = 75,88$ mm
2. $8 \times D_{tul\ longitudinal} = 8 \times 13 = 104$ mm
3. $24 \times \varnothing_{tul\ sengkang} = 24 \times 10 = 240$ mm
4. 300 mm

Dari syarat, maka diambil sengkang di daerah plastis $\varnothing 10-50$ mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 70 mm dari muka tumpuan.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2 = 304/2 = 152 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis **D10 – 150** mm.

6.3. Perencanaan Balok Lift

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok – balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh Asia Schneider (Thailand) Co.,Ltd dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift	:	IRIS NV
Kapasitas load	:	1350 Kg
Kecepatan	:	1,0 m/s
Motor	:	18,5 KW
Lebar pintu (<i>opening width</i>)	:	1000 mm
Dimensi sangkar (<i>car size</i>)		
- <i>Car wide (CW)</i>	:	1800 mm
- <i>Car depth (CD)</i>	:	1700 mm
Dimensi ruang luncur (<i>hoistway size</i>) Duplex		
- <i>Hoistway width (HW)</i>	:	4850 mm
- <i>Hoistway depth (HD)</i>	:	2400 mm
Beban reaksi ruang mesin		
R1	:	8900 kg

R2 :6000 kg
Penjelasan mengenai spesifikasi lift yang dipakai disajikan dalam Tabel 6. 3

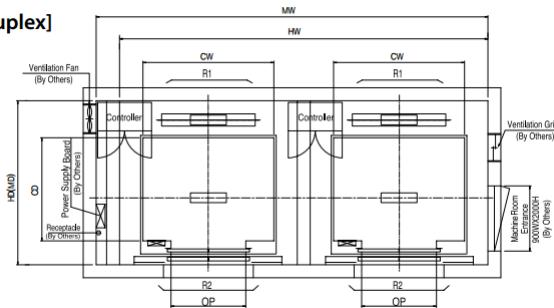
Tabel 6. 3 Spesifikasi Lift IRIS NV

[Standard]

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
				CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
	Person	Load(kg)															
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300					

Sumber : Brosur Sigma

[Duplex]



Gambar 6. 16 Denah Ruang Lift

6.3.1. Perencanaan Dimensi Balok Lift

Balok Penumpu Depan Belakang

Panjang balok = 240 cm

$$h_{\min} = \frac{L}{16} x (0,4 + \frac{f_y}{700}) = \frac{240}{16} x (0,4 + \frac{400}{700}) = 14,57 \text{ cm},$$

jadi digunakan $h = 45 \text{ cm}$

$$b_{\min} = \frac{2}{3}L = \frac{2}{3} \times 14,57 = 9,71 \text{ cm},$$

jadi digunakan $b = 30 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok lift dengan dimensi 30/45.

6.3.2. Pembebatan Lift

Beban Mati (DL)

Balok Lift	= 0,3 x 0,45 x 2400	= 324 kg/m
Pelat t=14cm	= 0,14 x 2400	= 336 kg/m
Floor Hardener	= 5 kg x 1m	= 5 kg/m
	Qdl	= 665 kg/m

Beban Hidup (LL)

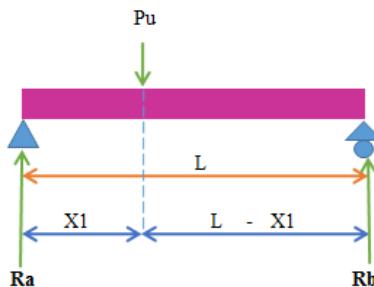
Beban pekerja	= 200	= 200 kg/m
---------------	-------	------------

Beban Terfaktor (qU)

$$\begin{aligned} qU &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 \times 665 + 1,6 \times 200 \\ &= 1118 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Terpusat Lift (Pu)

Ra	= R1 x KLL	= 8900 x 1,5	= 13350 kg
Rb	= R2 x KLL	= 6000 x 1,5	= 9000 kg



Berat mesin

$$L = 2,4$$

$$\Sigma Ma = 0$$

$$\begin{aligned} Rb \times L + Pu \times X1 &= 0 \\ Pu \times X1 &= Rb \times L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{9000 \times 2,4}{X_1} \\ P_u &= \frac{21600}{X_1} \dots \text{persamaan 1} \end{aligned}$$

$$\Sigma Mb = 0$$

$$\begin{aligned} Ra \times L - P_u \times X_2 &= 0 \\ P_u \times (L - X_1) &= Rb \times L \\ 13350 \times 2,4 &= \frac{21600}{X_1} (2,4 - X_1) \\ 32040 &= \frac{51840}{X_1} - 21600 \cdot X_1 \\ 53640 &= \frac{51840}{X_1} \\ X_1 &= \frac{51840}{53640} = 0,97 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= L - X_1 \\ &= 2,4 - 0,97 \\ &= 1,43 \text{ m} \\ P_u &= \frac{21600}{X_1} = \frac{21600}{0,97} = 22350 \text{ Kg} \end{aligned}$$

6.3.3. Perhitungan Penulangan Balok Lift

Data – data perencanaan

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- b = 30 cm
- h = 45 cm
- Diameter tulangan lentur = 16 mm
- Diameter tulangan sengkang = 10 mm
- Tebal decking = 40 mm
- Panjang Balok = 240 cm

$$\begin{aligned} d &= \text{Tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\ &= 450 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(16) = 392 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 menyatakan β_1

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{35-28}{7} = 0,8 > 0,65$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat $\phi = 0,9$

$$\rho_b = \frac{0,85 x \beta_1 x F_c'}{35 - 28} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 x 0,8 x 35}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0357$$

$$\rho_{max} = 0,75 x \rho_b = 0,75 x 0,0357 = 0,0268$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 x \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 x \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{min} yaitu 0,0037

$$m = \frac{F_y}{0,85 x F_c'} = \frac{400}{0,85 x 35} = 13,45$$

a. Perhitungan Tulangan Lentur



$$M_u = 43,676,700 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi x b x d^2} = \frac{43,676,700}{0,9 x 300 x 392^2} = 1,052 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} P_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 13,45 x 1,052}{400}} \right) = 0,000680 \end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0,0037 < 0,000680 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan ρ_{pakai} .

$$\rho_{pakai} = 0,0037$$

$$A_{perlu} = \rho_{pakai} x b x d$$

$$= 0,0037 x 300 x 392 = 434,83 \text{ mm}^2$$

$$n_{tulangan} = \frac{A_{perlu}}{ASD_{16}} = \frac{434,83}{200,96} = 2,164 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka dipasang 3 tulangan

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$A_{S_{pakai}} = n x A_{S_{D16}}$$

$$= 3 \times 200,89 = 602,88 \text{ mm}^2 > 434,83 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

- Kontrol kekuatan

$$\rho = \frac{As}{b \times d} = \frac{602,88}{300 \times 392}$$

$= 0,005127 > \rho_{perlu} = 0,002680 \text{ Memenuhi}$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} = \frac{602,88 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 27 \text{ mm}$$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 602,88 \times 400 \times \left(392 - \frac{1}{2} \times 27 \right)$$

$$= 82.146.276,67 \text{ Nmm} = 82,15 \text{ KNm}$$

$\emptyset Mn = 82,15 \text{ KNm} > Mu = 79,81 \text{ KNm Memenuhi}$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

$$S_{\text{rencana}} = \frac{\text{Lebar-decking}-D-\text{tul.pakai}}{\text{Tul.pakai}-1}$$

$$= \frac{300-40-16}{3} = 81,33 \text{ mm}$$

$25 \text{ mm} < 81,33 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \dots \text{OK}$

- Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847:2013 pasal 10.5.1

$$As_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_{ic}}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \times 300 \times 392 = 434,83 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{400} \times 300 \times 392 = 411,6 \text{ mm}^2$$

$As_{\text{pakai}} = 602,88 > As_{\min} = 434,83 \text{ mm}^2 (\text{Memenuhi})$

Sehingga digunakan tulangan **3 D 16**

Untuk tulangan tekan diambil 0,5 tulangan tarik **2 D 16**

b. Perhitungan Tulangan Lapangan



$$\begin{aligned}
 Mu &= 79.811.100 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mu}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{34165200}{0.9 \times 300 \times 392^2} = 1,92 \text{ Nmm} \\
 P_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{Fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,92}{400}} \right) = 0,00268
 \end{aligned}$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$
 $0,0037 < 0,00268 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan ρ_{pakai} .

$$\rho_{pakai} = 0,0037$$

$$\begin{aligned}
 A_{perlu} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\
 &= 0,0037 \times 300 \times 392 = 434,83 \text{ mm}^2 \\
 n_{tulangan} &= \frac{A_{perlu}}{ASD_{16}} = \frac{434,83}{200,96} = 2,164 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang 3 tulangan

- Kontrol kebutuhan tulangan

$$\begin{aligned}
 AS_{pakai} &= n \times ASD_{16} \\
 &= 3 \times 200,89 = 602,88 \text{ mm}^2 > 434,83 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Kontrol kekuatan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{As}{b \times d} = \frac{602,88}{300 \times 392} \\
 &= 0,005127 > \rho_{perlu} = 0,002680 \quad \text{Memenuhi} \\
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{602,88 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset Mn &= \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right) \\
 \emptyset Mn &= 0,9 \times 602,88 \times 400 \times \left(392 - \frac{1}{2} \times 27 \right) \\
 &= 82.146.276,67 \text{ Nmm} = 82,15 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset Mn = 82,15 \text{ KNm} > Mu = 79,81 \text{ KNm} \quad \text{Memenuhi}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 S_{rencana} &= \frac{\text{Lebar-decking}-D-tul.pakai}{Tul.pakai-1} \\
 &= \frac{300-40-16}{3} = 81,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$25 \text{ mm} < 81,33 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

- Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847:2013 pasal 10.5.1

$$As_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{35}}{400} x 300 x 392 = 434,83 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{400} x 300 x 392 = 411,6 \text{ mm}^2$$

As pakai = 602,88 > As min = 434,83 mm² (**Memenuhi**)

Sehingga digunakan tulangan 3 D 16

Untuk tulangan tekan diambil 0,5 tulangan tarik 2 D 16

c. Tulangan geser balok



$$V_u = 89.539.300 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b_w x d = \frac{1}{6} x \sqrt{35} x 300 x 392 = 115955,2 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 x 115955,2 = 86966,4 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 x 86966,4 = 43483,19 \text{ N}$$

$$\phi V_c > V_u > 0,5\phi V_c \quad \text{NOT OK}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5 : Bila Vu kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena $0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$ maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$V_s_{min} = \frac{1}{3} x 300 x 392 = 39200 \text{ N}$$

$$A_v = 2 x As$$

$$= 2 x 78,5 = 157 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{maks} = \frac{A_v x f_y x d}{V_s} = \frac{157 x 240 x 392}{39200} = 376,8 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua

ujung balok dengan panjang $2h = 2 \times 240 = 480$ mm dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. $d/4 = 392/4 = 98$ mm
2. $8 \times D_{\text{tul longitudinal}} = 8 \times 16 = 128$ mm
3. $24 \times \varnothing_{\text{tul sengkang}} = 24 \times 10 = 240$ mm
4. 300 mm

Dari syarat, maka diambil sengkang di daerah plastis D10-100 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 100 mm dari muka tumpuan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2 = 392/2 = 196 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis $\varnothing 10-150$ mm.

6.4. Perencanaan Balok Anak Pracetak BA-1

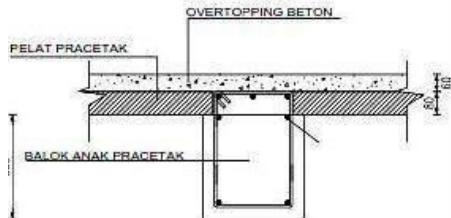
Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada di balok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

Dalam tugas akhir ini mengambil satu contoh perhitungan balok anak BA-1 35/50 cm dengan panjang 7,2 m :

Dimensi balok anak	: 35×50 cm
Mutu beton (f_c')	: 35 MPa
Mutu baja (f_y)	: 400 MPa
Tulangan lentur	: D22
Tulangan sengkang	: D10

Dalam perhitungan balok anak, akan dilakukan perhitungan penulangan saat pengangkatan, penulangan sebelum komposit dan penulangan sesudah komposit. Kemudian dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan

tulangan paling kritis dari ketiga keadaan tersebut.



Gambar 6. 17 Posisi balok anak dan pelat lantai

6.4.1. Pembebanan Balok Anak Pracetak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat)

Distribusi pembebanan sebelum komposit merupakan pelat satu arah, dengan demikian beban yang terjadi adalah persegi panjang yaitu terbagi menjadi dua

$$L_x = 360 - (35/2 + 40/2) = 322,5 \text{ cm}$$

$$L_y = 720 - (40/2 + 40/2) = 680 \text{ cm}$$

Berdasarkan SNI 7833-2012

$$\begin{aligned} \text{Panjang landasan} &= \frac{\ln}{\frac{180}{180}} \geq 75 \text{ mm} \\ &= \frac{6800}{180} = 37,77 \leq 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 75 mm

$$\begin{aligned} \text{Jadi, panjang balok pracetak} &= 680 + (7,5 \times 2) \times 120 \\ &= 695 \text{ cm} \end{aligned}$$

Saat Pengangkatan

Beban Mati (DL)

$$\text{Berat balok pracetak} = 0,3 \times 0,31 \times 2400 = 223,2 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Beban kejut} = 0,5 \times 223,2 = 111,6 \text{ Kg/m}$$

$$DL = 334,8 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Beban total} = 1,4DL$$

$$= 1,4(334,8)$$

$$= 468,7 \text{ kg/m}$$

$$qu = 468,7 \text{ kg/m}$$

Sebelum Komposit

Pada saat kondisi sebelum komposit, pelat pracetak merupakan pelat dengan tipe 1 arah yang memiliki 2 tumpuan. Oleh karena itu balok anak menerima setengah beban akibat pelat dan setengah beban sisanya dipikul oleh balok induk. Beban mati (DL)

a. Beban Mati (DL)

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,31x 2400 = 223 \text{ kg/m}$$

Beban pelat pracetak =

$$2\left(\frac{1}{2} q lx\right) = 2\left(\frac{1}{2} \times 0,08 \times 2400 \times 3,6\right) = 691,2 \text{ kg/m}$$

Beban *overtopping* =

$$2\left(\frac{1}{2} q lx\right) = 2\left(\frac{1}{2} \times 0,06 \times 2400 \times 3,6\right) \times 1,5 = 777,6 \text{ kg/m}$$

$$DL = 1692,0 \text{ kg/m}$$

b. Beban Hidup (LL)

Beban hidup pelat =

$$2\left(\frac{1}{2} q lx\right) = 2\left(\frac{1}{2} \times 200 \times \frac{7,2}{2}\right) = 720 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban total} &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2(1692) + 1,6(720) \\ &= 3182 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat eqivalen pelat.

$$Mu = \frac{1}{10} qu x \frac{L^2}{2} = \frac{1}{10} x 3182 x \frac{7,2^2}{2} x 10^4 - 2 = 41,2439 \text{ kNm}$$

Sesudah Komposit

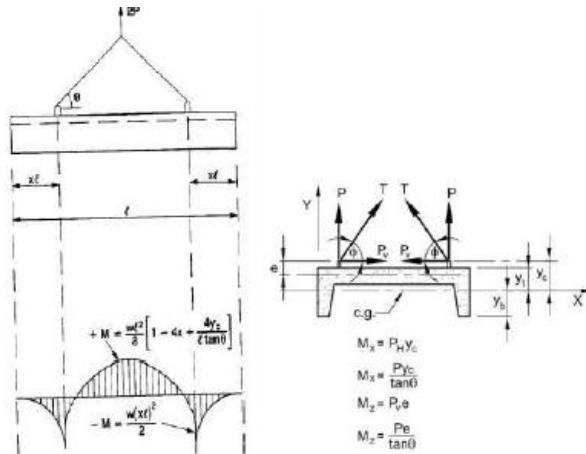
Pada saat kondisi setelah komposit, momen yg bekerja pada balok dihasilkan dari output analisis ETABS 16.0.2.

6.4.2. Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan penulangan balok direncanakan dalam tiga tahap,yaitu penulangan saat pengangkatan, sebelum komposit dan saat komposit. Lalu dipilih tulangan yang paling kritis di antara ketiga keadaan tersebut.

6.4.2.1. Kondisi Saat Pengangkatan

Pada saat pengangkatan direncanakan menggunakan 2 buah titik angkat yang sudah disediakan oleh PCI edisi ke-5 seperti gambar di bawah ini.

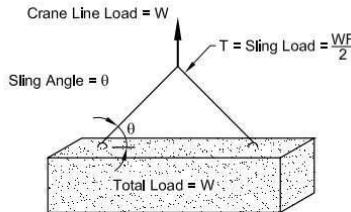


Gambar 6. 18 Titik Pengangkatan Balok

Momen yang Terjadi

$$M+ = \frac{qul^2}{8} \left[1 - 4x + \frac{4yc}{Itan\phi} \right]$$

$$M- = \frac{qu(xl)^2}{2}$$



Multiplication Factor "F" for the Total Load on Sling With a Sling Angle of θ					
θ	90°	75°	60°	45°	30° ^a
F	1.00	1.04	1.16	1.41	2.00

NOTE: θ is usually not less than 60°.
check bi-directional sling angle.

^a A 30° sling angle is not recommended,

Gambar 6. 19 Sudut pengangkatan

$$Y_t = Y_b = \frac{h_{pracetak}}{2} = \frac{310}{2} = 155 \text{ mm}$$

$$Y_c = Y_t + 50 \text{ mm} = 155 + 50 = 205 \text{ mm}$$

$$\theta = 60^\circ = 1,047$$

$$X = \frac{1 + \frac{4y_c}{LX \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4y_c}{LX \tan \theta} \right)} \right)} = 0,219$$

$$M+ = \frac{670 (6)^2}{8} \left[1 - 4(0,223) + \frac{4(0,24)}{6(\tan 60)} \right] = 580,756 \text{ kgm}$$

$$M- = \frac{670 (0,223 \times 6)^2}{2} = 580,756 \text{ kgm}$$

$$M+ = M-$$

- Penulangan Lentur Setelah Komposit**

Data perencanaan penulangan :

Dimensi balok anak 30/45

Bentang = 7200 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

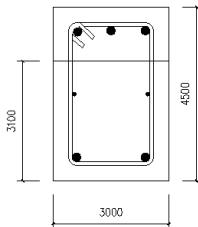
D tulangan utama = 16 mm

D tulangan sengkang = 10 mm

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 Mpa

Pada perencanaan awal, \emptyset diasumsikan 0,9 dan menggunakan 1 lapis tulangan.



Gambar 6. 20 Sketsa Penulangan Balok Anak Saat Pengangkatan

Tulangan Lapangan

$$d = 360 - 40 - 13 - (1/2 \times 22) = 249 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{c'} - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$M_{\text{lapangan}} = 580,756 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{580,756}{0,9 \times 350 \times 402^2} = 0,35 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

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

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,07}{400}} \right) = 0,00087$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_{\max} = 0,0268$$

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0037 > 0,000872 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$

Tulangan Lentur Tarik

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,0037 \times 300 \times 249 = 276,207 \text{ mm}^2$$

SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 menetapkan As tidak boleh kurang dari

$$As_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{35}}{400} \times 300 \times 249 = 276 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 300 \times 249}{400} = 261,450 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = 276,207 mm²

Digunakan tulangan D - 22 mm (A D22 = 380,133 mm²)

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{ASD22} = \frac{276,207}{380,133} = 1,73 \approx 1 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D22 (As = 380,133 mm²)

Tulangan Lentur Tekan

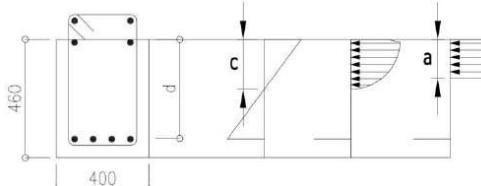
Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik berdasarkan pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013.

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 380,133 = 190,066 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur tekan **2D22** (As = 760,265 mm² > As')

Memenuhi

Kontrol Kapasitas Penampang:



Gambar 6. 21 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{380,133 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 17,04 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{17,037}{0,8} = 21,3 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{249}{21,3} - 1 \right) 0,003 = 0,03$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 380,133 \times 400 \times \left(249 - \frac{1}{2} \times 17,04 \right) \\ = 32909374,85 \text{ Nmm} = 32,91 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 32,91 \text{ kNm} > Mu = 5,807 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi pada balok saat beton berumur 14 hari:

$$f''c = 0,88 \times f'c = 0,88 \times 35 = 30,8 \text{ MPa}$$

$$fr = 0,62 \lambda \sqrt{f''c} \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$fr = 0,62 (1) \sqrt{30,8}$$

$$fr = 3,44 \text{ Mpa}$$

Momen layan yang bekerja adalah:

$$M+ = M- = \frac{q(xl)^2}{2} = \frac{479 (0,22 \times 7,2)^2}{2}$$

$$M+ = M- = 414,826 \text{ kgm} = 4148258,9 \text{ Nmm}$$

Gaya yang terjadi, yaitu beban terpusat layan yang bekerja:

$$Pu = \frac{qu l}{2} = \frac{468,7 \times 7,2}{2} = 1687,39 \text{ kg} = 16,9 \text{ kN}$$

$$Pv = \frac{Pu}{\tan \theta} = \frac{1687,392}{\tan 60} = 975,2162 \text{ kg} = 9,74 \text{ kN}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 310^3 = 744775000,00 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \frac{Mc}{I} + \frac{Pv}{A} < fr$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \frac{4148258,9 \times 21,3}{744775000,00} + \frac{9,74}{300 \times 310} < fr$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = 0,1186145 + 0,1048 < 3,44 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = 0,223 \text{ MPa} < 3,44 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontrol Momen Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013. Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 14 hari:

$$M_{cr} = \frac{f_r x I}{c} = \frac{3,44 x 744775000,00}{21,3} = 120335873,7 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = 120335873,7 \text{ Nmm} \geq M = 5807562,429 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Lendutan

$$\Delta \leq \Delta_{ijin}$$

$$\frac{5 q l^4}{384EI} < \frac{l}{16}$$

$$\frac{5 \times 468,7 \times 10^{-2} \times 7200^4}{384 \times 26083,94 \times 744775000} < \frac{7200}{16}$$

$$8,443 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Penulangan Geser Akibat Pengangkatan

$$V_u = qu (1/2 + d/1000 = 3182,40 \left(\frac{7,2/2}{2} - \frac{249}{1000} \right) = 49,35902 \text{ kg} \\ = 0,5 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b_w x d = \frac{1}{6} x \sqrt{35} x 300 x 249 = 75,13 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 75,13 = 5635 \text{ kg} = 56,35 \text{ kN}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 56,35 = 28,17 \text{ kN}$$

Karena $0,5\phi V_c > V_u$

Kekuatan geser balok mencukupi, tidak dibutuhkan tulangan geser.

6.4.2.2. Kondisi Sebelum Komposit

Data perencanaan penulangan :

Dimensi balok anak 30/45

Bentang = 7200 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

D tulangan utama = 16 mm

D tulangan sengkang = 10 mm

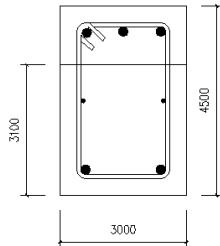
Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 Mpa

- Penulangan Lentur Sebelum Komposit**

Pada kondisi ini, balok sudah menumpu pada kolom.

$$Mu = \frac{1}{10} qu \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{10} \times 3182 \times \left(\frac{7,2}{2}\right)^2 \times 10^{-2} = 41,2439 \text{ kNm}$$



Gambar 6. 22 Sketsa Penulangan Balok Anak Sebelum Komposit

Tulangan Lapangan

$$d = 310 - 40 - 13 - \frac{1}{2}(22) = 249 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{c'} - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$M_{\text{lapangan}} = 84,95 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{41243904}{0,9 \times 300 \times 249^2} = 2,46 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45 \text{ Mpa}$$

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

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 2,46}{400}} \right) = 0,00644$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_{max} = 0,0268$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0,0037 > 0,00644 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,00644$

Tulangan Lentur Tarik

$$\text{As}_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d \\ = 0,0064 \times 300 \times 249 = 480,921 \text{ mm}^2$$

SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 menetapkan As tidak boleh kurang dari

$$\text{As}_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{35}}{400} \times 300 \times 249 = 276 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{min} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 300 \times 249}{400} = 261,450 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = $480,921 \text{ mm}^2$

Digunakan tulangan D - 22 mm (A D22 = $380,133 \text{ mm}^2$)

$$n_{tulangan} = \frac{AS_{perlu}}{AS_{D22}} = \frac{480,921}{380,133} = 1,27 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D22 (As = $760,265 \text{ mm}^2 > As'$)

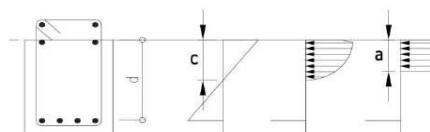
Tulangan Lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik berdasarkan pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013.

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 760,265 = 380,133 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur tekan 2D22 (As = $760,265 \text{ mm}^2 > As'$)

Kontrol Kapasitas Penampang:



Gambar 6. 23 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{760,3 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 34,1 \text{ mm}$$
- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{34,1}{0,8} = 42,59 \text{ mm}$$
- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{249}{42,59} - 1 \right) 0,003 = 0,015$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 760,3 \times 400 \times \left(249 - \frac{1}{2}43,3 \right)$$

$$= 63487306,97 \text{ Nmm} = 63,5 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 63,5 \text{ kNm} > Mu = 41,24 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Penulangan Geser Sebelum Komposit

$$Vu = qu \left(\frac{l}{2} - \frac{d}{1000} \right) = 3182,40 \left(\frac{3,6}{2} - \frac{249}{1000} \right) \times 10^{-2}$$

$$Vu = 49,35902 \text{ kg} = 0,5 \text{ kN}$$

$$\emptyset Vc = 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 249 \times 10^{-1}$$

$$\emptyset Vc = 5653 \text{ kg} = 56,53 \text{ kN}$$

$$1/2 \emptyset Vc \geq Vu$$

$$28,17 \text{ kN} \geq 0,4929 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Digunakan tulangan geser minimum

$$Vs = 0$$

$$Vc1 = 0,333 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

$$Vc1 = 0,333 \sqrt{35} \times 300 \times 249 \times 10^{-2} = 1471,63 \text{ kN}$$

Kekuatan geser balok mencukupi, tidak dibutuhkan tulangang geser.

$$Vs \leq Vc1$$

$$0 \leq 1471,63 \text{ kN}$$

Digunakan D-10, dua kaki ($Av = 265,5 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara:

$$s_2 = \frac{d}{2} = \frac{249}{2} = 124,5 \text{ mm}$$

$$s_3 = \frac{Av fyt}{0,35 bw} = \frac{265,5 \times 400}{0,35 \times 300} = 1011,42 \text{ mm}$$

$$s_4 = 600 \text{ mm}$$

Dipakai s = 120 mm

Luas tulangan geser perlu :

$$\text{Av perlu} = \frac{bw \times Spakai}{3xfy} = \frac{300 \times 120}{3 \times 400} = 30 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser D10 dengan 2 kaki

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n\text{Kaki} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan geser D10 – 120mm

Kontrol: Av pakai > Av perlu

$$157,1 > 30 \text{ mm}^2 \textbf{OK}$$

Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi pada balok saat beton berumur 14 hari:

$$f''c = 0,88 \times f'c = 0,88 \times 35 = 30,8 \text{ MPa}$$

$$fr = 0,62 \lambda \sqrt{f''c} \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$fr = 0,62 (1) \sqrt{30,8}$$

$$fr = 3,44 \text{ MPa}$$

Momen layan yang bekerja adalah:

$$M^- = \frac{1}{10} q \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{10} 627 \left(\frac{8}{2}\right)^2 = 3125,95 \text{ kg.m} = 31259520 \text{ Nmm}$$

Gaya yang terjadi, yaitu beban terpusat layan yang bekerja:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 310^3 = 744775000,00 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = \frac{M c}{I} < fr$$

$$\sigma = \frac{1331402362}{744775000,00} < fr$$

$$\sigma = 1,7877 \text{ MPa} < 3,44 \text{ Mpa} \quad \textbf{OK}$$

Kontrol Momen Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013.

Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 14 hari:

$$M_{cr} = \frac{fr \times I}{c} = \frac{3,44 \times 744775000,00}{42,592} = 60167936,83 \text{ Nmm}$$

$M_{cr} = 60167936,83 \text{ Nmm} \geq M = 5807562,429 \text{ Nmm}$ **OK**

Kontrol Lendutan

$$Ec = 4700 \times (fc)^{0,5}$$

$$= 4700 \times (22)^{0,5} = 26083,94 \text{ MPa}$$

$$\Delta \leq \Delta_{ijin}$$

$$\frac{5 q l^4}{384EI} < \frac{l}{16}$$

$$\frac{5 \times 3182 \times 10^{-2} \times 7200^4}{384 \times 26.083,94 \times 744775000} < \frac{7200}{16}$$

57,32 mm \leq 450mm **OK**

6.4.2.3. Kondisi Setelah Komposit

Data perencanaan penulangan :

Dimensi balok anak 30/45

Bentang = 7200 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

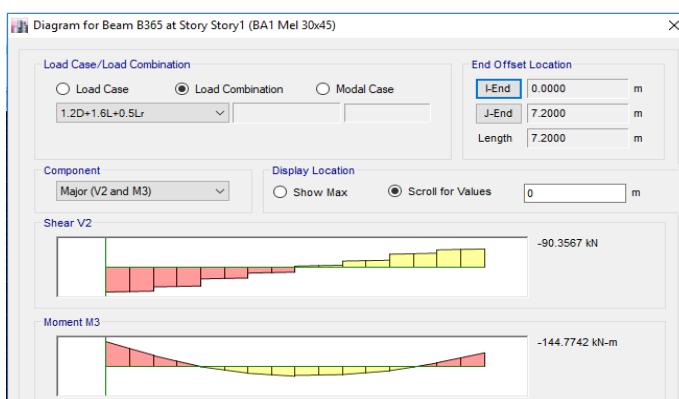
D tulangan utama = 16 mm

D tulangan sengkang = 10 mm

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 MPa

- **Penulangan Lentur Setelah Komposit**



Tulangan Lapangan

Pertama-tama diasumsikan baja tulangan yang harus dipasang terdiri dari 2 lapis simetris.

$$d = 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2}(16) = 389 \text{ mm}$$

Pada perencanaan awal, \emptyset diasumsikan 0,9 dan menggunakan 1 lapis tulangan.

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{c'} - 28}{7} \geq 0,65 \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65 \end{aligned}$$

$$M_{u_{\text{lap}}} = 144774200 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{144774200}{0,9 \times 300 \times 389^2} = 3,54 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} P_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 3,54}{400}} \right) = 0,00946 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0,0037

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

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

$$\text{Sehingga : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0037 > 0,00946 < 0,0284 (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,00946$

Tulangan Lentur Tarik

$$\text{Asperlu} = \rho \text{pakai} \times b \times d \\ = 0,00946 \times 300 \times 389 = 1104,02 \text{ mm}^2$$

SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 menetapkan As tidak boleh kurang dari

$$A_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{35}}{400} \times 300 \times 389 = 432 \text{ mm}^2$$

$$A_{\min} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 300 \times 389}{400} = 408 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = 1104,02 mm²

Digunakan tulangan D – 22 mm (A D22 = 380,133 mm²)

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{AS_{\text{perlu}}}{ASD16} = \frac{1104,02}{380,133} = 2,9 \approx 3 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik **3D22** (As = 1140,4 mm²)

Tulangan Lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar ½ dari kekuatan lentur tarik berdasarkan pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013.

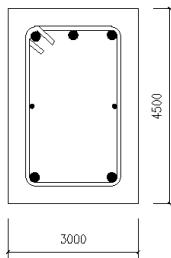
$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 1140,4 = 570,199 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur tekan **2D22** (As = 760,27 mm² > A_{s'})
(Memenuhi)

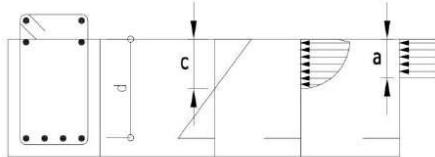
Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{Lebar-decking-diameter tul.pakai}}{\text{tul.pakai}-1} = \frac{300-80-66}{3-1} = 77 \text{ mm}$$

25 mm < 77 mm < 450 mm **OK**



Gambar 6. 24 Sketsa Penulangan Tekan Balok Anak Setelah Komposit

Kontrol Kapasitas Penampang:

Gambar 6. 25 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{1140,4 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 51,1 \text{ mm}$$
- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,11}{0,8} = 63,89 \text{ mm}$$
- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{389}{63,89} - 1 \right) 0,003 = 0,015$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset M_n = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset M_n = 0,9 \times 1140 \times 400 \times \left(389 - \frac{1}{2} \times 51,1 \right)$$

$$= 149209862,26 \text{ Nmm} = 149,21 \text{ kNm}$$

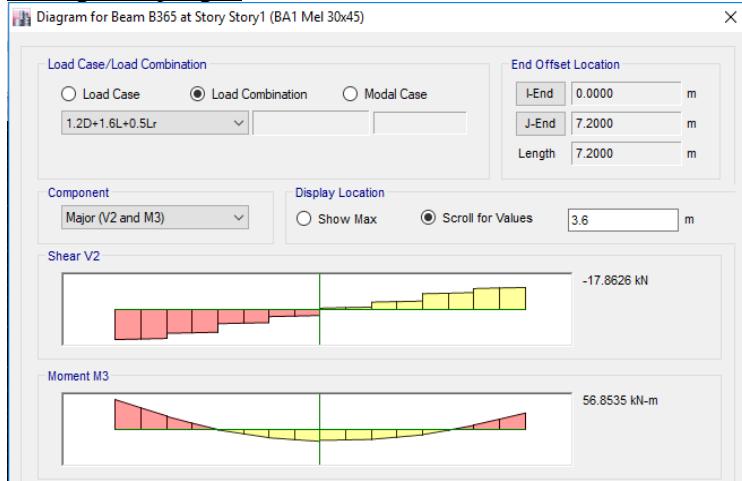
$$\emptyset M_n = 149,21 \text{ kNm} > M_u = 144,7742 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Cek Penampang

$$\frac{a}{d} = \frac{51,1}{389} = 0,1 < \frac{c}{d} = 0,375 \times \beta_1 = 0,3$$

Memenuhi

Tulangan Lapangan



Pertama-tama diasumsikan baja tulangan yang harus dipasang terdiri dari 2 lapis simetris.

$$d = 450 - 40 - 10 - 11 = 389 \text{ mm}$$

Pada perencanaan awal, Ø diasumsikan 0,9 dan menggunakan 1 lapis tulangan.

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{c'} - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$M_u_{\text{Lapangan}} = 56,8535 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{56,8535}{0,9 \times 300 \times 389^2} = 1,39 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\begin{aligned} P_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 1,39}{400}} \right) = 0,00356 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{min} yaitu 0,0037

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_{max} = 0,0268$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0,0037 > 0,000356 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,0037$

Tulangan Lentur Tarik

$$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0037 \times 300 \times 389 = 431,504 \text{ mm}^2$$

SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 menetapkan As tidak boleh kurang dari

$$As_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{35}}{400} \times 300 \times 389 = 432 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 300 \times 389}{400} = 408 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = 431,504 mm²

Digunakan tulangan D - 22 mm (A D22 = 380,133 mm²)

$$n_{tulangan} = \frac{As_{perlu}}{ASD22} = \frac{431,504}{380,133} = 1,14 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D22 (As = 760,27 mm²)

Tulangan Lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik berdasarkan pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013.

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 760,27 = 380,133 \text{ mm}^2$$

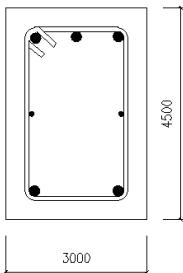
Digunakan tulangan lentur tekan **2D22** (As = 760,27 mm² > As')

Memenuhi

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{Lebar-decking-diameter tul.pakai}}{\text{tul.pakai}-1} = \frac{300-80-44}{3-1} = 176 \text{ mm}$$

$25 \text{ mm} < 176 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$ **OK**



Gambar 6. 26 Sketsa Penulangan Tekan Balok Anak Setelah Komposit

Kontrol Kapasitas Penampang:

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{760,3 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 34,1 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{34,1}{0,8} = 42,59 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{389}{42,59} - 1 \right) 0,003 = 0,024$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 760,27 \times 400 \times \left(389 - \frac{1}{2} \times 34,1 \right) \\ = 101804684,24 \text{ Nmm} = 101,8 \text{ kNm}$$

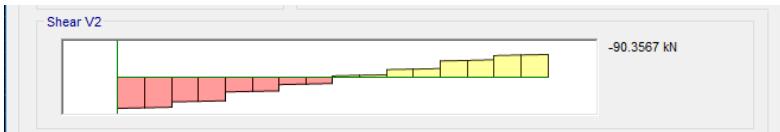
$$\emptyset Mn = 101,8 \text{ kNm} > Mu = 56,8535 \text{ kNm} \quad \mathbf{OK}$$

Cek Penampang

$$\frac{a}{d} = \frac{34,1}{389} = 0,088 < \frac{c}{d} = 0,375 \times \beta 1 = 0,3$$

Memenuhi

Penulangan Geser Setelah Komposit



$$V_u = 90,3567 \text{ kN}$$

$$V_{u'} = \frac{V_u}{7200/2} \times \left(\frac{7200}{2} - d \right) = \frac{90,3567}{7200/2} \times \left(\frac{7200}{2} - 389 \right)$$

$$V_{u'} = 80,593 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times (0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b \times d)$$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times (0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 389) \times 10^{-1}$$

$$\emptyset V_c = 8803 \text{ kg} = 88,03 \text{ kN}$$

$$1/2 \emptyset V_c \geq V_u$$

$$44,01 \text{ kN} \geq 80,593 \text{ kN} \quad \text{NOT OK}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser

$$1/2 \emptyset V_c \leq V_u \leq \emptyset V_c$$

$$44,01 \text{ kN} \leq 80,59 \text{ kN} \leq 88,03 \quad \text{OK}$$

Digunakan tulangan geser minimum

$$V_s = 0$$

$$V_{c1} = 0,333 \sqrt{f'c} b w d$$

$$V_{c1} = 0,333 \sqrt{35} \times 300 \times 389 \times 10^{-2} = 2299,05 \text{ kN}$$

Kekuatan geser balok mencukupi, tidak dibutuhkan tulang geser.

$$V_s \leq V_{c1}$$

$$0 \leq 2299,05 \text{ kN}$$

Digunakan D-10, dua kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara:

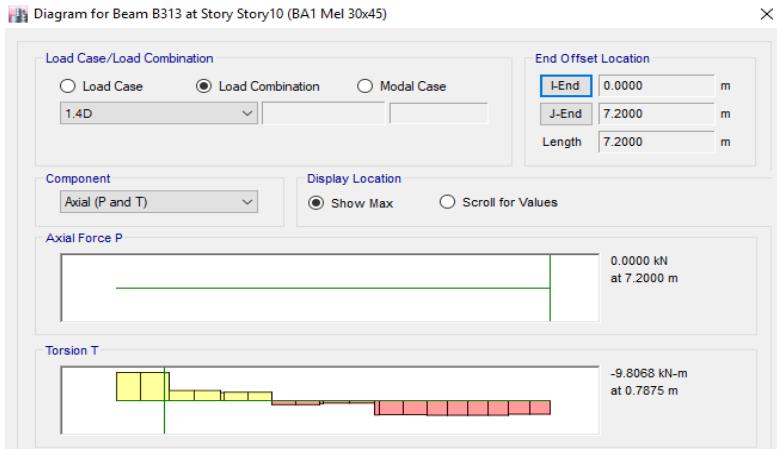
$$s_2 = \frac{d}{2} = \frac{389}{2} = 194,5 \text{ mm}$$

$$s_3 = \frac{A_v f_y t}{0,35 b w} = \frac{265,5 \times 400}{0,35 \times 300} = 1011,42 \text{ mm}$$

$$s_4 = 600 \text{ mm}$$

Dipakai s = 150 mm (dipasang D10-150)

Perhitungan Penulangan Torsi



1. Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.1:

Dimana:

$$Tu = 9,8068 \text{ kNm}$$

$$Vu = 90,3567 \text{ kN}$$

$$b_h = b - 2 \times t - \phi_{sengkang} = 300 - 2 \times 40 - 10 = 210 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \times t - \phi_{sengkang} = 450 - 2 \times 40 - 10 = 360 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_h = 2 \times (b_h + h_h) = 2 \times (210 + 360) = 1140 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$Aoh = b \times h \times h = 210 \times 350 = 75600 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \sqrt{fc' \cdot bw \cdot d} \\ &= 0,17 \cdot \sqrt{35} \times 300 \times 389 = 117369,11 \text{ N} \end{aligned}$$

Torsi maksimum beton non-prategang:

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir:

$$A_{cp} = b \times h = 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} = 135000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (300\text{mm} + 450\text{mm}) = 1500 \text{ mm}$$

$$Tu = \phi \frac{\sqrt{fc'}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu = 0,75 \times \frac{\sqrt{35}}{3} \left(\frac{135.000^2}{1500} \right) = 17970092,34 \text{ N.mm}$$

Torsi Minimum

A_{cp} = Luas penampang keseluruhan

P_{cp} = Keliling penampang keseluruhan

λ = 1 (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

ϕ = 0,75 (faktor reduksi beban torsi)

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir :

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

$$\begin{aligned} T_{umin} &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{35} \left(\frac{135.000^2}{1500} \right) \\ &= 4474552,993 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Karena nilai Tu terjadi < Tu min, maka dipakai Tu pakai = 17970092,34 Nmm

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 A^2 oh} \right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{90356,7}{300 \times 389} \right)^2 + \left(\frac{17970092,3 \times 1140}{1,7 \times 75600^2} \right)^2} = 2,2461 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\phi \left(\frac{Vc}{bw \cdot d} + 0,66 \sqrt{fc'} \right) \\ &= 0,75 \left(\frac{117369,11}{300 \times 389} + 0,66 \sqrt{35} \right) = 3,683 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Cek kecukupan penampang menahan torsi terfaktor:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw.d}\right)^2 + \left(\frac{T_{u.Ph}}{1,7 A^2 oh}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{bw.d} + 0,66\sqrt{fc'} \right) \text{ Memenuhi}$$

2. Periksa persyaratan Pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1, yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika:

$$Tu < Tu_{min}$$

$$17970092,3 < 4474552,993 \text{ (dipasang tulangan torsi)}$$

3. Perhitungan Tulangan Transversal Penahan Torsi Dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai Ao dapat diambil sama dengan 0,85.Aoh dan nilai $\Theta = 45^\circ$ (SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6)

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 75600 = 64260 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_T \times fyt}{s} \times \cot \theta$$

$$\frac{T_u}{\phi} = \frac{2 \times A_o \times A_T \times fyt}{s} \times \cot \theta$$

$$\frac{A_T}{s} = \frac{T_u}{\phi 2 \times A_o \times fyt \times \cot \theta}$$

$$\frac{A_T}{s} = \frac{4474552,993}{0,75 \times 2 \times 64260 \times 400 \times \cot 45} \\ = 0,116 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{fyv \times d} = \frac{2299,05}{400 \times 389} = 0,015 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{Avt}{s} = \frac{Av}{s} + 2 \frac{A_T}{s} = 0,015 + 2 \times 0,116 = 0,24688 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi **2kaki D10 – 150**:

$$\frac{Av_{Pakai}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{150} = 1,0472 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Karena $\frac{Av_{Pakai}}{s} > \frac{Av_t}{s}$ maka tulangan sengkang terpasang sudah cukup untuk menahan torsi.

Jadi tulangan sengkang terpasang setelah ditambah torsi menjadi **2kaki D10 – 150 mm**

- Perhitungan Tulangan Longitudinal Penahan Torsi Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7 tulangan torsi lentur dihitung dengan rumus:

$$A\lambda = \frac{A_T}{s} x P_h x \left(\frac{fyv}{fyt} \right) x \cot^2 \theta$$

Sehingga,

$$A\lambda = 0,116 x 1140 x \left(\frac{400}{400} \right) x \cot^2 45 = 132,30 \text{ mm}^2$$

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 padamuka-muka vertikal irisan penampang web balok dengan spasi pusat ke pusat tidakmelebihi 300 mm.

$$\frac{A\lambda}{4} = \frac{132,30}{4} = 33,08 \text{ mm}^2$$

Digunakan batang 2D10 mm = 157,1 mm², di pasang pada sisi samping kiri dan kanan penampang web balok sepanjang tumpuan maupun lapangan.

Tabel 6. 4 Rekapitulasi Penulangan Balok BA1

Kondisi	Tul. Lentur	Tul. Geser
Akibat Pengangkatan	(+) 2D22 (-) 2D22	-
Sebelum Komposit	(+) 3D22 (-) 2D22	D10 -150
Sesudah Komposit	(+) 3D22 (-) 2 D22	D10 -150

6.4.3. Penulangan Angkat Balok

SNI 2847 2013 pada lampiran D dijelaskan bahwa dalam pendesainan tulangan angkur, tarik pada angkur harus lebih kecil dibanding kekuatan nominal.

- Tulangan angkur = 13 mm
- Jumlah angkur = 2 buah
- Faktor sling 60° = 1,16
- Faktor kejut = 1,5

Perhitungan beban

Beban Mati

$$\begin{aligned} W &= \text{berat jenis} \times t \times b \times l \\ &= 2400 \times 0,31 \times 0,3 \times 6,75 &= 1506,6 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban Hidup

Pekerja = 200 kg

$$\text{Beban Ultimate} = 1,2D + 1,6L \quad = 2127,92$$

Dengan asumsi, jika setiap tulangan angkur dapat menerima beban total pada komponen pracetak, sehingga :

$$Nn = W/n = 2127,92 / 2 \quad = 1063,96 \text{ Kg}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja menggu nakan perhitungan $2/3 F_y$, maka:

$$F_s = (2/3) \times 400 = 266,7 \text{ Mpa} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{P}{f_s} = \frac{1063,96}{2666,67} = 0,399 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan D13 mm

$$\text{Aspakai} = 132,67 \text{ mm}^2 = 1,327 \text{ cm}^2 > 0,3990 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

Jadi dipakai tulangan angkat D10

Menurut SNI 2847-2013 Lampiran D.5.2.2 Kedalaman angkur dalam beton sebagai pencegahan dalam keadaan tarik, sehingga :

$K_c = 10$ (Angkur cor di dalam)

$$hef_{1,5} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{K_c \times \sqrt{f_c}} \right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{1063,96}{10 \times \sqrt{35}} \right)} = 31,861 \text{ mm}$$

digunakan $hef = 50 \text{ mm}$

Menurut *PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete*, fig. 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi breakout yang terbesar dari :

$$de = hef / \tan 35^\circ = 94,97 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 \times 32 = 47,79 \text{ mm}$$

Maka digunakan, $de = 47,79 \text{ mm}$

Menghitung Kebutuhan Strand

$$P = 1064,0 \text{ kg} \text{ (beban 1 titik angkat)}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete*, table design aid 15.3.1 material properti prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

$$\text{Diameter} = \frac{1}{4} \text{ in} = 6,35 \text{ mm}$$

$$F_{pu} = 250 \text{ ksi} = 1724 \text{ Mpa}$$

$$A = 0,036 \text{ in}^2 = 23,36 \text{ mm}^2$$

$$F_{strand} = 1724 \times 23,36 = 4027,3 \text{ kg}$$

$$\text{Maka gaya yang dipikul 1 strand} = 4027,3/2 = 2013,6 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$P < F_{strand}$$

$$1063,96 \text{ kg} < 2014 \text{ kg} \quad \text{Memenuhi}$$

Jadi dipakai seven wire strand diameter $\frac{1}{4}$ in ($f_{pu} = 250 \text{ ksi}$)

6.4.4. Kontrol Balok Anak Pracetak

- **Kontrol Pengangkatan**

$$F_{ci} (3 \text{ hari}) = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{16,1} = 2,62 \text{ Mpa} = 26,2 \text{ Kg/cm}^2$$

Pembebatan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$\text{Faktor tali sling} = 1,16$$

$$- Q_{dl} = B_j \times t = 2400 \times 0,31 = 744 \text{ Kg/m}^2$$

$$- Q_u = 1,2 \times Q_{dl} = 1,2 \times 744 = 892,8 \text{ Kg/m}^2$$

$$- Q_u (\text{terfaktor}) = 892,8 \times 1,5 \times 1,16 = 1553 \text{ Kg/m}^2$$

$$- Q_{per \text{ titik}} = \frac{1553,47}{2} = 776,74 \text{ Kg/m}^2$$

Perhitungan momen

$$\begin{aligned}
 +M_x = -M_x &= 0,0107 \times Q \times a^2 \times b \\
 &= 0,0107 \times 1553 \times 0,3^2 \times 7,2 \\
 &= 10,771 \text{Kgm} = 1077,12 \text{Kgcm} \\
 +M_y = -M_y &= 0,0107 \times Q \times a \times b^2 \\
 &= 0,0107 \times 1553 \times 0,30 \times 7,2^2 \\
 &= 258,508 \text{Kgm} = 25850,8 \text{Kgcm}
 \end{aligned}$$

Momen Tahanan,

$$W_x = \frac{b}{2} \times \frac{t^2}{6} = \frac{7,2}{2} \times \frac{0,31^2}{6} = 57660,0 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{a}{2} \times \frac{t^2}{6} = \frac{0,30}{2} \times \frac{0,31^2}{6} = 2402,5 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{1077,12}{57660,0} = 0,01868 \text{ Kg/cm}^2 < F_r \text{ OK}$$

$$\sigma_x = \frac{M_y}{W_y} = \frac{25850,8}{2402,5} = 10,7599 \text{ Kg/cm}^2 < F_r \text{ OK}$$

• Kontrol Penumpukan

$$\begin{aligned}
 F_{ci} (3 \text{ hari}) &= 16,1 \text{ Mpa} \\
 F_r &= 0,7 \times \sqrt{16,1} = 2,809 \text{ Mpa} = 28,09 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Pembebatan

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor kejut} &= 1,5 \\
 - Qdl &= B_j \times t = 2400 \times 0,31 \times 0,35 = 223,2 \text{ Kg/m} \\
 - Qu &= 1,2 \times Qdl = 1,2 \times 223,2 = 267,8 \text{ Kg/m} \\
 - Qu (\text{terfaktor}) &= 267,8 \times 1,5 = 401,8 \text{ Kg/m} \\
 - Pu &= 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m} \\
 - Pu (\text{terfaktor}) &= 320 \times 1,5 = 480 \text{ Kg/m} \\
 - \text{Penumpu} &= 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen

$$\text{Mulap} = \frac{Qu \times L^2}{8 \times 9} + \frac{Pu \times L}{4}$$

$$= \frac{401,8 \times 7,2^2}{8 \times 9} + \frac{480 \times 7,2}{4} = 504,32 \text{ Kgm}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{\alpha \times t^2}{6} = \frac{0,35 \times 0,31^2}{6} = 0,004805 \text{ m}^3 = 4805 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{50432}{4805} = 10,4957 \text{ Kg/cm}^2 < Fr \text{ Memenuhi}$$

Jumlah Tumpukan

Jumlah tumpukan yang mampu diterima, Digunakan kayu dengan ukuran 5/10 untuk penumpu pelat pracetak, maka luas bidang kontak yaitu

$$A = 0,05 \times 3 = 0,15 \text{ m}^2 = 150000 \text{ mm}^2$$

$$P = 2400 \times 7,2 \times 0,35 \times 0,31 = 1607 \times 1,2 = 1928,4 \text{ Kg}$$

$$F = \frac{P}{A} = \frac{1928,45}{150000} = 0,01 \text{ Kg/mm}^2 = 1 \text{ Mpa}$$

Maka jumlah penumpukan

$$n = \frac{Fr}{F \times Sf} = \frac{28,09}{1 \times 4} = 5,4618 \approx 6 \text{ tumpukan}$$

- **Kontrol Pemasangan**

$$Fci (7 \text{ hari}) = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times 2,75 = 3,3 \text{ Mpa} = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

Pembebatan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$- Qdl = Bj \times t = 2400 \times 0,31 \times 0,35 = 223,2 \text{ Kg/m}$$

$$- Qu = 1,2 \times Qdl = 1,2 \times 223,2 = 267,8 \text{ Kg/m}$$

$$- Qu (\text{ terfaktor}) = 267,8 \times 1,5 = 401,8 \text{ Kg/m}$$

$$- Pu = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m}$$

$$- Pu (\text{ terfaktor}) = 320 \times 1,5 = 480 \text{ Kg/m}$$

Perhitungan momen

$$\text{Mulap} = \frac{Qu \times L^2}{8} + \frac{Pu \times L}{4}$$

$$= \frac{401,8 \times 7,2^2}{8} + \frac{480 \times 7,2}{4} = 3467,4 \text{ Kgm}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,35}{2} \times \frac{0,31^2}{6} = 0,004805 \text{ m}^3 = 4805 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{34674}{4805} = 22,5359 \text{ Kg/cm}^2 < Fr \text{ OK}$$

Dikarenakan tegangan beton yang terjadi melebihi modulus kehancuran beton, maka ditambah 1 perancah di tengah bentang.

Perhitungan momen

$$\text{Mulap} = \frac{Qu \times L^2}{8 \times 4} + \frac{Pu \times L}{4 \times 2}$$

$$= \frac{544,3 \times 7,2^2}{8 \times 4} + \frac{480 \times 7,2}{4 \times 2} = 1313,8 \text{ Kgm}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,35 \times 0,36^2}{6} = 0,00756 \text{ m}^3 = 7560 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{131380}{7560} = 17,378 \text{ Kg/cm}^2 < Fr \text{ Memenuhi}$$

- **Kontrol Pengecoran**

$$Fci (7 \text{ hari}) = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{22,75} = 3,3 \text{ Mpa} = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

Pembebatan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$\text{Berat Balok} = 0,35 \times 0,45 \times 2400 = 324 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pelat} &= 0,14 \times 2,8 \times 2400 &= 940,8 \text{ Kg/m} \\ Qdl &= 1265 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

- Qu	$= 1,2 \times Qdl = 1,2 \times 1264,8$	$= 1518 \text{ Kg/m}$
- Pu	$= 1,6 \times Qll = 1,6 \times 200$	$= 320 \text{ Kg}$
- 0,5L	$= 0,5 \times 7,2$	$= 3,6\text{m}$

Perhitungan momen

Mulap

$$= \frac{Qu \times L^2}{8} + \frac{Pu \times L}{4}$$

$$= \frac{1518 \times 7,2^2}{10} + \frac{320 \times 7,2}{4} = 2255 \text{ Kgm}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,35 \times 0,31^2}{6} = 0,004805 \text{ m}^3 = 4805 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{225500}{4805} = 46,9306 \text{ Kg/cm}^2 < \text{Fr Memenuhi}$$

6.5. Perencanaan Balok Induk Pracetak

Data Perencanaan yang diperlukan meliputi :

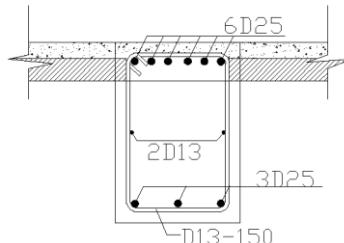
- Panjang bentang $= 7200 \text{ mm}$
- Dimensi balok $= 450 \times 650 \text{ mm}$
- Mutu beton (fc') $= 35 \text{ Mpa}$
- Mutu Baja (fy) $= 400 \text{ Mpa}$
- Diameter tulangan longitudinal $= 25\text{mm}$
- Diameter tulangan sengkang $= 13\text{mm}$
- Bj Beton $= 2400 \text{ kg/m}^3$

Balok BI-1 akan didesain sebagai balok *cast in situ* dikarenakan posisi balok terletak sebagai kantilever. Balok induk pracetak direncanakan terhadap 3 kondisi yaitu saat pengangkatan, sebelum komposit, dan setelah komposit. Untuk penulangan balok didesain tipikal untuk lantai 1-9. Hal ini dilakukan karena kemiripan hasil *output* gaya dalam. Tujuan pendesainan seperti ini dapat mempermudah dan juga mempercepat pelaksanaan. Perancangan penulangan balok

mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 21 mengenai ketentuan khusus untuk perencanaan gempa

6.5.1. Perencanaan Balok Induk Pracetak BI-1

Pada perencanaan sebelumnya, yaitu perencanaan pelat lantai, pelat lantai direncanakan menumpu pada balok anak dan balok induk. Oleh karena itu, balok induk menerima beban dari pelat lantai dan berat sendirinya. Balok anak yang direncanakan saat ini adalah balok BI-1 yang mempunyai ukuran $450 \times 650 \text{ mm}^2$. Untuk menjaga elevasi akhir yang sama antar pelat lantai pada balok induk, maka ketinggian balok induk akan dikurangi setinggi pelat lantai seperti gambar berikut.



Sehingga balok induk pracetak berukuran $450 \times 510 \text{ mm}^2$ akan digunakan sebagai dimensi saat pengangkatan dan sebelum komposit.

6.5.2. Pembebanan Balok Induk Pracetak B1

Saat Pengangkatan

- Beban Mati (DL)

$$\text{Berat balok induk} = 0,45 \times 0,51 \times 2400 = 550,8 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Beban kejut} & = 0,5 \times 550,8 & = 275,4 \text{ Kg/m} \\ & & \text{DL} & = 826,2 \text{ Kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Beban total} & = 1,4\text{DL} \\ & = 1,4(826,2) = 1.156,7 \text{ kg/m} \\ \text{qu} & = 1.156,7 \text{ kg/m} \end{array}$$

Sebelum Komposit

Pada saat kondisi sebelum komposit, pelat pracetak merupakan pelat dengan tipe 1 arah yang memiliki 2 tumpuan. Oleh karena

itu balok induk menerima setengah beban akibat pelat dan setengah beban sisanya dipikul oleh balok anak.

Beban mati (DL)

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,31 \times 2400 = 223,2 \text{ kg/m}$$

Beban pelat pracetak =

$$2\left(\frac{1}{2} q lx\right) = 2\left(\frac{1}{2} \times 0,08 \times 2400 \times 3,6\right) = 691,2 \text{ kg/m}$$

Beban *overtopping* =

$$2\left(\frac{1}{2} q lx\right) = 2\left(\frac{1}{2} \times 0,06 \times 2400 \times 3,6\right) \times 1,5 = 336,6 \text{ kg/m}$$

$$\text{DL} = 1251 \text{ kg/m}$$

Beban hidup pelat =

$$2\left(\frac{1}{2} q lx\right) = 2\left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2400 \times 3,6\right) = 720 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban total} &= 1,2\text{DL} + 1,6\text{LL} \\ &= 1,2(1251) + 1,6(720) \\ &= 2.653 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

qu

$$= 2.653 \text{ kg/m}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (PD) pada saat pembebanan balok induk.

$$Pu = 2.653 \text{ kg/m} \times (7,2/2) \text{ m} \times 2 = 19.103 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat eqivalen pelat.

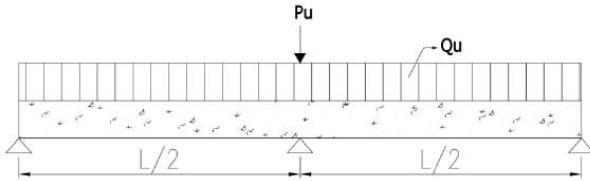
$$\text{Berat balok induk} = 0,45 \times 0,51 \times 2400 = 550,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati balok induk (Qd)} = 550,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Qu} = 1,4D$$

$$= 1,4 \times 550,8$$

$$= 660,96 \text{ kg/m}$$



Gambar 6. 27 Pembebaan Balok Induk Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 Mu &= \left(\frac{1}{10} x Qu x \frac{L^2}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{1}{10} x 660,96 x \frac{7,2^2}{2} \right) \\
 &= 1713,208 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Setelah Komposit

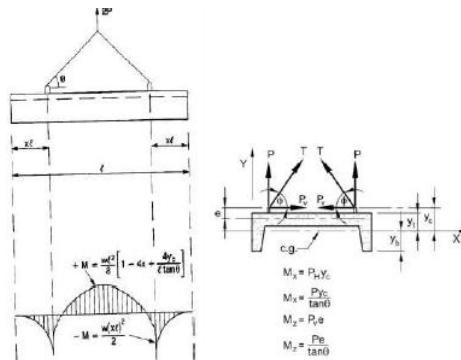
Pada saat kondisi setelah komposit, momen yang bekerja pada balok dihasilkan dari *output* analisis struktur menggunakan program ETABS.

6.5.3. Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan penulangan balok direncanakan dalam tiga tahap,yaitu penulangan saat pengangkatan, sebelum komposit dan saat komposit. Lalu dipilih tulangan yang paling kritis di antara ketiga keadaan tersebut.

6.5.3.1. Kondisi Saat Pengangkatan

Pada saat pengangkatan direncanakan menggunakan 2 buah titik angkat yang sudah disediakan oleh PCI edisi ke-5 sepertigambar di bawah ini.

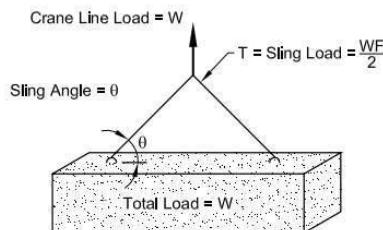


Gambar 6. 28 Titik Pengangkatan Balok

Momen yang Terjadi

$$M+ = \frac{qu}{8} l^2 \left[1 - 4x + \frac{4yc}{I \tan \phi} \right]$$

$$M- = \frac{qu(xl)^2}{2}$$



Multiplication Factor "F" for the Total Load on Sling With a Sling Angle of 0					
θ	90°	75°	60°	45°	30° ^a
F	1.00	1.04	1.16	1.41	2.00

NOTE: θ is usually not less than 60°.
check bi-directional sling angle.

^a A 30° sling angle is not recommended.

Gambar 6. 29 Sudut pengangkatan

$$Y_t = Y_b = \frac{h_{pracetak}}{2} = \frac{510}{2} = 255 \text{ mm}$$

$$Y_c = Y_t + 50 \text{ mm} = 255 + 50 = 305 \text{ mm}$$

$$\theta = 60^\circ = 1,047$$

$$X = \frac{1 + \frac{4yc}{Lx \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Yt}{Yb} \left(1 + \frac{4yc}{Lx \tan \theta} \right)} \right)} = 0,224$$

$$M_+ = \frac{1156 (7,2)^2}{8} \left[1 - 4(0,224) + \frac{4(305)}{7,2 (\tan 60)} \right] = 1506,94 \text{ kgm}$$

$$M_- = \frac{1156 (0,224 \times 7,2)^2}{8} = 1506,94 \text{ kgm}$$

$$M_+ = M_-$$

- **Penulangan Lentur Setelah Komposit**

Data perencanaan penulangan :

Dimensi balok induk 45/65

Bentang = 7200 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

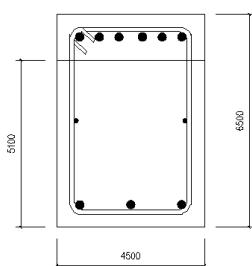
D tulangan utama = 25 mm

D tulangan sengkang = 13 mm

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 Mpa

Pada perencanaan awal, ϕ diasumsikan 0,9 dan menggunakan 1 lapis tulangan.



Gambar 6. 30 Sketsa Penulangan Balok Induk Saat Pengangkatan

Tulangan Lapangan

$$d = 650 - 140 - 40 - 13 - \frac{1}{2}(25) = 444,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{fc' - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$M = 15.069,431 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{15.069,431}{0,9 \times 450 \times 445^2} = 0,19 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

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

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,19}{400}} \right) = 0,00047$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{min} yaitu 0,0037

$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,0268$$

Sehingga : $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$

$0,0037 > 0,00047 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$

Tulangan Lentur Tarik

As perlu = $\rho_{\text{pakai}} \times b \times x$

$$= 0,0037 \times 450 \times 444,5 = 739,602 \text{ mm}^2$$

SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 menetapkan As tidak boleh kurang dari

$$As_{\text{min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \times 450 \times 444,5 = 740 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 450 \times 444,5}{400} = 700,09 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = 739,602 mm²

Digunakan tulangan D - 25 mm (A D25 = 490,87 mm²)

$$n_{tulangan} = \frac{As_{perlu}}{ASD16} = \frac{739,602}{490,87} = 1,51 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik **2D25** ($As = 981,748 \text{ mm}^2$)

Tulangan Lentur Tekan

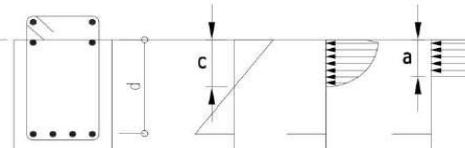
Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik berdasarkan pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013.

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 981,748 = 490,87 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur tekan **2D25** ($As = 981,748 \text{ mm}^2 > As'$)

Memenuhi

Kontrol Kapasitas Penampang:



Gambar 6. 31 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{981,7 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 29,33 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,33}{0,8} = 36,67 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{444,5}{36,67} - 1 \right) 0,003 = 0,03$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 981,7 \times 400 \times \left(444,5 - \frac{1}{2} \times 29,33 \right) \\ = 151.915.651,88 \text{ Nmm} = 151,9 \text{ kNm}$$

$$\emptyset Mn = 151,9 \text{ kNm} > Mu = 15,07 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi pada balok saat beton berumur 14 hari:

$$f''c = 0,88 \times f'c = 0,88 \times 35 = 30,8 \text{ MPa}$$

$$fr = 0,62 \lambda \sqrt{f''c} \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$fr = 0,62 (1) \sqrt{30,8}$$

$$fr = 3,44 \text{ MPa}$$

Momen layan yang bekerja adalah:

$$M+ = M- = \frac{q(xl)^2}{2} = \frac{826,2 (0,22 \times 7,2)^2}{2}$$

$$M+ = M- = 1076,39 \text{ kgm} = 10.763,879 \text{ Nmm}$$

Gaya yang terjadi, yaitu beban terpusat layan yang bekerja:

$$Pu = \frac{qu l}{2} = \frac{1156,68 \times 7,2}{2} = 4164,05 \text{ kg} = 41,6 \text{ kN}$$

$$Pv = \frac{Pu}{\tan \theta} = \frac{4164,05}{\tan 60} = 2404,114 \text{ kg} = 24,04 \text{ kN}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 450 \times 510^3 = 4.974.412.500 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \frac{Mc}{I} + \frac{Pv}{A} < fr$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \frac{36,67 \times 10.763,879}{4.974.412.500} + \frac{24041,1}{400 \times 510} < fr$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = 0,08 + 0,12 < 3,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = 0,2 \text{ MPa} < 3,44 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Kontrol Momen Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013.

Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 14 hari:

$$Mcr = \frac{fr \times I}{c} = \frac{3,44 \times 4.974.412.500}{36,67} = 466.808.149 \text{ Nmm}$$

$$Mcr = 466.808.149 \text{ Nmm} \geq M = 15.069.431 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Lendutan

$$\Delta \leq \Delta \text{ ijin}$$

$$\frac{5 q l^4}{384 EI} < \frac{l}{16}$$

$$\frac{5 \times 826,2 \times 10^2 \times 7,2^4}{384 \times 26.083,94 \times 4.974.412.500} < \frac{7,2}{16}$$

$2,228 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm}$ **OK**

Penulangan Geser Akibat Pengangkatan

$$V_u = 0,5 \times q_u \times l = 0,5 \times 1156,7 \times 7,2 = 4164,05 \text{ kg} = 41,6 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b_w x d = \frac{1}{6} x \sqrt{35} x 450 x 444,5 = 20117 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 20117 = 15.088 \text{ kg} = 150,9 \text{ kN}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 150,9 = 75,44 \text{ kN}$$

Karena $0,5\phi V_c > V_u < V_c$

Kekuatan geser balok mencukupi, tidak dibutuhkan tulangan geser.

6.5.3.2. Kondisi Sebelum Komposit

Data perencanaan penulangan :

Dimensi balok anak 45/65

Bentang = 7200 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

D tulangan utama = 25 mm

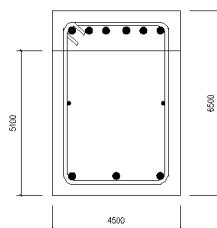
D tulangan sengkang = 13 mm

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 Mpa

- Penulangan Lentur Setelah Komposit**

Pada perencanaan awal, ϕ diasumsikan 0,9 dan menggunakan 1 lapis tulangan.



Gambar 6. 32 Sketsa Penulangan Balok Induk Saat Pengangkatan

Tulangan Lapangan

$$d = 650 - 140 - 40 - 13 - \frac{1}{2}(25) = 444,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{c'} - 28}{7} \geq 0,65$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$M = 1/8 \cdot qu \cdot L^2 = 1/8 \times 660,96 \times 7,2^2 = 42.830.208 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{42.830.208}{0,9 \times 450 \times 444,5^2} = 0,54 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$P_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,54}{400}} \right) = 0,00135$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{F_c}}{F_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0037$$

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

maka dipakai ρ_{min} yaitu 0,0037

$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_{max} = 0,0268$$

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0,0037 > 0,00135 < 0,0268$ (**Tidak Memenuhi**)

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,0037$

Tulangan Lentur Tarik

$$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0037 \times 450 \times 444,5 = 739,602 \text{ mm}^2$$

SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1 menetapkan As tidak boleh kurang dari

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \times 450 \times 444,5 = 740 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 450 \times 444,5}{400} = 700,088 \text{ mm}^2$$

Maka, As pakai = 739,602 mm²

Digunakan tulangan D - 25 mm (A D25 = 490,87 mm²)

$$n_{tulangan} = \frac{As_{perlu}}{ASD16} = \frac{739,602}{490,87} = 1,51 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik **2D25** (As = 981,748 mm²)

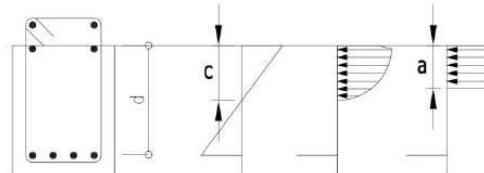
Tulangan Lentur Tekan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan sebesar ½ dari kekuatan lentur tarik berdasarkan pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013.

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 981,748 = 490,748 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur tekan **2D25** (As = 981,748 mm² > As')

Kontrol Kapasitas Penampang:



Gambar 6. 33 Diagram Tegangan Balok Anak Saat Pengangkatan

- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{982 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 29,3 \text{ mm}$$
- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,3}{0,8} = 34,51 \text{ mm}$$
- Regangan tarik

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{444,5}{34,51} - 1 \right) 0,003 = 0,036$$

Dipakai $\emptyset = 0,9$
 $\emptyset M_n = 0,9 \times As \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a \right)$

$$\begin{aligned}\emptyset M_n &= \emptyset \times 981,7 \times 400 \times \left(444,5 - \frac{1}{2}x 29,3\right) \\ &= 151.915.651,88 \text{ Nmm} = 151,95 \text{ kNm} \\ \emptyset M_n &= 151,92 \text{ kNm} > M_u = 42,830 \text{ kNm} \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Penulangan Geser Sebelum Komposit

$$V_u = \frac{1}{2} q_u x l + \frac{P_u}{2} = \frac{1}{2} x 660,96 x 7,2 + \frac{19.103}{2}$$

$$V_u = 11930,98 \text{ kg} = 119,3 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 0,17 \times 1 \sqrt{35} \times 400 \times 444,5 \times 10^{-1}$$

$$\emptyset V_c = 15088 \text{ kg} = 150,9 \text{ kN}$$

$$1/2 \emptyset V_c \geq V_u$$

$$75,44 \text{ kN} \geq 119,3 \text{ kN} \quad \mathbf{NOT OK}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser

$$1/2 \emptyset V_c \leq V_u \leq \emptyset V_c$$

$$75,44 \text{ kN} \leq 119,3 \text{ kN} \leq 150,9 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

Digunakan tulangan geser minimum

$$V_s = 0$$

$$V_{c1} = 0,333 \sqrt{f'c b w d}$$

$$V_{c1} = 0,333 \sqrt{35} \times 400 \times 444,5 \times 10^{-2} = 3940,6 \text{ kN}$$

Kekuatan geser balok mencukupi, tidak dibutuhkan tulangan geser.

$$V_s \leq V_{c1}$$

$$0 \leq 3940,6 \text{ kN}$$

Digunakan D-13, dua kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara:

$$s_2 = \frac{d}{2} = \frac{444,5}{2} = 222,3 \text{ mm}$$

$$s_3 = \frac{A_v f_y t}{0,35 b w} = \frac{265,5 \times 400}{0,35 \times 400} = 758,57 \text{ mm}$$

$$s_4 = 600 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan geser D13 dengan 2 kaki

$$\begin{aligned}A_v &= 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n_k \text{aki} \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 2 = 265,5 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Dipakai $s = 200 \text{ mm}$ (dipasang **D13 – 200 mm**)

Kontrol : Av pakai >Av perlu
 $265,46 > 75 \text{ mm}^2$ **Memenuhi**

Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi pada balok saat beton berumur 14 hari:

$$f''c = 0,88 \times f'c = 0,88 \times 35 = 30,8 \text{ MPa}$$

$$fr = 0,62 \lambda \sqrt{f''c} \quad \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$fr = 0,62 (1) \sqrt{30,8}$$

$$fr = 3,44 \text{ MPa}$$

Momen layan yang bekerja adalah:

$$M^- = \frac{qu.(x.l)^2}{2} = \frac{660,96 (0,22 \times 7,2)^2}{2} = 861,11 \text{ kgm} = 8.611.103 \text{ Nmm}$$

Gaya yang terjadi, yaitu beban terpusat layan yang bekerja:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 450 \times 510^3 = 4.974.412.500 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = \frac{\frac{Mc}{I}}{A} + \frac{Pv}{A} < fr$$

$$\sigma = \frac{34,51 \times 8.611.103}{4.974.412.500} + \frac{24041,1}{229500} < fr$$

$$\sigma = 0,0597 + 0,105 \text{ MPa} < 3,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 0,164 \text{ MPa} < 3,44 \text{ Mpa} \quad \textbf{OK}$$

Kontrol Momen Retak

Kontrol retak ditinjau menurut pasal 9.5.2.3 SNI 2847-2013.
 Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 14 hari:

$$Mcr = \frac{fr \times I}{c} = \frac{3,44 \times 4.974.412.500}{34,51} = 495.983.658,4 \text{ Nmm}$$

$$Mcr = 495.983.658,4 \text{ Nmm} \geq M = 15.069.431,25 \quad \textbf{OK}$$

Kontrol Lendutan

$$Ec = 4700 \times \sqrt{fc_i}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30,8} = 26.083,94 \text{ Mpa}$$

$$\Delta \leq \Delta_{ijin}$$

$$\frac{5 q l^4}{384EI} < \frac{l}{16}$$

$$\frac{5 \times 661 \times 10^{-2} \times 7,2^4}{384 \times 26083,94 \times 4.974.412.500} < \frac{7,2}{16}$$

1,782 mm ≤ 450 mm **OK**

6.5.3.3. Kondisi Setelah Komposit

Data perencanaan penulangan :

Dimensi balok Induk 45/65

Bentang	= 7200	mm
Tebal selimut beton	= 40	mm
D tulangan utama	= 25	mm
D tulangan sengkang	= 13	mm
Mutu beton ($f'c$)	= 35	MPa
Mutu baja (fy)	= 400	Mpa

A. 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, $P_u < Ag.f'c/10$

$$P_u = 0,6278 \text{ kN} < \frac{(450 \times 650) \text{ mm}^2 \times 35 \text{ MPa}}{10} = 1023,75 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

- b. Bentang bersih untuk komponen struktur, $ln \geq 4d$

$$d = h_{balok} - t - sengkang - (D. lentur / 2)$$

$$d = 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (25 \text{ mm}/2)$$

$$d = 584,5 \text{ mm}$$

$$ln = 6550 \text{ mm} \geq 4 \times 584,5 = 2338 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

- c. Lebar komponen, $bw \geq 0,3h$ atau **250 mm**

$$bw = 450 \text{ mm} \geq 0,3 \times 650 = 195 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

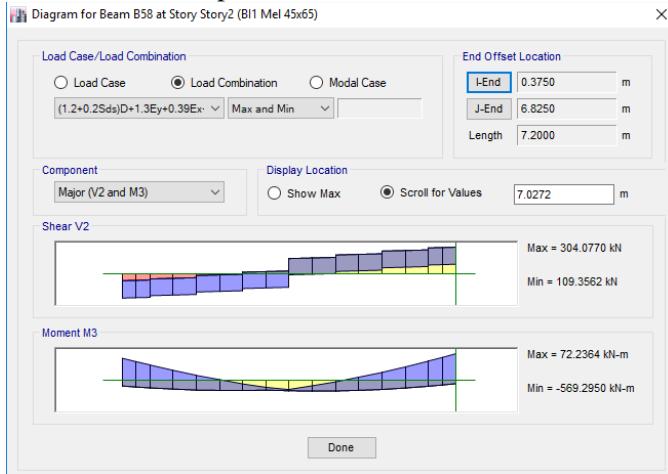
- d. Rasio lebar dan tinggi balok tidak kurang dari 0,3

$$\frac{450}{650} = 0,692 > 0,3 \quad \mathbf{OK}$$

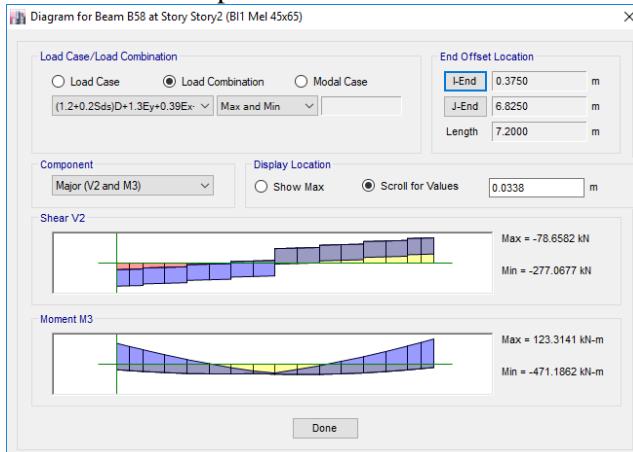
B. Perhitungan Penulangan Lentur Balok

Gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok, diperoleh menggunakan program bantu ETABS v.16.

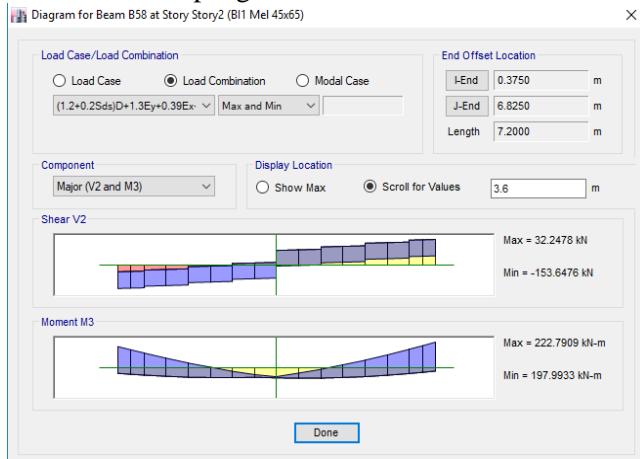
- Momen Tumpuan Kanan



- Momen Tumpuan Kiri



- Momen Lapangan



Rekapitulasi :

Tabel 6. 5 Rekapitulasi Momen

Kondisi	Lokasi	Arah	Mu
		Goyangan	(kN-m)
1	Ujung Interior Kanan	Kanan	569,295
	Negatif		
2	Ujung Interior Kiri	Kiri	471,189
	Negatif		
3	Ujung Interior Ki (ke tengah)	Kanan	123,314
	Positif		
4	Ujung Interior Ka (ke tengah)	Kiri	72,236
	Positif		
5	Tengah Bentang	Kanan Kiri	197,993

C. Keperluan Baja Tulangan Menahan Momen Lentur

Kondisi 1 $M_u = 569,295 \text{ kNm}$

- a. Diameter tulangan lentur balok harus dibatasi sehingga dimensi tumpuan (kolom) paralel terhadap tulangan sekurang-kurangnya 20 db

$$\begin{aligned} \text{Diameter maksimum} &= 650 \text{ mm} : 20 \\ &= 33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D25

$$d = 650 - 40 - 13 - (25/2) = 584,5 \text{ mm}$$

Asumsi awal :

$$J = 0,85 \text{ (Koef. Lengan Momen)}$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (Faktor Reduksi Lentur)}$$

$$\beta_1 = 0,81$$

$$As = \frac{Mu}{\phi x fy x J x d} = \frac{593.482,700}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 584,5} = 3318,2 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan 6D25 ($AD_{25} = 2945,24 \text{ mm}^2$)

Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual adalah

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{2945,24 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 88 \text{ mm}^2$$

Momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi x As x fy x \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 3436 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{103}{2} \right) \\ &= 573.085.513,97 \text{ Nmm} = 573,1 \text{kN.m} \end{aligned}$$

- b. Cek As Minimum

$$As_{\min} = \frac{\sqrt{fc'} x bw x d}{4 x fy} = \frac{\sqrt{35} x 450 x 584,5}{4 x 400} = 972,548 \text{ mm}^2$$

Tapi, tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4}{fy} bw x d = \frac{1,4}{400} x 450 x 584,5 = 920,6 \text{ mm}^2$$

- c. Cek Rasio

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 x \frac{fc' - 28}{7} \geq 0,65 \\
 &= 0,85 - 0,05 x \frac{35 - 28}{7} = 0,8 \geq 0,65 \\
 R_n &= \frac{Mu}{\phi x b x d^2} = \frac{569.295.000}{0,9 x 450 x 584,5^2} = 4,114 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{fy}{0,85 x f_{c'}} = \frac{400}{0,85 x 35} = 13,45 \text{ Mpa} \\
 P_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{Fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 13,45 x 4,114}{400}} \right) = 0,0111 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{Fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 P_{max} &= 0,75 x \rho_{balance} \\
 &= 0,75 x 0,85 x \beta_1 x \frac{f_{c'}}{f_y} x \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,75 x 0,85 x 0,8 x \frac{f_{c'}}{f_y} x \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,0268
 \end{aligned}$$

Kontrol :

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0111 < 0,0268$ **(Memenuhi)**

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,0111$

d. Penampang Tension Controlled

$$d = 650 - 40 - 13 - (25/2) = 584,5 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{dt} = \frac{103}{584,5} = 0,1756$$

$$\frac{atd}{dt} = 0,75 x 0,8 = 0,3$$

Syarat desain tulangan under reinforced $a/dt < atd/dt$ **OK**

e. Jarak Tulangan

Dicoba tulangan 6D25 ($As = 2945,243 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 As_{perlu} &= \rho_{pakai} x b x d \\
 &= 0,0111 x 450 x 584,5 = 2924 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n_{tulangan} = \frac{Asperlu}{As tul} = \frac{2924,05}{490,87} = 5,957 \approx 6 \text{ buah}$$

Aspakai = $6 \times AsD25$

$$= 6 \times 490,87 = 2945,243 \text{ mm}^2 > Asperlu \quad \text{OK}$$

Menurut SNI 2847:2013 ps. 10.6 untuk membatasi retak akibat lentur. Spasi tulangan, S tidak boleh melebihi :

$$Fs = 2/3 \times Fy = 2/3 \times 400 = 266,67 \text{ Mpa}$$

Decking = 40 mm

$$S_{max} = 380 \times \frac{280}{f_s} - 2,5 \times decking$$

$$S_{max} = 380 \times \frac{280}{266,67} - 2,5 \times 40 = 299 \text{ mm}$$

Maka,

$$S = \frac{\text{tinggi balok-decking-jmlh.diameter tul.pakai}}{\text{tul.pakai}-1}$$

$$S = \frac{450-80-148,9}{6-1} = 44 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < 44 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Sehingga pada lapangan digunakan tulangan 6D25 dengan jarak spasi 150 mm.

f. Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{2945,243 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 88 \text{ mm}^2$$

Momen nominal aktual

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \times 2945,243 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{88}{2} \right)$$

$$= 573.085.513,97 \text{ Nmm}$$

$$= 573,09 \text{ kNm} > Mu \text{ tulangan} = 198$$

OK

Kondisi 2

Kolom interior kiri, momen negatif tumpuan, goyangannya kiri. kebutuhan detailing penampang sama dengan kondisi 1 yaitu sama seperti pada kondisi 1 yaitu 6D25 Untuk memikul $M_u = 471,186 \text{ KNm}$.

Kondisi 3

Kolom interior kiri, momen positif tumpuan, goyang ke kanan.
 SNI Beton ps. 21.5.2.2, bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari 1/2 kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 0,5 \times \varphi M_{\text{N-interior}} \\ &= 283 > \text{Mu} = 123,314 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka digunakan $\text{Mu} = 283 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} \text{Diameter maksimum} &= 650 \text{ mm} : 20 \\ &= 33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D25

$$d = 650 - 40 - 13 - (25/2) = 584,5 \text{ mm}$$

Asumsi awal :

$$\begin{aligned} J &= 0,85 \text{ (Koef. Lengan Momen)} \\ \Phi &= 0,9 \text{ (Faktor Reduksi Lentur)} \end{aligned}$$

$$\text{As} = \frac{\text{Mu}}{\varnothing x f_y x J x d} = \frac{284.647.500}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 584,5} = 1519,48 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan 3D25 ($\text{AD25} = 1472,62 \text{ mm}^2$)

Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual adalah

$$a = \frac{\text{As} x f_y}{0,85 x f'_c x b} = \frac{1473 x 400}{0,85 x 35 x 450} = 44 \text{ mm}^2$$

Momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi x \text{As} x f_y x \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 x 1473 x 400 x \left(584,5 - \frac{44}{2} \right) \\ &= 298.205.892,44 \text{ Nmm} = 298,2 \text{kNm} \end{aligned}$$

a. Cek As Minimum

$$\text{As}_{\min} = \frac{\sqrt{f_c} x bw x d}{4 x f_y} = \frac{\sqrt{35} x 450 x 584,5}{4 x 400} = 972,548 \text{ mm}^2$$

Tapi, tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4}{f_y} bw x d = \frac{1,4}{400} x 450 x 584,5 = 920,6 \text{ mm}^2$$

b. Cek Rasio

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi x b x d^2} = \frac{284.647,500}{0,9 x 350 x 584,5^2} = 2,057 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 x f_{c'}} = \frac{400}{0,85 x 35} = 13,45 \text{ Mpa} \\
 P_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 13,45 x 2,057}{400}} \right) = 0,0053 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 P_{max} &= 0,75 x \rho_{balance} \\
 &= 0,75 x 0,85 x \beta_1 x \frac{f_{c'}}{f_y} x \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,75 x 0,85 x 0,8 x \frac{f_{c'}}{f_y} x \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,0268
 \end{aligned}$$

Kontrol :

Sehingga : $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$
 $0,0035 < 0,0053 < 0,0268$ (**Memenuhi**)

Maka digunakan $\rho_{pakai} = 0,0053$

c. Penampang Tension Controlled

$$\begin{aligned}
 d &= 650 - 40 - 13 - (25/2) = 584,5 \text{ mm} \\
 \frac{a}{dt} &= \frac{44}{584,5} = 0,1507 \\
 \frac{atd}{dt} &= 0,75 x 0,8 = 0,3
 \end{aligned}$$

Syarat desain tulangan under reinforced $a/dt < atd/dt$ **OK**

d. Jarak Tulangan

Dicoba tulangan 3D25 ($As = 1473 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 A_{s,perlu} &= \rho_{pakai} x b x d \\
 &= 0,0053 x 450 x 584,5 = 1403,1 \text{ mm}^2 \\
 n_{tulangan} &= \frac{A_{s,perlu}}{A_{s,tul}} = \frac{1403,075}{490,87} = 2,858
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As_{pakai} &= 3 x AsD25 \\
 &= 3 x 490,87 = 1472,62 \text{ mm}^2 > As_{perlu} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 – 2013 ps. 10.6 untuk membatasi retak akibat lentur. Spasi tulangan, S tidak boleh melebihi :

$$F_s = 2/3 \times F_y = 2/3 \times 400 = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$\text{Decking} = 40 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 380 \times \frac{280}{f_s} - 2,5 \times \text{decking}$$

$$S_{max} = 380 \times \frac{280}{266,67} - 2,5 \times 40 = 299 \text{ mm}$$

Maka,

$$S = \frac{\text{tinggi balok-decking-jml\square.diameter tul.pakai}}{\text{tul.pakai-1}}$$

$$S = \frac{450-80-71,46}{3-1} = 149 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < 149 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Sehingga pada lapangan digunakan tulangan 3D25 dengan jarak spasi 150 mm.

e. Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1472,62 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 44 \text{ mm}^2$$

Momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1473 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{44}{2}\right) \\ &= 298.205.892,44 \text{ Nmm} \\ &= 298,2 \text{ kNm} > Mu \text{ tulangan} = 198 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kondisi 4

Kolom interior kanan, momen positif tumpuan, goyang ke kiri.

Kebutuhan detailing penampang sama dengan untuk kondisi 3 yaitu diperlukan 3D25 untuk memikul $M_u = 137,53 \text{ KNm}$

Kondisi 5

Tengah bentang, momen positif, goyang ke kanan dan kiri. SNI Beton pasal 21.5.2.2, baik kuat lentur negatif maupun positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/4 kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom. $M_u = 198 \text{ kNm} > 0,25 \times \phi M_u = 0,25 \times 573,1 = 143,3 \text{ kNm}$ **OK**

Diameter maksimum = 650 mm : 20

$$= 33 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D25

$$d = 650 - 40 - 13 - (25/2) = 584,5 \text{ mm}$$

Asumsi awal :

$$J = 0,85 \text{ (Koef. Lengan Momen)}$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (Faktor Reduksi Lentur)}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi x fy x J x d} = \frac{143.271.378}{0,9 x 400 x 0,85 x 584,5} = 801,039 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba tulangan 2 D 25 (AD25} = 981,758 \text{ mm}^2$$

Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual adalah

$$a = \frac{As x fy}{0,85 x f'c x b} = \frac{981,86 x 400}{0,85 x 35 x 450} = 29,3 \text{ mm}^2$$

Momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi x As x fy x \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 x 981,86 x 400 x \left(584,5 - \frac{29,3}{2} \right) \\ &= 201.395.736,17 \text{ Nmm} = 201,4 \text{kNm} \end{aligned}$$

a. Cek As Minimum

$$As_{\min} = \frac{\sqrt{f'c} x bw x d}{4 x fy} = \frac{\sqrt{35} x 450 x 584,5}{4 x 400} = 972,548 \text{ mm}^2$$

Tapi, tidak boleh kurang dari

$$\frac{1,4}{fy} bw x d = \frac{1,4}{400} x 450 x 584,5 = 920,6 \text{ mm}^2$$

b. Cek Rasio

$$Rn = \frac{Mu}{\phi x b x d^2} = \frac{143.271.378}{0,9 x 350 x 584,5^2} = 1,035 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 x f'c} = \frac{400}{0,85 x 35} = 13,45 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P \text{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x Rn}{Fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 13,45 x 1,035}{400}} \right) = 0,0026 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 P_{\max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,0268
 \end{aligned}$$

Kontrol :

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,0026 < 0,0268 \quad (\text{Not Ok})$$

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$

c. Penampang Tension Controlled

$$d = 650 - 40 - 13 - (25/2) = 584,5 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{dt} = \frac{29,33}{584,5} = 0,0502$$

$$\frac{atd}{dt} = 0,75 \times 0,8 = 0,3$$

Syarat desain tulangan under reinforced $a/dt < atd/dt$ **OK**

d. Jarak Tulangan

Dicoba tulangan 2D25 ($As = 981,748 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 450 \times 584,5 = 920,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{\text{tul}}} = \frac{920,59}{490,87} = 1,875$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{spakai}} &= 2 \times A_{SD25} \\
 &= 2 \times 491 = 981,748 \text{ mm}^2 > A_{S\text{perlu}} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 ps. 10.6 untuk membatasi retak akibat lentur. Spasi tulangan, S tidak boleh melebihi :

$$F_s = 2/3 \times F_y = 2/3 \times 400 = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$\text{Decking} = 40 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 380 \times \frac{280}{f_s} - 2,5 \times \text{decking}$$

$$S_{\max} = 380 \times \frac{280}{266,67} - 2,5 \times 40 = 299 \text{ mm}$$

Maka,

$$S = \frac{\text{tinggi balok-decking-jmlh.diameter tul.pakai}}{\text{tul.pakai}-1}$$

$$S = \frac{450-80-50}{2-1} = 366 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < 366 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

Sehingga pada lapangan digunakan tulangan 2D25 dengan jarak spasi 150 mm.

e. Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc'x b} = \frac{981,748 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 29,3 \text{ mm}^2$$

Momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 981,748 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{29,3}{2} \right) \\ &= 201.395.736,17 \text{ Nmm} \\ &= 201,4 \text{ kNm} > Mu \text{ tulangan} = 198 \end{aligned}$$

OK

Tabel 6. 6 Rekapitulasi tulangan balok induk

Kondisi	Lokasi	Arah	Tulangan	As pakai
		Goyangan	(kN-m)	mm ²
1	Ujung Interior Kanan (-)	Kanan	6D25	2945,24
2	Ujung Interior Kiri (-)	Kiri	6D25	2945,24
3	Ujung Interior Ki(ke tengah)(+)	Kanan	3D25	1472,62
4	Ujung Interior Ka(ke tengah)(+)	Kiri	3D25	1472,62
5	Tengah Bentang	Kanan Kiri	2D25	981,75

D. Kapasitas minimum momen positif dan momen negatif

Pada pasal 21.5.1 dan 21.5.2.2 mensyaratkan, Sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan atas dan dua batang tualangan bawah yang dipasang menerus, dan kapasitas momen positif dan momen negatif minimum pada sebarang penampang di sepanjang bentang balok SRPMK tidak boleh kurang dari 1/4 kali kapasitas momen maksimum yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut. Untuk detail penulangan tengah bentang disamakan dengan kondisi 3 dan 4 yaitu 3D25– 150 mm.

E. Probable Momen Capacities (Mpr)

- Kapasitas Momen Ujung Balok Bila Struktur Bergoyang ke kanan

Kondisi 1

$$\begin{aligned} a_{pr-1} &= \frac{1,25 \times As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{1,25 \times 2945 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 110 \text{ mm} \\ M_{pr-1} &= 1,25 \times As \times fy \times \left(d - \frac{apr-1}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 2945 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{110}{2} \right) \\ &= 779.753.303,5 \text{ Nmm} = 779,8 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Kondisi 3

$$\begin{aligned} a_{pr-3} &= \frac{1,25 \times As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{1,25 \times 1473 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 55 \text{ mm} \\ M_{pr-3} &= 1,25 \times As \times fy \times \left(d - \frac{apr-3}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 1473 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{55}{2} \right) \\ &= 410.125.150,8 \text{ Nmm} = 410,1 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Detailing penampang pada kedua ujung balok akan sama

Kondisi 2

$$\begin{aligned} a_{pr-2} &= \frac{1,25 \times As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{1,25 \times 2945 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 110 \text{ mm} \\ M_{pr-2} &= 1,25 \times As \times fy \times \left(d - \frac{apr-2}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 2945 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{110}{2} \right) \\ &= 779.753.303,5 \text{ Nmm} = 779,8 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Kondisi 4

$$a_{pr-4} = \frac{1,25 \times As \times fy}{0,85 \times fc'x b} = \frac{1,25 \times 1473 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 55 \text{ mm}$$

$$M_{pr-4} = 1,25 \times As \times fy \times \left(d - \frac{apr-4}{2}\right)$$

$$= 1,25 \times 1473 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{55}{2}\right)$$

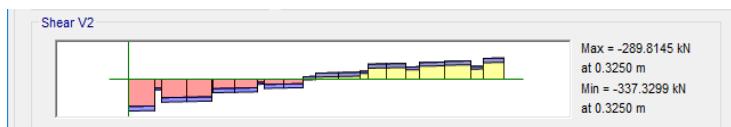
$$= 410.125.150,8 \text{ Nmm} = 410,1 \text{ KNm}$$

Tabel 6. 7 Momen Balok Akibat Kombinasi Gempa dan Gravitasi

Case	Lokasi	Arah Gempa	Reinf	As pakai	Mpr kN-m
1	Interior Ka Negatif	Kanan	6D25	2945	893,96 Searah
2	Interior Ki Negarif	Kiri	6D25	2945	893,96 Lawan
3	Ujung Interior Ki (ke tengah) Positif	Kanan	3D25	1473	779,75 Searah
4	Ujung Interior Ka (ke tengah) Positif	Kiri	3D25	1473	779,75 Searah

F. Diagram Geser

Reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur :



$$Vu = 337,3299 \text{ Kn}$$

$$Wu = Vu \cdot 2 / ln = 93,7 \text{ KN/m}$$

a. Struktur Bergoyang Ke Kanan

$$V_{\text{sway-ka}} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-3}}{L_n} = \frac{779,8 + 410,13}{7,2} = 165,3 \text{ KN}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok = 337,3 – 165,3
 (Arah gaya geser ke bawah) = 172,1 KN

Total reaksi geser di ujung kanan balok = 337,3 + 165,3
 (Arah gaya geser ke atas) = 502,6 KN

b. Struktur Bergoyang Ke Kiri

$$V_{\text{sway-ki}} = \frac{M_{pr-2} + M_{pr-4}}{L_n} = \frac{779,8 + 410,13}{7,2} = 165,3 \text{ KN}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok = 337,3 + 165,3
 (Arah gaya geser ke bawah) = 502,6 KN

Total reaksi geser di ujung kanan balok = 337,3 – 165,3
 (Arah gaya geser ke atas) = 172,1 KN

G. Sengkang untuk gaya geser

Vaksial = 0,1861 KN

SNI Beton ps. 21.5.4.2 mensyaratkan, Kontribusi beton dalam menahan geser yaitu V_c , harus diambil = 0 pada perencanaan geser di daerah sendi plastis apabila.

- a. Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi 1/2 (atau lebih) kuat geser perlu maksimum, V_u di sepanjang bentang.

Tabel 6. 8 Gaya Geser di Muka Kolom Int kiri & Kanan

Arah Gerakan Gempa	V_{sway}	Reaksi Tumpuan Kiri		Reaksi Tumpuan Kanan		Cek Syarat
		V_u	$0,5V_u$	V_u	$0,5V_u$	
		kN	kN	kN	kN	
Kanan	156,26	502,6	251,3	172,07	86,03	NOT OKE
Kiri	156,26	172,07	86,03	502,6	251,3	NOT OKE

- b. Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa kurang dari $A_g F_c / 20$

$$\text{Vaksial} < \frac{\text{Ag } x f c'}{20} = 0,186 < 511,9 \quad \text{OK}$$

Karena nilai $V_{sway} > \frac{1}{2} Vu$ dan $P_u > Ag.f_c'/20$, maka nilai V_c dihitung sesuai persamaan:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f c'} b x d = \frac{1}{6} \sqrt{35} x 450 x 584,5 = 259,35 \text{ kN}$$

a. Muka kolom kiri dan muka kolom kanan

$$Vu = 502,6 \text{ kN}$$

Dengan demikian,

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - V_c = \frac{502,6}{0,75} - 259,35 = 410,7749 \text{ kN}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.7.9, nilai maksimum Vs adalah sebagai berikut:

$$Vs \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{f c'} b x d = \frac{2}{3} \sqrt{35} x 450 x 584,5$$

$$Vs \text{ max} = 1037,38 \text{ kN}$$

Karena nilai $Vs = 410,77 \text{ kN} < 1037,4 \text{ kN}$ (**Memenuhi**)

Apabila dicoba digunakan sengkang D13 dipasang 2 kaki ($Av = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{Av x f_y x d}{Vs} = \frac{265,5 \text{ mm}^2 x 400 \text{ MPa} x 584,5 \text{ mm}}{410,774,914 \text{ N}} = 151,1 \text{ mm}$$

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.

$$2h = 2 \times 650 \text{ mm} = 1300 \text{ mm.}$$

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:

- $d/4 = 584,5 \text{ mm} / 4 = 146,1 \text{ mm}$
- $6 \times \text{D.tulangan longitudinal terkecil}$
 $6 \times 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Dengan demikian, tulangan sengkang didaerah sendi plastis (yaitu di daerah sepanjang $2h = 1,3 \text{ m}$ dari muka kolom) menggunakan sengkang tertutup **2 kaki D13-150 mm**

b. Ujung zona sendi plastis:

Gaya geser maksimum Vu di ujung zona sendi plastis, yaitu sejarak $2h = 2 \cdot 650 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$ dari muka kolom adalah $502,6 \text{ kN} - (2h \cdot \omega_u) = 502,6 \text{ kN} - (1,3 \text{ m} \times 93,7 \text{ kN}) = 380,78 \text{ kN}$

Pada daerah ini V_c dapat diperhitungkan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} x b x d = \frac{1}{6} \sqrt{35} x 450 x 584,5 = 259,35 \text{ kN}$$

Dengan demikian,

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{380,8}{0,75} - 259,35 = 248,36 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9, nilai maksimum V_s adalah sebagai berikut:

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} x b x d = \frac{2}{3} \sqrt{35} x 450 x 584,5$$

$$V_s \text{ max} = 1037,38 \text{ kN}$$

Karena nilai $V_s = 248,36 \text{ kN} < 1037,4 \text{ kN}$ (**Memenuhi**)

Apabila dicoba digunakan sengkang D13 dipasang 2 kaki ($A_v = 265,5 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v x f_y x d}{V_s} = \frac{265,5 \text{ mm}^2 x 400 \text{ Mpa} x 584,5 \text{ mm}}{248,356,814 \text{ N}} = 200,6 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1, diperlukan hoops (sengkang tertutup) di sepanjang $2h$ dari sisi muka kolom terdekat.

$$2h = 2 \times 650 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}.$$

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:

- $d/4 = 584,5 \text{ mm} / 4 = 146,1 \text{ mm}$
- $6 \times \text{D.tulangan longitudinal terkecil}$
 $6 \times 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Dengan demikian, tulangan sengkang didaerah sendi plastis (yaitu di daerah sepanjang $2h = 1,3 \text{ m}$ dari muka kolom) menggunakan sengkang tertutup **2 kaki D13-150 mm**

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4, spasi maksimum tulangan geser disepanjang balok SRPMK adalah $d/2$.

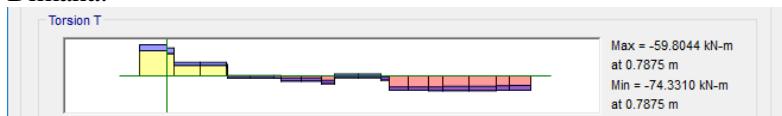
$$S_{max} = d/2 = 584,5 \text{ mm} / 2 = 292,25 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas, untuk bentang di luar zona sendi plastis digunakan sengkang **2 kaki D13-150 mm.**

H. Penulangan Puntir Akibat Torsi

- Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.1:

Dimana:



$$T_u = 74,331 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 337,329 \text{ N}$$

$$b_h = b - 2 \times t - \phi sengkang = 450 - 2 \times 40 - 13 = 357 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \times t - \phi sengkang = 650 - 2 \times 40 - 13 = 557 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_h = 2 \times (b_h + h_h) = 2 \times (357 + 557) = 1828 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$A_{oh} = b_h \times h_h = 357 \times 557 = 198.849 \text{ mm}^2$$

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

$$V_c = 0,17 \sqrt{35} \cdot 450 \cdot 584,5 = 264.533,07 \text{ N}$$

Torsi maksimum beton non-prategang:

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir:

$$A_{cp} = b \times h = 450 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} = 292.500 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (450\text{mm} + 650\text{mm}) = 2200 \text{ mm}$$

$$T_u = \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \left(\frac{A_{cp}}{P_{cp}} \right)^2$$

$$T_u = 0,75 \times \frac{\sqrt{35}}{3} \left(\frac{292.500^2}{2200} \right) = 57.517.909,2 \text{ N.mm}$$

$$Tu \min = \phi 0,083 \cdot \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$Tu \min = 0,75 \times 0,083 \cdot 1\sqrt{35} \left(\frac{292.500^2}{2200} \right)$$

$$= 14.321.959,39 \text{ Nmm}$$

Karena nilai Tu terjadi < Tu min, maka dipakai Tu pakai = 57.517.909,2Nmm

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw.d} \right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7 A^2 oh} \right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{121260}{450 \times 584,5} \right)^2 + \left(\frac{57.517.909,2 \times 1828}{1,7 \times 198.849^2} \right)^2} = 2,023 \text{ Mpa}$$

$$\phi \left(\frac{Vc}{bw.d} + 0,66 \sqrt{fc'} \right)$$

$$= 0,75 \left(\frac{264.533,07}{450 \times 584,5} + 0,66 \sqrt{35} \right) = 3,683 \text{ Mpa}$$

Cek kecukupan penampang menahan torsi terfaktor:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw.d} \right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7 A^2 oh} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{bw.d} + 0,66 \sqrt{fc'} \right) \text{ Memenuhi}$$

2. Periksa persyaratan Pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.1, yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika:

$$Tu < Tu_{min}$$

$$Tu < \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$57.517.909,2 < 14.321.959,39 \text{ Nmm}$$

(dipasang tulangan torsi)

3. Perhitungan Tulangan Transversal Penahan Torsi Dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai Ao dapat diambil sama dengan 0,85.Aoh dan nilai $\Theta = 45^\circ$ (**SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6**)

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 198.849 = 169.022 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_T \times fyt}{s} \times \cot \theta$$

$$\frac{T_u}{\phi} = \frac{2 \times A_o \times A_T \times fyt}{s} \times \cot \theta$$

$$\frac{A_T}{s} = \frac{T_u}{\phi 2 \times A_o \times fyt \times \cot \theta}$$

$$\frac{A_T}{s} = \frac{14.321.959,39}{0,75 \times 2 \times 169.021,7 \times 400 \times \cot 45}$$

$$= 0,141 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{fyv \times d} = \frac{410.774,914}{400 \times 584,5} = 1,757 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{Avt}{s} = \frac{Av}{s} + 2 \frac{A_T}{s} = 1,757 + 2 \times 0,141 = 2,039 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan sengkang terpasang sebelum torsi **2 kaki D13 – 120**:

$$\frac{Av_{Pakai}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{120} = 2,212 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Karena $\frac{Av_{Pakai}}{s} > \frac{Avt}{s}$ maka tulangan sengkang terpasang sudah cukup untuk menahan torsi.

Jadi tulangan sengkang terpasang setelah ditambah torsi menjadi **2 kaki D13 – 120 mm**

4. Perhitungan Tulangan Longitudinal Penahan Torsi
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7 tulangan torsi lentur dihitung dengan rumus:

$$A\lambda = \frac{A_T}{s} \times P_h \times \left(\frac{fyv}{fyt} \right) \times \cot^2 \theta$$

Sehingga,

$$A\lambda = 0,141 \times 1828 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times \cot^2 45 = 258,16 \text{ mm}^2$$

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

padamuka-muka vertikal irisan penampang web balok dengan spasi pusat ke pusat tidak melebihi 300 mm.

$$\frac{A\lambda}{4} = \frac{258,16}{4} = 64,54 \text{ mm}^2$$

Digunakan batang 2D13 mm = 265,46 mm², di pasang pada sisi samping kiri dan kanan penampang web balok sepanjang tumpuan maupun lapangan.

I. Kontrol Retak Balok

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

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \times \text{decking}$$

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

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

$$\text{Sehingga: } s = 380 \left(\frac{280}{266} \right) - 2,5 \times 40 = 299 \text{ mm}$$

$$\text{dan tidak melebihi } s_{\max} = 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

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

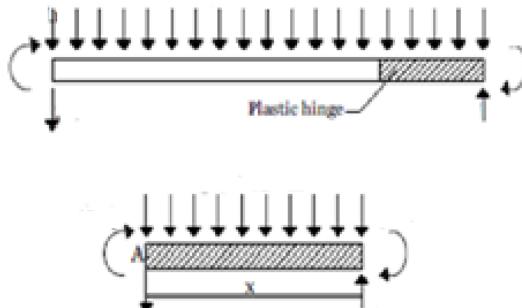
J. Cut-off Points

1. Tulangan negatif di muka kolom kanan dan kiri Jumlah tulangan atas terpasang adalah 6D25. Tiga buah tulangan atas D25 akan dipasang menerus di sepanjang bentang. Tiga buah tulangan lainnya akan dicut-off, sehingga As sisa = 981,7 mm². Kuat lentur rencana dengan

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{981,748 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 29,3 \text{ mm}$$

Momen nominal aktual

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 981,7 \times 400 \times \left(584,5 - \frac{29,3}{2} \right) \\ &= 201.395.736,17 \text{ Nmm} = 201,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 6. 34 Sketsa Lokasi Penampang pada Balok B1 saat mengalami Goyangan ke Kanan

Untuk mengetahui lokasi penampang dengan momen negatif rencana 201,4 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen di titik A, yaitu:

$$93,7x \left(\frac{1}{2}x\right) - 502,6x + (779,8 - 201,4) = 0 \\ 46,85x^2 - 502,59x + 578,4 = 0 \\ X_1 = 9,417 \text{ m} \quad X_2 = 1,311 \text{ m}$$

Momen rencana 201,4 kNm terletak di 1,074 m baik dari muka kolom kanan maupun kiri. Data ini dipakai untuk menentukan lokasi cut-off point untuk tulangan 1D25.

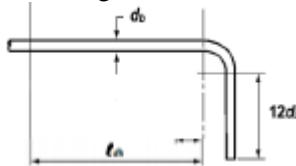
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 12.12.3, mengharuskan setidaknya 1/3 tulangan tarik momen negatif pada tumpuan harus ditanam melewati titik belok tidak kurang dari d , $12db$, $ln/16$. Jadi, tulangan 4D25 harus ditanam sepanjang yang terbesar diantara:

1. $1311\text{mm} + d = 1311\text{mm} + 584,5 \text{ mm} = 1895,5 \text{ mm}$
2. $1311\text{mm} + (12 \times 25\text{mm}) = 1611 \text{ mm}$
3. $1311\text{mm} + 7200\text{mm} / 16 = 1761 \text{ mm}$

Maka tulangan 1D25 ditanamkan sejauh 1800 mm dari muka kolom kanan dan kiri.

K. Panjang Penyaluran

- a. Panjang Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik



Gambar 6. 35 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1, nilai ldh harus memenuhi:

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

$$ldh = \frac{400 \times 25}{5,4 \sqrt{35}} = 313,02 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

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:

$$ld1 = \left(\frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \right) db$$

$$= \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 25 = 405,7 \text{ mm}$$

$$ld2 = 0,043 \times fy \times db = 0,043 \times 400 \times 25 = 430 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil terbesar yakni ldc} = 450 \text{ mm}$$

- c. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2 panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik untuk $D > 22 \text{ mm}$, (D_{25}) yang dibuat kontinu, masing-masing harus di lap-splices satu sama lain minimum sepanjang l_{d-25} :

Diketahui nilai:

$$Db = 25 \text{ mm} \quad \psi_s = 1,0$$

$$\psi_t = 1,0 \quad \lambda = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0$$

$$ld = \left(\frac{fy x \Psi_t x \Psi_e}{1,7 x \lambda x \sqrt{fc'}} \right) db$$

$$ld = \left(\frac{400 \text{ Mpa} x 1 x 1}{1,7 x 1 x \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) x 25 \text{ mm}$$

$$= 1292 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \textbf{OK}$$

Di sepanjang l_{d-25} , sambungan kedua tulangan harus diikat oleh sengkang tertutup dengan spasi max yang terkecil antara d/4 dan 100mm.

6.5.4. Penulangan Angkur Balok

SNI 2847 2013 pada lampiran D dijelaskan bahwa dalam pendesainan tulangan angkur, tarik pada angkur harus lebih kecil dibanding kekuatan nominal.

- Tulangan angkur = 13 mm
- Jumlah angkur = 2 buah
- Faktor sling 60° = 1,16
- Faktor kejut = 1,5

Perhitungan beban

Beban Mati

$$W = \text{berat jenis} x t x b x l \\ = 2400 x 0,51 x 0,45 x 7,2 = 3965,8 \text{ Kg}$$

Beban Hidup

$$\text{Pekerja} = 200 \text{ kg} = 200 \text{ kg}$$

$$\text{Beban ultimate} = 1,2D + 1,6L = 5078,91$$

Dengan asumsi, jika setiap tulangana ngkur dapat menerima beban total pada komponen pracetak, sehingga :

$$N_n = W/n = 5078,91/2 = 2539,46 \text{ Kg}$$

Menurut metode ASD untuk tegangan ijin dasar pada baja menggu nakan perhitungan $2/3 F_y$, maka:

$$F_{uta} = (2/3) \times 400 = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$As = \frac{P}{f_s} = \frac{2539,46}{2666,7} = 0,952 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat D13 mm

Aspakai = $132,67 \text{ mm}^2 = 1,327 \text{ cm}^2 > 0,9523 \text{ cm}^2$ **Memenuhi**

Kedalaman angkur dalam beton sebagai pencegahan dalam keadaan tarik, sehingga :

$K_c = 10$ (Angkur cor di dalam)

$$hef_{1,5} = \frac{Nn}{Kc \times \sqrt{F_{ct}}} = \sqrt[3]{\left(\frac{2539,46}{1 \times \sqrt{35}} \right)^2} = 56,903 \text{ mm}$$

digunakan hef = 56,903 mm

Menurut PCI panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol, dipilih yang terbesar dari :

$$de = 56,903 / \tan 35^\circ = 94,97 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 \times hef = 85,36 \text{ mm}$$

Maka digunakan, de = 85,36 mm

Menghitung Kebutuhan Strand

$P = 2539,5 \text{ kg}$ (beban 1 titik angkat)

Berdasarkan PCI Design Handbook 7th Precast and Prestressed Concrete, table design aid 15.3.1 material properti prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

Diameter = 5/16 in

Fpu = 250 ksi = 1724 Mpa

A = 0,058 in = 37,42 mm²

Fstrand = $1724 \times 37,42 = 6451,6 \text{ kg}$

Maka gaya yang dipikul 1 strand = $6451,6 / 2 = 3225,8 \text{ kg}$

Kontrol :

$P < Fstrand$

$2539,46 \text{ kg} < 3226 \text{ kg}$ **Memenuhi**

Jadi dipakai seven wire strand diameter 5/16 in (fpu = 250 ksi)

6.5.5. Kontrol Lendutan Balok Induk

- **Kontrol Pengangkatan**

Pengangkatan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$F_{ci} \text{ (3 hari)} = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{16},1 = 2,81 \text{ Mpa} = 28,1 \text{ Kg/cm}^2$$

Pembebanan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$\text{Faktor tali sling} = 1,16$$

$$- Q_{dl} = B_j \times t = 2400 \times 0,51 = 1224 \text{ Kg/m}^2$$

$$- Q_u = 1,2 \times Q_{dl} = 1,2 \times 1224 = 1469 \text{ Kg/m}^2$$

$$- Q_u (\text{terfaktor}) = 1469 \times 1,5 \times 1,16 = 2556 \text{ Kg/m}^2$$

$$- Q_{per \text{ titik}} = \frac{2555,71}{2} = 1277,9 \text{ Kg/m}^2$$

Perhitungan momen

$$+M_x = -M_x = 0,0107 \times Q \times a^2 \times b \\ = 0,0107 \times 2556 \times 0,45^2 \times 7,2 \\ = 39,871 \text{ Kgm} = 3987,06 \text{ Kgcm}$$

$$+M_x = -M_x = 0,0107 \times Q \times a \times b^2 \\ = 0,0107 \times 2556 \times 0,45 \times 7,2^2 \\ = 637,93 \text{ Kgm} = 63793 \text{ Kgcm}$$

Momen Tahanan,

$$W_x = \frac{b}{2} \times \frac{t^2}{6} = \frac{7,2}{2} \times \frac{0,51^2}{6} = 156060 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{a}{2} \times \frac{t^2}{6} = \frac{0,45}{2} \times \frac{0,51^2}{6} = 9753,8 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{3987,06}{156060} = 0,0256 \text{ Kg/cm}^2 < F_r \quad \text{OK}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{63793}{9753,8} = 6,54 \text{ Kg/cm}^2 < F_r \quad \text{OK}$$

- Kontrol Penumpukan**

Penumpukan menggunakan 3 tumpuan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$F_{ci} \text{ (3 hari)} = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa} = 28,1 \text{ Kg/cm}^2$$



Pembebatan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

- $Q_{dl} = B_j \times t = 2400 \times 0,51 \times 0,45 = 550,8 \text{ Kg/m}$
- $Q_u = 1,2 \times Q_{dl} = 1,2 \times 550,8 = 661 \text{ Kg/m}$
- $Q_u \text{ (terfaktor)} = 661 \times 1,5 = 991,4 \text{ Kg/m}$
- $P_u = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m}$
- $P_u \text{ (terfaktor)} = 320 \times 1,5 = 480 \text{ Kg/m}$
- Penumpu = 3 buah

Perhitungan momen

$$\begin{aligned} \text{Mulap} &= \frac{Q_u \times L^2}{8 \times 9} + \frac{P_u \times L}{4} \\ &= \frac{991,4 \times 7,2^2}{8 \times 9} + \frac{480 \times 7,2}{4} = 610,46 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,45 \times 0,51^2}{6} = 0,019508 \text{ m}^3 = 19508 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{610,46}{19508} = 3,13 \text{ Kg/cm}^2 < Fr \text{ Memenuhi}$$

Jumlah Tumpukan

Jumlah tumpukan yang mampu diterima, Digunakan kayu dengan ukuran 5/10 untuk penumpu pelat pracetak, maka luas bidang kontak yaitu

$$A = 0,05 \times 3 = 0,15 \text{ m}^2 = 150000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P &= 2400 \times 7,2 \times 0,45 \times 0,51 \\ &= 3965,8 \times 1,2 = 4758,9 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$F = \frac{P}{A} = \frac{4758,91}{150000} = 0,03 \text{ Kg/mm}^2 = 3 \text{ MPa}$$

Maka jumlah penumpukan

$$n = \frac{Fr}{F \times S_f} = \frac{28,1}{3 \times 4} = 2,213 \approx 3 \text{ tumpukan}$$

• Kontrol Pemasangan

Penumpukan dengan menggunakan 2 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$F_{ci} (7 \text{ hari}) = 22,75 \text{ MPa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{22,75} = 3,3 \text{ MPa} = 33 \text{ Kg/cm}^2$$



Pembebatan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$- Qdl = B_j \times t = 2400 \times 0,51 \times 0,45 = 550,8 \text{ Kg/m}$$

$$- Qu = 1,2 \times Qdl = 1,2 \times 550,8 = 661 \text{ Kg/m}$$

$$- Qu (\text{terfaktor}) = 661 \times 1,5 = 991,4 \text{ Kg/m}$$

$$- Pu = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg/m}$$

$$- Pu (\text{terfaktor}) = 320 \times 1,5 = 480 \text{ Kg/m}$$

Perhitungan momen

$$\text{Mulap} = \frac{\frac{Qu \times L^2}{8}}{4} + \frac{\frac{Pu \times L}{4}}{4} = \frac{991,4 \times 7,2^2}{8} + \frac{480 \times 7,2}{4} = 7288,5 \text{ Kgm}$$

Momen Tahaman,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,45 \times 0,51^2}{6} = 0,0195075 \text{ m}^3 = 19508 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{7288,5}{19508} = 37,363 \text{ Kg/cm}^2 < Fr \text{ NOT OK}$$

Dikarenakan tegangan beton yang terjadi melebihi modulus kehancuran beton, maka ditambah 1 perancah di tengah bentang.



Perhitungan momen

$$\text{Mulap} = \frac{Qu \times L^2}{8 \times 4} + \frac{Pu \times L}{4 \times 2} \\ = \frac{991,4 \times 7,2^2}{8 \times 4} + \frac{480 \times 7,2}{4 \times 2} = 2038,1 \text{ Kgm}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,45 \times 0,51^2}{6} = 0,019508 \text{ m}^3 = 19508 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{2031,1}{19508} = 10,448 \text{ Kg/cm}^2 < Fr \quad \text{Memenuhi}$$

- Kontrol Pengecoran**

Pengecoran overtopping menggunakan bantuan scaffolding ditengah bentangpada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$F_{ci} (7 \text{ hari}) = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{22,75} = 3,3 \text{ Mpa} = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

Pembebatan

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$\text{Berat Balok} = 0,45 \times 0,65 \times 2400 = 702 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat Pelat} = 0,14 \times 2,8 \times 2400 = 940,8 \text{ Kg/m}$$

$$Qdl = 1643 \text{ Kg/m}$$

$$- Qu = 1,2 \times Qdl = 1,2 \times 1643 = 1971 \text{ Kg/m}$$

$$- Pu = 1,6 \times Qll = 1,6 \times 200 = 320 \text{ Kg}$$

$$- 0,5L = 0,5 \times 7,2 = 3,6 \text{ m}$$

Perhitungan momen

$$\text{Mulap} = \frac{Qu \times L^2}{8} + \frac{Pu \times L}{4} \\ = \frac{1971 \times 7,2^2}{10} + \frac{320 \times 7,2}{4} = 2842,9 \text{ Kgm}$$

Momen Tahanan,

$$W = \frac{a \times t^2}{6} = \frac{0,45 \times 0,51^2}{6} = 0,0195057 \text{ m}^3 = 19508 \text{ cm}^3$$

Tegangan beton pada komponen pracetak tidak boleh melebihi modulus kehancuran beton,

$$\sigma_x = \frac{Mx}{Wx} = \frac{2842,9}{1950} = 14,57 \text{ Kg/cm}^2 < \text{Fr Memenuhi}$$

6.6. Perencanaan Kolom

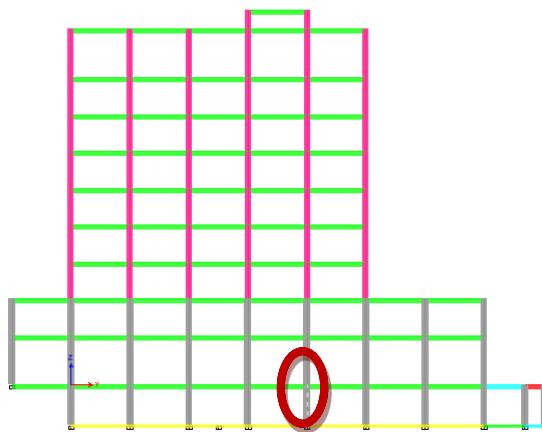
Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk. Perhitungan penulangan kolom berdasarkan Pu (ultimate) terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur pada lantai 1. Berikut data yang akan digunakan dalam perencanaan kolom :

6.6.1. Data Perencanaan

Tipe kolom	: K1 (750 x 750mm)
Bentang balok (Lbalok)	: 7200 mm
Tinggi kolom (H)	: 6000 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 35 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (Dlentur)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 13 mm

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. Lentur} \\ &= 850 - 40 - 13 - (1/2 \cdot 25) \\ &= 784,8 \text{ mm} \end{aligned}$$



6.6.2. Hasil output ETABS

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu ETABS 16.0.2, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan.

Dalam pengambilan hasil output di ETABS dan diagram gaya dalam dari analisa ETABS yaitu dengan meninjau beberapa macam kombinasi pembebanan yang terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban akibat gempa.

Untuk perhitungan tulangan kolom, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa.

Berdasarkan hasil output ETABS didapatkan :

- Gaya Aksial kolom desain



- Gaya aksial kolom atas



6.6.3. Cek Persyaratan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.1 persyaratan yang harus dipenuhi adalah :

1. Gaya aksial terfaktor maksimum $> Ag f_c'/10$

Dari hasil analisa ETABS gaya aksial terbesar yaitu berdasarkan kombinasi $0,2D = 5052,6 \text{ kN}$.

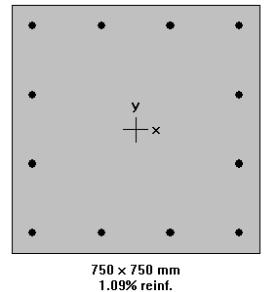
$$\frac{Ag \cdot f_c'}{10} = \frac{750 \times 750 \times 35}{10} = 1968750 \text{ kN} = 1969 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfraktor maksimum = 7088,65 kN (ETABS)
7088,65 kN $>$ 1969 kN **(Memenuhi)**

2. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm
Sisi terpendek kolom 750mm $>$ 300mm**(Memenuhi)**
3. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4
Rasio antara b dan h = $750/750 = 1 > 0,4$ **(Memenuhi)**

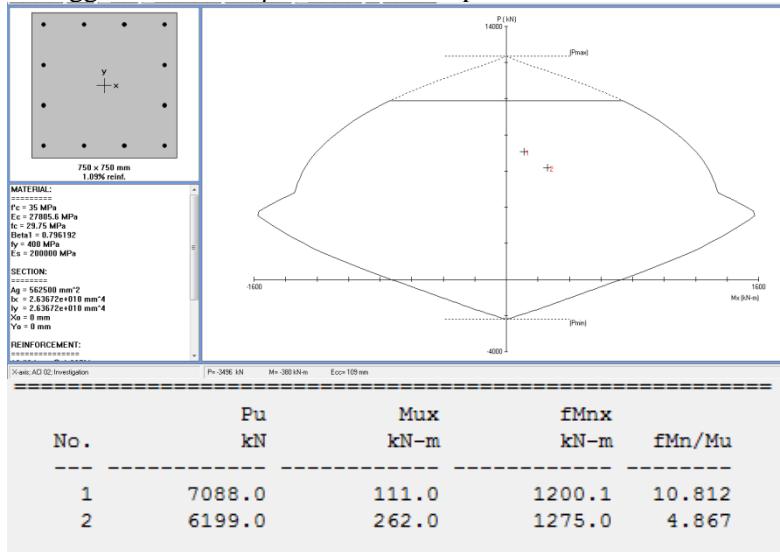
6.6.4. Perhitungan Tulangan Longitudinal Penulangan Lentur

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal dibatasi tidak boleh kurang dari $0,01Ag$ atau lebih dari $0,06Ag$. Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan memanjang, digunakan program bantu PCA Coloumn dan diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 6. 36 Penampang Kolom K1

Didapatkan konfigurasi penulangan 12-D25 untuk menahan gaya-gaya yang ada pada kolom dengan $\rho = 1,09$ atau $0,0109$ sehingga nilai $0,01 < \rho < 0,06$ telah terpenuhi.



Gambar 6. 37 Diagram Interaksi K1 Lantai 2

6.6.5. Cek Syarat Strong Column Weak Beam

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2, kuat kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$.

$\sum M_{nc}$ = Jumlah Mn dua kolom yang bertemu dijoin

$\sum M_{nb}$ = Jumlah Mn dua balok yang bertemu dijoin termasuk sumbangan tulangan pelat diselebar efektif pelat lantai bila penampang balok adalah balok T

a. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$:

- Menentukan lebar efektif balok

$$\text{Lebar balok (bw)} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = 650 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (hf)} = 140 \text{ mm}$$

$$be = bw + 8 hf = 450 \text{ mm} + 8 \cdot 140 \text{ mm} = 1570 \text{ mm}$$

$$be = bw + 2 hw = 450 \text{ mm} + 2 \cdot 650 \text{ mm} = 1750 \text{ mm}$$

$$\text{Dipilih nilai terkecil, maka: } be = 1570 \text{ mm.}$$

- Menentukan Tinggi Efektif

$$\text{As tul. lentur atas balok} = 6D25 = 2945 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tul. lentur bawah balok} = 3D25 = 1473 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tul. atas (As tarik)} = \text{As tarik balok} + \text{As pelat}$$

$$= 2945 \text{ mm}^2 + \left(2 \times 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) = 3574 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{2945 \cdot (40+13+25+\frac{25}{2}) + (4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2) + (25+\frac{13}{2}) + (4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2) \cdot (140-25-\frac{13}{2})}{3574}$$

$$y = 86,9 \text{ mm}$$

$$d \text{ tekan} = h - y = 650 \text{ mm} - 86,9 \text{ mm} = 563,1 \text{ mm}$$

$$d \text{ tarik} = h - t - \text{sengkang} - d. \text{lentur} - d. \text{lentur}/2$$

$$d \text{ tarik} = 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - 25 \text{ mm}/2$$

$$d \text{ tarik} = 559,5 \text{ mm}$$

- Menentukan M_{nb}^- dan M_{nb}^+

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c' \times b} = \frac{2945,24 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 88 \text{ mm}^2$$

$$M_{nb}^- = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nb}^- = 2945 \times 400 \times \left(559,5 - \frac{88}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 607309251,06 \text{ N.mm} = 607,3 \text{ kN.m} \\
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times fc'x \times b} = \frac{1472,62 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} = 44 \text{ mm}^2 \\
 Mnb^+ &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 Mnb^+ &= 1473 \times 400 \times \left(559,5 - \frac{44}{2}\right) \\
 &= 318736829,19 \text{ N.mm} = 318,7 \text{ kN.m} \\
 1,2 \sum Mnb &= 1,2 (607,3 + 318,7) = 1111,26 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- b. Menentukan nilai ΣM_{nc} :

Untuk menentukan nilai M_{nc} , didapatkan dari diagram interaksi P-M antara kolom atas dengan kolom bawah (yang ditinjau) dengan program bantu PcaColoumn. Untuk gaya-gaya kolom atas yang terjadi adalah sebagai berikut:

Pu Kolom Atas = 6199,08 kN

Pu Kolom Desain = 7088,65 kN

Berikut hasil diagram interaksi kolom desain dan kolom atas dari program PcaColoumn:

No.	Pu kN	M_{ux} kN-m	fM_{nx} kN-m	fM_n/M_u
1	7088.0	111.0	1200.1	10.812
2	6199.0	262.0	1275.0	4.867

Gambar 6. 38 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain

$$\begin{aligned}
 \sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\
 (\emptyset M_{n \text{ atas}} + \emptyset M_{n \text{ desain}}) &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\
 (1275 + 1200,1) &= 2475,1 \text{ kNm} \\
 2475,1 &\geq 1111,26 \quad (\text{Memenuhi}) \\
 \text{Maka persyaratan strong column weak beam terpenuhi}
 \end{aligned}$$

6.6.6. Tulangan Transversal Sebagai Confinement

Luas tulangan transversal kolom yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan yang terbesar dari persamaan di bawah (SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4):

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \frac{b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

Atau

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \times \frac{b_c \cdot f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan :

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

Bc = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

Ag = luasan penampang kolom (mm^2)

Ach = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)

Fyt = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dicoba tulangan dengan diameter 313 untuk hoops

bc = lebar penampang inti beton (yang terkekang)
 $= bw - 2(\text{decking} + 1,2 \text{ db})$

$$= 750 - 2 \times (40 + 1,2 \times 25) = 610 \text{ mm}$$

Ach = luas penampang inti beton. Diukur dari serat terluar hoop ke serat terluar dari sisi lainnya.
 $= (bw - 2(\text{decking})) \times (bw - 2(\text{decking}))$
 $= 750 \times (900 - 2(40)) = 448900 \text{ mm}^2$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= 0,3 \times \frac{b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\ &= 0,3 \left(\frac{610 \times 35}{400} \right) \frac{562500}{448900} - 1 = 4,05 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= 0,09 \times \frac{b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \\ &= \frac{0,09 \times 610 \times 35}{400} = 4,804 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Jadi diambil nilai yang terbesar yaitu : $4,804 \text{ mm}^2/\text{m}$

Syarat jarak tulangan transversal:

Berdasarkan SNI Pasal 21.6.4.3, spasi maksimum adalah yang terkecil di antara :

1. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur = $\frac{1}{4} (750) = 187,5 \text{ mm}$
2. 6 kali diameter tulangan memanjang = $6(25) = 150 \text{ mm}$
3. $so = 100 + \left(\frac{350-hx}{3}\right)$, nilai hx dapat diperkirakan sebesar $2/3$
 $hx = 2/3 \times 750 - 2 \times 40 - 2 \times 13 = 429,333 \text{ mm}$ yang lebih besar dari syarat yaitu 350 mm.

Sehingga besar so adalah:

$$so = 100 + \left(\frac{350-(0,5 \times 429,333)}{3}\right) = 145 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Namun Sx tidak boleh melebihi 150 mm, sehingga jarak maksimum tulangan transversal yang dapat diambil adalah 100 mm. Luas sengkang tertutup yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Ash-1} = 4,05 \times 100 = 405,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash-2} = 4,804 \times 100 = 480,4 \text{ mm}^2$$

Misal digunakan sengkang tertutup berdiameter 13 mm, maka dibutuhkan 4 kaki D13 ($\text{Ash} = 530,93 \text{ mm}^2$).

$$\text{Luas penampang} = 530,93 \text{ mm}^2 > 480,4 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI Pasal 21.6.4.1 menyatakan, Tulangan hoop tersebut diperlukan sepanjang lo dari ujung-ujung kolom Io dipilih yang terbesar di antara,

1. Tinggi elemen kolom. H, di join = 750 mm
2. $1/6 \times \text{tinggi bersih} = 642 \text{ mm}$
3. 450 mm

Sehingga ambil lo = 750 mm

6.6.7. Desain Tulangan Geser

Gaya Geser yang berhubungan dengan sendi plastis di kedua ujung kolom:

$$V_{sway} = \frac{M_{prc\ atas} \times DF_{atas} + M_{prc\ bawah} \times DF_{bawah}}{l_n}$$

- V_e tidak perlu lebih besar dari V_{sway} yang dihitung berdasarkan M_{prc} balok

Dengan,

DF = Faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah kolom yang di desain.

Karena kolom lantai atas dan bawah mempunyai kekakuan yang sama maka,

$DF_{atas} = DF_{bawah} = 0,5$

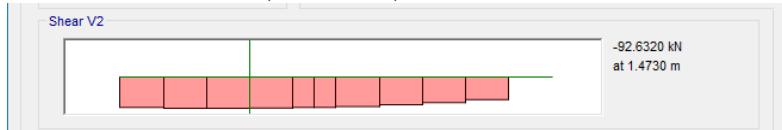
$M_{pr-atas}$ dan $M_{pr-bawah}$ adalah penjumlahan M_{pr} untuk masing-masing balok di lantai atas dan lantai bawah di muka kolom interior.

$M_{pr-atas} = 893,96 \text{ kN}$

$M_{pr-bawah} = 410,13 \text{ kN}$

$$V_{sway} = \frac{1304,1 \times 0,5 + 1304 \times 0,5}{3,85} = 339 \text{ kN}$$

- Nilai V_u di atas keduanya tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis, $V_u = 214,22 \text{ kN}$.



Kontrol

- Nilai V_e tidak perlu lebih besar dari V_{sway} sehingga digunakan $V_e = 339 \text{ kN}$
- Nilai V_u harus lebih besar dari V_u akibat gaya geser terfaktor hasil analisis struktur dimana $339 \text{ kN} > 214,22 \text{ kN}$ **Memenuhi**

Dikarenakan gaya aksial terfaktor lebih besar dibandingkan $0,05 Ag \times F_c$; sehingga V_c boleh diperhitungkan:

$$d = 750 - 40 - 13 - (25/2) = 684,5 \text{ mm}$$

$$Vc = 1/6 \sqrt{fc'} x bw x d$$

$$Vc = 1/6 \sqrt{35} x 750 x 648,5$$

$$= 506194,58 \text{ N} = 506,2 \text{ kN}$$

- Cek Apakah dibutuhkan tulangan geser

$$\frac{Vu}{\emptyset} = \frac{338,7}{0,75} > \frac{1}{2} Vc = \frac{1}{2} x 506,2$$

$$451,63 \text{ kN} > 253,1 \text{ kN} \quad \text{Butuh}$$

Maka membutuhkan tulangan geser minimum

- Cek apakah cukup dipasang tulangan geser minimum

$$\frac{Vu}{\emptyset} > Vc + \frac{1}{3} x bw x d$$

$$\frac{338,7}{0,75} > 506,2 + \frac{1}{3} x 750 x 685$$

$$451,63 \text{ kN} > 677,3 \text{ kN} \quad \text{NOT OK}$$

Sehingga memakai tulangan geser.

Dicoba menggunakan tulangan geser dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$4D13-100 \quad As = 530,9292 \text{ mm}^2$$

$$Vs = \frac{Av x fy x d}{s} = \frac{530,9 x 400 x 685}{100000} = 1453,68 \text{ kN}$$

Tulangan geser minimum untuk kolom,

$$Av_{\min} = \frac{bw x s}{3 x fy} = \frac{750 x 100}{3 x 400} = 62,5 \text{ kN}$$

$$Ash = 405,22 \text{ mm}^2$$

$$Vs \text{ analisis} = Vu - Vc = 338,7 - 506,2 = 167,5 \text{ kN}$$

Kontrol luas tulangan dan kekuatan geser

Ash > Av-min ; Vs < Vs-desain

$$405,2 > 62,5 \quad ; 167 < 1454 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Penulangan Geser di Luar lo:

Vc ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.2

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

Nilai Nu diambil dari nilai gaya aksial terfaktor terkecil pada kolom, Nu = 7088,6475 kN. Maka:



$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{7088,6475}{14 \times 562500} \right) 1\sqrt{35} \times 750 \times 685$$

$$Vc = 516783 \text{ N} = 516,783 \text{ kN} > \frac{Vu}{\phi} = 451,6 \text{ kN} \text{ Memenuhi}$$

Karena Vc sudah melebihi Vu (= 451,6 kN) di luar panjang lo, maka pada daerah di luar lo, dapat dipasang tulangan sengkang dengan jarak d/2.

$$\frac{d}{2} = \frac{685}{2} = 342,5 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

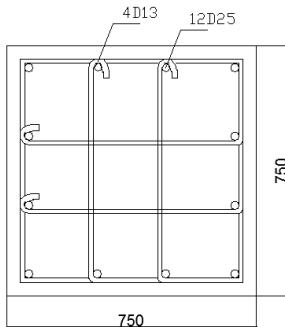
Namun persyaratan jarak tulangan transversal di luar daerah lo menyatakan bahwa jarak antara tulangan tidak boleh melebihi 150 mm (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5), sehingga tetap harus dipasang tulangan dengan jarak maksimal 150 mm. Sehingga dipasang 4D13–150 mm. Jadi, berdasarkan perencanaan penulangan digunakan:

Tulangan lentur : **16D25**

Tulangan geser : **4 kaki D13 – 120** (sepanjang 1 meter dari masing-masing tumpuan) dan **4D13 – 150** di luar 1 meter tersebut.

6.6.8. Lap Splices

Lap splices (sambungan lewatan) dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus diikat dengan tulangan sengkang. Sepanjang Lap splice, spasi tulangan transversal dipasang sesuai perhitungan confinement sebelumnya yaitu 100 mm



Gambar 6.39 Sketsa Penampang Desain Kolom K1

SNI 2847-2013 pasal 12.17.2.2 digunakan class B Lap splice jika semua tulangan disalurkan di lokasi yang sam. Panjang lewatan kelas B = $1,31 ld$ (pasal 12.15.1). Besarnya ld berdasarkan persamaan sesuai pasal 12.2.3. dengan menggunakan nilai $ktr = 0$ untuk penyederhanaan desain.

Untuk tulangan D25 maka panjang penyaluran adalah :

$$ld = \left(\frac{fy \psi_t \psi_e \psi_s}{1,7 \times 1 \sqrt{f'_c}} \right) db$$

Parameter diatas didefinisikan berdasarkan Berdasarkan SNI 2847- 2013 Pasal 12.2.4

$\psi_t = 1$ (situasi lainnya)

$\psi_e = 1$ (tulangan tanpa pelapis)

$\psi_s = 1$ (tulangan D-25)

$\lambda = 1$ (beton bormal) $f'_c = 35 MPa$

$db = 25 mm$

$$ld = \left(\frac{400 \times 1,3 \times 1}{1,7 \times 1 \sqrt{35}} \right) 25$$

$$ld = 1292,59 \approx 1300 mm$$

$$1,3 ld = 1,3 \times 1300 = 1690 mm \approx 1700 mm$$

Maka digunakan sambungan lewatan sepanjang 1700 mm.

6.6.9. Desain Hubungan Balok Kolom

Pada bagian berikut ini akan ditampilkan desain hubungan balok-kolom interior yang merupakan tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom yang telah didesain sebelumnya, yaitu dengan dimensi kolom 1100 x 900 mm² dan balok 500 x 700 mm².

- 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)

$$b = h = 750 \text{ mm}$$

$$16 \times db = 16 \times 25 \text{ mm} = 400 \text{ mm} < 750 \text{ mm (OKE)}$$

- Menentukan luas efektif joint, Aj

Aj merupakan perkalian tinggi joint dengan lebar joint efektif berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.4.1

Lebar balok, b = 450 mm

Tinggi kolom, h = 650 mm

$$x = \frac{650\text{mm}-450\text{mm}}{2} = 100 \text{ mm}$$

Tinggi joint = tinggi keseluruhan kolom, h = 750 mm

Lebar joint efektif merupakan nilai yang terkecil dari:

- $b + h = 450 \text{ mm} + 650 \text{ mm} = 1100 \text{ mm}$
- $b + 2x = 450 + 2 \times 100 \text{ mm} = 650 \text{ mm}$

Maka Aj = tinggi joint x lebar efektif joint

$$Aj = 750 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} = 562500 \text{ mm}^2$$

- 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* diizinkan untuk diperbesar hingga 150 mm.

$$\frac{Ash}{s} joint = 0,5 \times \frac{Ash}{s} kolom = 0,5 \times \frac{405,2 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} \\ = 2,026 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$Ash = 2,026 \times 150 = 303,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai sengkang 4 kaki D13} = 530,9 \text{ mm}^2$$

d. Hitung gaya geser pada joint

- Hitung M_e

Balok yang memasuki joint, memiliki:

$$M_{pr+} = 894,0 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr-} = 410,1 \text{ kN.m}$$

Karena elevasi antara kolom atas dengan bawah sama maka kekakuannya juga sama, bawah atas

$$\text{Kekakuannya juga sama, } DF_{\text{atas}} = DF_{\text{bawah}} = 0,5$$

Sehingga :

$$M_e = 0,5 \times (894 \text{ kNm} + 410,1 \text{ kNm}) = 652,04 \text{ kNm}$$

- Hitung geser pada kolom atas

$$V_{sway} = \frac{Me + M_e}{l_n} = \frac{652,04 \text{ kNm} + 652,04 \text{ kNm}}{3,85 \text{ m}} = 338,72 \text{ kN}$$

- Menghitung gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri
Jika terdapat 6D25 ($As = 2945 \text{ mm}^2$)

$$T_1 = 1,25 \times As \times f_y = 1,25 \times 2945 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}$$

$$T_1 = 1472621,6 \text{ N} = 1472,64 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri
 $C_1 = T_1 = 1472,64 \text{ kN}$

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kanan
Jika terdapat 6D25 ($As = 2945 \text{ mm}^2$)

$$T_2 = 1,25 \times As \times f_y = 1,25 \times 2945 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}$$

$$T_2 = 1472621,6 \text{ N} = 1472,64 \text{ kN}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan
 $C_2 = T_2 = 1472,64 \text{ kN}$

- Menghitung gaya geser pada joint

$$V_j = V_{sway} - T_1 - C_2$$

$$V_j = 338,72 \text{ kN} - 1472,64 \text{ kN} - 1472,64 \text{ kN} = 2606,52 \text{ kN}$$

- 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:

$$V_n = 1,7 \sqrt{35} \times A_j = 1,7 \sqrt{35} \times 562500 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 5657251,29 \text{ N}$$

$$V_n = 5657,25 \text{ kN} > 2606,52 \text{ kN}$$

Memenuhi

6.7. Perencanaan Struktur bawah

- Data Perencanaan:

Elemen Rencana	Nilai	Satuan	Keterangan
Kedalaman (li)	14	m	Direncanakan
Diameter Tiang Pancang	0,5	m	Direncanakan
Luas tiang Pancang (Ap)	0,20	m ²	$1/4 \cdot \pi \cdot D^2$
Luas selimut Tiang (Ast)	1,57	m ²	$\pi \cdot D$
Kelas Tipe Tiang Pancang	A3	-	Direncanakan
Tebal selimut beton TP	90	mm	Brosur Wika
Pijin Bahan Tiang Pancang	178,2	Ton	Brosur Wika
Berat Tiang Pancang	290	Kg/m	Brosur Wika
Fc'	30	Mpa	Direncanakan
Fy	400	Mpa	Direncanakan

- Data Tanah dan Pijin Tanah Tiap Kedalaman

$$P_a = \frac{q_c \cdot A_p}{FK1} + \frac{(\sum li \cdot fi) \cdot A_{st}}{FK2}$$

Keterangan

FK1 = 3

FK2 = 5

qc = 20 N untuk Clay dan 40 N untuk Sand

fi = Gaya geser pada selimut segmen tiang, dimana
sebesar N maksimum 12 ton/m² untuk tanah Clay, dan
N/5 maksimum 10 t/m² untuk tanah

li = Sand

Tabel 6. 9 Tabel Pijin tanah pada setiap kedalaman

H (m)	Jenis tanah	N SPT	li (m)	qc (t/m ²)	fi (t/m ²)	li.fi (t/m)	$\sum li \cdot fi$ (t/m)	Pijin tanah (T)	KET
0	S	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	NO
1	S	0	1	0	0,0	0,0	0,0	0,00	NO

2	C	0	1	0	0,0	0,0	0,0	0,00	NO
3	C	9	1	180	9,0	9,0	9,0	14,61	NO
4	C	8	1	167	8,3	8,3	17,3	16,35	NO
5	C	8	1	153	7,7	7,7	25,0	17,89	NO
6	C	7	1	140	7,0	7,0	32,0	19,22	NO
7	C	12	1	233	11,7	11,7	43,7	28,99	NO
8	C	16	1	327	12,0	12,0	55,7	38,87	NO
9	C	21	1	420	12,0	12,0	67,7	48,75	NO
10	S	29	1	1147	5,7	5,7	73,4	98,11	NO
11	S	36	1	1453	7,3	7,3	80,7	120,46	NO
12	S	44	1	1760	8,8	8,8	89,5	143,30	NO
13	S	49	1	1973	9,9	9,9	99,3	160,36	NO
14	S	55	1	2187	10,0	10,0	109,3	177,47	Pakai
15	S	60	1	2400	10,0	10,0	119,3	194,57	NO
16	S	60	1	2400	10,0	10,0	129,3	197,71	NO
17	S	60	1	2400	10,0	10,0	139,3	200,85	NO
18	S	60	1	2400	10,0	10,0	149,3	203,99	NO
19	S	60	1	2400	10,0	10,0	159,3	207,14	NO
20	S	60	1	2400	10,0	10,0	169,3	210,28	NO
21	S	60	1	2400	10,0	10,0	179,3	213,42	NO
22	S	60	1	2400	10,0	10,0	189,3	216,56	NO
23	S	60	1	2400	10,0	10,0	199,3	219,70	NO
24	S	60	1	2400	10,0	10,0	209,3	222,84	NO
25	S	60	1	2400	10,0	10,0	219,3	225,99	NO
26	S	60	1	2400	10,0	10,0	229,3	229,13	NO
27	S	60	1	2400	10,0	10,0	239,3	232,27	NO
28	S	60	1	2400	10,0	10,0	249,3	235,41	NO
29	S	60	1	2400	10,0	10,0	259,3	238,55	NO
30	S	60	1	2400	10,0	10,0	269,3	241,69	NO

Syarat : $P_{ijin\ tanah} < P_{bahan}$
 $177,47 < 178$ OK

- Perencanaan penulangan pondasi dengan 6 buah tiang pancang

Letak = Joint 33

P max = 737,35 ton

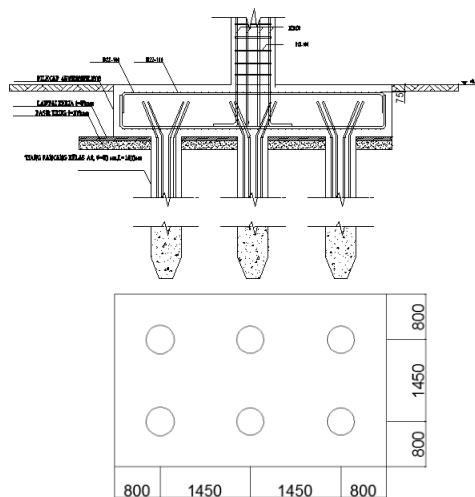
Pijin tahan= 177,47 ton

N tiang = 6 buah

Posisi Poer = Tidur

Arah x = 3 buah

Arah v = 2 buah



Gambar 6. 40 Pondasi Tiang Pancang

A. Perencanaan Dimensi Poer

Syarat Jarak Antar Tiang (S)				Syarat Tiang ke Tepi (S')					
2,5 D	\leq	S	\leq	3D	1,5 D	\leq	S'	\leq	2 D
125 cm	\leq	S	\leq	150 cm	75 cm	\leq	S'	\leq	100 cm
S pakai = 145 cm					S' pakai = 80 cm				

Sehingga didapatkan dimensi poer sebagai berikut :

Arah X = 305 cm

Arah Y = 450 cm

B. Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Pancang

Tebal poer rencana = 1 m

BJ Tanah = 1850 kg/m³

BJ Beton = 2400 kg/m³

Pmax (ETABS) = 737,35 ton

Berat poer = 32,94 ton

Total Pmax = **770,29 ton**

$$n \text{ tiang} = \frac{\text{Total Pmax}}{\text{Pijin tanah}} = 6 \text{ buah}$$

C. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Efisiensi

Sumber : Analisa dan desain pondasi jilid 2 cetakan ke-4 Joseph E Bowles hal 343

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= 1 - Arctag \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \\ &= 0,753 \end{aligned}$$

Maka didapatkan,

$$\begin{aligned} \text{Pijin tanah Terkoreksi} &= \eta \times \text{Pijin tanah} \\ &= 133,69 \end{aligned}$$

Kontrol kemampuan tiang pancang masuk tanah 14 meter:

Syarat = P ijin tanah terkoreksi < P ijin bahan

$$133,69 < 178,2 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol kemampuan tiang pancang menahan beban diatasnya

Pu max (Ton)			<	Pijin tanah total (Ton)	
P max (SAP)	=	737,35	<	Jumlah tiang x Pijin tanah terkoreksi	
Berat poer	=	32,94			
Berat tanah	=	0			
Berat Tiang	=	24,36			
TOTAL	=	794,65	<	802,18	OK

D. Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok

Berdasarkan output ETABS 16.0.2, didapatkan gaya dalam:

Gaya	1D + 1L	1D + 1L + 1Ex	1D + 1L + 1Ey
P (Ton)	595,055	737,35	736,79
Mx (Ton.m)	4,3756	12,04139	19,205
My (Ton.m)	3,8826	13,473	10,7162

Jarak sumbu tiang ke titik berat susunan kelompok tiang :

No	X	X ²	Y	Y ²
1	-0,725 m	0,526 m	0,725 m	0,5256 m
2	0,725 m	0,526 m	0,725 m	0,5256 m
3	-0,725 m	0,526 m	0,725 m	0,5256 m
4	0,725 m	0,526 m	-0,725 m	0,5256 m
5	-0,725 m	0,526 m	-0,725 m	0,5256 m
6	0,725 m	0,526 m	-0,725 m	0,5256 m
Σx^2	3,1538 m			
Σy^2	2,1025 m			

Untuk Mendapatkan nilai beban yang diterima pada satu tiang pancang dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$P = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My \cdot X}{ny \cdot \Sigma X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y}{nx \cdot \Sigma Y^2}$$

- Akibat beban tetap (1D+1L)

$$P1 = 99,23 \text{ ton}$$

$$P2 = 99,55 \text{ ton}$$

$$P3 = 98,804 \text{ ton}$$

$$P4 = 99,123 \text{ ton}$$

$$P5 = 99,016 \text{ ton}$$

$$P6 = 99,34 \text{ ton}$$

P yang dipakai yaitu 99,55 ton

Kontrol : P1 tiang ijin < Pijin tanah terkoreksi

$$99,55 \text{ ton} < 133,7 \quad \text{OKE}$$

Berdasarkan Peraturan PPIUG 1983 Tabel 1.1 bahwasannya daya dukung yang diizinkan pada tanah keras untuk pembebanan tetap harus lebih dari sama dengan 5 kg/cm^2
 $7,57 \text{ kg/cm}^2 \geq 5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OKE}$

- Akibat bebab tetap ($1D + 1L + 1Ex$)

$P_1 = 123,19 \text{ ton}$

$P_2 = 124,07 \text{ ton}$

$P_3 = 121,72 \text{ ton}$

$P_4 = 122,59 \text{ ton}$

$P_5 = 122,45 \text{ ton}$

$P_6 = 123,33 \text{ ton}$

P yang dipakai yaitu $124,07 \text{ ton}$

Kontrol : P_1 tiang ijin < Pijin tanah terkoreksi

$124,07 \text{ ton} < 133,698 \quad \text{OKE}$

Berdasarkan Peraturan Pembebatan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2 (2) Daya dukung tiang yang diizinkan pada tanah keras dengan kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 50 persen.

P_1 tiang ijin < Pijin tanah terkoreksi $\times 1,5$

$124,07 \text{ ton} < 200,55 \quad \text{OKE}$

- Akibat bebab tetap ($1D + 1L + 1Ey$)

$P_1 = 122,68 \text{ ton}$

$P_2 = 124,08 \text{ ton}$

$P_3 = 121,51 \text{ ton}$

$P_4 = 122,91 \text{ ton}$

$P_5 = 122,1 \text{ ton}$

$P_6 = 123,5 \text{ ton}$

P yang dipakai yaitu $124,08 \text{ ton}$

Kontrol : P_1 tiang ijin < Pijin tanah terkoreksi

$124,08 \text{ ton} < 133,697 \quad \text{OKE}$

Berdasarkan Peraturan Pembebatan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2 (2) Daya dukung tiang yang

diizinkan pada tanah keras dengan kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 50 persen.

P1 tiang ijin < Pijin tanah terkoreksi x 1,5

124,08 ton < 200,55 **OKE**

E. Perhitungan tebal poer beserta kontrolnya

Dimensi Poer = 3 m x 4,4 m

Tebal poer rencana = 1 m

Selimut beton = 0,075 m (SNI 1847-2013 pasal 7.7.1)

Kontrol (SNI 2847 – 2013 pasal 15.7)

Tebal poer rencana – selimut beton > 300 mm

925 mm > 300 mm **OKE**

Dimensi kolom = 75 cm x 75 cm

Bw = 3,05

Koef. Geser = 0,75

1. Kontrol Geser Akibat Kolom

a. Geser satu arah

$$Pu \max (1,2D1+1,6+0,5Lr) = 713,28 \text{ ton}$$

$$Vu = \sigma \cdot bw \cdot G' (\text{Ton})$$

$$Vc = 0,17 \lambda \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d (\text{Ton})$$

σ (t/m ²)	d (m)	G' (m)	Kontrol			KET
			Vu	<	ϕVc	
51,97	0,925	-0,50	-79,25	<	212,81	OKE

b. Geser dua arah

Dalam kontrol geser dua arah, Vu yang terjadi harus lebih kecil dari persamaan yang menghasilkan nilai Vc terkecil pada SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), (c)

an = sisi panjang kolom = 750 mm

bn = sisi pendek kolom = 750 mm

β	= an/bn	= 1
d	= Tebal pondasi-selimut beton	= 925 mm
B'	= Lebar kolom + d	= 1680mm
bo	= Kel. Penampang kritis	= 10050mm

Elemen	Rumus	Nilai	Satuan
V _u	$\sigma \cdot (bw^2 - B'^2)$	337,64	Ton
V _c poin (a)	$0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'c} \cdot bo \cdot d$	2804,87	Ton
V _c poin (b)	$0,083 \left(\frac{as \cdot d}{bo} + 2\right) \lambda \sqrt{f'c} \cdot bo \cdot d$	2593,52	Ton
V _c poin (c)	$0,33 \lambda \sqrt{f'c} \cdot bo \cdot d$	1833,25	Ton

Kontrol :

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

$$337,64 < 1374,93 \text{ (Memenuhi)}$$

2. Kontrol Geser Akibat Tiang Pancang

a. Geser satu arah

$$P_u \max (1D+1L) = 773,57 \text{ ton}$$

$$V_u = \sigma \cdot bw \cdot G' \text{ (Ton)}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \text{ (Ton)}$$

σ (t/m ²)	d (m)	G' (m)	Kontrol			KET
			V _u	<	ϕV_c	
56,36	0,9	0,975	167,61	<	207,06	OKE

b. Geser dua arah

Dalam kontrol geser dua arah, V_u yang terjadi harus lebih kecil dari persamaan yang menghasilkan nilai V_c terkecil pada SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), (c)

a_n	= sisi panjang kolom	= 750 mm
b_n	= sisi pendek kolom	= 750 mm
β	= a_n/b_n	= 1
d	= Tebal pondasi-selimut beton	= 925 mm
B'	= Lebar kolom + d	= 1675mm
b_o	= Kel. Penampang kritis	= 3900mm

Elemen	Rumus	Nilai	Satuan
V_u	$\sigma \cdot (bw^2 - B'^2)$	283,64	Ton
V_c poin (a)	$0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$	1059,04	Ton
V_c poin (b)	$0,083 \left(\frac{as \cdot d}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$	1935,66	Ton
V_c poin (c)	$0,33 \lambda \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$	685,26	Ton

Kontrol :

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

$$283,64 < 513,94 \quad (\text{Memenuhi})$$

F. Cek terhadap panjang penyaluran tulangan kolom

- Ldc diambil sebesar yang terbesar dari persamaan yang terdapat pada SNI 2847 - 2013 Pasal 12.3.2

- Ldc minimum sebesar = 200 mm (SNI 2847-2013 Pasal 12.3.1)
- Tulangan pakai = D25 (Disamakan dengan tulangan kolom)

$$\text{Persamaan 1} = 0,24 \cdot \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f_{c'}}} \cdot d = 405,67 \text{ mm}$$

$$\text{Persamaan 2} = (0,043 \cdot f_y) \cdot d = 430 \text{ mm}$$

Ldc pakai = 430 mm > 200 mm **OKE**

Syarat = Tebal poer > Ldc pakai

= 1000 mm > 430 mm **OKE**

G. Perencanaan tulangan lentur poer dengan 6 tiang pancang

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

Data perencanaan :

Dimensi poer = 305 x 440 cm²

Jumlah tiang pancang = 6 buah

Dimensi kolom = 75 cm x 75 cm

Mutu beton (Fc') = 30 Mpa

Mutu baja (Fy) = 400 Mpa

Diameter tul.utama = 22 mm

Selimut beton = 75 mm

Tebal poer = 1000 mm

Dx = 914 mm

Dy = 892 mm

Φ = 0,9

B = 0,85

Pembebanan yang terjadi pada poer

Item	Arah X	Arah Y	Ket
B1	1875	1150	mm
B2	800	800	mm
B3	1075	350	mm

Beban yang terjadi :

Arah Poer	Berat Poer (kg)	Pmax beban tiang (kg)	Mu (Nmm)	Mn (Nmm)	Rn
Arah X	20250	125989,55	1,9E+08	2,1E+08	0,083
Arah Y	12420	127212,56	3,74E+08	4,2E+08	0,117

Arah Poer	m	ρ min	ρ perlu	ρ max	Cek	ρ pakai
Arah X	15,69	0,0035	0,000208	0,024384	NOK	0,0035
Arah Y	15,69	0,0035	0,000294	0,024384	NOK	0,0035

Arah poer	Tul. pakai	S perlu	S max	As perlu	As pakai	Cek
Arah X	D22 - 100	118,8	2000	14396	17105	OK
Arah Y	D22 - 100	121,8	2000	9522	11594	OK

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB VII

PERENCANAAN SAMBUNGAN

7.1. Perencanaan Sambungan

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan pada sistem pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Bagian ini berfungsi untuk meneruskan gaya antar setiap elemen pracetak yang disambung. Kelemahan konstruksi sistem pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau *monolit* sehingga lemah dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton *monolit*. Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok pracetak, sambungan balok induk pracetak dengan dengan balok anak pracetak, sambungan balok pracetak dengan dengan kolom pracetak.

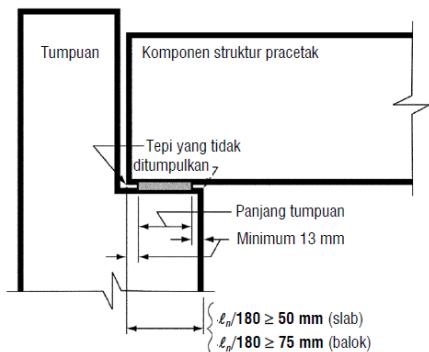
Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktural.

Dalam pelaksanaan kontruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *service ability*, kekuatan, dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut. Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan duktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 Ln$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Di mana Ln = bentang bersih elemen pracetak

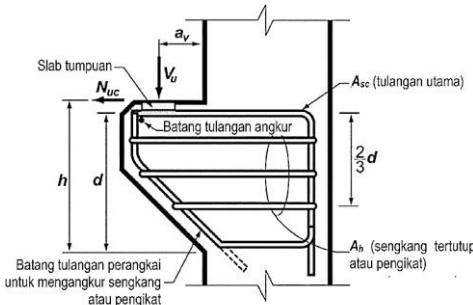


Gambar 7. 1 Panjang Penyaluran pada Tumpuan

7.1.1. Perencanaan Sambungan Balok Induk-Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol

pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 7. 2 berikut ini:



Gambar 7. 2 Geometrik konsol pendek

➤ Perhitungan Konsol pada Kolom

a. Data Perencanaan

$$V_u = 337 \text{ kN} \text{ (ETABS 16)}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 45/65$$

Dimensi konsol :

$$a_v = 150 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar konsol (b)} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi konsol (h)} = 450 \text{ mm}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

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

$$\text{diameter tul. Lentur} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tul. Geser} = 13 \text{ mm}$$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol

pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$Nu = 0,2 \times Vu \text{ (2847 ps. 11.8.3.4)}$$

$$= 0,2 \times 337 = 67,5 \text{ kN}$$

$$Vn = \frac{Vu}{\phi} = \frac{337,33}{0,75} = 449,77 \text{ kN}$$

- **Penentuan Tulangan Konsol**

$$Ve(-) = 172,07 \text{ kN}$$

$$Ve(+) = 502,59 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847-2013 Ps. 11.6.4.2 untuk menentukan Vn pada konsol akibat geser friksi dengan tulangan miring, yaitu:

$$Vn = AvF \times fy$$

Dicoba tulangan 4 D 25 (As=Avf = 1963 mm²)

$$\mu = 1,4 \text{ (koefisien friksi)}$$

$$Vn = 1963 \times 400 \times 1,4$$

$$Vn = 1099557,4 \text{ N} = 1099,6 \text{ kN}.$$

Menurut SNI 03-2847-2013 ps. 21.8.2 untuk join pada metode pracetak sebagai penahan gempa harus memenuhi persyaratan rangka momen khusus sebagai berikut :

- a. Vn tidak boleh kurang dari 2 Ve

$$Vn = 1100 \text{ kN} > 2 \times Ve = 2 \times 503$$

$$Vn = 1100 \text{ kN} > 1005 \text{ kN } \textbf{OK}$$

Maka dalam hal ini dipakai Vn = 1100 kN

- b. Sambungan mekanis tulangan beton harus ditempatkan tidak lebih dekat dari h/2 dari muka joint.

$$h/2 = 500/2 = 250 \text{ mm}$$

- **Cek Dimensi Penampang**

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.1 dalam menentukan dimensi korbel harus memenuhi :

- a. $\frac{Av}{d}$ tidak lebih besar dari 1

$$\frac{150}{448} = 0,3 < 1 \text{ } \textbf{OK}$$

- b. d dikenai gaya tarik horisontal terfaktor Nu tidak lebih besar dari Vu

$$\begin{aligned} Nu &= 0,2 \times Vu = 0,2 \times 337 \\ &= 67 \text{ kN} < Vu = 337 \text{ kN} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

- **Kontrol**

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.2.1 dimensi korbel harus melebihi gaya geser terfaktor yang bekerja
Sehingga Vn tidak boleh melebihi

$$\begin{aligned} 0,2 \times fc' \times bw \times d &= 0,2 \times 35 \times 450 \times 448 \\ &= 1409625 \text{ N} \\ &= 1410 \text{ kN} > Vn = 1100 \text{ kN} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3,3 + 0,08 \times fc) \times bw \times d \\ &= (3,3 + 0,8 \times 35) \times 450 \times 448 = 1228388 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 1228 \text{ kN} > Vn = 1100 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

$$\begin{aligned} 11 \times bw \times d &= 11 \times 450 \times 448 \\ &= 2215125 \text{ N} \\ &= 2215,1 \text{ kN} > Vn = 1100 \text{ kN} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

b. Luas Tulangan Lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi- rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi.

Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan Nuc minimum ($Nuc =$ gaya tarik horizontal terfaktor yang diterapkan diatas korbel yang bekerja serentak dengan Vu)

$$\begin{aligned} Mu &= Vua \times a + Nuc (h-d) \\ &= (337330 \times 150) + (67466 \times (500-448)) \\ &= 54141448,95 \text{ Nmm} = 54,14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi x b \times d^2} = \frac{54141449}{0,9 \times 450 \times 448^2} = 0,668 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{fy}{0,9 \times fc'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} x (1 - \sqrt{\frac{1-(2m \times Rn)}{f_y}}) \\
 &= \frac{1}{13,45} x (1 - \sqrt{\frac{1-(2 \times 13,45 \times Rn)}{400}}) = 0,0017 \\
 \rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_{\text{max}} &= 0,8 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 x \frac{f'_c}{f_y} x \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 x \frac{f'_c}{400} x \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,0268
 \end{aligned}$$

Kontrol :

Sehingga : $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$
 $0,0035 < 0,0017 < 0,0268$ (**Not Ok**)

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.3 menentukan A_f mengacu ps. 10.2 sebagai berikut :

$$A_{f1} = \frac{Mu}{\phi f_y 0,85 d} = \frac{54141448,95}{0,75(400) 0,85 (448)}$$

$$A_{f1} = \frac{134.688.400}{0,75(400) 0,85 (448)}$$

$$A_{f1} = 474,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{A}_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 450 \times 448 = 704,81 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diambil terkecil} = 474,457 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.4 menentukan A_n mengacu ps. 10.2 sebagai berikut :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi x f_y} = \frac{67465,98}{0,75 \times 400} = 224,9 \text{ mm}^2$$

c. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5 menentukan A_s tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari :

$$A_s = A_f + A_n = 474,46 + 224,89 = 699,3 \text{ mm}^2$$

$$As = \frac{2 \times A_{Vf}}{3} + A_n = \frac{2 \times 1963}{3} + 224,9 = 1534 \text{ mm}^2$$

Maka As perlu = 1533,9 mm²

Dimana menurut SNI 2847:2013 pasal 11.8.5 kedua persamaan tersebut tidak boleh kurang dari :

$$As_{min} = 0,04 \left(\frac{f_{c'}}{f_y} \right) b \times d$$

$$As_{min} = 0,04 \left(\frac{35}{400} \right) 450 \times 448 = 704,8 \text{ mm}^2$$

$$704,8 \text{ mm}^2 < As \text{ perlu} = 1533,9 \text{ mm}^2 \textbf{OK}$$

- Kebutuhan tulangan lentur**

Digunakan tulangan lentur D25 As=490,9 mm²

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{As \text{ perlu}}{As.D25} = \frac{1533,9}{490,87} = 3,12 \approx 4$$

$$Avf = 1963 \text{ mm}^2 > As = 1533,884 \text{ mm}^2 \textbf{OK}$$

Digunakan 4D25 As pakai = 4 x 491= 1963 mm²

Perhitungan tulangan Ah :

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$\begin{aligned} Ah &= 0,5 (As - An) \\ &= 0,5 (1533,884 - 224,89) \\ &= 654,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Kebutuhan tulangan geser:**

dipakai tulangan D13 (As = 132,7 mm²)

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{As \text{ perlu}}{As.D13} = \frac{654,5}{132,73} = 4,93 \approx 5$$

Digunakan 5D13 Av = 5 x 133 = 663,7 mm².

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.4 Ah harus disebarluaskan secara merata dalam batas 2/3d

$$2/3d = 2/3 \times 448 = 298 \text{ mm}$$

- Pelat Landasan Korbel Balok Induk**

Kontrol kuat tumpuan untuk balok induk pada kolom sebagai berikut:

$$Af = h \times bw$$

$$Af = 500 \times 450 = 225000 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps.22.5.5 kekuatan tumpu desain beton adalah :

$$\emptyset B_n \geq B_u$$

Dengan

$$B_n = 0,85 f'_c A_f = 0,85 \times 22,8 \times 2E+05$$

$$= 4360500 \text{ N} = 4360,5 \text{ kN} > V_u = 337 \text{ kN}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan (f'_c =umur 7 hari)

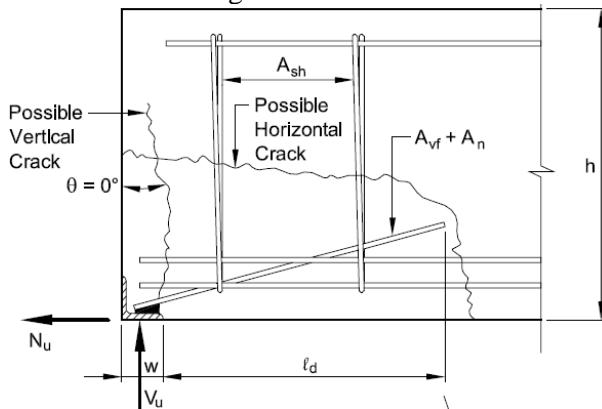
$$F_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} = 0,7 \times \sqrt{22,8} = 3,342 \text{ Mpa}$$

$$V_u = 337 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{V_u}{A} = \frac{337330}{225000} = 1,5 < f_r = 3,34 \text{ Mpa} \quad OK$$

7.1.1.1. Perencanaan Reinforced Concrete Bearing

Menurut PCI Design Handbook 7th Edition section 5.6.2 tentang reinforced concrete bearing.



Gambar 7. 3 Rencana Tulangan pada Balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada proyek akhir terapan ini didasarkan pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition)* section 5.6.2 yaitu tentang *concrete brackets or corbel*. Penulangan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan *PCI* adalah sebagai berikut:

1. Diasumsikan sudut retak vertikal $\emptyset = 0^\circ$

2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{Vu}{\phi x fy x \mu_e} + \frac{Nu}{\phi x fy}$$

3. Sudut persamaan adalah 15°

4. Nilai $\mu = 1,4\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$

5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(Avf + An) x fy}{\mu_e x fys}$$

Data Perencanaan :

$$Vu = 75,8 \text{ kip} = 337329,9 \text{ N} = 337,3 \text{ kN}$$

$$Nu = 15,2 \text{ kip} = 67465,98 \text{ N} = 67,47 \text{ kN}$$

$$\text{Lebar balok} = 17,7 \text{ in} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok} = 25,6 \text{ in} = 650 \text{ mm}$$

$$\text{Bearing Pad} = 11,811 \text{ in} \times 11,811 \text{ in} = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$$

$$Fc = 5076,4 \text{ psi} = 35 \text{ Mpa}$$

$$Fy \text{ lentur} = 58016 \text{ psi} = 400 \text{ Mpa}$$

$$Fy \text{ geser} = 58016 \text{ psi} = 400 \text{ Mpa}$$

a. Perhitungan tulangan horizontal (At)

$$A_{cr} = b \times h = 17,7 \times 25,6 = 453,3759 \text{ in}^2$$

$$V_{n max} = 1000 \times \lambda \times A_{cr} = 1000 \times 1 \times 453 / 1000 = 453 \text{ kip}$$

$$V_{u max} = \emptyset \times V_{n max}$$

$$= 0,8 \times 453 = 340 \text{ kip} > 75,8 \text{ kip} \quad \text{OK}$$

$$\mu_e = \frac{\emptyset 1000 \lambda A_{cr} \mu}{V_u}$$

$$= \frac{0,8 \times 1000 \times 1 \times 453,38 \times 1,4}{75834,80583}$$

$$= 6,3 > \max \mu_e = 3,4 \text{ (PCL tabel 5.3.1)}$$

Maka dipakai max $\mu_e = 3,4$

$$A_{vf} = \frac{Vu}{\emptyset fy \mu_e} = \frac{75834,80583}{0,75 \times 58016 \times 3,4} = 0,5 \text{ in}^2$$

$$A_n = \frac{Nu}{\emptyset fy} = \frac{15167,02936}{0,75 \times 58016} = 0,3 \text{ in}^2$$

$$A_{vf} + A_n = 0,51 + 0,35 = 0,8612 \text{ in}^2 \\ = 555,59 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 13 maka $A_b = 132,78 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{perlu}}{A_b} = \frac{555,59}{132,78} = 4,18 \approx 5$$

Digunakan 5 D 13 A_{pakai} = 3 x 132,78 = 603,4 mm²

b. Perhitungan tulangan sengkang (Ash)

Menurut PCI Edisi 7 dari Desaign adis 15.4.4 untuk menentukan panjang ld adalah pada tabel berikut

Tabel 7. 1 Required Development Lengths

Bar Size	f' _c = 3000 psi			f' _c = 4000 psi			f' _c = 5000 psi			f' _c = 6000 psi			Min. Comp. Splice				
	Tension		Com-														
	l _d	1.3l _d	1.5l _d	l _d	1.3l _d	1.5l _d	l _d	1.3l _d	1.5l _d	l _d	1.3l _d	1.5l _d					
3	16	21	25	8	14	18	21	8	13	17	19	8	12	15	17	8	12
4	22	28	33	11	19	25	28	9	17	22	25	9	15	20	23	9	15
5	27	36	41	14	24	31	36	12	21	28	32	11	19	25	29	11	19
6	33	43	49	16	28	37	43	14	25	33	38	14	23	30	35	14	23
7	48	62	72	19	42	54	62	17	37	48	56	16	34	44	51	16	26
8	55	71	82	22	47	62	71	19	42	55	64	18	39	50	58	18	30
9	62	80	93	25	54	70	80	21	48	62	72	20	44	57	66	20	34
10	70	90	104	28	60	78	90	24	54	70	81	23	49	64	74	23	38
11	77	100	116	31	67	87	100	27	60	78	90	25	55	71	82	25	42

Digunakan tulangan D13 (#3)

$$f'_c = 5076,4 \text{ psi}$$

$$L_d = 17 \text{ in}$$

$$b = 17,717 \text{ mm}$$

$$A_{cr} = L_d \times b$$

$$= 17 \text{ in} \times 17,717 \text{ in}$$

$$= 301 \text{ in}^2$$

$$\lambda = 1$$

$$\mu = 1,4$$

$$V_u = (Av_f + An) \times f_y = 0,8612 \times 58016 = 49962 \text{ kip}$$

$$\mu e = \frac{\emptyset 1000 \lambda A_{cr} \mu}{V_u}$$

$$\mu e = \frac{0,8 \times 1000 \times 1 \times 301,8 \times 1,4}{49961,84536}$$

$$\mu e = 63$$

$$\mu e > \mu e_{\max}$$

$$63 < 3,4$$

Maka digunakan $\mu e = 3,4$

$$A_{sh} = \frac{(Av_f + An) \times f_y}{\mu e \times f_{ys}} = \frac{49961,84536}{3,4 \times 58016} = 0,3 \text{ in}^2$$

$$= 163,4 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 maka $A_b = 132,8 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{\text{Ash perlu}}{As} = \frac{163,41}{132,79} = 1,23 \approx 2$$

$$\text{Digunakan 2D13 } A_{sh \text{ pakai}} = 2 \times 133 = 265,6 \text{ mm}^2$$

7.1.1.2. Panjang Penyaluran Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memenfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah. Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi. Yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847:2013 pasal 12.3.2 Maka :

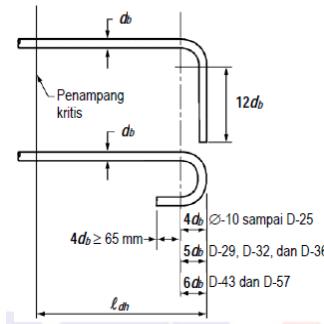
$$\begin{aligned} Idc &\geq \frac{0,24 \times fy}{\lambda \sqrt{fc}} db \\ &\geq \frac{0,24 \times 400}{1 \times 5,92} \times 25 = 405,674 \text{ MM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Idc &\geq 0,043 \times fy \times db \\ &\geq 0,043 \times 400 \times 25 = 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai Ldc terbesar = 430 mm

Panjang Penyaluran Kait Standart Dalam Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standart harus ditentukan sebagai berikut :



$$ldh \geq 8 \times db$$

$$\geq 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$ldh \geq 150 \text{ mm}$$

$$ldh \geq \frac{0,24 \times \gamma_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \times db$$

$$\geq \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times 5,92} \times 25 = 405,67 \text{ mm}$$

Maka dipakai $ldh = 330 \text{ mm}$ dengan bengkokkan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam balok induk dengan panjang kait standar sebesar 90° sebesar :

$$12 db = 12 \times 25 = 300 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

7.1.1.3. Perhitungan Kuat angkur Baut ke Beton

Dalam sambungan konsol kolom dengan balok induk dipasang angkur baut untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan pada saat pemasangan elemen balok precast. Desain sambungan harus mampu menahan gaya aksial yang terjadi di balok.

Dari pembahasan struktur balok induk sebelumnya, didapat gaya aksial dan geser dari analisa ETABS sebesar :

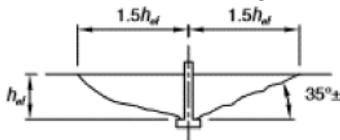
$$Nu = 1011 \text{ kN}$$

Data perencanaan :

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2 Direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut :

$$\begin{aligned} Db &= 20 \text{ mm} \\ Ab &= 314,2 \text{ mm}^2 \\ Fyb &= 830 \text{ Mpa} \\ Fub &= 620 \text{ Mpa} \\ \text{Mutu baja :} \\ Fy &= 400 \text{ Mpa} \\ Fu &= 560 \text{ Mpa} \\ Fc &= 35 \text{ Mpa} \\ Hef &= 160 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menentukan Jarak Angkur :



$$Ca\ 1 = 1,5 \times Hef = 1,5 \times 160 = 240 \text{ mm}$$

$$Ca\ 2 = 200 \text{ mm}$$

Kuat Baut Angkur Terhadap Gaya Tarik

Menurut SNI 2847:2013 Pasal D.5.1.2 dijelaskan gaya tarik pada angkur harus lebih kecil dari kekuatan nominal angkur.

$$\begin{aligned} \text{Baut angkur, D baut} &= 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in} \\ A_{se}, N &= 314,16 \text{ mm}^2 \approx 0,4418 \text{ in}^2 \\ Nsa &= A_{se}, N \times Fu = 314,16 \times 830 = 260752,2 \text{ N} \\ &= 260,75 \text{ kN} \\ \emptyset Nsa &= 0,75 \times 260,7522 = 195,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat jebol (breakout) beton terhadap tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.2 kekuatan nominal kuat jebol beton terhadap tarik yaitu :

$$Ncb = \frac{ANC}{ANCo} \times \psi_{ed,N} \times \psi_{c,N} \times \psi_{cp,N} \times Nb$$

Dimana :

$$\psi_{ed,N} = 1 \text{ (untuk } Ca1 \geq 1,5 Hef)$$

$$\psi_{c,N} = 1,25 \text{ (Untuk angkur cor didalam)}$$

$$\psi_{cp,N} = 1$$

$$K_c = 10 \text{ (untuk angkur cor didalam)}$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton (ca1) = 240 mm

$$ANCo = 9 \times hef^2 = 9 \times 25600 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$ANC = ca 1 \times ca 2 = 240 \times 200 = 48000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka nilai } \frac{ANC}{ANCo} = 0,21$$

$$Nb = K_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{fc} \cdot hef^{1,5}$$

$$= 10 \times 1,592 \times 2023,858 = 119733 \text{ N}$$

$$= 119,7 \text{ kN}$$

Baut tunggal :

$$\begin{aligned} Ncb &= \frac{ANC}{ANCo} \times \psi_{ed,N} \times \psi_{c,N} \times \psi_{cp,N} \times Nb \\ &= \frac{48000}{2E+05} \times 1 \times 1,25 \times 1 \times 119,73 \\ &= 31,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

Menurut SNI 2847:2013 D.5.3.4 kekuatan nominal cabut dalam kondisi tarik dari baut berkait tunggal seperti berikut:

$$\psi_{cp} = 1$$

$$\text{Baut angkur, D baut} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$$

$$A_{se,N} = 314,16 \text{ mm}^2 \approx 0,4418 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} N_p &= 8 \times A_{brg} \times f_c = 8 \times 314,1593 \times 35 = 87964,6 \text{ N} \\ &= 87,96459 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset N_{sa} = 0,75 \times 260,7522 = 195,56 \text{ kN}$$

Kuat ambrol muka tepi (sideface blowout) beton dari tarik

Menurut SNI 2847:2013 D5.4.1 kekuatan nominal ambrol beton dari tepi terdekat terhadap tarik yaitu,

$$N_{sb} = (13 \text{ cal } \sqrt{abrg} x) \lambda x a x \sqrt{fc}$$

Baut Angkur, ϕ baut = 20 mm $\approx \frac{3}{4}$ in,

$$A_{se} = 314,2 \text{ mm}^2 \approx 0,4418 \text{ in}^2$$

$$N_{sb} = (13 \text{ cal } \sqrt{abrg} x) x \lambda x a x \sqrt{fc}$$

$$= 13 \times 240 \times \sqrt{314,159} \times 1 \sqrt{35}$$

$$= 3E+5 \text{ N} = 327,16 \text{ kN}.$$

Rangkuman kuat batas baut terhadap tarik :

$$\text{Kuat tarik baut angkur} = 195,5641 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat jebol beton} = 31,18048 \text{ kN} \text{ (menentukan)}$$

$$\text{Kuat cabut angkur} = 65,973 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat ambrol muka tepi beton} = 327,1625 \text{ kN}$$

$$\phi N_n \geq N_2$$

$$31,2 \text{ kN} \geq 1,0105 \text{ kN} \text{ OK}$$

Jadi digunakan angkur baut tunggal M20 mutu A325

Kontrol Tarik sambungan Coupler:

Menurut SNI 12.14.3.2 sambungan mekanis penuh harus mengembangkan tarik atau tekan seperti disyaratkan, paling sedikit 1,25 Fy batang tulangan.

Berdasarkan brosur didapat informasi seperti berikut :

$$F_y \text{ Coupler} = 600 \text{ Mpa}$$

$$F_y \text{ Tulangan} = 400 \text{ Mpa}$$

Sehingga, $1,3 F_y < F_y \text{ Coupler}$

$$1,3 \times 400 < 600 \text{ Mpa}$$

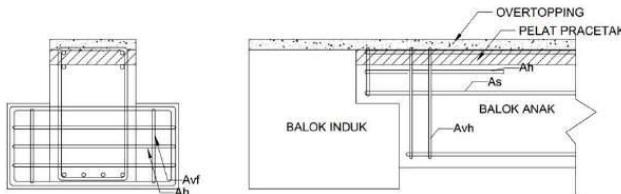
$$500 \text{ Mpa} < 600 \text{ Mpa} \text{ OK}$$

7.1.2. Perhitungan Sambungan Balok Induk-Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak digunakan sambungan *dapped end beam* (PCI edisi

keenam). Sambungan *dapped end* adalah suatu elemen struktural yang tingginya dikurangi di ujung-ujungnya untuk memberikan dudukan atau landasan yang dibutuhkan di atas korbel atau konsol tanpa kehilangan tinggi bersih di antara lantai yang satu dengan yang lain.

Pada gambar 7.4, ada dua jenis retak yang dapat timbul. Retak-retak adalah retak geser langsung, sedangkan retak 3, 4, dan 5 adalah retak tarik diagonal yang disebabkan oleh lentur dan tarik aksial di daerah yang tingginya lebih kecil dan konsentrasi tegangan di pojok di mana perubahan tinggi penampang terjadi. Oleh karena itu, jenis-jenis penulangan seperti terlihat dalam gambar tersebut harus digunakan.



Gambar 7.4 Sketsa Sambungan Dapped End

7.1.3. Perhitungan Konsol pada Balok Induk

a. Data Perencanaan

$$V_u = 90,4 \text{ kN} \text{ (ETABS 16)}$$

$$\text{Dimensi Balok induk} = 45/65$$

$$\text{Dimensi balok anak} = 30/45$$

Dimensi konsol :

$$a_v = 100 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 40 \text{ mm}$$

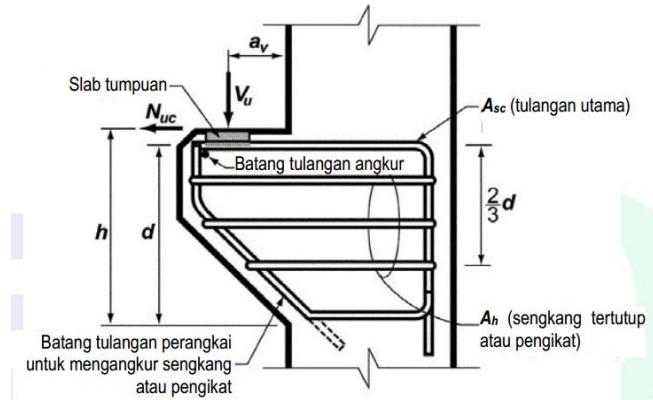
$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

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

$$\text{diameter tul. Lentur} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tul. Geser} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{tinggi efektif konsol, } d = 153,5 \text{ mm}$$



Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$Nu = 0,2 \times Vu \text{ (2847 ps. 11.8.3.4)}$$

$$= 0,2 \times 90,4 = 18,1 \text{ kN}$$

$$Vn = \frac{Vu}{\phi} = \frac{90,357}{0,75} = 120,48 \text{ kN}$$

- Cek Dimensi Penampang**

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.1 dalam menentukan dimensi korbel harus memenuhi :

$$\frac{a_v}{d} \text{ tidak lebih besar dari } 1$$

$$\frac{100}{154} = 0,65 < 1 \text{ OK}$$

dikenai gaya tarik horisontal terfaktor Nu tidak lebih besar dari Vu

$$\begin{aligned} Nu &= 0,2 \times Vu = 0,2 \times 90,4 \\ &= 18,1 \text{ kN} < Vu = 90,4 \text{ kN OK} \end{aligned}$$

- **Kontrol**

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.2.1 dimensi korbel harus melebihi gaya geser terfaktor yang bekerja sehingga V_n tidak boleh melebihi

$$0,2 \times f_{c'} \times b_w \times d = 0,2 \times 35 \times 200 \times 154$$

$$= 214900 \text{ N}$$

$$= 215 \text{ kN} > V_n = 120 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

$$(3,3 + 0,08 \times f_c) \times b_w \times d$$

$$= (3,3 + 0,8 \times 35) \times 200 \times 154 = 187270 \text{ N}$$

$$= 180 \text{ kN} > V_n = 120 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

$$11 \times b_w \times d = 11 \times 200 \times 154$$

$$= 337700 \text{ N}$$

$$= 337,7 \text{ kN} > V_n = 120 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

d. Luas Tulangan Lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi.

Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3, akan digunakan N_{uc} minimum (N_{uc} = gaya tarik horizontal terfaktor yang diterapkan diatas korbel yang bekerja serentak dengan V_u)

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \times a + N_{uc} (h-d) \\ &= (90356,7 \times 100) + (18071,34 \times (200-154)) \\ &= 9875987,31 \text{ Nmm} = 9,876 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{9875987,31}{0,9 \times 200 \times 154^2} = 2,329 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1}{13,45} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - (2 \times 13,45 \times 2,329)}{400}} \right) = 0,0061$$

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

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600+400}$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600+400} = 0,0268$$

Kontrol :

Sehingga : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0061 < 0,0268$ (**Ok**)

Maka digunakan $\rho_{\text{pakai.}} = 0,0035$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.2 menentukan A_{vf} sebagai berikut :

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi \mu f_y} = \frac{90356,7}{0,75 \times 1,4 \times 400} = 215,14 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.3 menentukan A_f mengacu ps. 10.2 sebagai berikut :

$$A_{f1} = \frac{Mu}{\phi f_y 0,85 d} = \frac{9875987,31}{0,75(400) 0,85 (154)}$$

$$A_{f1} = 252,31 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d \\ = 0,0035 \times 200 \times 154 = 107,45 \text{ mm}^2$$

Diambil terkecil = 107,45 mm^2

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.3.4 menentukan A_n mengacu ps. 10.2 sebagai berikut :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi x f_y} = \frac{18071,34}{0,75 \times 400} = 60,238 \text{ mm}^2$$

e. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5 menentukan A_s tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari :

$$A_s = A_f + A_n = 107,45 + 60,238 = 167,69 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n = \frac{2 \times 215,14}{3} + 60,2378 = 203,66 \text{ mm}^2$$

Maka A_s perlu = 203,66 mm^2

Dimana menurut SNI 2847:2013 pasal 11.8.5 kedua persamaan tersebut tidak boleh kurang dari :

$$As_{min} = 0,04 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) b x d$$

$$As_{min} = 0,04 \left(\frac{35}{400} \right) 200 \times 154 = 107,45 \text{ mm}^2$$

$$107,45 \text{ mm}^2 < As \text{ perlu} = 203,661 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

- **Kebutuhan tulangan lentur**

Digunakan tulangan lentur D13 As=132,79 mm²

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{As \text{ perlu}}{As} = \frac{203,66}{133} = 1,53 \approx 2$$

Digunakan 2D13As pakai = 2 x 133= 265,57 mm²

- **Perhitungan tulangan Ah :**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$Ah = 0,5 (As - An) = 0,5 (203,66 - 60,2378) = 71,712 \text{ mm}^2$$

- **Kebutuhan tulangan geser:**

dipakai tulangan D10 (As = 78,571 mm²)

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{As \text{ perlu}}{As} = \frac{71,7}{78,6} = 0,91 \approx 1$$

Digunakan 1 D10 As pakai = 1 x 78,6 = 78,571 mm².

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.8.4 Ah harus disebarluaskan secara merata dalam batas 2/3d

$$2/3d = 2/3 \times 154 = 102 \text{ mm}$$

- **Pelat Landasan Korbel Balok Anak**

Kontrol kuat tumpuan untuk balok anak pada kolom sebagai berikut:

$$Vu = \emptyset \times 0,85 \times f_c \times A_1$$

$$A_1 = \frac{90,36 \times 1000}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 4049,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai pelat landasan 100 x100 = 10000 mm²

Tebal 15 mm

Menurut SNI 03:2847:2013 ps.22.5.5 kekuatan tumpu desain beton adalah :

$$\emptyset B_n \geq B_u$$

Dengan

$$B_n = 0,65 \times f'_c \times A \times 0,85 = 0,65 \times 22,8 \times 10000 \times 0,85 \\ = 125693,75 \text{ N} = 125,69 \text{ kN} > V_u = 90,4 \text{ kN}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan (f'_c = umur 7 hari)

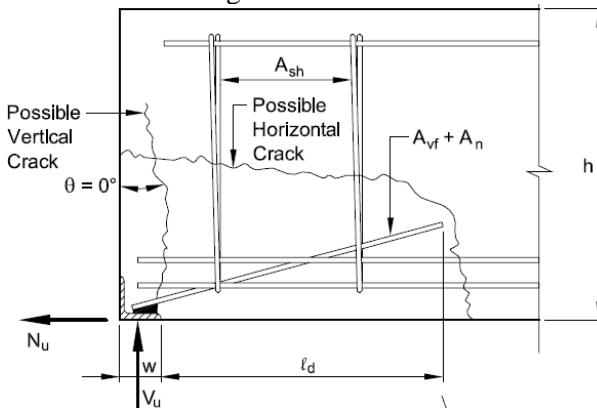
$$F_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} = 0,7 \times \sqrt{22,8} = 3,342 \text{ Mpa}$$

$$V_u = 90,4 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{V_u}{A} = \frac{90357}{10000} = 9,04 < f_r = 3,34 \text{ Mpa} \quad OK$$

Perencanaan Reinforced Concrete Bearing

Menurut PCI Design Handbook 7th Edition section 5.6.2 tentang reinforced concrete bearing.



Gambar 7. 5 Rencana Tulangan pada Balok Induk

Perencanaan penulungan ujung balok induk pada proyek akhir terapan ini didasarkan pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition)* section 5.6.2 yaitu tentang *concrete brackets or corbel*. Penulungan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan *PCI* adalah sebagai berikut:

1. Diasumsikan sudut retak vertikal $\emptyset = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{Vu}{\phi x f_y x \mu_e} + \frac{Nu}{\phi x f_y}$$

3. Sudut persamaan adalah 15°

4. Nilai $\mu = 1,4\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$

5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(Avf + An) x f_y}{\mu_e x f_y s}$$

Data Perencanaan :

$$Vu = 20,3 \text{ kip} = 90357 \text{ N} = 90,3567 \text{ kN}$$

$$Nu = 4,06 \text{ kip} = 18071 \text{ N} = 18,0713 \text{ kN}$$

$$\text{Lebar balok} = 11,8 \text{ in} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok} = 17,7 \text{ in} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Bearing Pad} = 3,94 \text{ in} \times 3,94 \text{ in} = 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$$

$$Fc = 5076,4 \text{ psi} = 35 \text{ Mpa}$$

$$Fy \text{ lentur} = 58016 \text{ psi} = 400 \text{ Mpa}$$

$$Fy \text{ geser} = 58016 \text{ psi} = 400 \text{ Mpa}$$

Perhitungan tulangan horizontal (At)

$$Acr = b \times h = 11,8 \times 17,7 = 209,25 \text{ in}^2$$

$$Vn \text{ max} = 1000x\lambda x Acr = 1000 \times 1 \times 209 / 1000 = 209 \text{ kip}$$

$$Vu \text{ max} = \emptyset x Vn \text{ max}$$

$$= 0,75 \times 209 = 157 \text{ kip} > 20,3 \text{ kip} \quad \text{OK}$$

$$\mu_e = \frac{\emptyset 1000 \lambda Acr \mu}{Vu}$$

$$= \frac{0,75 \times 1000 \times 1 \times 209 \times 1,4}{20313,00161}$$

$$= 10,8 > \max \mu_e = 3,4 \text{ (PCL tabel 5.3.1)}$$

Maka dipakai max $\mu_e = 3,4$

$$Avf = \frac{Vu}{\emptyset f_y \mu_e} = \frac{20313,00161}{0,75 \times 58016 \times 3,4} = 0,14 \text{ in}^2$$

$$An = \frac{Nu}{\emptyset f_y} = \frac{4062,618587}{0,75 \times 58016} = 0,09 \text{ in}^2$$

$$Avf + An = 0,14 + 0,09 = 0,23 \text{ in}^2$$

$$= 148,82 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 13 maka $A_b = 132,786 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{perlu}}{Ab} = \frac{149}{133} = 1,12 \approx 2$$

Digunakan 2 D 13 $A_{pakai} = 2 \times 133 = 265,57 \text{ mm}^2$

Perhitungan tulangan sengkang (Ash)

Menurut PCI Edisi 7 dari Desaign adis 15.4.4 untuk menentukan panjang ld adalah pada tabel berikut

Tabel 7. 2 Required Development Lengths

Bar Size	$f'_c = 3000 \text{ psi}$				$f'_c = 4000 \text{ psi}$				$f'_c = 5000 \text{ psi}$				$f'_c = 6000 \text{ psi}$				Min. Comp. Splice	
	Tension		Com- pres- sion															
	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d														
3	16	21	25	8	14	18	21	8	13	17	19	8	12	15	17	8	12	
4	22	28	33	11	19	25	28	9	17	22	25	9	15	20	23	9	15	
5	27	36	41	14	24	31	36	12	21	28	32	11	19	25	29	11	19	
6	33	43	49	16	28	37	43	14	25	33	38	14	23	30	35	14	23	
7	48	62	72	19	42	54	62	17	37	48	56	16	34	44	51	16	26	
8	55	71	82	22	47	62	71	19	42	55	64	18	39	50	58	18	30	
9	62	80	93	25	54	70	80	21	48	62	72	20	44	57	66	20	34	
10	70	90	104	28	60	78	90	24	54	70	81	23	49	64	74	23	38	
11	77	100	116	31	67	87	100	27	60	78	90	25	55	71	82	25	42	

Digunakan tulangan D13 (#3)

$$fc' = 5076,4 \text{ psi}$$

$$Ld = 17 \text{ in}$$

$$b = 12 \text{ mm}$$

$$Acr = Ld \times b$$

$$= 17 \text{ in} \times 12 \text{ in}$$

$$= 201 \text{ in}^2$$

$$\lambda = 1$$

$$\mu = 1,4$$

$$Vu = (Avf + An) \times fy = 0,2 \times 58016 = 13383 \text{ kip}$$

$$\mu e = \frac{\emptyset 1000 \lambda Acr \mu}{Vu}$$

$$\mu e = \frac{0,8 \times 1000 \times 1 \times 201 \times 1,4 \times 1}{13382,70777}$$

$$\mu e = 16$$

$$\mu e > \mu e \text{ max}$$

$$16 < 3,4$$

Maka digunakan $\mu e = 3,4$

$$Ash = \frac{(Avf+An) \times fy}{\mu e \times fys} = \frac{13382,70777}{3,4 \times 58016} = 0,1 \text{ in}^2$$

$$= 43,771 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 maka $A_b = 132,8 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan, $n = \frac{A_{sh\ perlu}}{A_s} = \frac{43,8}{133} = 0,33 \approx 1$
 Digunakan 1D13 $A_{sh\ pakai} = 2 \times 133 = 132,79 \text{ mm}^2$

• Perhitungan Sambungan Balok ke Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memenfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi. Yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847:2013 pasal 12.3.2 Maka :

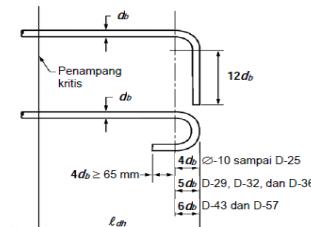
$$\begin{aligned} Idc &\geq \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} db \\ &\geq \frac{0,24 \times 400}{1 \times 5,92} \times 13 = 210,95 \text{ MM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Idc &\geq 0,043 \times f_y \times db \\ &\geq 0,043 \times 400 \times 13 = 223,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai Ldc terbesar = 230 mm

Panjang Penyaluran Kait Standart Dalam Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standart harus ditentukan sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 \text{Idh} &\geq 8 \times \text{db} \\
 &\geq 8 \times 13 = 104 \text{ mm} \\
 \text{Idh} &\geq 150 \text{ mm} \\
 \text{Idh} &\geq \frac{0,24 \times \gamma_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \times \text{db} \\
 &\geq \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times 5,92} 13 = 210,95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $\text{ldh} = 330 \text{ mm}$ dengan bengkokkan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam balok induk dengan panjang kait standar sebesar 90° sebesar :

$$12 \text{ db} = 12 \times 13 = 156 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

• Perhitungan Kuat angkur Baut ke Beton

Dalam sambungan konsol kolom dengan balok induk dipasang angkur baut untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan pada saat pemasangan elemen balok precast. Desain sambungan harus mampu menahan gaya aksial yang terjadi di balok.

Dari pembahasan struktur balok induk sebelumnya, didapat gaya aksial dan geser dari analisa ETABS sebesar :

$$\text{Nu} = 0,1862 \text{ kN}$$

Data perencanaan :

Berdasarkan SNI 1729:2015 tabel J3.1M dan J3.2 Direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut :

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

$$\text{Ab} = 314,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fyb} = 830 \text{ Mpa}$$

$$\text{Fub} = 620 \text{ Mpa}$$

Mutu baja :

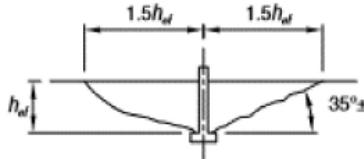
$$\text{Fy} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Fu} = 560 \text{ Mpa}$$

$$\text{Fc} = 35 \text{ Mpa}$$

$$\text{Hef} = 160 \text{ mm}$$

Menentukan Jarak Angkur :



$$Ca\ 1 = 1,5 \times Hef = 1,5 \times 160 = 240\text{mm}$$

$$Ca\ 2 = 200\text{ mm}$$

Kuat Baut Angkur Terhadap Gaya Tarik

Menurut SNI 2847:2013 Pasal D.5.1.2 dijelaskan gaya tarik pada angkur harus lebih kecil dari kekuatan nominal angkur.

$$\text{Baut angkur, D baut} = 20\text{ mm} \approx \frac{3}{4}\text{ in}$$

$$Ase, N = 314,16\text{ mm}^2 \approx 0,4418\text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} Nsa &= Ase, N \times Fu \\ &= 314,16 \times 830 = 260752,2\text{ N} \\ &= 260,75\text{ kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset Nsa = 0,75 \times 260,7522 = 195,56\text{ kN}$$

Kuat jebol (breakout) beton terhadap tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.2 kekuatan nominal kuat jebol beton terhadap tarik yaitu :

$$Ncb = \frac{ANC}{ANCo} \times \psi_{ed,N} \times \psi_{c,N} \times \psi_{cp,N} \times Nb$$

Dimana :

$$\psi_{ed,N} = 1 (\text{untuk } Ca1 \geq 1,5 Hef)$$

$$\psi_{c,N} = 1,25 (\text{Untuk angkur cor didalam})$$

$$\psi_{cp,N} = 1$$

$$Kc = 10 (\text{untuk angkur cor didalam})$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton ($ca1$) = 240 mm

$$ANCo = 9 \times hef^2 = 9 \times 25600 = 230400\text{ mm}^2$$

$$ANC = ca\ 1 \times ca\ 2 = 240 \times 200 = 48000\text{ mm}^2$$

$$\text{Maka nilai } \frac{ANC}{ANCo} = 0,21$$

$$Nb = kc \cdot \lambda a \cdot \sqrt{fc} \cdot hef^{1,5}$$

$$= 10 \times 1,592 \times 2023,858 = 119733\text{ N} = 119,7\text{ kN}$$

Baut tunggal :

$$\begin{aligned} N_{cb} &= \frac{ANC}{ANC_o} \times \psi_{ed,N} \times \psi_c, N \times \psi_{cp}, N \times N_b \\ &= \frac{48000}{2E+05} \times 1 \times 1,25 \times 1 \times 119,73 \\ &= 31,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

Menurut SNI 2847:2013 D.5.3.4 kekuatan nominal cabut dalam kondisi tarik dari baut berkait tunggal seperti berikut:

$$\psi_{cp} = 1$$

$$\text{Baut angkur, } D \text{ baut} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$$

$$A_{se, N} = 314,16 \text{ mm}^2 \approx 0,4418 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} N_p &= 8, A_{brg}, F_c = 8 \times 314,1593 \times 35 = 87964,6 \text{ N} \\ &= 87,96459 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset N_{pn} = \psi \times c_p \times N_p = 0,8 \times 1 \times 87,965 = 65,973 \text{ kN}$$

Kuat ambrol muka tepi (sideface blowout) beton dari tarik

Menurut SNI 2847-2013 D5.4.1 kekuatan nominal ambrol beton dari tepi terdekat terhadap tarik yaitu,

$$N_{sb} = (13 \text{ cal} \sqrt{abrg} \times) \lambda \times a \times \sqrt{f_c}$$

$$\text{Baut Angkur, } \phi \text{ baut} = 20 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in},$$

$$A_{se, N} = 314,16 \text{ mm}^2 \approx 0,4418 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} N_{sb} &= (13 \text{ cal} \sqrt{abrg} \times) \times \lambda \times a \times \sqrt{f_c} \\ &= 13 \times 240 \times \sqrt{314,1593} \times 1 \sqrt{35} \\ &= 327163 \text{ N} = 327,16 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Rangkuman kuat batas baut terhadap tarik :

$$\text{Kuat tarik baut angkur} = 195,5641 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat jebol beton} = 31,18048 \text{ kN} \text{ (menentukan)}$$

$$\text{Kuat cabut angkur} = 65,973 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat ambrol muka tepi beton} = 327,1625 \text{ kN}$$

$$\phi N_n \geq N_2$$

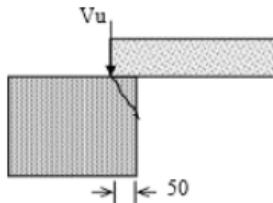
$$31,2 \text{ kN} \geq 0,1862 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Jadi digunakan angkur baut tunggal M20 mutu A325

7.1.4. Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

- Kontrol tegangan tumpuan akibat pelat**

Pelat Pracetak yang harus ditinjau adalah tumpuannya pada balok saat pemasangan dan pengcoran untuk menjamin agar tidak retak atau runtuh.



Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 4.6.2.2 Jarak tumpuan pada komponen pracetak untuk beton polos paling sedikit yaitu 50 mm untuk slab dan 75 mm untuk Balok

Perhitungan kekuatan tumpu pelat pada balok anak

$$Vu = Bu = 707 \text{ kg} = 7065 \text{ N} = 7,07 \text{ kN}$$

$$Fc = 35 \text{ Mpa}$$

$$b = 1300 \text{ mm}$$

$$a = 50 \text{ mm}$$

$$fc_{7,2} = 0,65 fc = 0,65 \times 35 = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$A = a.b = 1300 \times 50 = 65000 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 22.5.5 kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi

$$\begin{aligned} Bn &= \emptyset \times 0,85 \times 23 \times 65000 \\ &= 817009,4 \text{ N} \\ &= 817,01 \text{ kN} > Bu = 7,07 \text{ kN} \text{ OK} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan,

$$Fr = 0,62 \times \sqrt{fc} = 0,62 \times \sqrt{22,8} = 2,96 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Vu}{A} = \frac{7065}{65000} = 0,11 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = 0,11 \text{ Mpa} < fr = 2,96 \text{ Mpa} \text{ OK}$$

7.1.5. Sambungan Pelat Pracetak dengan Pelat Topping Cor Insitu (Penghubung Geser)

Penghubung geser diperlukan untuk mengikat pelat pracetak dan pelat topping yang mampu mentransfer gaya - gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan yang menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Data perencanaaan :

Tebal pelat topping	= 6 cm
Tebal pelat pracetak	= 8 cm
Sumbu netral, X	= 7 cm
Mutu pelat topping	= 35 Mpa
Mutu pelat pracetak	= 35 Mpa
Mutu baja	= 400 Mpa
Lebar efektif topping	= 135 cm
Panjang efektif	= 330 cm
Decking	= 2 cm
Tulangan pelat	= D 10 – 200 mm

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 17.5.3 geser horizontal dapat ditentukan dengan jalan menghitung perubahan aktual gaya tekan atau tarik pada kedua elemen komposit.

$$\begin{aligned}
 V_u &= C = T \\
 C_x &= 0,9 f_c A_{top} \\
 &= 0,9 \times 35 \times 1350 \times 60 \\
 &= 2409750 \text{ N} = 2409,8 \text{ kN} \\
 C_y &= 0,9 f_c A_{top} \\
 &= 0,9 \times 35 \times 3300 \times 60 \\
 &= 5890500 \text{ N} = 5890,5 \text{ kN} \\
 T_x &= As \times fy \\
 &= 6 \times 79 \times 400 \\
 &= 188571,4 \text{ N} = 188,57 \text{ kN} \\
 T_y &= As \times fy \\
 &= 16 \times 79 \times 400 \\
 &= 487142,9 \text{ N} = 487,14 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka dipilih yang terkecil :

$$V_u = 188,57 \text{ kN}$$

SNI 7833-2012 pasal 5.3.3.4 dan SNI 03:2847:2013 ps.17.5.3.4 bila V_u melebihi $\emptyset(3,5\text{bvd})$ maka desain untuk geser horizontal menggunakan metode desain friksi geser

$$d = 140 - 20 - 0,5 \times 10 = 115 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \emptyset \times 3,5 \times b \times d &= 0,8 \times 3,5 \times 1350 \times 115 \\ &= 407531 \text{ N} = 407,53 \text{ kN} > V_u \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Maka desain geser horizontal tidak menggunakan metode desain friksi.

- **Cek Tulangan Penghubung Geser**

Dicoba dipasang 2 kaki $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$

Pada penampang melintang berjumlah 2 buah

$$A_v = 2 \times 2 \times \frac{1}{4} \times 22/7 \times 10^2 = 314 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03:2847:2013 ps. 11.4.6.3 $A_v \text{ min}$

$$\begin{aligned} A_{v \text{ min}} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{bw \times s}{fyt} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{1350 \times 150}{400} = 185,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{0,4 \times bw \times s}{fyt} = \frac{0,4 \times 1350 \times 150}{400} = 177 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai

$$A_v \text{ min} = 186 \text{ mm}^2 < A_v = 314 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

$$\rho_v = \frac{A_v}{bw \times s} = \frac{314}{1350 \times 150} = 0,001552$$

- **Kapasitas Tulangan Geser**

$$\begin{aligned} V_{nh} &= (1,8 + 0,6 \times \rho_v \times f_y) \lambda \times b \times v \times d \\ &= (1,8 + 0,6 \times 0,0016 \times 400) \times 1 \times 1350 \times 115 \\ &= 337278,6 \text{ N} = 337,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset V_{nh} = 0,75 \times 337,28 = 252,96 \text{ kN}$$

$$V_u = 189 \text{ kN} > \emptyset V_{nh} = 253 \text{ kN} < 407,53 \text{ kN}$$

$$V_u < \emptyset V_{nh} < \emptyset \times 3,5 \times b \times d \quad \mathbf{OK}$$

BAB VIII

METODE PELAKSANAAN

8.1. Umum

Metode pelaksanaan dalam sebuah pekerjaan konstruksi adalah salah satu hal yang paling vital, dengan adanya metode pelaksanaan, maka pekerjaan yang akan dikerjakan menjadi jelas dan arah. Pada tugas akhir ini akan dijabarkan alur pengerjaan meliputi :

- a. Fabrikasi
- b. Proses transportasi
- c. Proses penyimpanan
- d. Proses pelaksanaan di lapangan

8.1.1. Fabrikasi

Proses fabrikasi yaitu proses pembuatan komponen pracetak, dalam hal ini ada beberapa yang harus diperhatikan demi efisiensi biaya dan menjaga komponen agar tidak rusak.

- a. Lokasi yang digunakan tidak jauh dan masih bisa terjangkau menggunakan transportasi melalui darat
- b. Lokasi fabrikasi memiliki lahan yang cukup luas dan lingkungan yang bersih dari material non-struktur.
- c. bekisting pada saat pengcoran komponen pracetak harus disediakan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

8.1.2. Transportasi

Dalam hal ini yang harus diperhatikan yaitu dimensi dan beban total komponen pracetak harus sesuai dengan kapasitas alat transportasi yang digunakan untuk menjaga keamanan saat proses berlangsung.

Diketahui komponen pracetak pada tugas akhir terapan ini memiliki panjang bentang maksimal 6,45 meter (balok induk)

dengan beban 3,5 ton dengan kapasitas angkut 26 ton. Oleh karena itu, penulis mengambil contoh alat transportasi yaitu produk Truck HINO model FL260TI dengan spesifikasi sebagai berikut

Dimensi (mm)	
Jarak Sumbu Roda	: 5.760 + 1.300
Cabin to End	: -
Total Panjang	: 11.275
Total Lebar	: 2.460
Total Tinggi	: 2.695
Lebar Jejak Depan	: 1.925
Lebar Jejak Belakang	: 1.855
Julur Depan	: 1.255
Julur Belakang	: 2.900
Berat Chassis (kg)	
Depan	: 2.928
Belakang	: 3.818
Berat Kosong	: 6.746
GVWR / GCWR	: 26000

Gambar 8. 1 Spesifikasi Truck Hino

Dari spesifikasi diatas maka dimensi alat transportasi sudah memenuhi persyaratan yang diperlukan serta kapasitas angkat beban sudah melebihi beban total komponen balok induk.

8.1.3. Penyimpanan

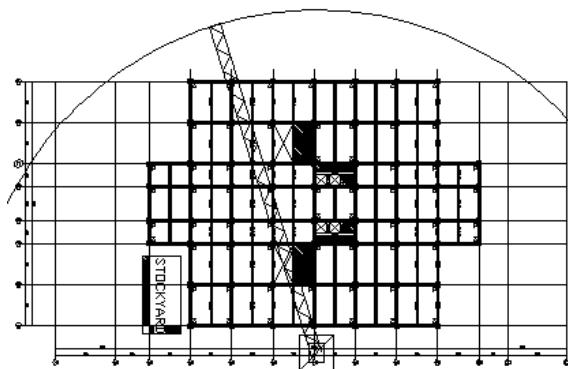
Lokasi penyimpanan pada lokasi proyek perlu diperhatikan untuk menjaga komponen agar tidak rusak dan tidak mengganggu pekerjaan lainnya dengan jumlah penumpukan yang telah ditentukan.

8.1.4. Pengangkatan

Dalam hal ini yang harus diperhatikan yaitu beban komponen pracetak harus sesuai dengan kapasitas alat pengangkatan yang digunakan untuk menjaga keamanan saat proses berlangsung.

Diketahui komponen pracetak pada tugas akhir terapan ini memiliki beban terbesar yaitu 3,5 ton (balok induk). Oleh karena itu, penulis mengambil contoh alat pengangkatan yaitu tower crane XCMG XGT160A dengan panjang 60 m dari Cina dengan spesifikasi sebagai berikut,

Proyek	Satuan	Parameter
Item Parameter		QTZ160
Tower crane		XGT160A (6518L-10)
Panjang lengan (m) / sisi lengan angkat	(t)	65 / 1,85
Muat momen pemuatan	(tm)	160
Beban pengangkatan maks	(t)	10
Ketinggian tetap	(m)	60
Tinggi lampiran	(m)	201



Gambar 8. 2 Jangkauan Tower Crane

8.1.5. Pelaksanaan Section A

Kemudian pengerjaan section A. Lihat Gambar 8. 1 Dalam pelaksanaan metode pelaksanaan section A, akan terbagi menjadi beberapa alur. Secara garis besar alur tersebut, meliputi :

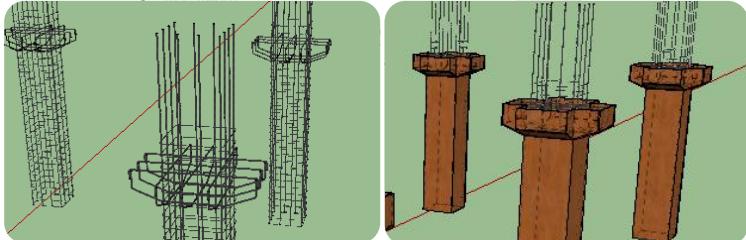


Gambar 8. 1 Alur Metode Pelaksanaan Section A

Metode Pelaksanaan Section A

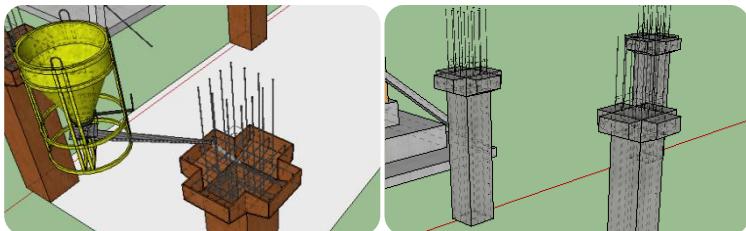
Dalam metode pelaksanaannya akan dijelaskan melalui beberapa gambar sebagai alat bantu sebagai berikut :

1. Pekerjaan Kolom



Penulangan Kolom & korbel

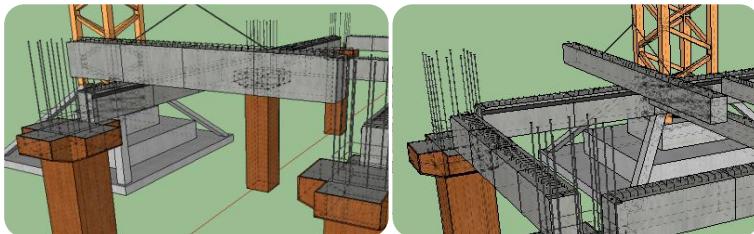
Pemasangan Bekisting



Pengecoran Kolom

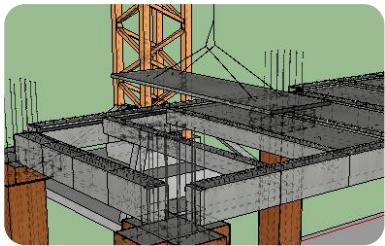
Pelepasan bekisting dan
laniut ke tahap berikutnya

2. Instalasi Elemen Pracetak

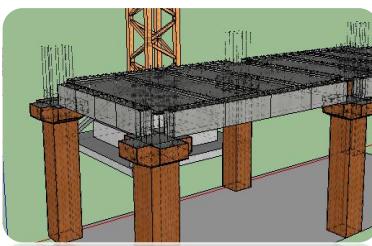


Pemasangan Balok Induk

Pemasangan Balok Anak

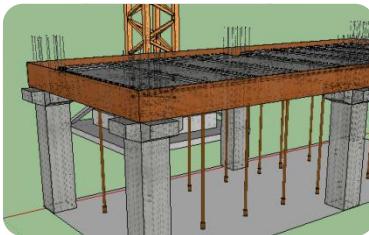


Pemasangan Pelat

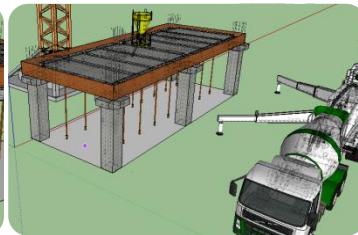


Elemen Terpasang

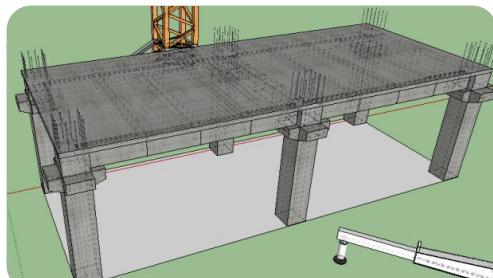
3. Pengecoran Overtopping



Pemberian Bekisting &
Scaffolding



Pengecoran Topping



Section A Selesai

BAB IX

KESIMPULAN DAN SARAN

9.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Modifikasi Struktur Gedung Rektorat 9 Lantai Di Malang Menggunakan Beton Pracetak” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya:

1. Berdasarkan modifikasi struktur yang dilakukan menggunakan beton pracetak didapatkan dimensi struktur baru yaitu:
 - a. Dimensi Kolom:
 - Kolom lantai 1 s.d. 3 = 75 x 75 cm
 - Kolom lantai 4 s.d. 10 = 65 x 65 cm
 - b. Dimensi Balok Induk:
 - B1 = 450/650 mm
 - B2 = 450/650 mm
 - B3 = 450/650 mm
 - B4 = 450/650 mm
 - B5 = 450/650 mmDimensi Balok Induk Pracetak :
Balok Pracetak = 450/510 mm
 - c. Dimensi Balok Anak:
 - BA1 = 300/450 mm
 - BA2 = 300/450 mm
 - BA2 = 300/450 mmDimensi Balok Anak pracetak :
Balok Pracetak = 300/310 mm
 - d. Tebal pelat :
Tebal pracetak = 8 cm
Tebal Overtopping = 6 cm
 - e. Dimensi Pondasi
Pondasi pilecap dengan 6 tiang pancang

Dengan diameter tiang pancang 500 mm pada kedalama 1400 mm

9.2. Saran

Berdasarkan analisa selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah diantaranya:

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan pada beton konvensional agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya penggerjaan sambungan.
2. Tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan dan detail tulangan sehingga tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana.
3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi pracetak agar lebih inovatif dan efisien dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.
4. Untuk kemudian agar dapat memperhitungkan basement.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agus Setiawan. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
2. Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 03-1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN.
3. Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*. Jakarta: BSN.
4. Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
5. Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik. 2009. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: Penerbit ITB.
6. Jojok Widodo Soetjipto. 2004. *Analisa Perbandingan Pelaksanaan Pembangunan Menggunakan Beton Konvensional dengan Elemen Beton Pracetak Pada Bangunan Tingkat Tinggi*. Jember.
7. Kim S. Elliot. 2002. *Precast Concrete Structure*
8. PCI. 2010. *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestres Concrete*.
9. Wulfram I. Ervianto. 2006. Eksplorasi Teknologi dan Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting. Yogyakarta : Andi Yogyakarta
10. Kementerian Pekerjaan Umum, *Peta Hazard Gempa Indonesia*, Jakarta, 2010.
11. Husin, Nur Ahmad,ST. 2009. *Struktur Beton*, Surabaya.
12. Pamungkas, Anugrah, dan Harianti, Erny, *Desain Pondasi Tahan Gempa*, Yogyakarta, 2013.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada di Tuban pada tanggal 26 bulan Februari tahun 1994 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis bernama Diniarshinta Ayu Febrina ini merupakan lulusan dari TK Bhayangkari Tuban, SDN Kebonsari 1 Tuban, SMPN 1 Tuban, SMAN 1 Tuban dan juga lulusan Sekolah Vokasi Diploma III Teknil Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Setelah lulus, penulis melanjutkan pendidikan di Program D4 Teknik Infrastuktur Sipil ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) Surabaya.



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm) : 600

Tinggi, H (mm) : 200; 400

Tebal, T (mm) : 75; 100; 125; 150; 175; 200

Berat jenis kering, (ρ) : 530 kg/m³

Berat jenis normal, (ρ) : 600 kg/m³

Kuat tekan, (σ) : $\geq 4,0 \text{ N/m}^2$

Konduktifitas termis, (λ) : 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ³	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

TECHNICAL DATA
ARWANA Ceramic Tiles

DESCRIPTION	UNIT	FLOOR TILE ARWANA	ISO	UNIT	WALL TILE ARWANA	ISO
Size Tolerance	%	+/- 0.5	+/- 0.6	%	(- 0.2 - (+0.52))	(- 0.3 - (+0.6))
Thickness Tolerance	%	+/- 4.0	+/- 5.0	%	+/- 4.0	+/- 10
Rectangularity	%	+/- 0.4	+/- 0.6	%	+/- 0.3	+/- 0.3
Straightness of sides	%	+/- 0.4	+/- 0.5	%	+/- 0.3	+/- 0.3
Curvature						
a. Center Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	(- 0.2 - (+ 0.8))	(- 0.2 - (+ 0.8))
b. Edge Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	(- 0.2 - (+ 0.8))	(- 0.2 - (+ 0.8))
c. Warpage	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	0.5	0.5
Modulus of Rupture	kg/cm ²	min 200	180	kg/cm ²	min 200	min 150
Water Absorption	%	6 - 9	6 < E < 10	%	> 10	> 10
Crazing Resistance		Required (5 bar)	Required (5 bar)		Required (5 bar)	Required (5 bar)

Arwana Ceramic tiles packing information

SIZE (cm)	QTY./BOX	M/BOX	WT. KG/BOX
20cm x 20cm	25	1	13-14
20cm x 25cm	20	1	12
30cm x 30cm	11	1	14-15
40cm x 40cm	6	1	15.5-16.5

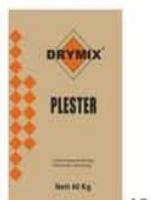


DINDING



◆ Plester D200

- Dipergunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata.
- ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebar/zak $\pm 2,5 \text{ m}^2/20\text{mm}$



Acian dinding dan plester

◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk exposé interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak $\pm 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$

30kg



◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak $\pm 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$
- 5-7 hari bisa langsung di cat

30kg



Acian dinding plester dan beton



◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/zak $9-12 \text{ m}^2/30\text{ kg}$



◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekspos dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa plamir dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/zak $9-11 \text{ m}^2/20\text{ kg}$

20kg



◆ Thinbed 101 TB101

- Perekat bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar/zak $\pm 10-11 \text{ m}^2/3\text{mm}$ (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Cepat dalam pengerjaannya



Khusus
Bata Ringan

◆ Plester Ringan 1.6 S150

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebar/zak $\pm 4,5-6,5 \text{ m}^2/5-8\text{mm}$ (50 kg) (ukuran blok 20x60x10 cm)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perekat/bonding dinding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm



◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



◆ Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar



NUSABOARD adalah lembaran rata kalsium silikat yang diproduksi oleh PT. Nusantara Building Industries sejak tahun 2006. Dibuat dari bahan baku pilihan yang berkualitas tinggi dan ramah lingkungan.

NUSABOARD diproduksi dengan menerapkan teknologi **Autoclave** sehingga menghasilkan produk yang stabil dan tidak mengalami muai susut oleh kelembaban dan suhu udara.

NUSABOARD sangat cocok diaplikasikan sebagai bahan plafon, partisi, dinding luar bahkan untuk panel lantai. Jenis rangka yang digunakan bisa berupa kayu atau baja.

Ukuran Standar

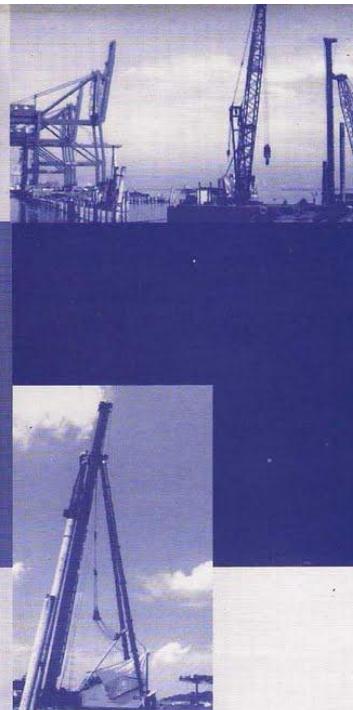
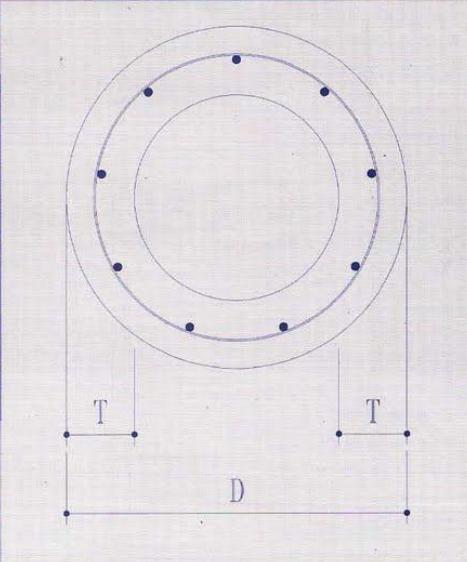
Ø Metric : 2400 mm x 1200 mm Ø Imperial : 2440 mm x 1220 mm

Spesifikasi

UKURAN (mm)	TEBAL (mm)	BERAT (Kg)		APLIKASI	JENIS RANGKA
		per lembar	perm ²		
1000 x 1000	3	4.3	1.49	Plafon	Kayu
2400 x 1200	3.5	14.5	5.03	Plafon	Kayu
1195 x 595*		3.5	1.22		
2440 x 1220		15	5.21		
2400 x 1200	4.5	18.5	6.42	Plafon	Hollow
2440 x 1220		4.5	1.56		
		19	6.60		
2400 x 1200	6	24.5	8.51	Plafon	Hollow
2440 x 1220*		6.1	2.12	Partisi dalam	Hollow, Kayu dan Metal stud
		25	8.68		
2400 x 1200*	8	32	11.11	Partisi dalam	Metal stud
2400 x 1200	9	36	12.50	Partisi dalam	Metal stud
2440 x 1220*		36	13.19	Dinding luar	Baja
2400 x 1200*	10	40	13.88	Dinding luar	Baja
2400 x 1200*	12	48	16.67	Dinding luar	Baja
2440 x 1220*		51	17.71		
2400 x 1200*	20	82.7	28.72	Lantai, dkk	Baja

* Produk dibuat sesuai pemesanan

Shape and Dimension



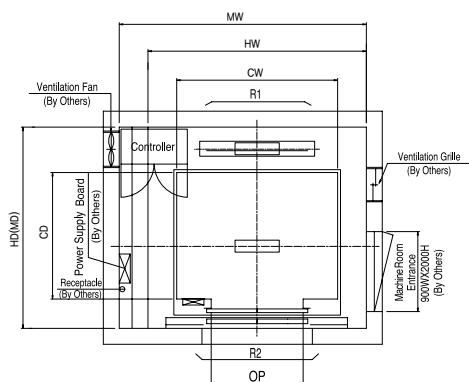
Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment Crack (Ton.m)	Moment Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50

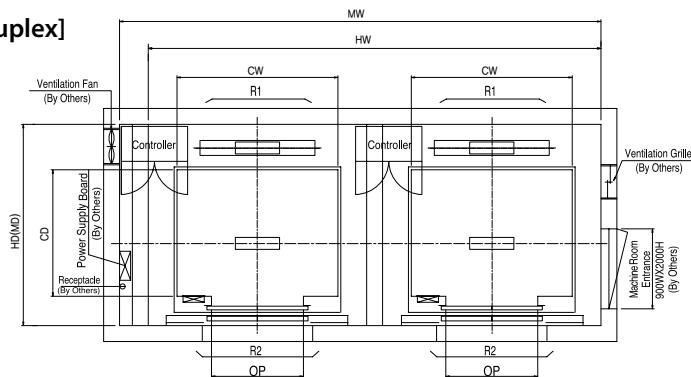
Technical Data

| Hoistway & Machine Room Plan

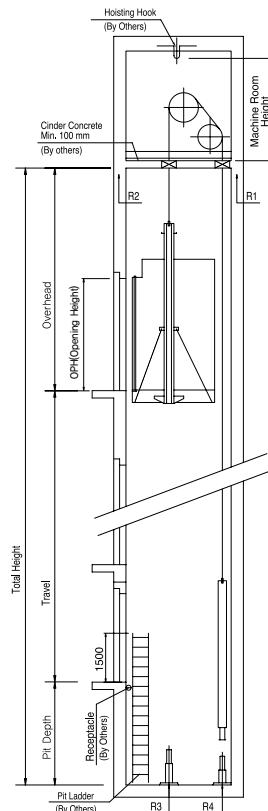
[Simplex]



[Duplex]



| Hoistway Section



| Overhead, Pit & Machine Room Height

Application Regulation [CODE]	Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (mm)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room HT	Required Hook Strength (kg)
Standard / EN	1	450~1000	Travel≤100	4200	1400	2300	3000
		1350	Travel≤100	4300			4500
		1150/1600	Travel≤80	4300			3000
			80<Travel≤100	4650			4500
	1.5	450~1000	Travel≤100	4400	1450	2300	3000
		1350	Travel≤100	4400			4500
		1150/1600	Travel≤80	4400			3000
			80<Travel≤100	4750			4500
	1.75	450~1000	Travel≤100	4500	1600	2300	3000
		1350	Travel≤100	4500			4500
		1150/1600	Travel≤80	4500			3000
			80<Travel≤100	4850			4500
MS2021	1	410~1025	Travel≤100	4200	1400	2550	3000
		1365	Travel≤100	4300		2400	4500
		1160/1365	Travel≤80	4300		2550	3000
			80<Travel≤100	4650		2400	4500
	1.5	410~1025	Travel≤100	4400	1450	2550	3000
		1365	Travel≤100	4400		2400	4500
		1160/1365	Travel≤80	4400		2550	3000
			80<Travel≤100	4750		2400	4500
	1.75	410~1025	Travel≤100	4500	1600	2550	3000
		1365	Travel≤100	4500		2400	4500
		1160/1365	Travel≤80	4500		2550	3000
			80<Travel≤100	4850		2400	4500
Standard / EN	2	800~1600	Travel≤130	5100	1900	2300	4500
	2.5			5300	2200		4500

Technical Data

| Layout Dimensions | Speed : 1.0 m/s

[Standard]

(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[EN Code]

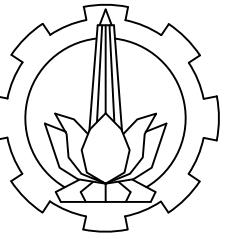
1.0	6	450	700	1150	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	7	525	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4100	2500	4700	3450
	8	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4200	2850	5000	3650
	9	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4550	2900	5200	3750
	10	800	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	12	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	13	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	16	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	18	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	21	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[Malaysia]

1.0	6	410	800	1400	830	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	545	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	615	800	1400	1150	1800	1800	3750	1800	1800	1800	3750	1800	4100	2500	4700	3450
	10	685	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	885	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1025	900	1600	1550	2000	2200	4150	2200	2000	2200	4150	2200	5450	4300	6600	4700
	17	1160	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
	20	1365	1000	1800	1750	2350	2450	4850	2450	2350	2450	4850	2450	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1550	2550	2250	5250	2250	2550	2250	5250	2250				
	24	1635	1100	2000	1800	2550	2500	5250	2500	2550	2500	5250	2500	10200	7000	10950	8700

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
	COVER	-	-
	DAFTAR GAMBAR	-	-
	DAFTAR GAMBAR	-	-
TAMPAK			
ARS	TAMPAK DEPAN	1:200	01
ARS	TAMPAK BELAKANG	1:200	02
ARS	TAMPAK SAMPING KIRI	1:200	03
ARS	TAMPAK SAMPING KANAN	1:200	04
ARS	TAMPAK ATAS	1:200	05
DENAH LANTAI			
ARS	DENAH LANTAI BASEMENT	1:200	06
ARS	DENAH LANTAI 1	1:200	07
ARS	DENAH LANTAI 2-3	1:200	08
ARS	DENAH LANTAI 4 - 9	1:200	09
STR	JANGKAUAN TOWERCRANE	1:200	09
POTONGAN			
STR	POTONGAN III	1:200	10
STR	POTONGAN V	1:200	11
DENAH PELAT PRECAST			
STR	DENAH PEMASANGAN PELAT PRECAST LANTAI 2-3	1:200	12
STR	DENAH PEMASANGAN PELAT PRECAST LANTAI 4-9	1:200	12
STR	PENULANGAN TIPE PELAT PRECAST A	1:200	13
STR	PENULANGAN TIPE PELAT PRECAST B	1:20	14
STR	PENULANGAN TIPE PELAT PRECAST C	1:20	15
STR	PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT	1:20	16
STR	DETAIL PENULANGAN SETELAH KOMPOSIT	1:20	17
TANGGA			
STR	DENAH PENULANGAN TANGGA	1:100	18
STR	DETAIL PENULANGAN TANGGA	1:100	18

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	SKALA	NOMOR GAMBAR
BALOK KOLOM			
STR	DENAH PEMASANGAN BALOK KOLOM LT 2-3	1:200	19
STR	DENAH PEMASANGAN BALOK KOLOM LT. 4-9	1:200	19
BALOK ANAK			
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA1	1:20	20
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA2	1:20	21
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK TIPE BA 3	1:20	22
BALOK INDUK			
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK TIPE BI1	1:20	23
KOLOM			
STR	DETAIL PENULANGAN KOLOM K1	1:25	24
STR	DETAIL PENYALURAN KOLOM	1:40	24
SAMBUNGAN			
STR	PORTAL A-A	1:50	25
STR	PORTAL B-B	1:25	26
STR	DETAIL PORTAL	1:50	27
STR	DETAIL SAMBUNGAN BALOK-KOLOM INTERIOR	1:25	28
STR	DETAIL SAMBUNGAN BALOK-KOLOM EKSTERIOR	1:25	28
STR	SAMBUNGAN BALOK ANAK- BALOK INDUK INTERIOR	1:25	29
STR	SAMBUNGAN BALOK ANAK-BALOK INDUK EKSTERIOR	1:25	29
ONDASI			
STR	DENAH PILECAP	1:200	30
STR	DETAIL PILECAP TIPE TP2	1:30	31
STR	DETAIL PILECAP TIPE TP5	1:30	32
STR	DETAIL PILECAP TIPE TP6	1:30	33



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG**

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

AMA MAHASISWA

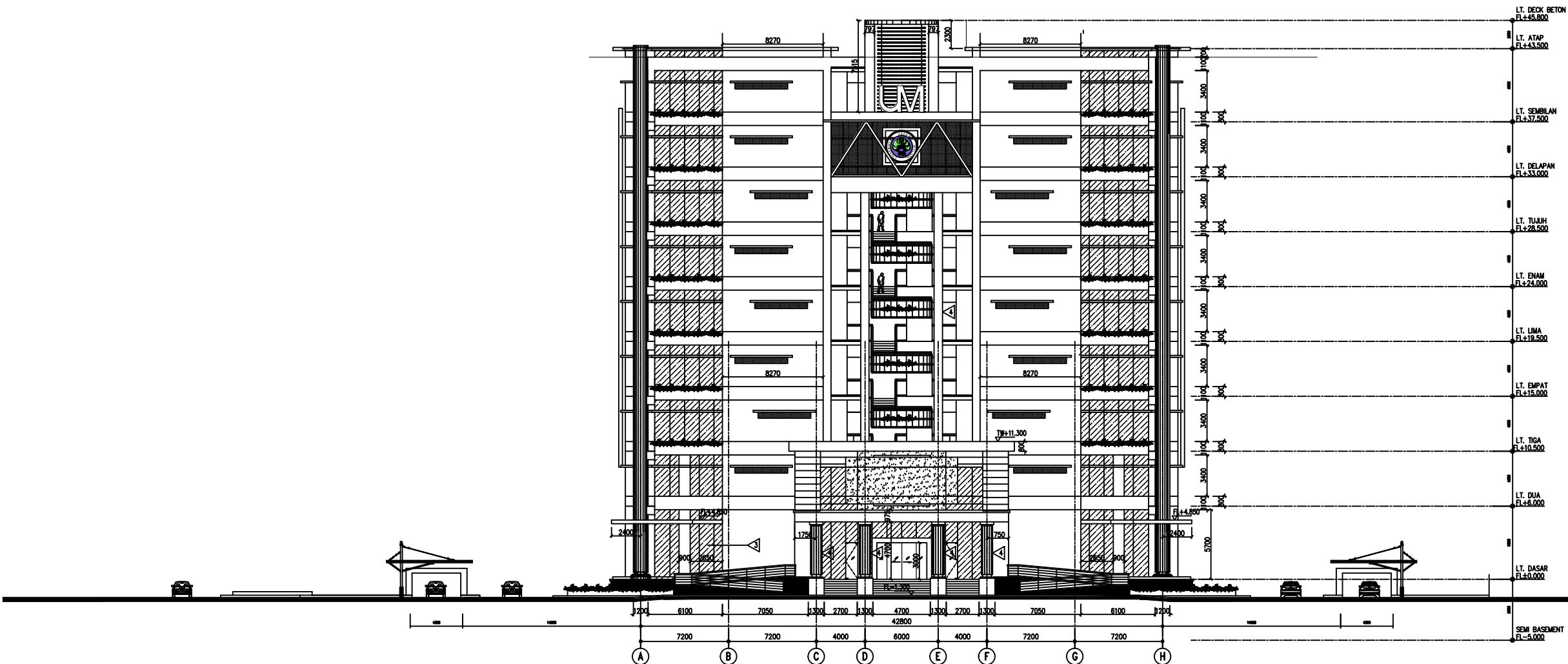
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

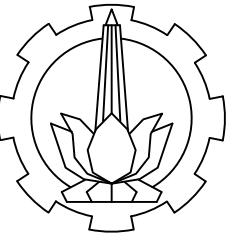
JUDUL GAMBAR

TAMPAK DEPAN RENCANA

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 200	ARS
DMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
01	33



 TAMPAK DEPAN (RENCANA)
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

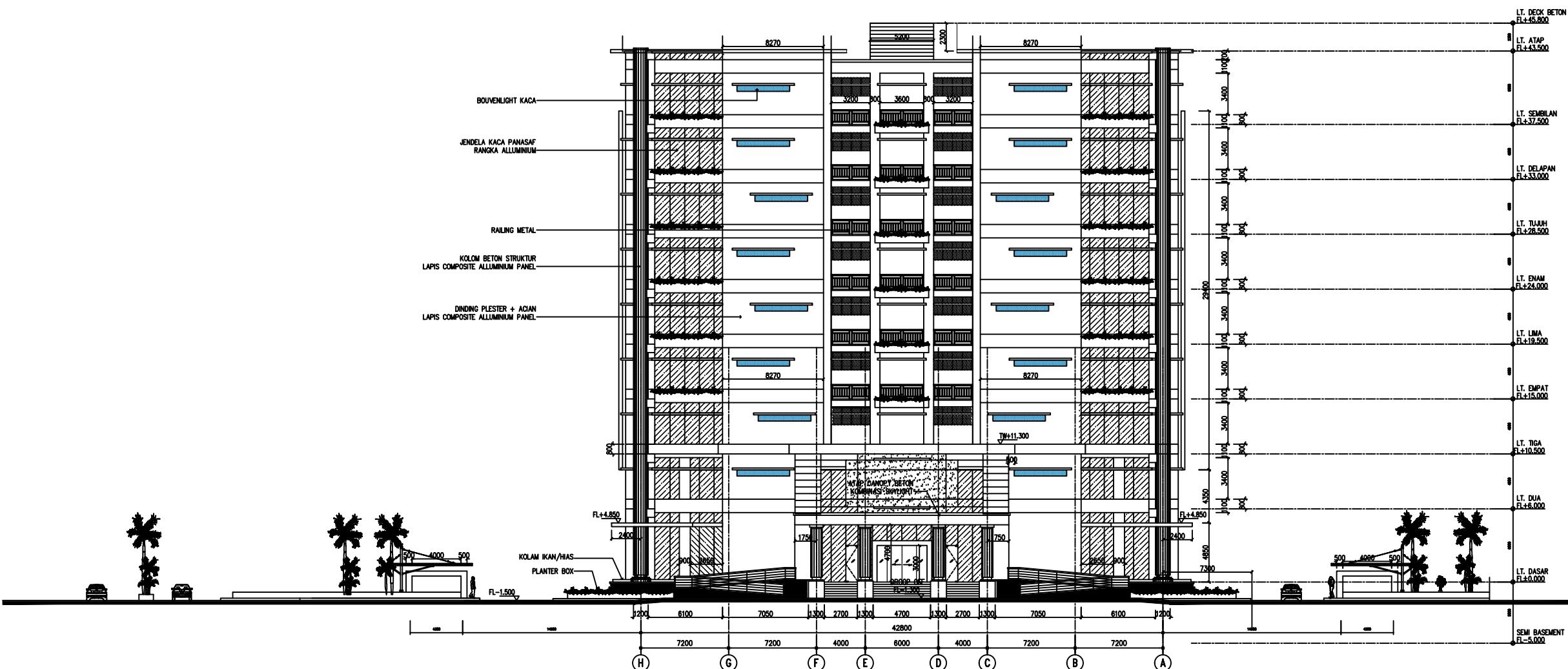
TAMPAK BELAKANG

SKALA	KODE GAMBAR
-------	-------------

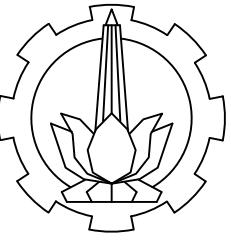
1 : 200	ARS
---------	-----

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
--------------	---------------

02	33
----	----



TAMPAK BELAKANG (RENCANA)
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

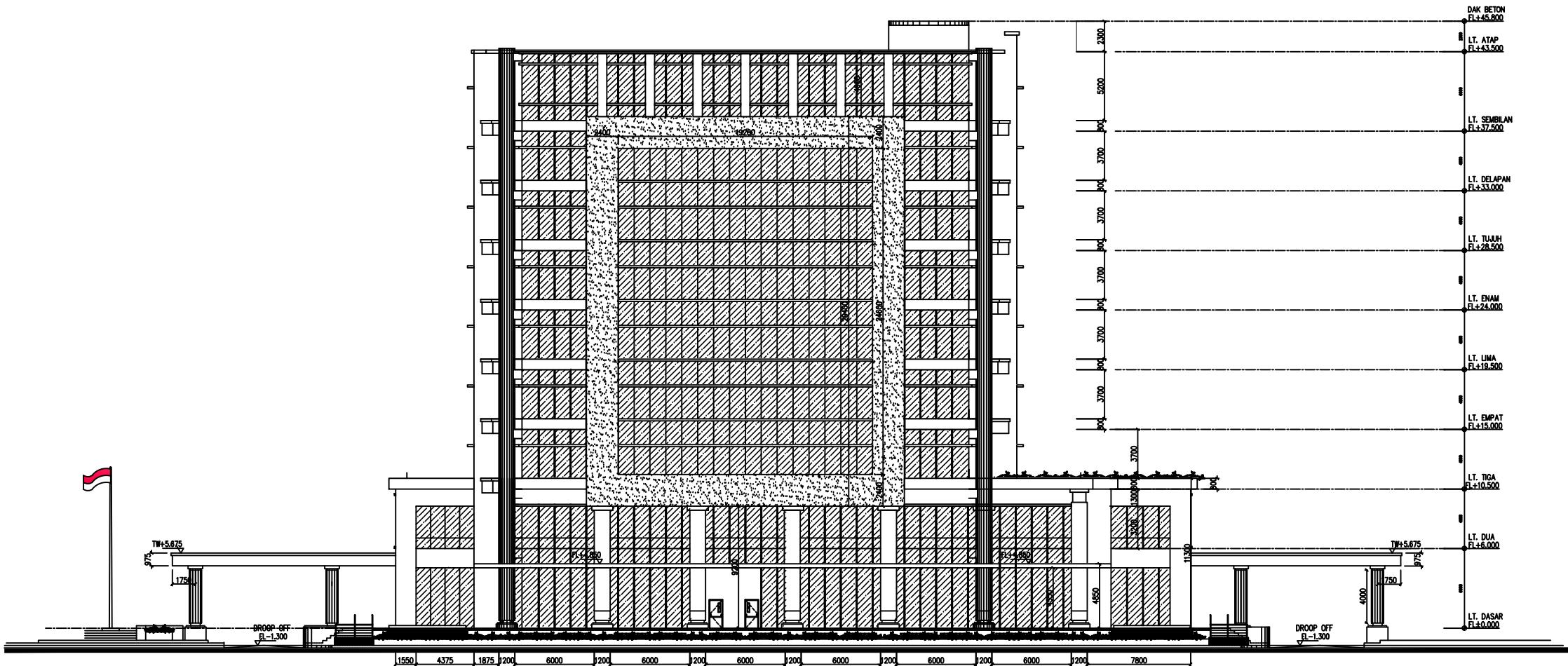
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERJERANGAN

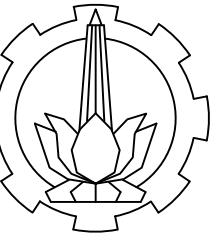
JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING KIRI

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 200	ARS
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
03	33



TAMPAK SAMPING KIRI
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

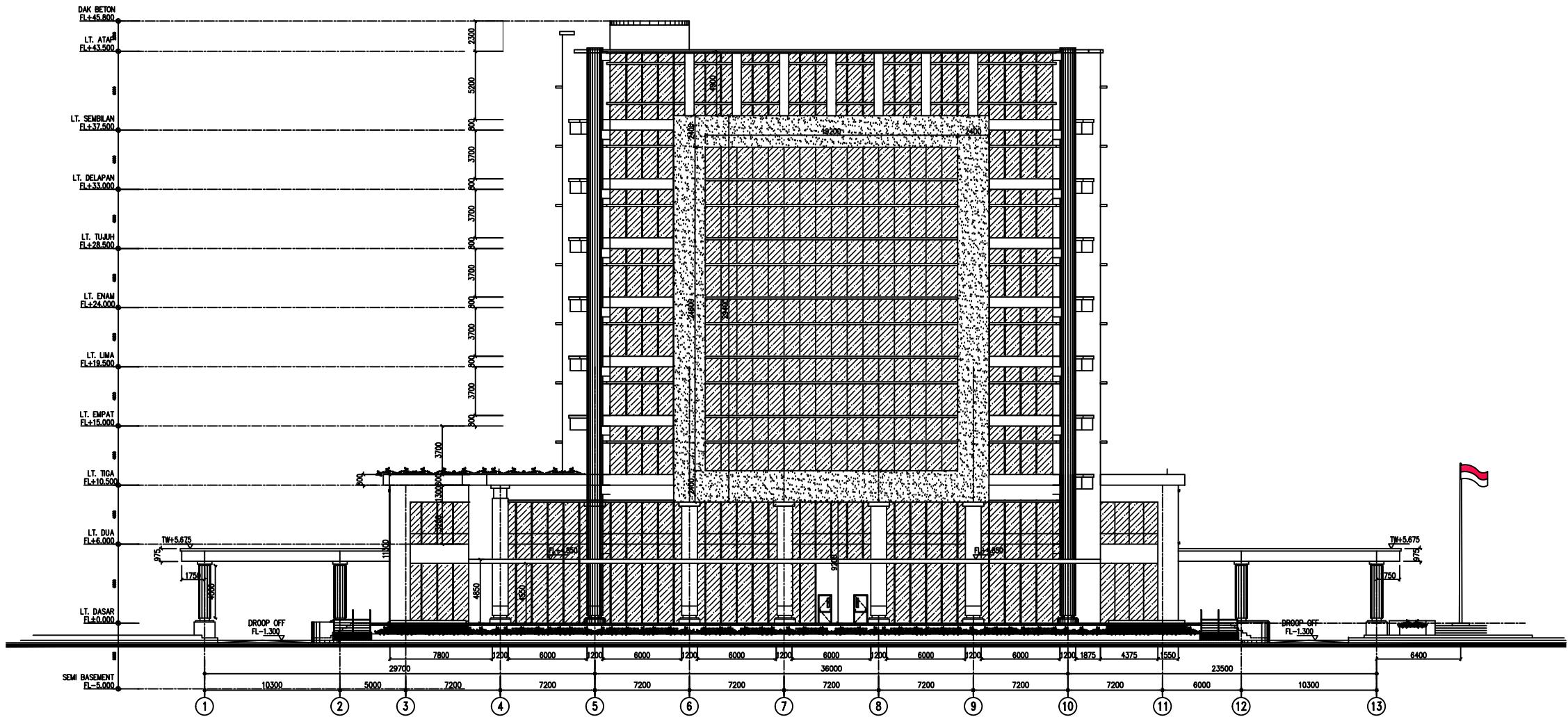
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

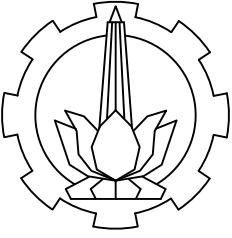
JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING KANAN

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 200	ARS
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
04	33



TAMPAK SAMPING KANAN
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

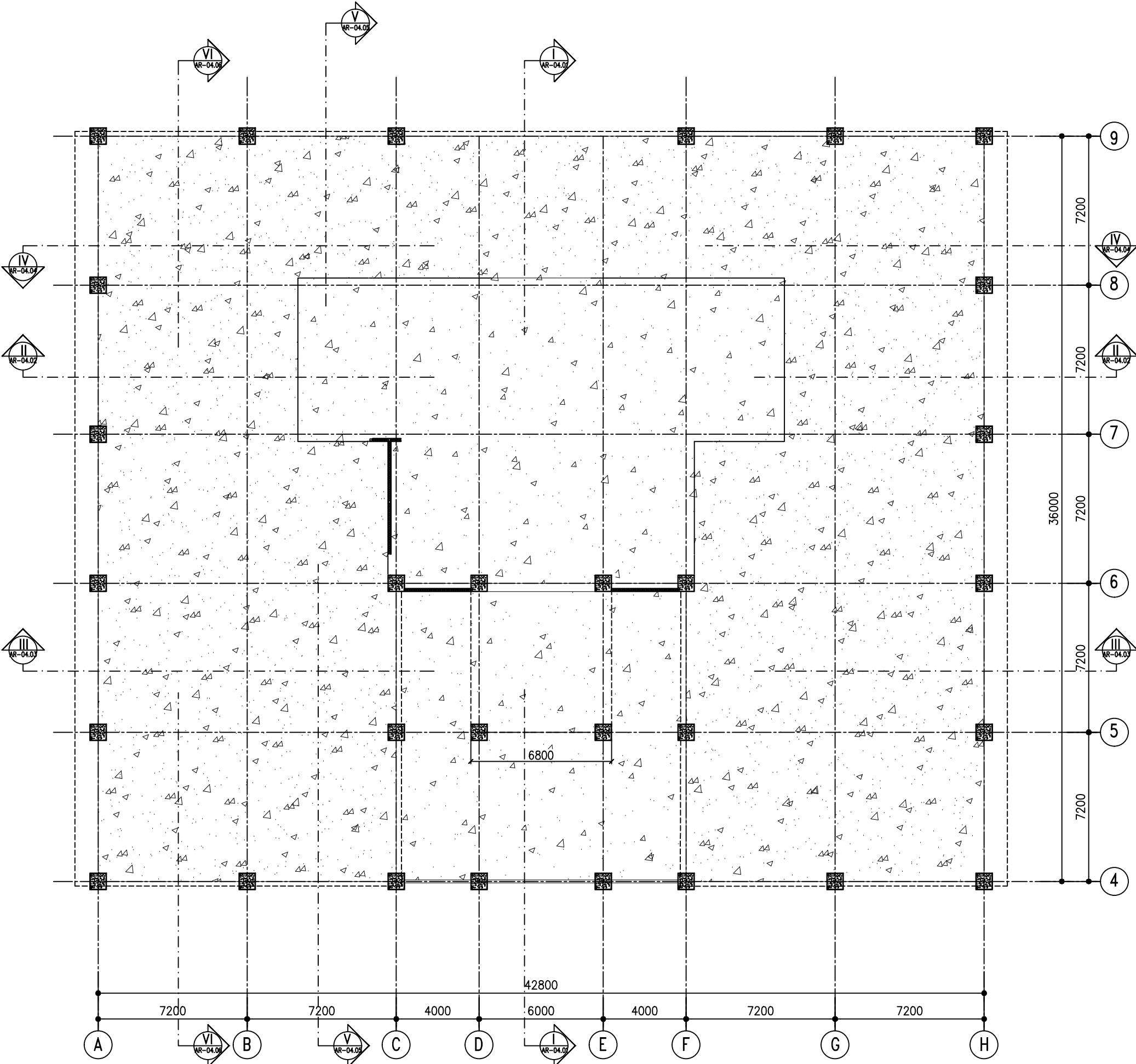
Dinarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

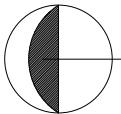
JUDUL GAMBAR

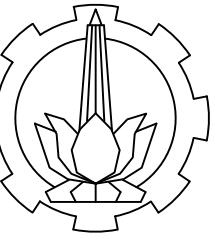
DENAH RENCANA ATAP

SKALA	KODE GAMBAR
1:100	ARS
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
05	33



DENAH RENCANA LT. ATAP
SKALA 1:100





**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG**

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9 LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

AMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 10111715000024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

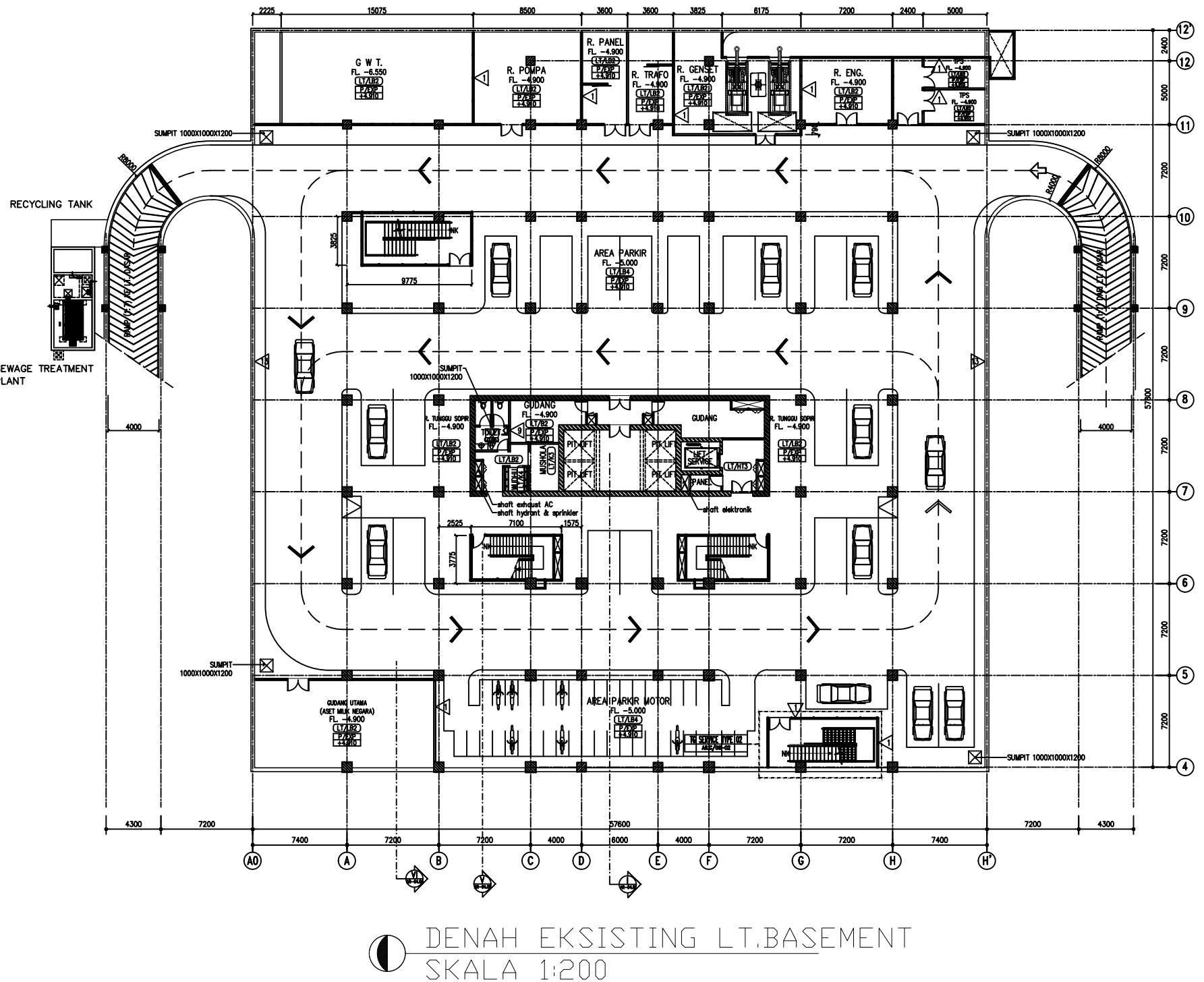
NAH EKSISTING LT. BASEMENT

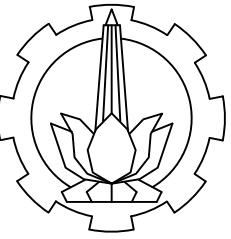
SKALA	KODE GAMBAR
-------	-------------

J. 200

PROBLEMPAD HUURLAATEN

06 | 33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

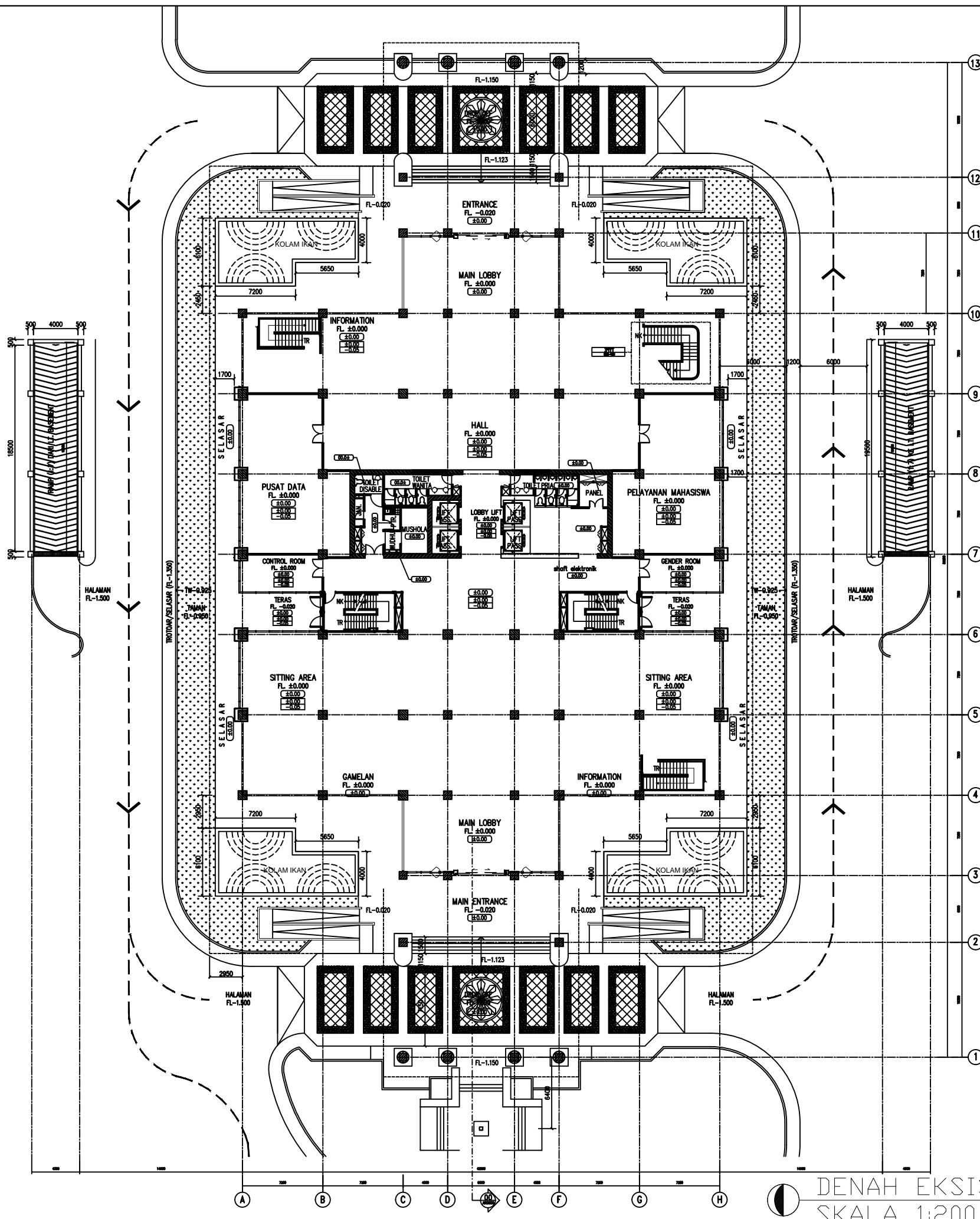
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

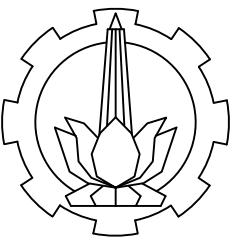
JUDUL GAMBAR

DENAH EKSISTING LANTAI 1

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 200	ARS
07	33



DENAH EKSISTING LT. 1
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRI SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

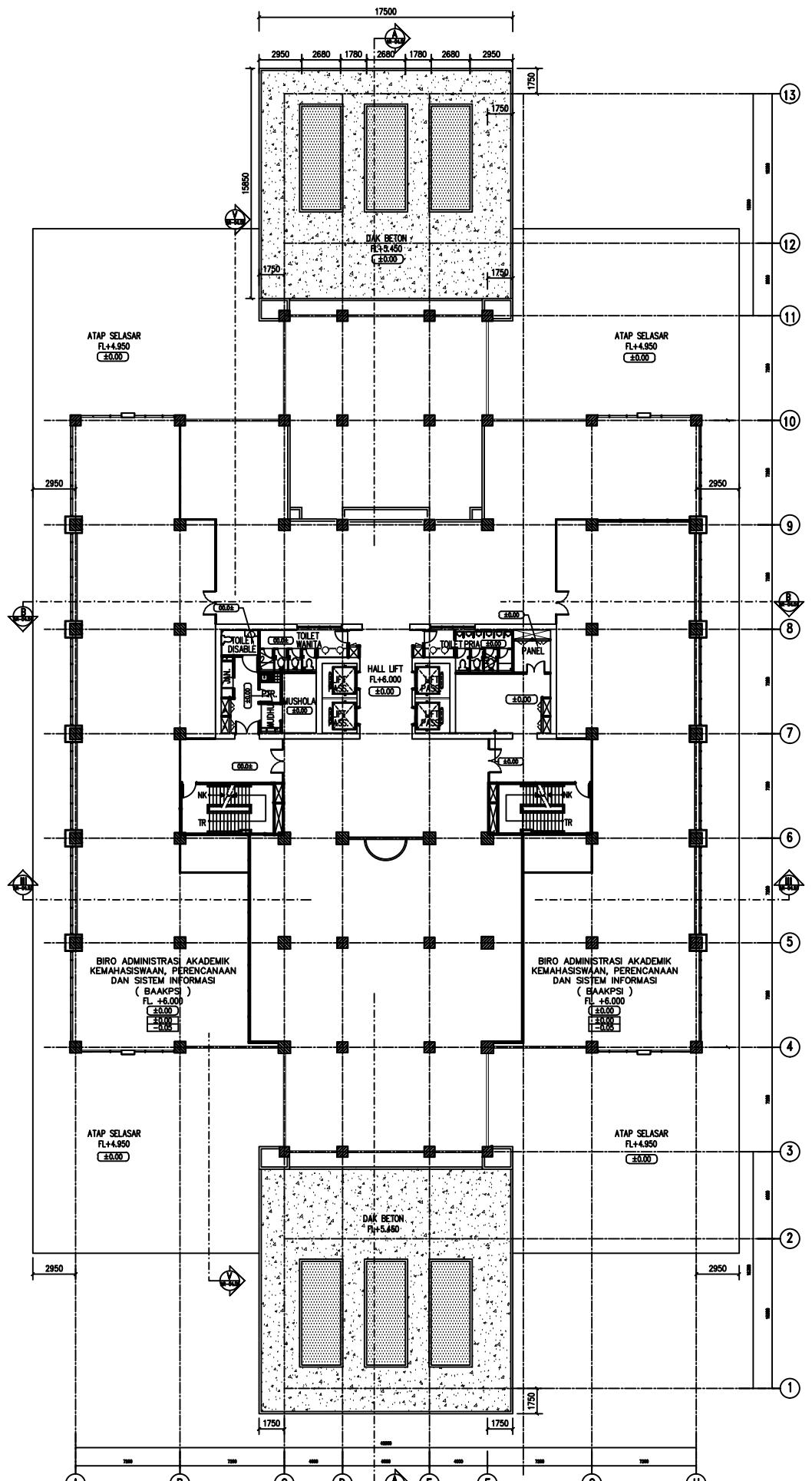
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

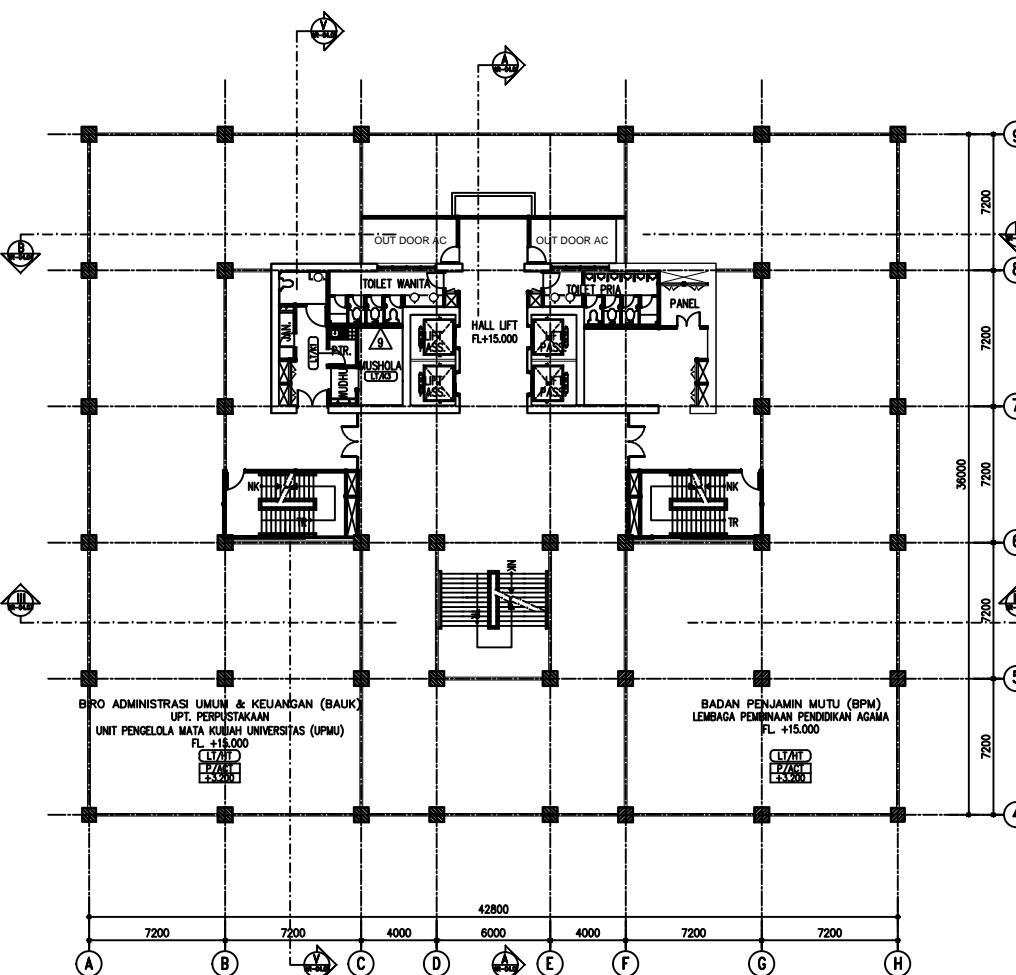
JUDUL GAMBAR

DENAH EKSISTING LT. 2

DENAH EKSISTING LT. 2
SKALA 1:200



DENAH EKSISTING LT. 2-3
SKALA 1:200



JUDUL GAMBAR

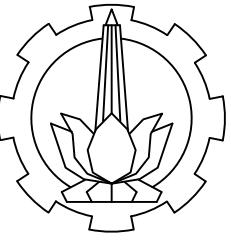
DENAH EKSISTING LT. 2

SKALA KODE GAMBAR

1:200 ARS

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

08 33



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

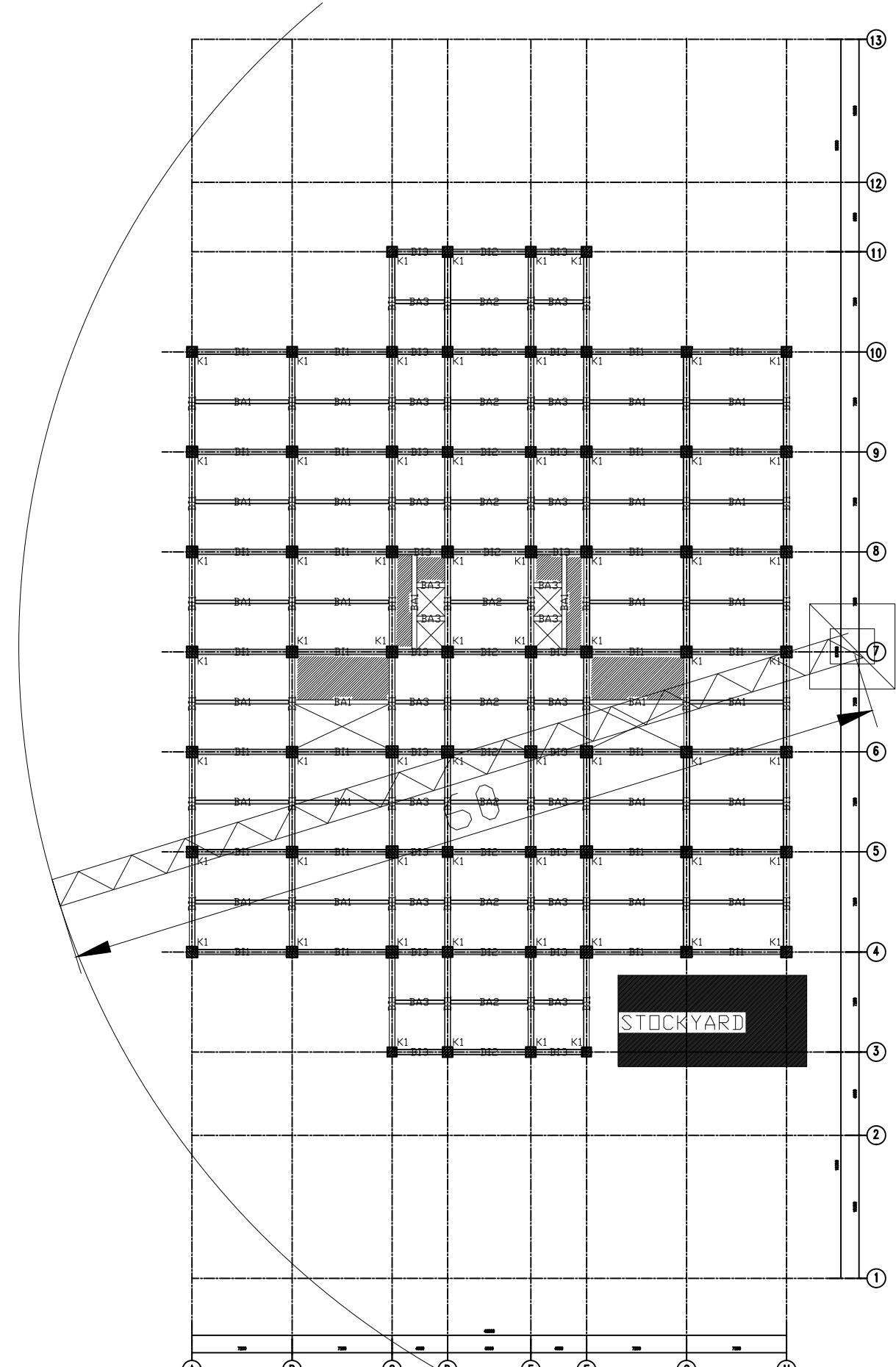
AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

TOWER CRANE TIPE
XCMG XGT160 A



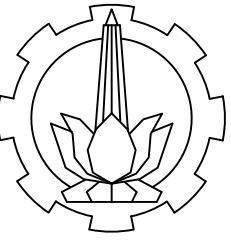
JANGKAUAN TOWER CRANE
SKALA 1:200

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN BALOK & KOLOM

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 200	STR

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
09	33



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

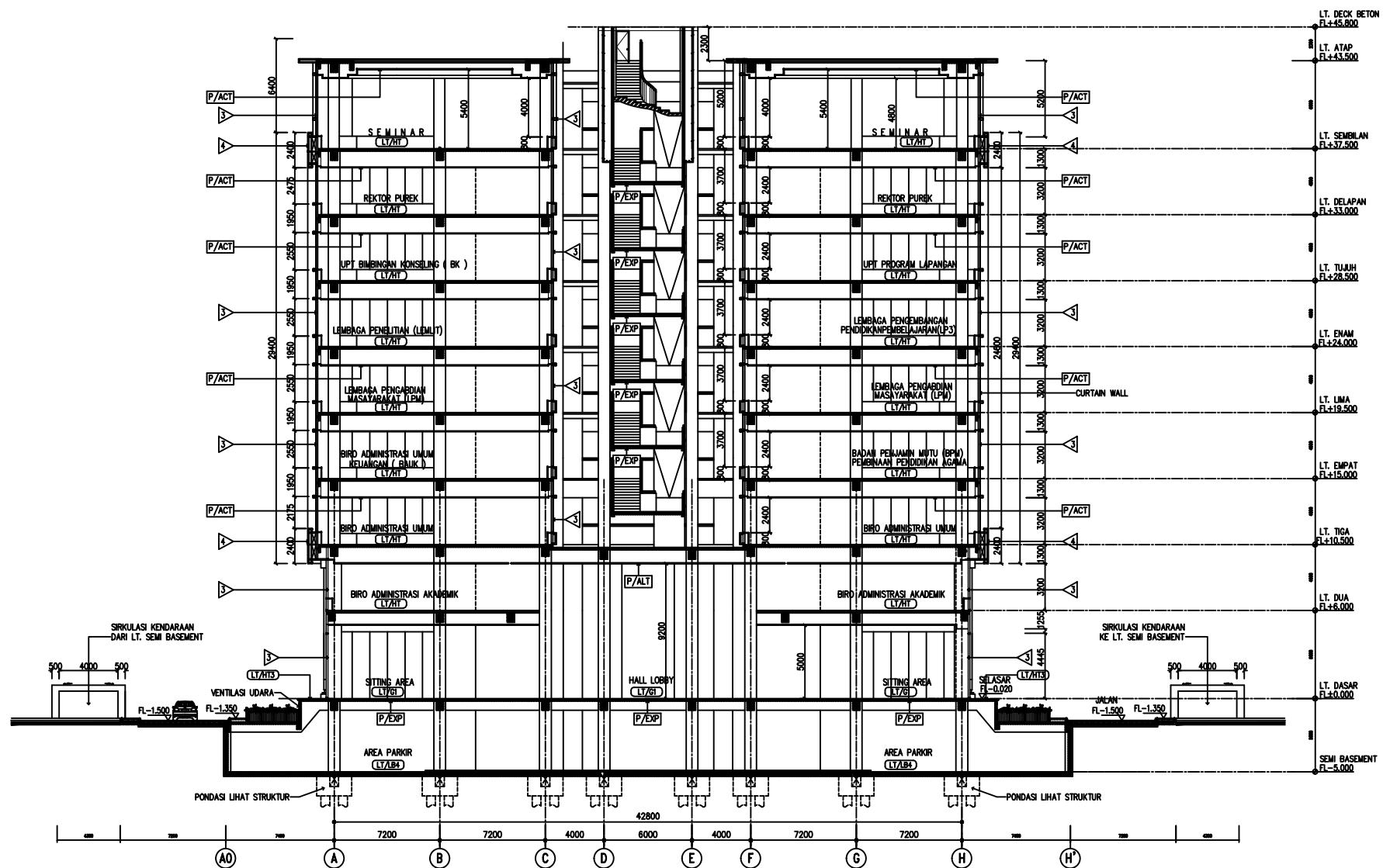
DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Dinarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN



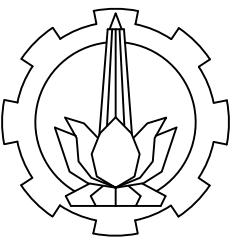
POTONGAN III
SKALA 1:200

JUDUL GAMBAR

POTONGAN III RENCANA

SKALA	KODE GAMBAR
1:200	STR
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR

10 33



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

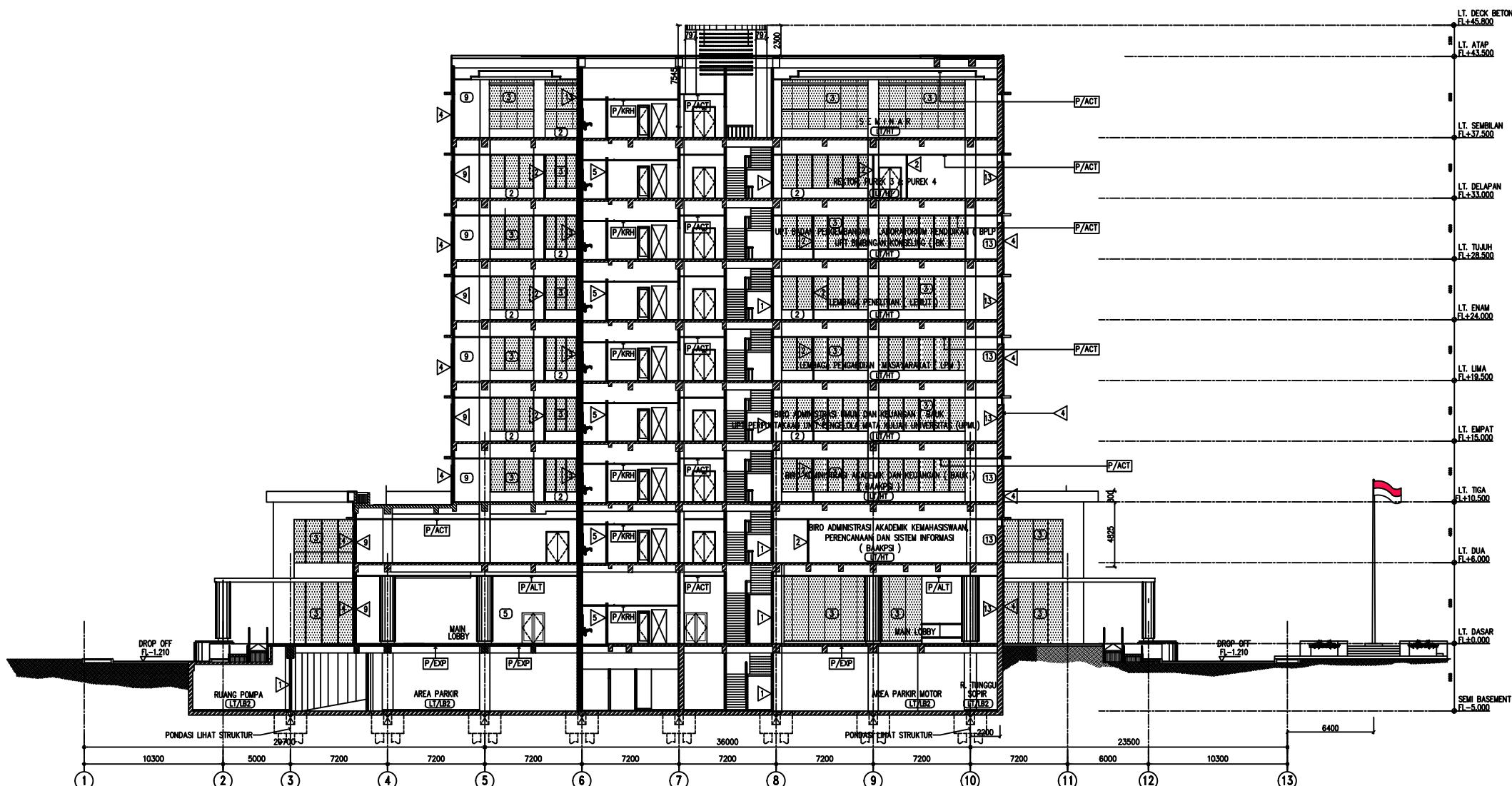
DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERJANGAN

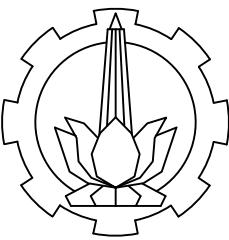


POTONGAN V
SKALA 1:200

JUDUL GAMBAR

POTONGAN V RENCANA

SKALA	KODE GAMBAR
1:200	STR
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
11	33



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

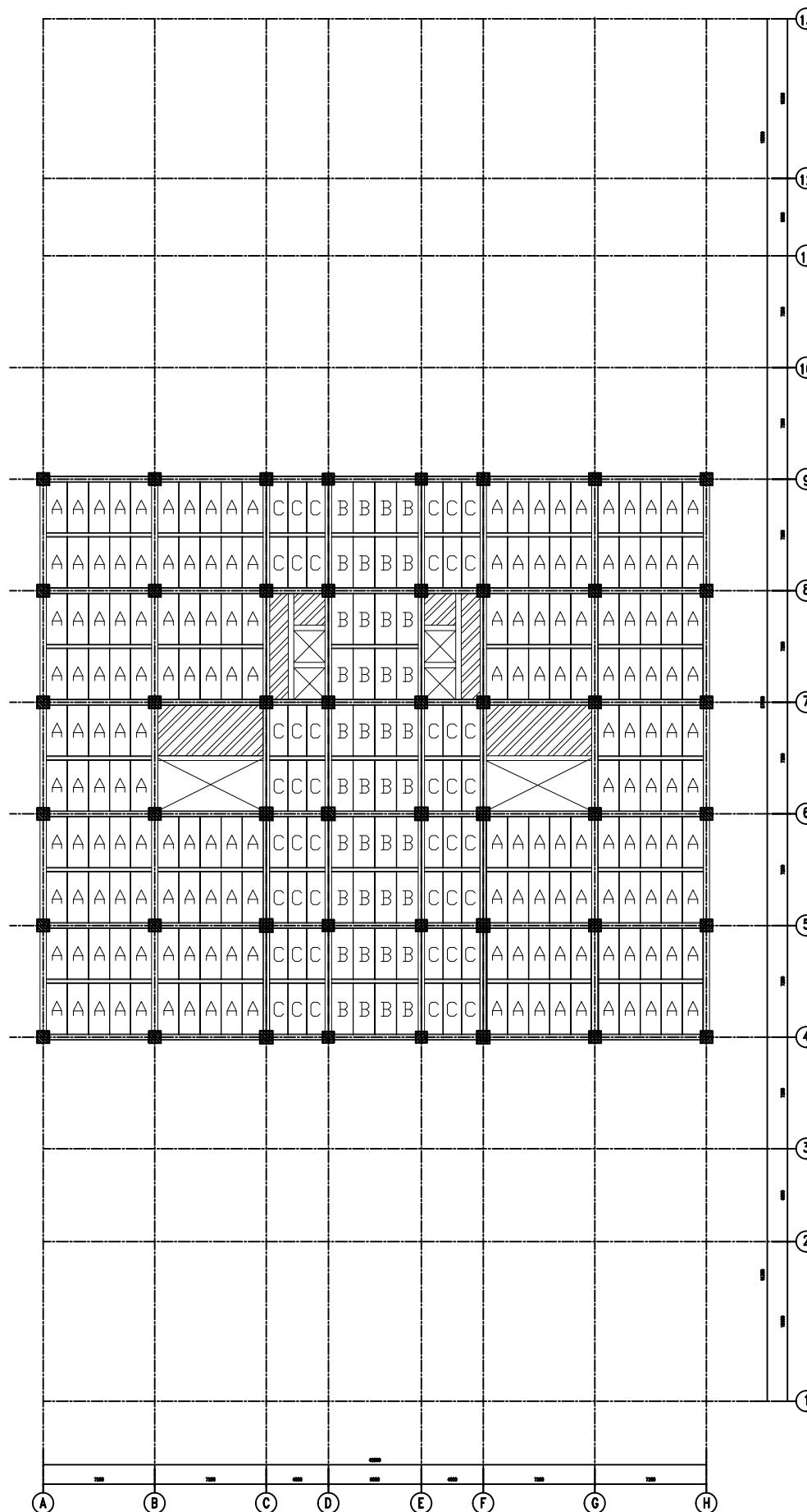
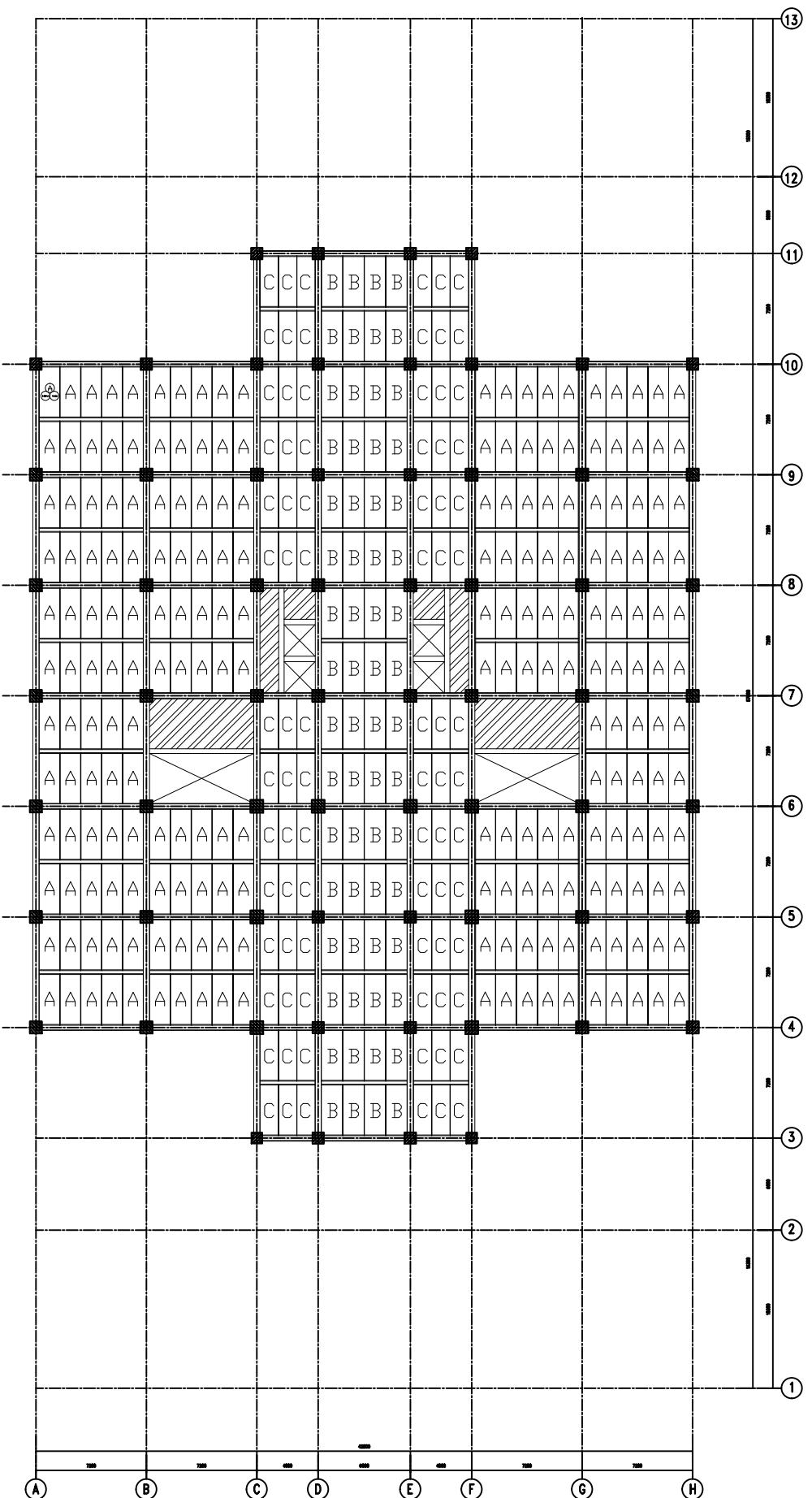
KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN PELAT
PRECAST

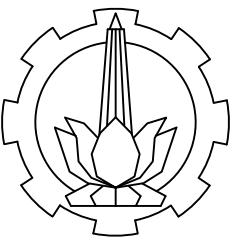
SKALA	KODE GAMBAR
1:200	STR

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
12	33



() DENAH PEMASANGAN PELAT LT. 2-3
SKALA 1:200

() DENAH PEMASANGAN PELAT LT. 4-9
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

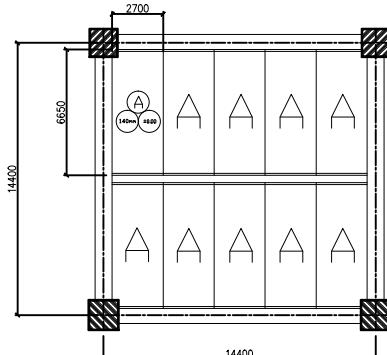
KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

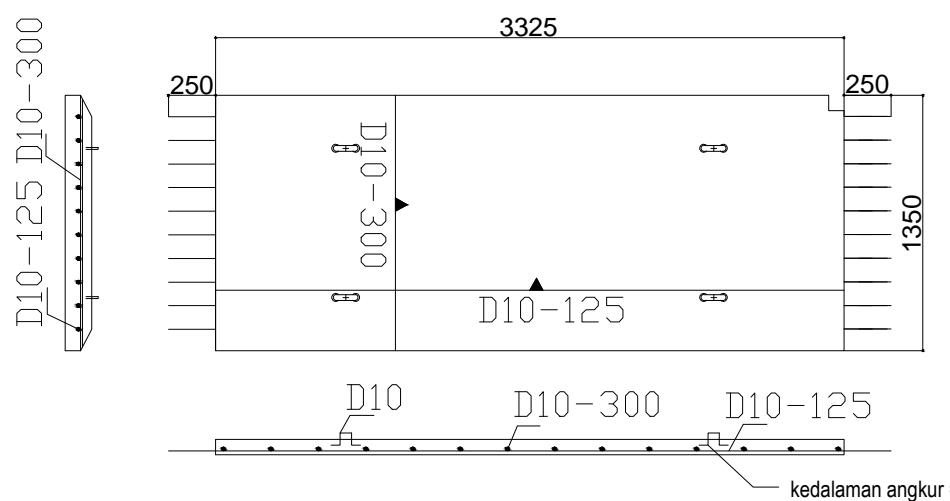
PENULANGAN PELAT TIPE A

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 20	STR

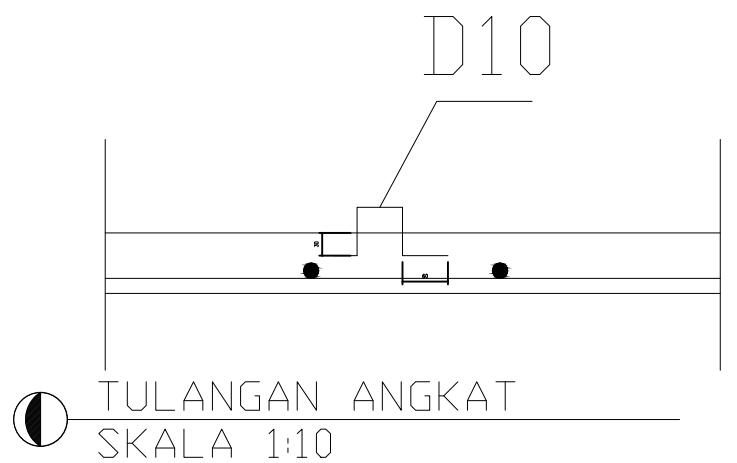
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
13	33



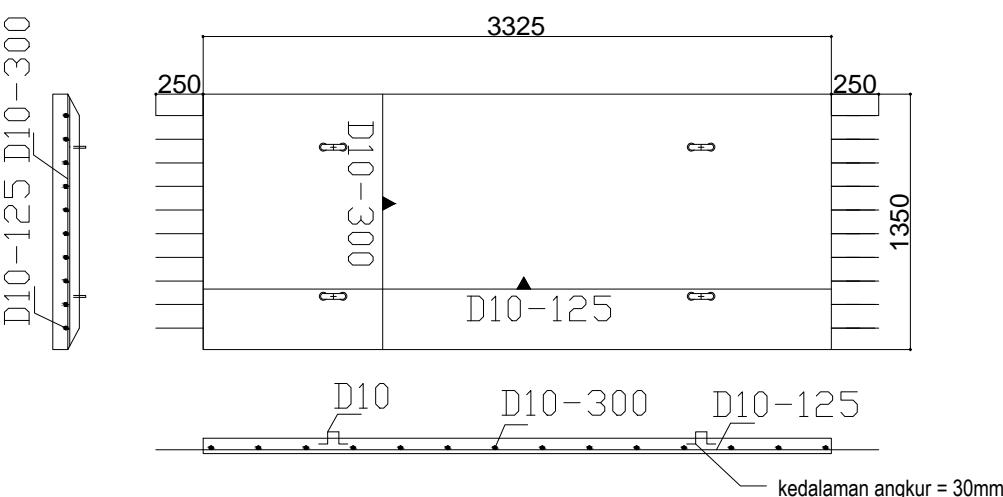
LAYOUT PELAT TIPE A
SKALA 1:200



PENULANGAN PELAT TIPE A1
SKALA 1:20

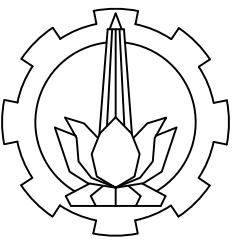


TULANGAN ANGKAT
SKALA 1:10



PENULANGAN PELAT TIPE A2
SKALA 1:20

TABEL PELAT PRECAST					
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)	BERAT (kg)
A	20	140	1350	3325	1508
B	20	140	1388	3325	1551
C	20	140	1183	3325	1322



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

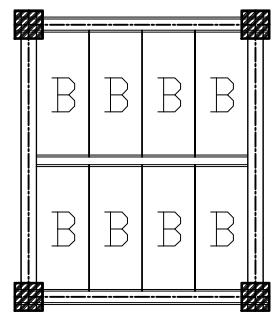
PENULANGAN TIPE B

SKALA KODE GAMBAR

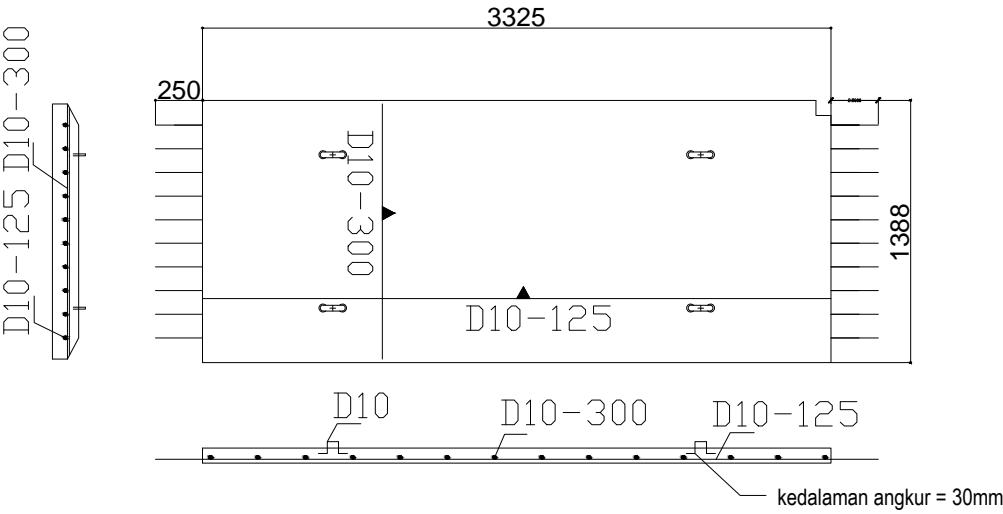
1 : 20 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

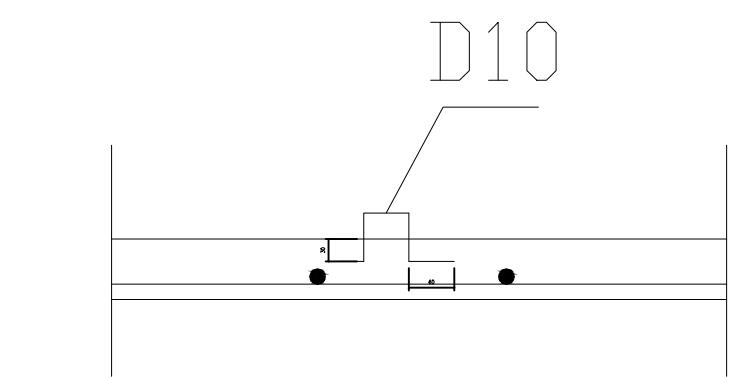
14 33



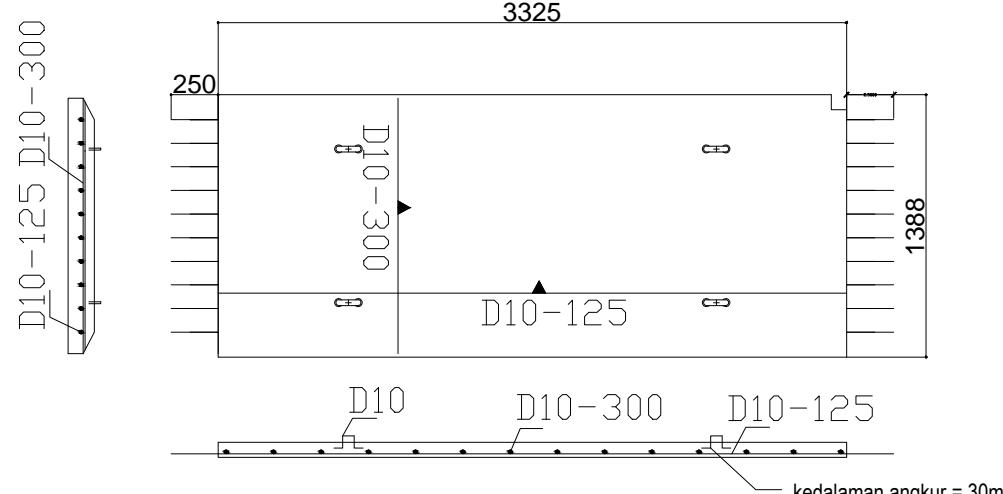
LAYOUT PELAT TIPE B



PENULANGAN PELAT TIPE B1
SKALA 1:20

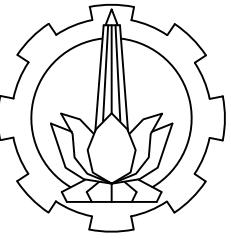


TULANGAN ANGKAT
SKALA 1:10



PENULANGAN PELAT TIPE B2
SKALA 1:20

TABEL PELAT PRECAST					
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)	BERAT (kg)
A	20	140	1350	3325	1508
B	20	140	1388	3325	1551
C	20	140	1183	3325	1322



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

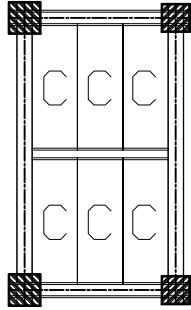
PENULANGAN TIPE C

SKALA KODE GAMBAR

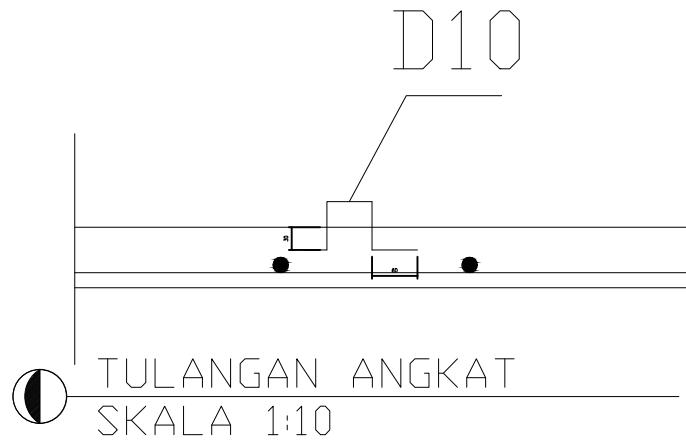
1 : 20 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

15 33

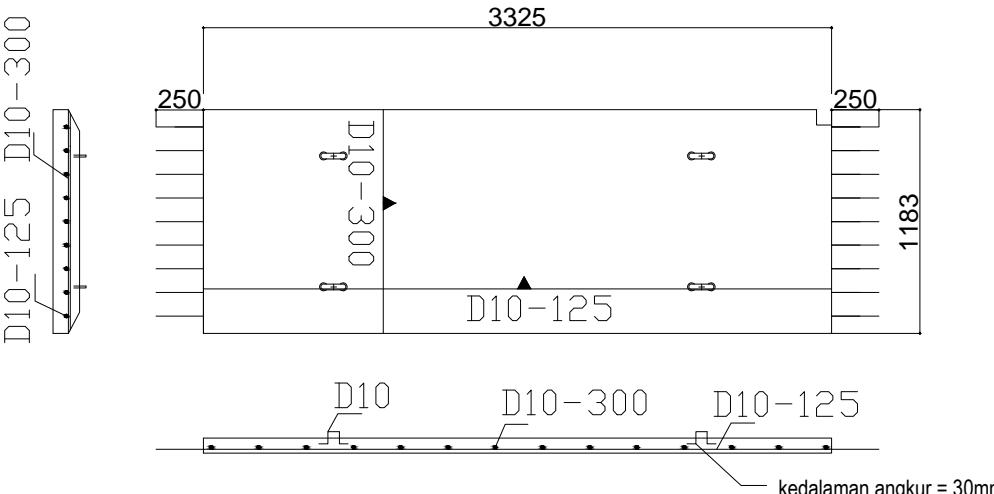


LAYOUT PELAT TIPE C

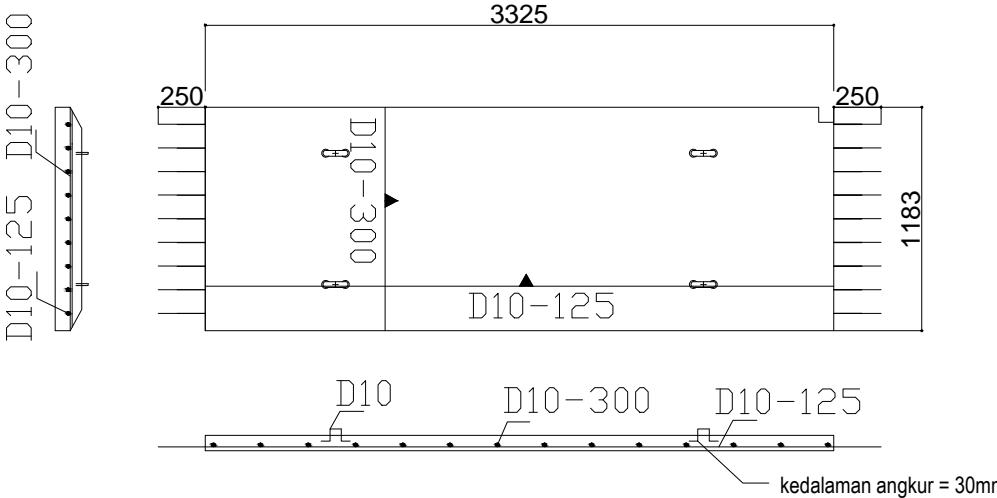


TABEL PELAT PRECAST

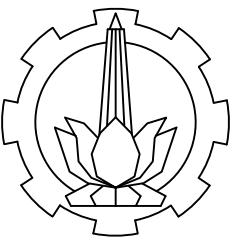
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	T.PELAT (mm)	Lx (mm)	Ly (mm)	BERAT (kg)
A	20	140	1350	3325	1508
B	20	140	1388	3325	1551
C	20	140	1183	3325	1322



PENULANGAN PELAT TIPE C1
SKALA 1:20



PENULANGAN PELAT TIPE A2
SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

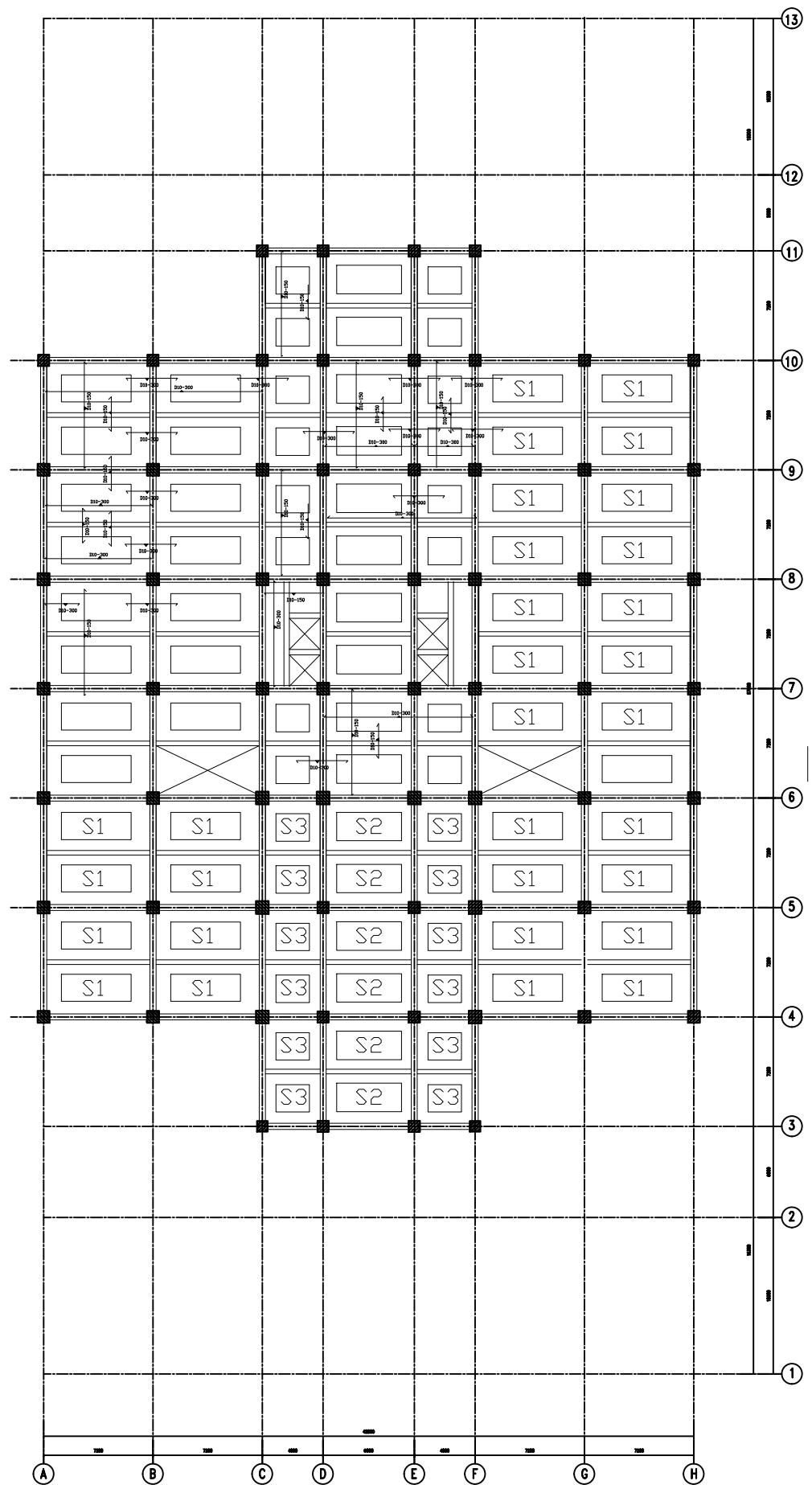
Dinarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

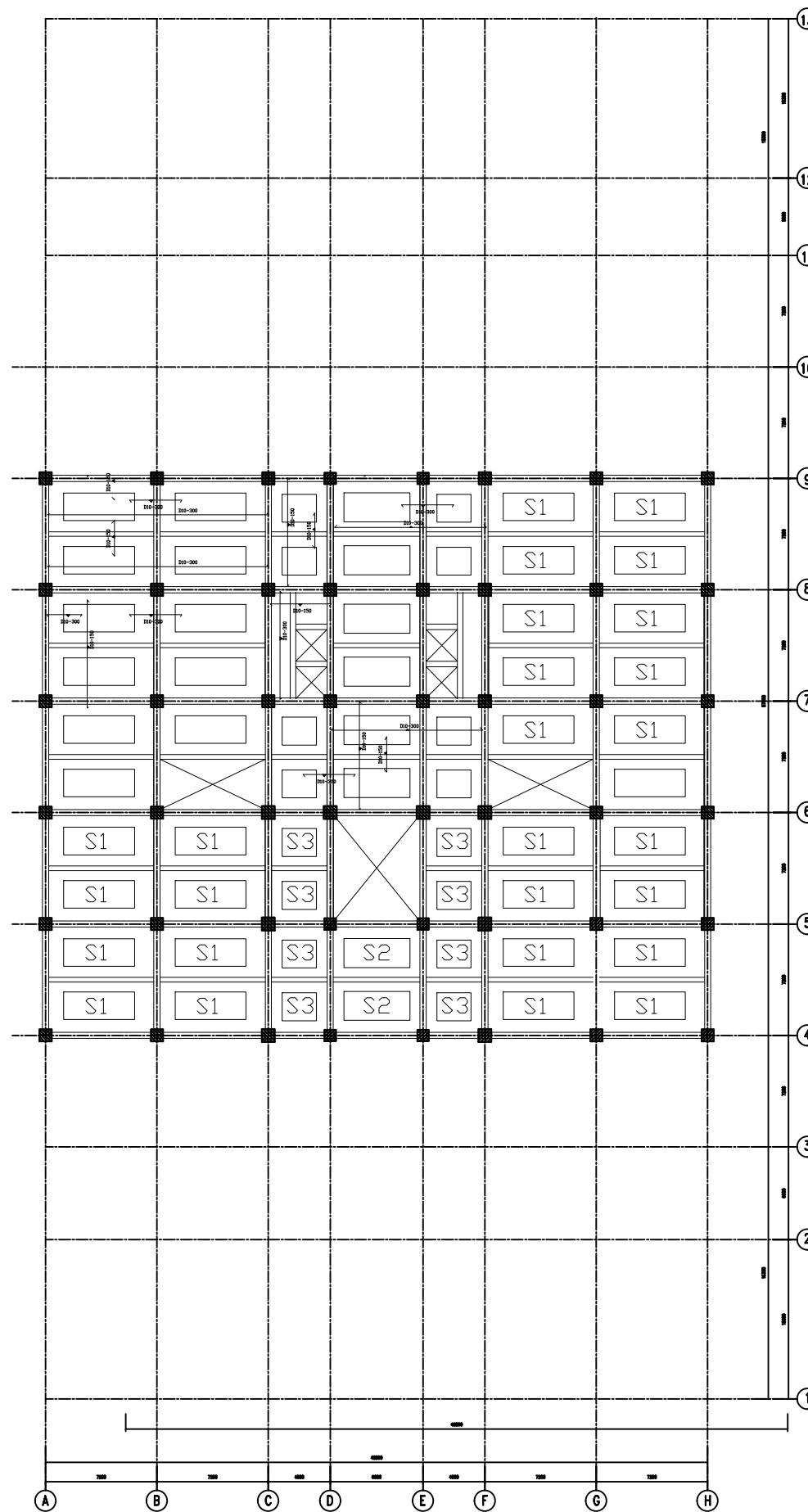
JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT SETELAH
KOMPOSIT

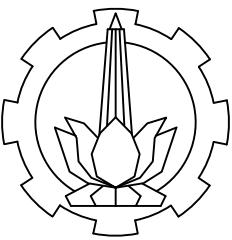
SKALA	KODE GAMBAR
1:200	STR



PENULANGAN PELAT KOMPPOSIT LT.2-3
SKALA 1:200



PENULANGAN PELAT KOMPPOSIT LT. 4-9
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

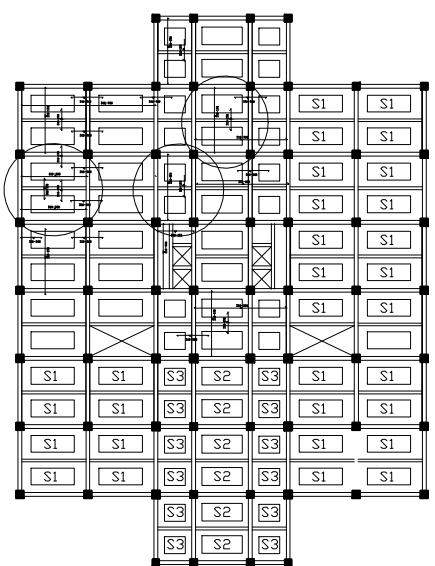
JUDUL GAMBAR
PENULANGAN PELAT SETELAH
KOMPOSIT

SKALA KODE GAMBAR

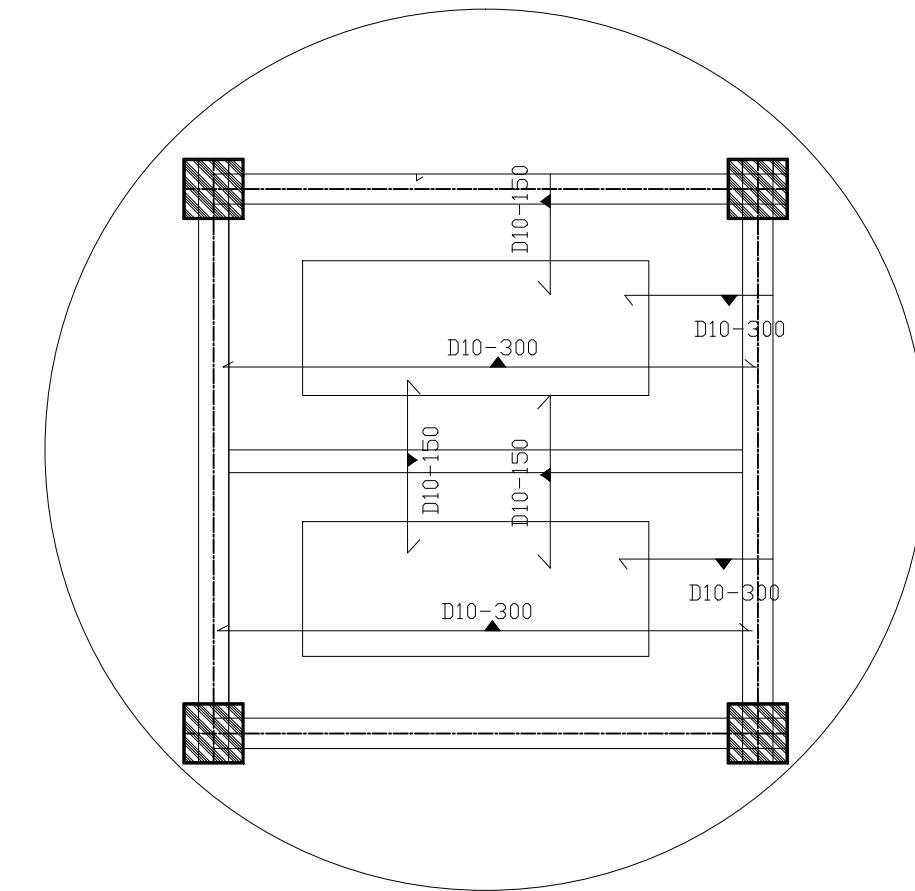
1 : 80 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

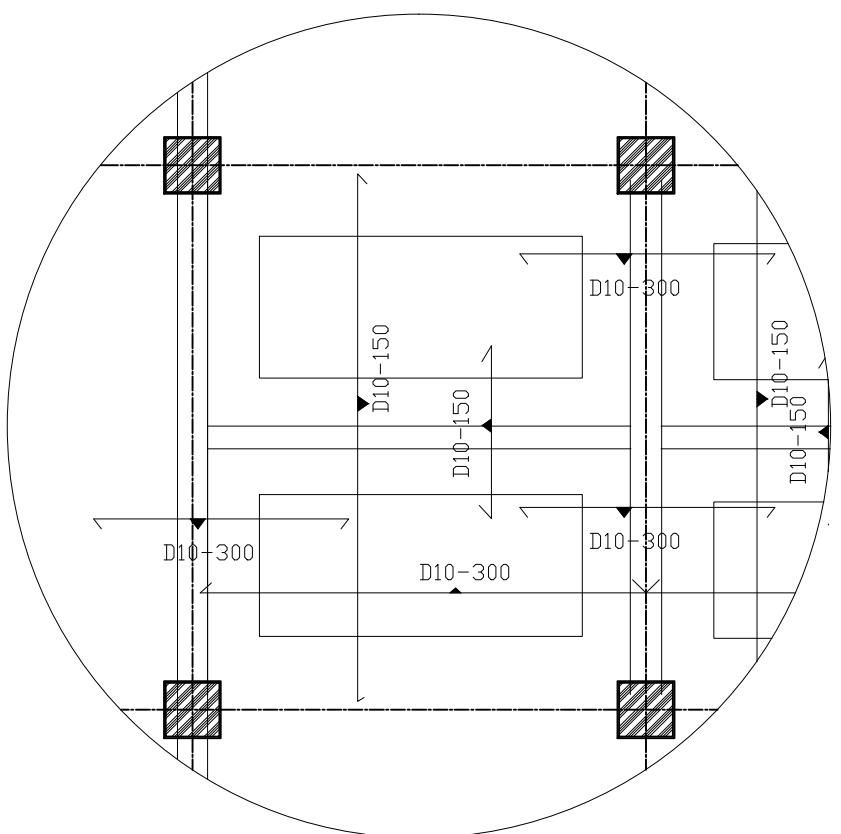
17 33



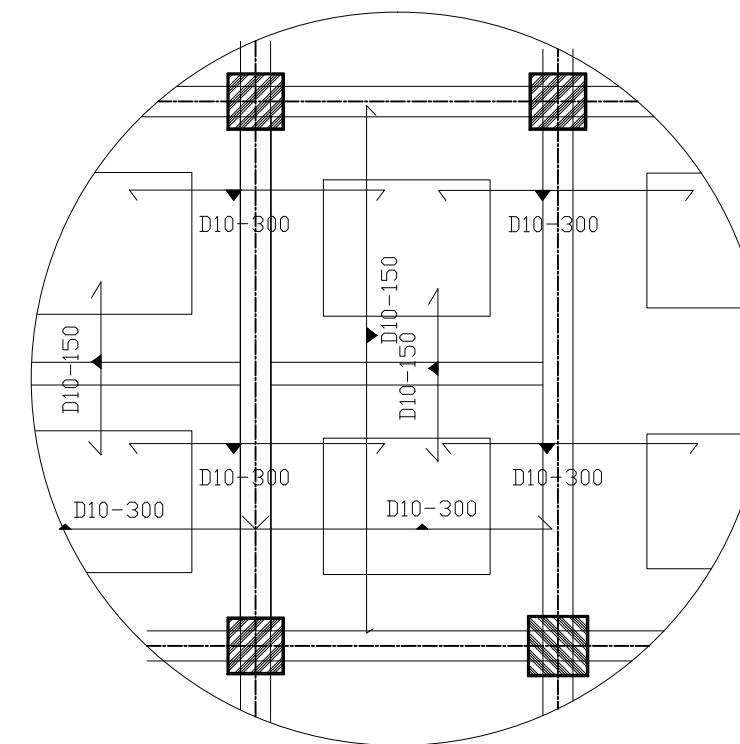
PENULANGAN PELAT KOMPOSIT



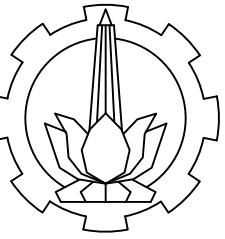
DETAIL PENULANGAN TIPE S1
SKALA 1:80



DETAIL PENULANGAN TIPE S2
SKALA 1:80



DETAIL PENULANGAN TIPE S3
SKALA 1:80



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG**

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

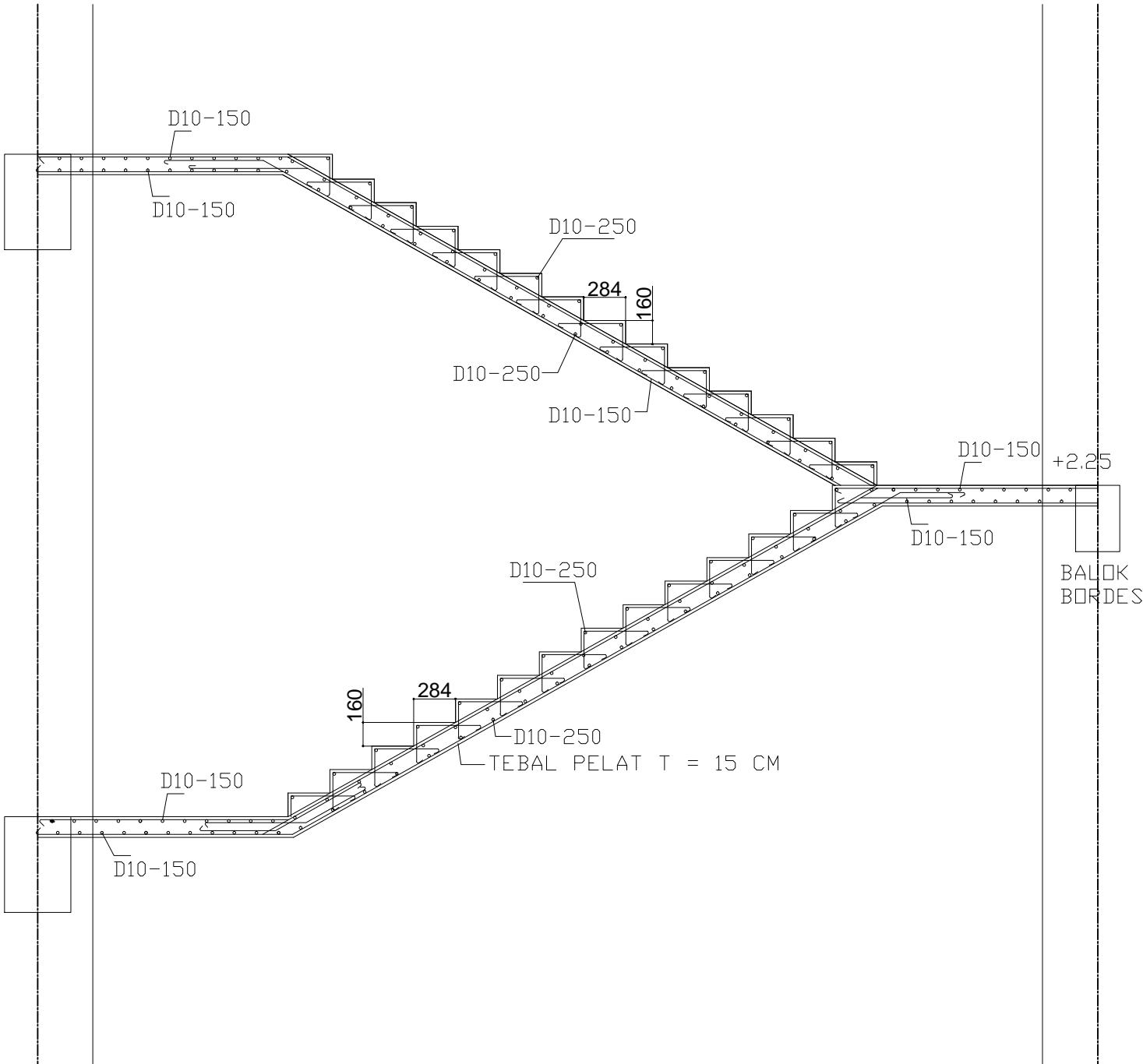
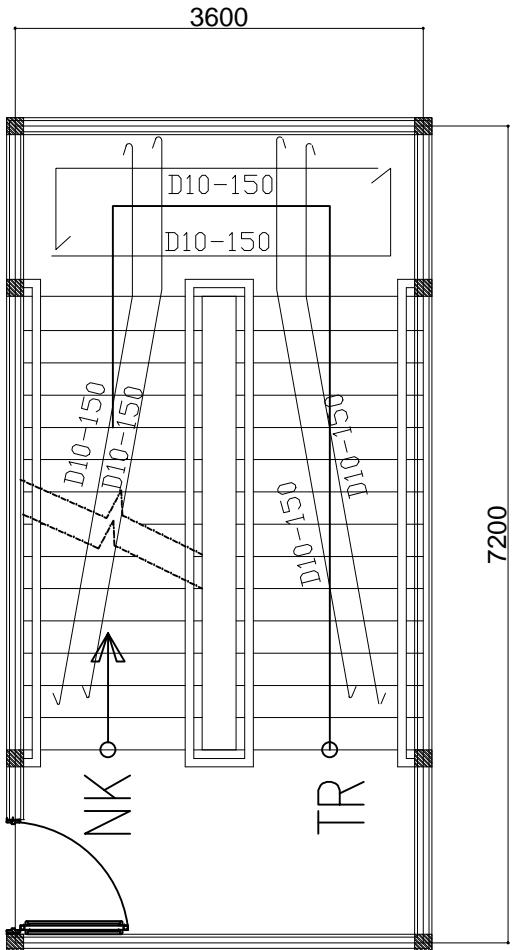
AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

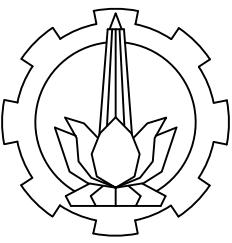
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 10111715000024

KETERANGAN

 DENAH PENULANGAN TANGGA
SKALA 1:100



PENULANGAN PELAT TANGGA SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMASANGAN BALOK & KOLOM

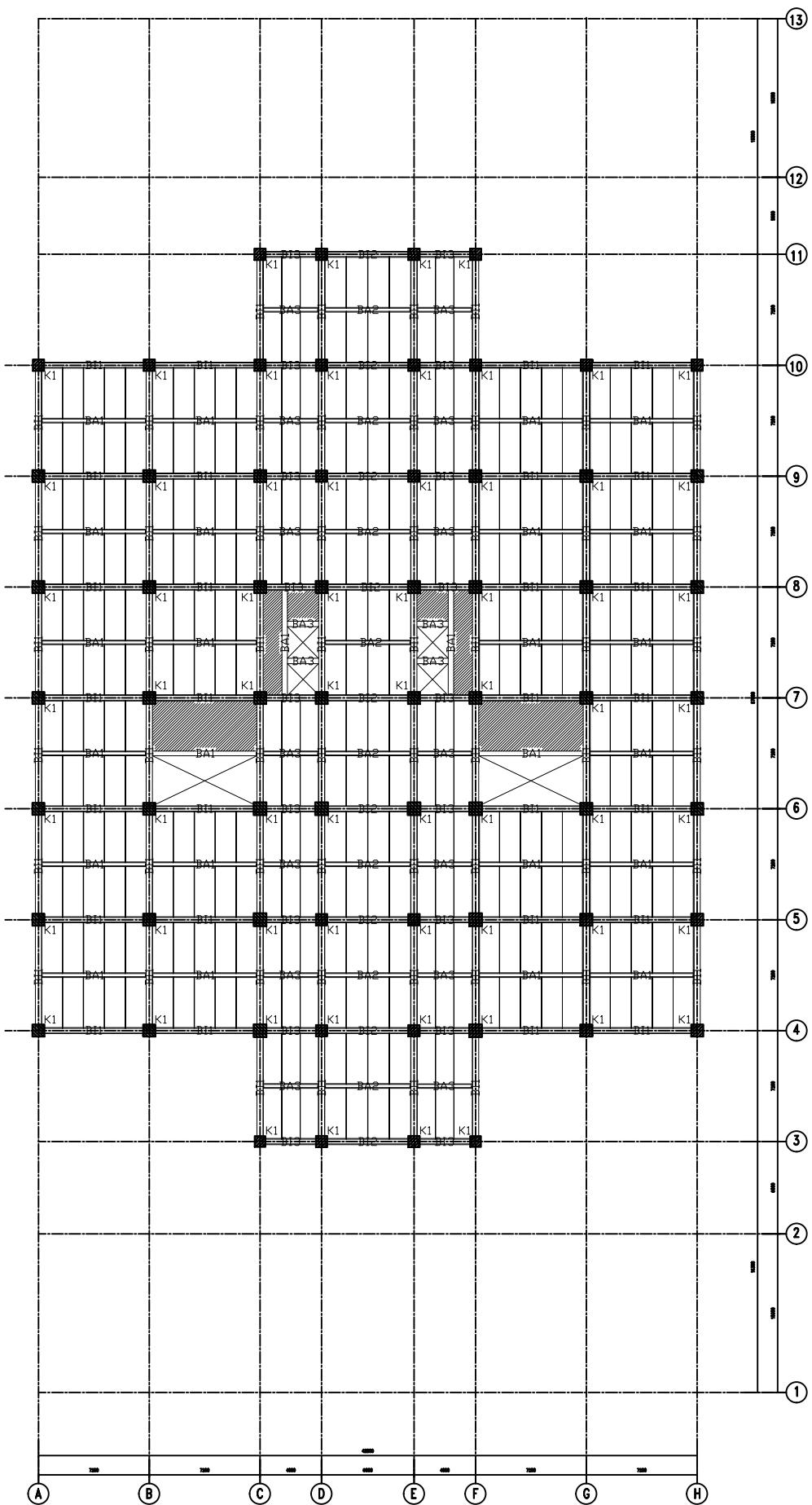
SKALA	KODE GAMBAR
-------	-------------

STR

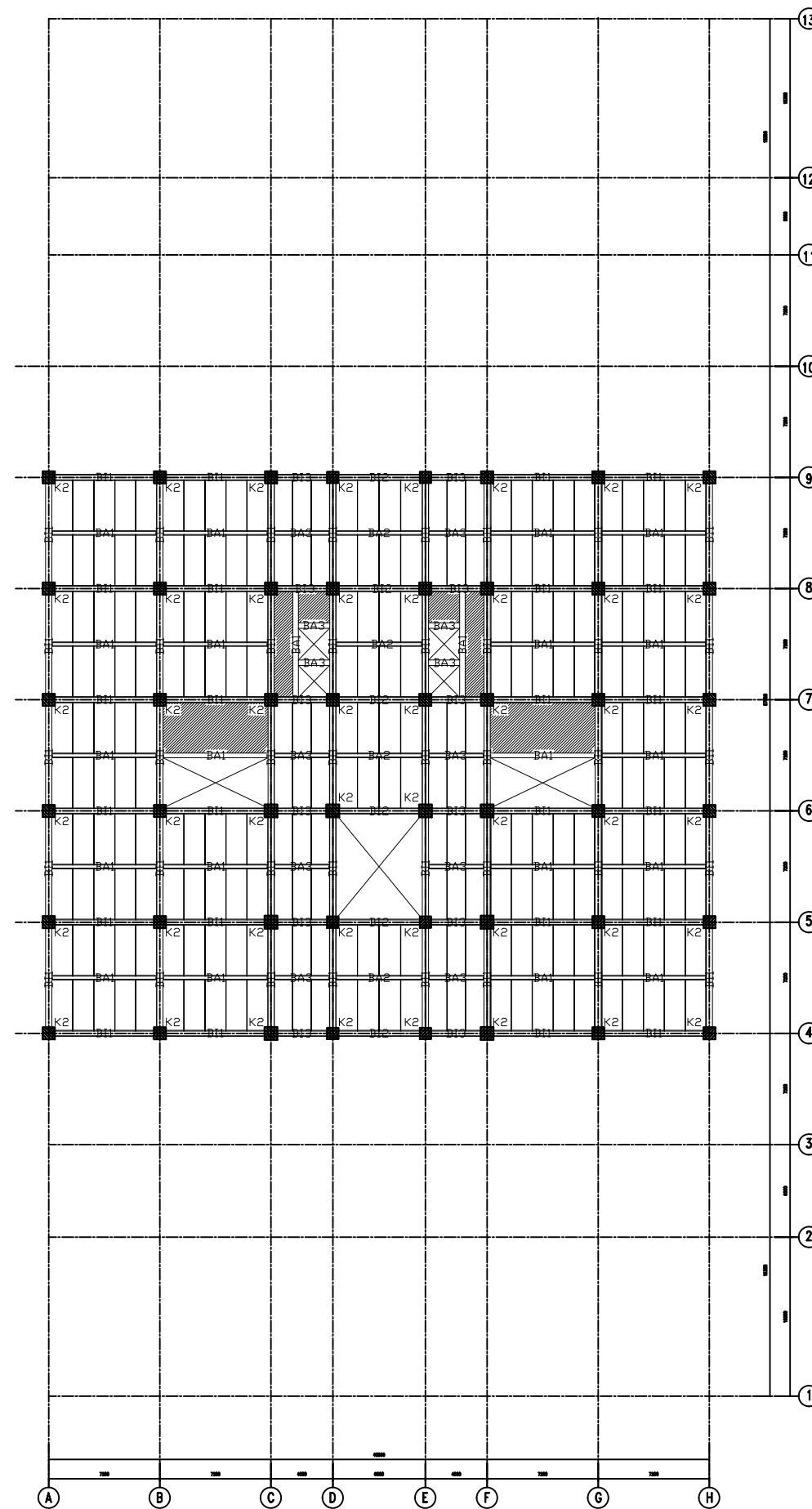
STR

MOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

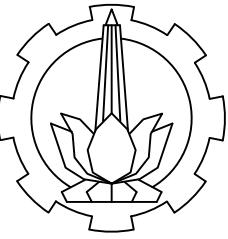
9



 DENAH PEMASANGAN BALOK & KOLOM LT. 2-3
SKALA 1:200



 DENAH PEMASANGAN BALOK & KOLOM LT. 4-9
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

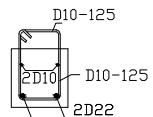
DETAL PENULANGAN BALOK
ANAK BA 1

SKALA KODE GAMBAR

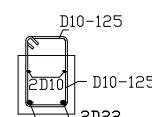
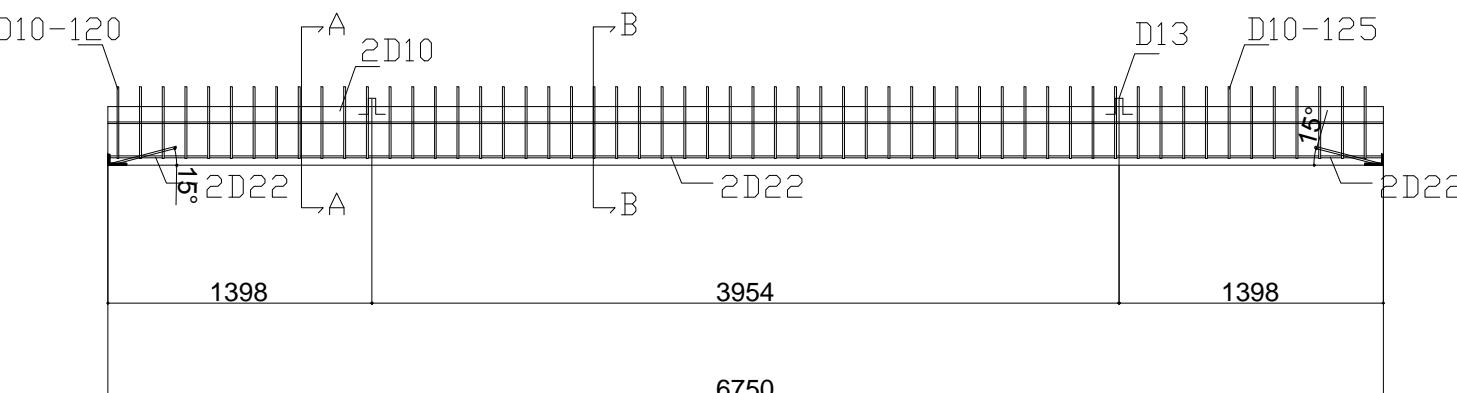
1:200 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

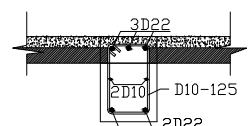
20 33



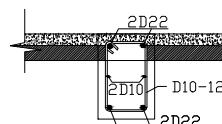
POT A-A
SKALA 1:20



POT B-B
SKALA 1:20

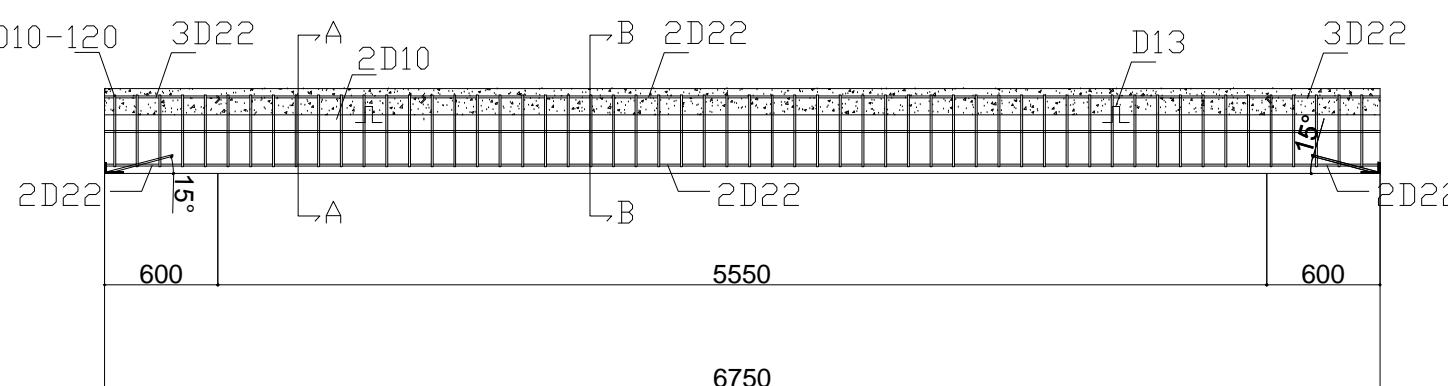


POT A-A
SKALA 1:20

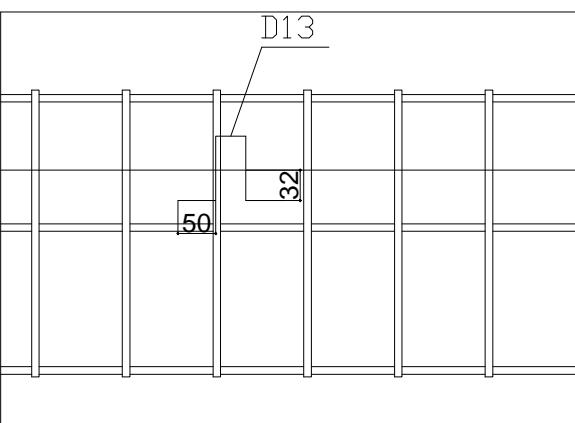


POT B-B
SKALA 1:20

PENULANGAN BALOK ANAK SEBELUM KOMPOSIT BA1
SKALA 1:20

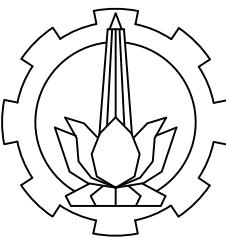


PENULANGAN BALOK ANAK SETELAH KOMPOSIT BA1
SKALA 1:20



TULANGAN ANGKAT
SKALA 1:10

TABEL PELAT PRECAST					
TIPE PELAT	T. SELIMUT (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	BERAT (kg)
BA1	40	310	300	6750	1507
BA2	40	310	300	5550	1239
BA3	40	310	300	3550	792



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

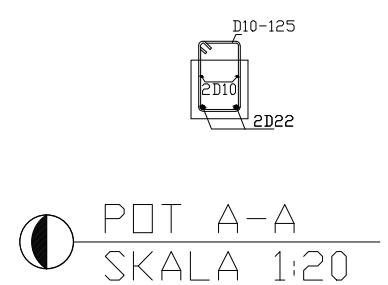
DETAIL PENULANGAN BALOK
ANAK BA2

SKALA KODE GAMBAR

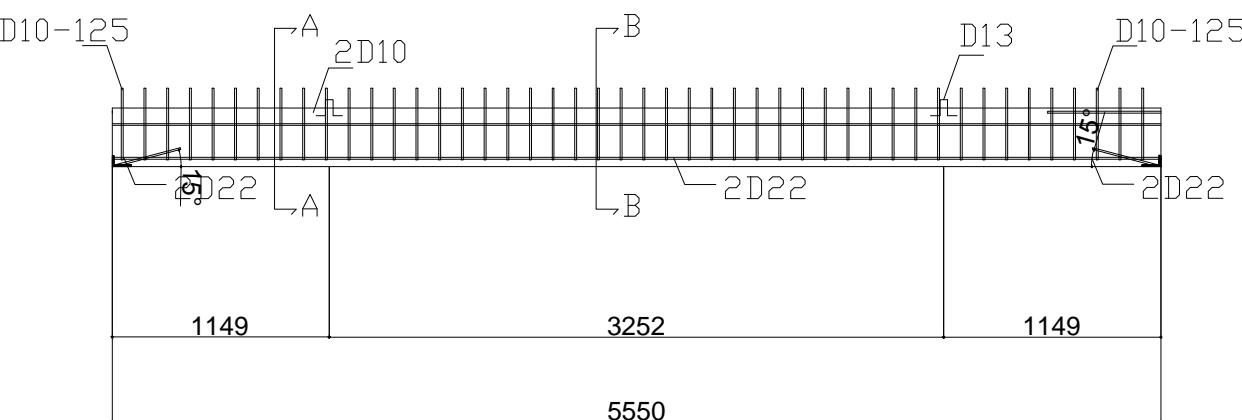
1:200 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

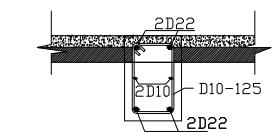
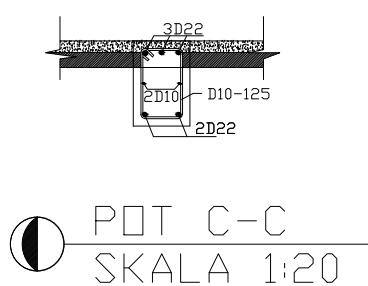
21 33



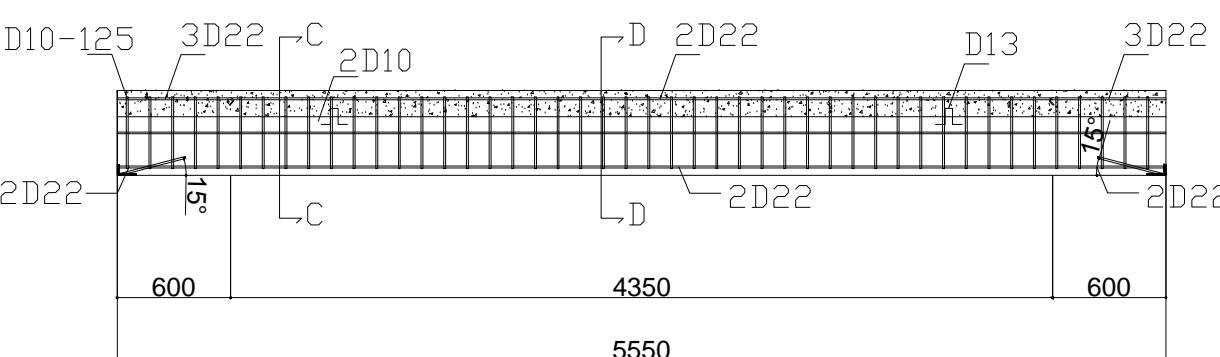
POT A-A
SKALA 1:20



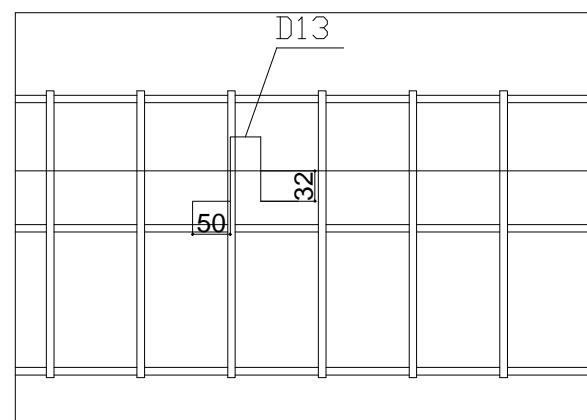
PENULANGAN BALOK ANAK SEBELUM KOMPPOSIT BA2
SKALA 1:20



POT C-C
SKALA 1:20

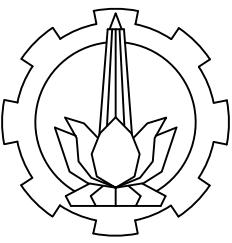


PENULANGAN BALOK ANAK SETELAH KOMPPOSIT BA2
SKALA 1:20



TULANGAN ANGKAT
SKALA 1:10

TABEL PELAT PRECAST					
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	BERAT (kg)
BA1	40	310	300	6750	1507
BA2	40	310	300	5550	1239
BA3	40	310	300	3550	792



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

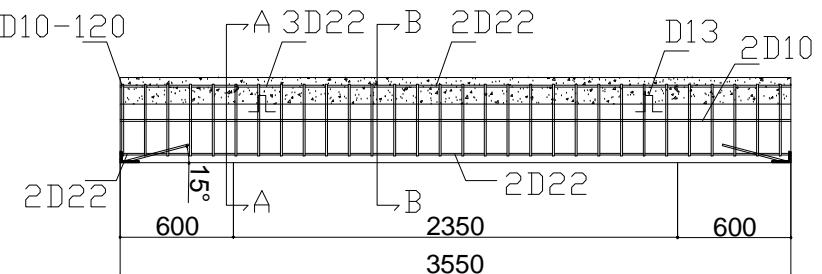
DETAIL PENULANGAN BALOK
ANAK BA3

SKALA KODE GAMBAR

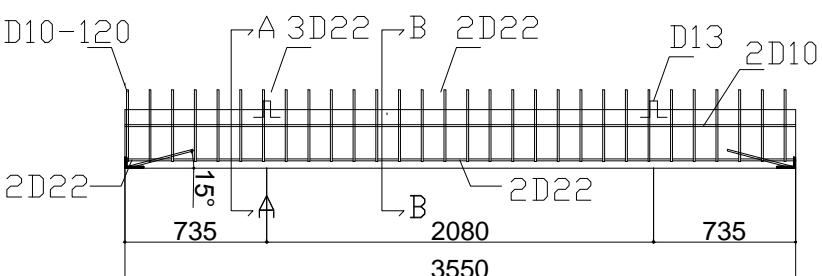
1:200 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

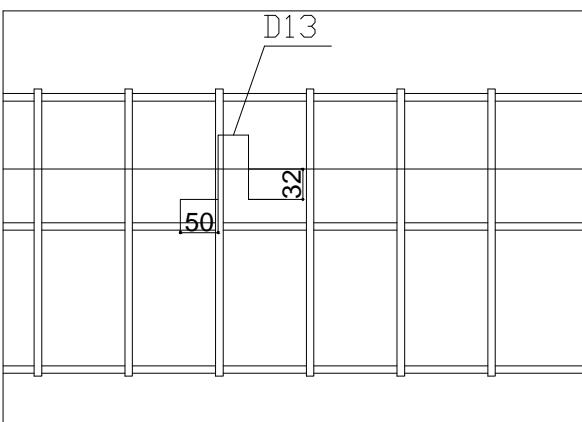
22 33



PENULANGAN BALOK ANAK SETELAH KOMPOSIT BA3
SKALA 1:20

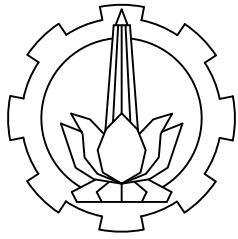


PENULANGAN BALOK ANAK SEBELUM KOMPOSIT BA3
SKALA 1:20



TULANGAN ANGKAT
SKALA 1:10

TABEL PELAT PRECAST					
TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	BERAT (kg)
BA1	40	310	300	6750	1507
BA2	40	310	300	5550	1239
BA3	40	310	300	3550	792



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

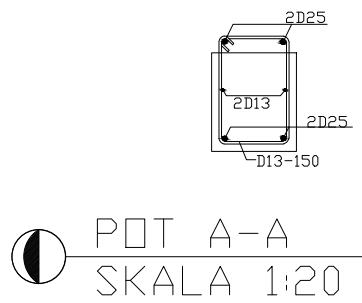
DENAH RENCANA PELAT

SKALA	KODE GAMBAR
-------	-------------

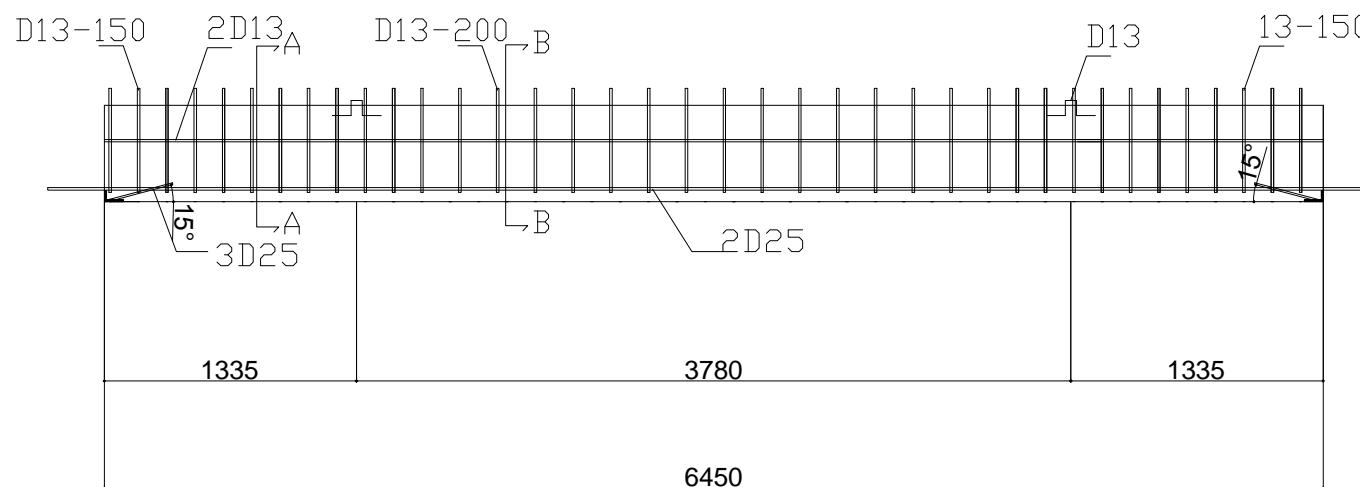
1:200	STR
-------	-----

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
--------------	---------------

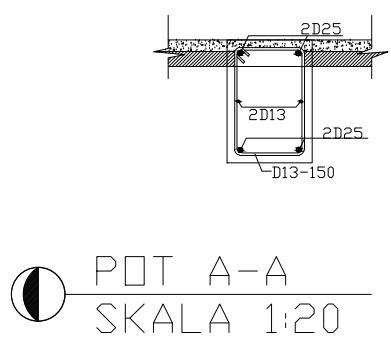
23	33
----	----



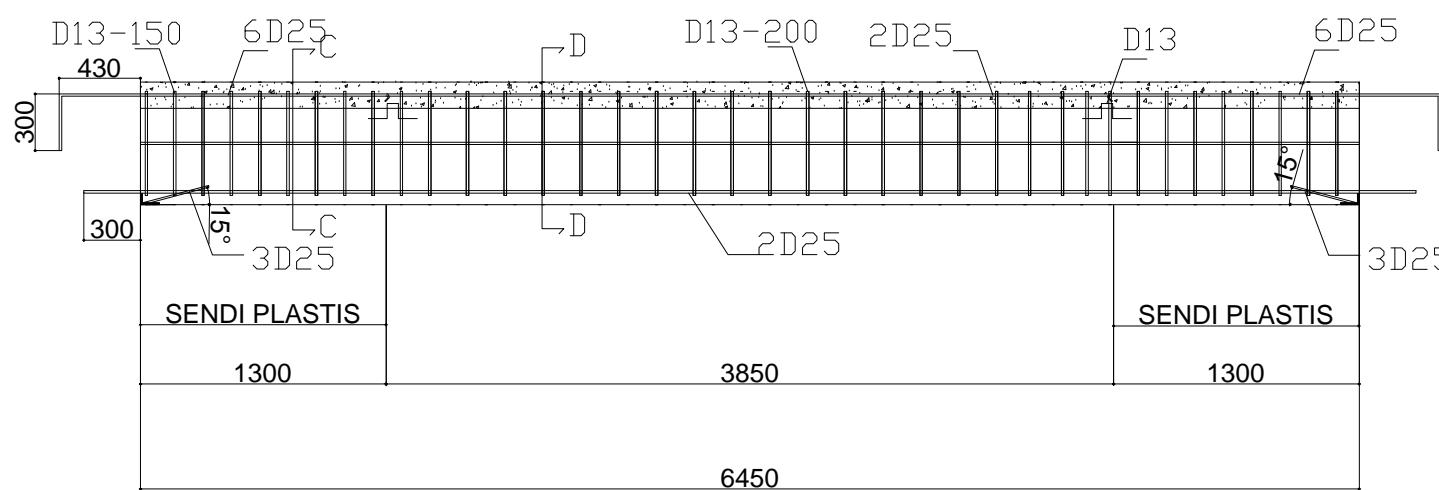
POT B-B
SKALA 1:20



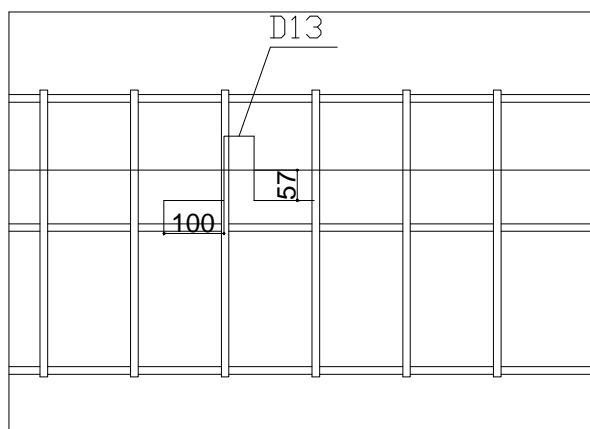
PENULANGAN BALOK INDUK SEBELUM KOMPPOSIT B1
SKALA 1:20



POT B-B
SKALA 1:20



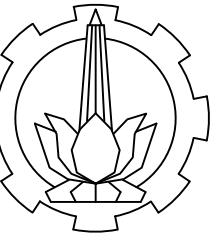
PENULANGAN BALOK INDUK SETELAH KOMPPOSIT B1
SKALA 1:20



TULANGAN ANGKAT
SKALA 1:10

TABEL PELAT PRECAST

TIPE PELAT	T.SELIMUT (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	BERAT (kg)
Bi1	40	510	450	6450	3552
Bi2	40	510	450	5250	2891
Bi3	40	510	450	3250	1790



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

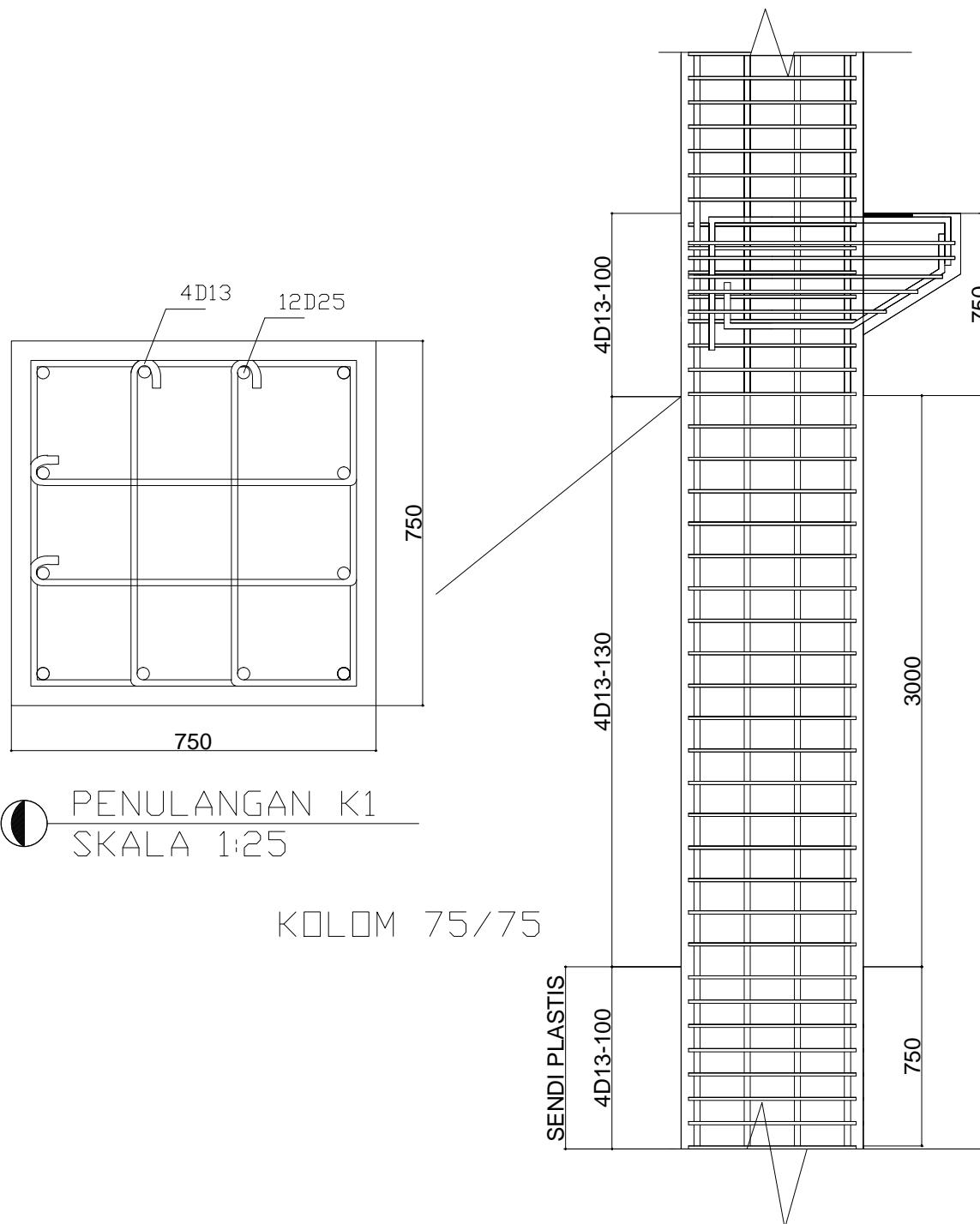
DETAIL PENULANGAN KOLOM

SKALA KODE GAMBAR

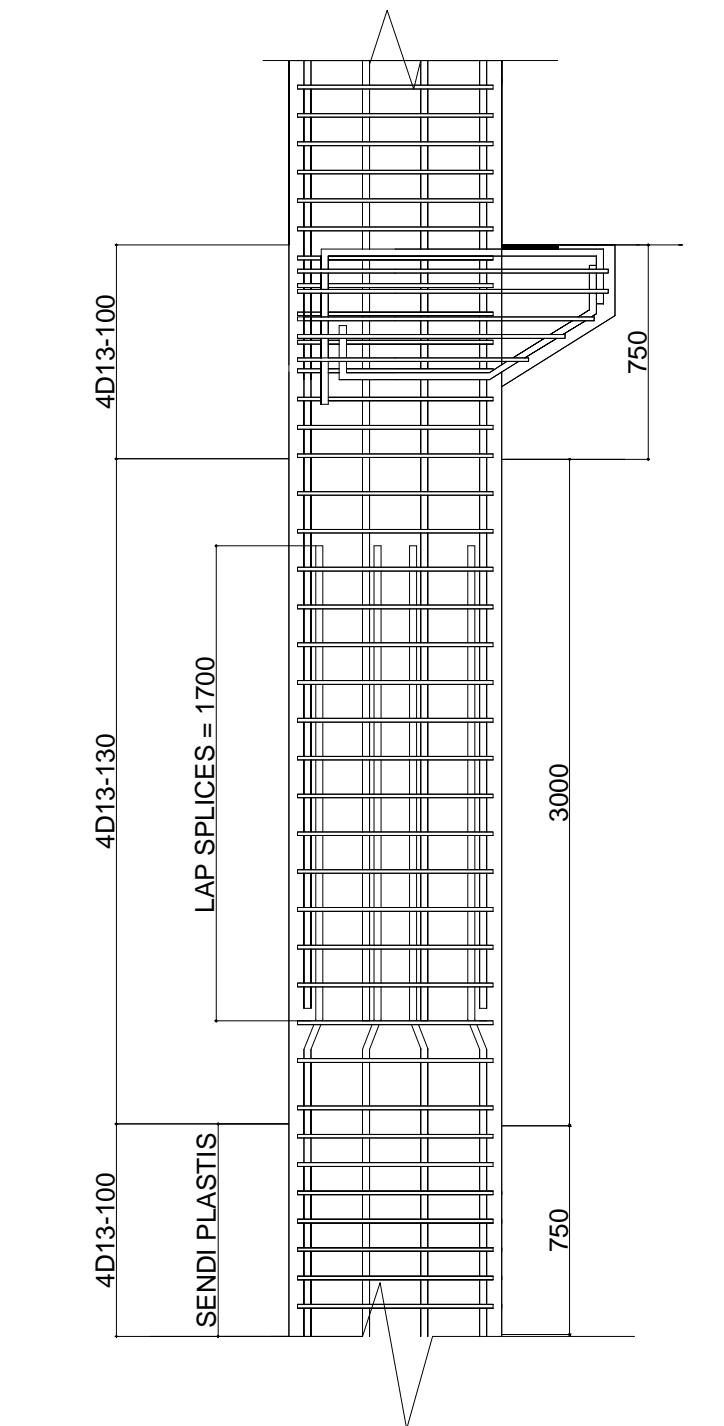
1:25 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

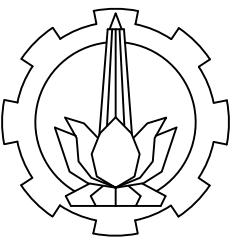
24 33



DETAIL PENULANGAN KOLOM
SKALA 1:30



DETAIL PENULANGAN KOLOM
SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

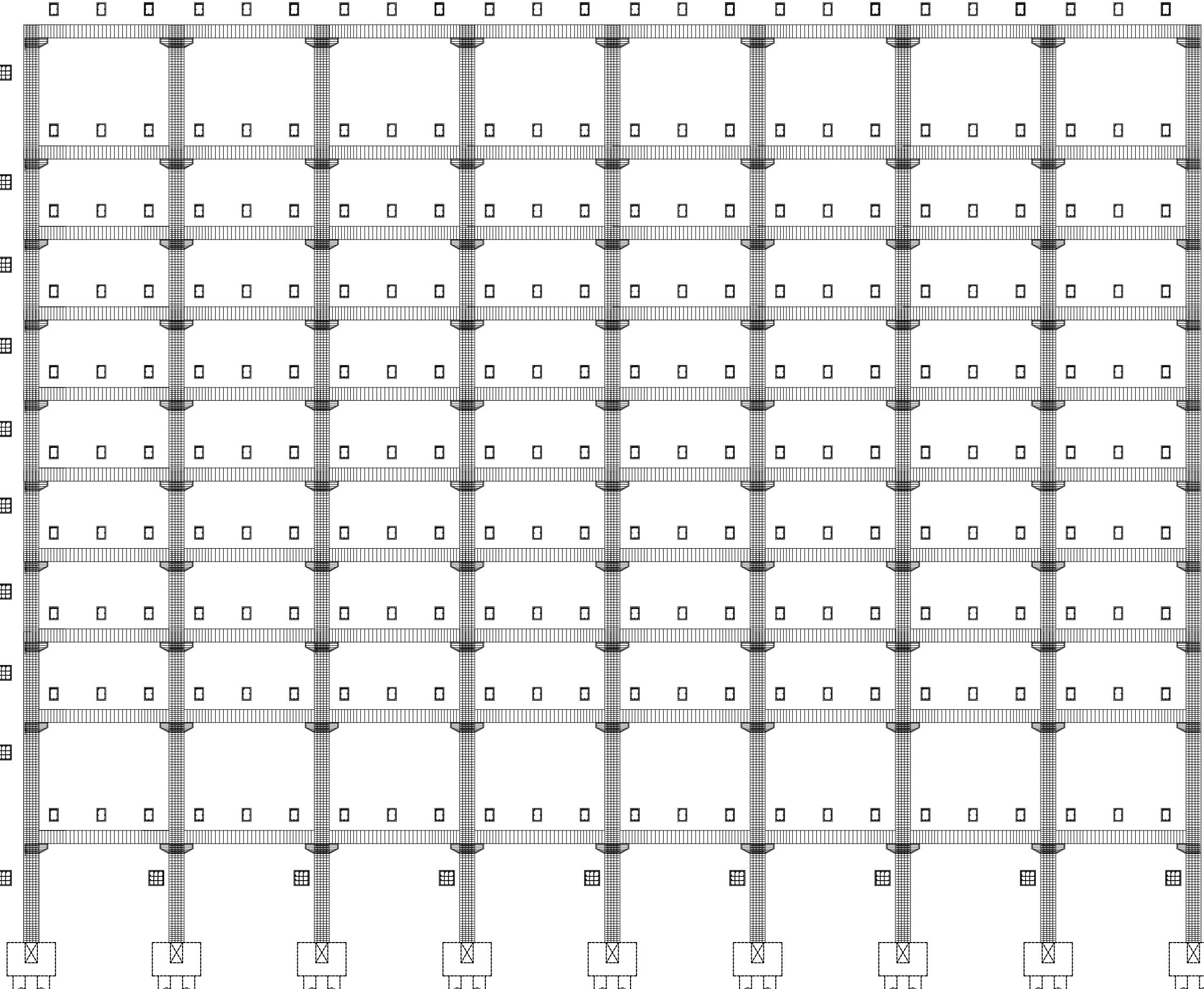
PORTAL A-A

SKALA	KODE GAMBAR
-------	-------------

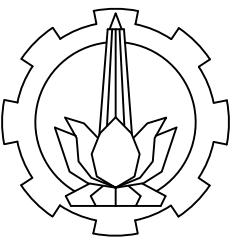
1:100	STR
-------	-----

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
--------------	---------------

25	33
----	----



PORTAL A-A
SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

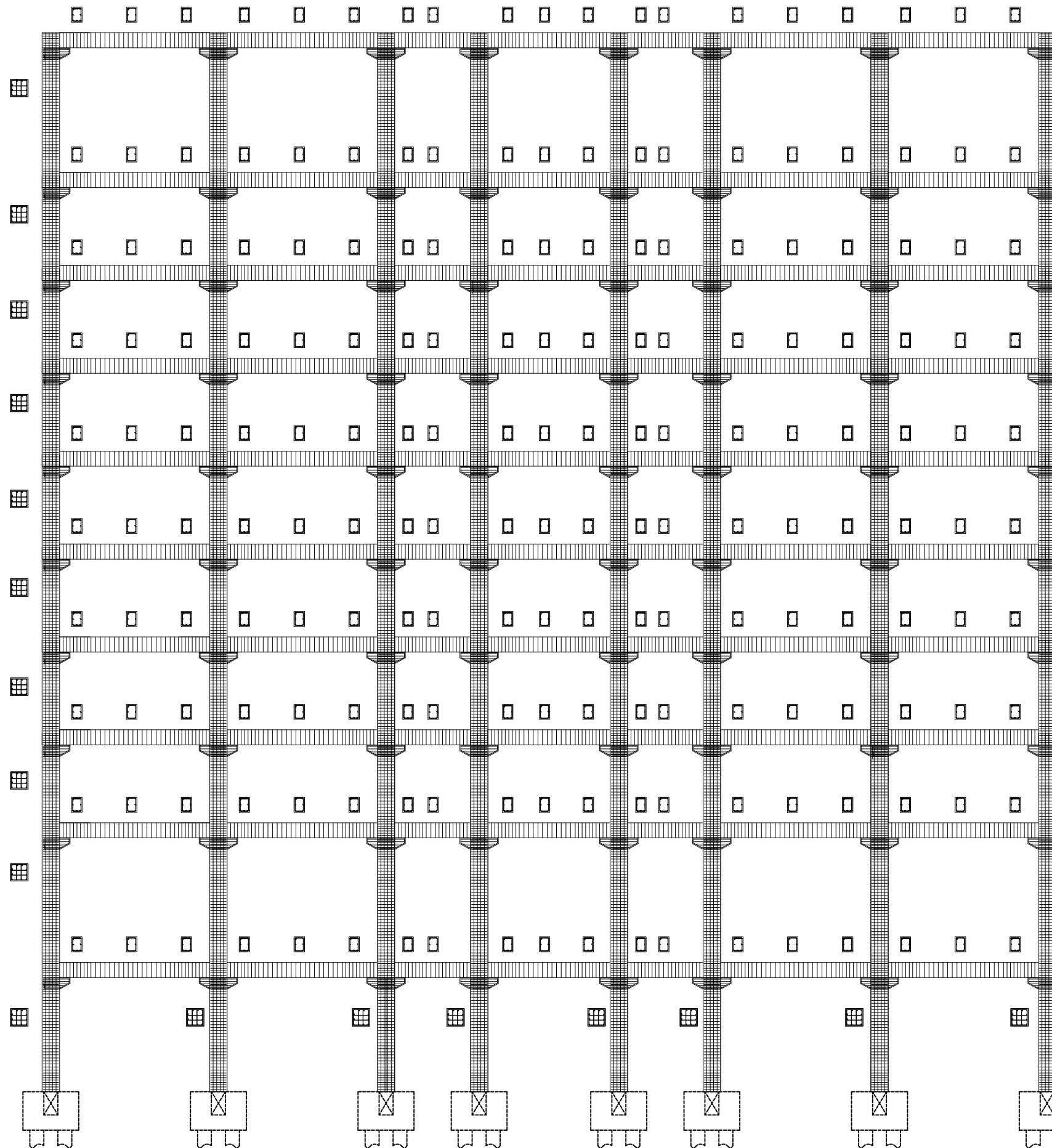
KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

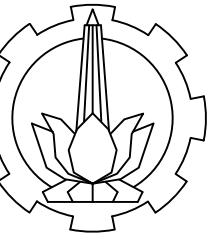
PORTAL B-B

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 100	STR

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
26	33



PORTAL B-B
SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

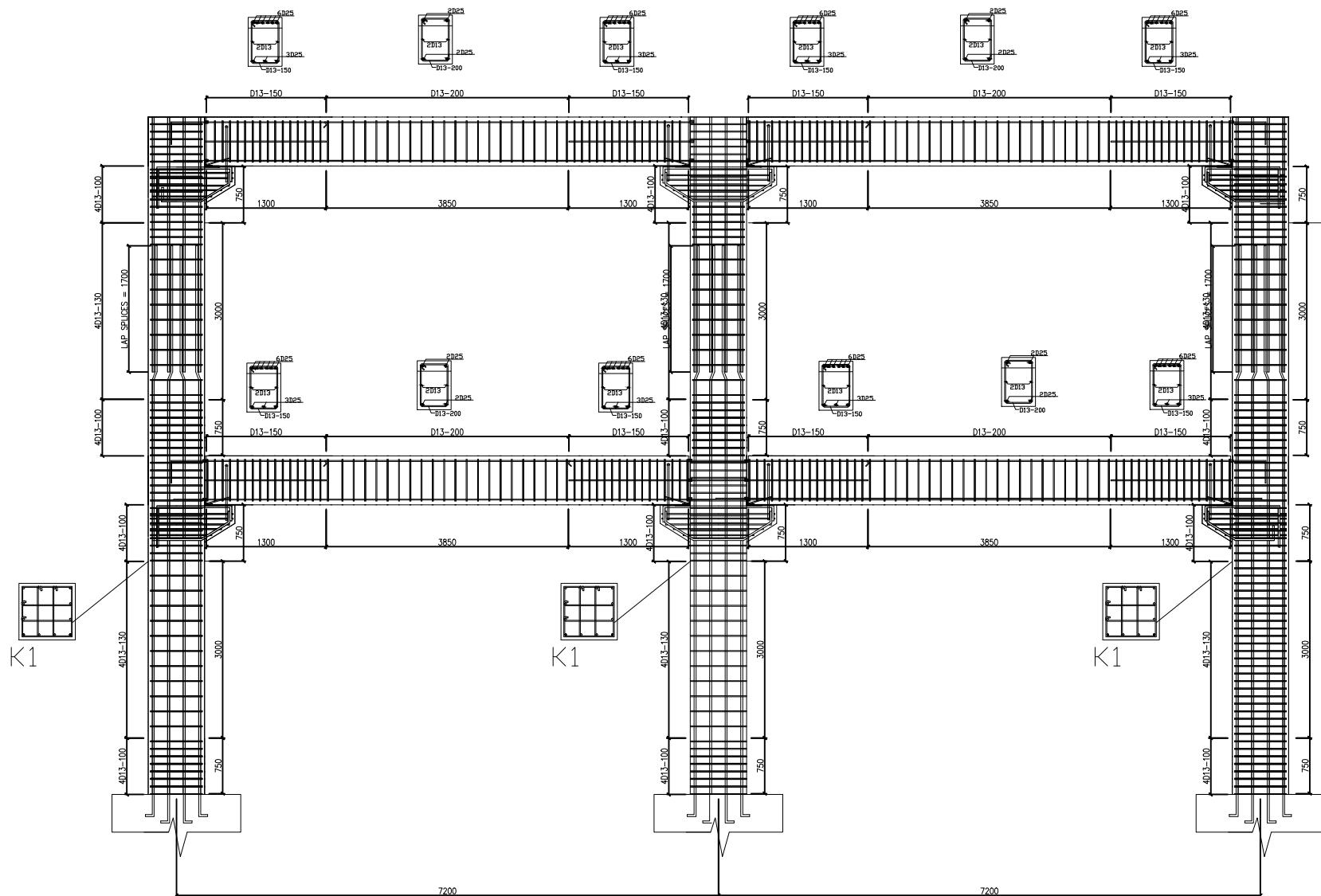
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

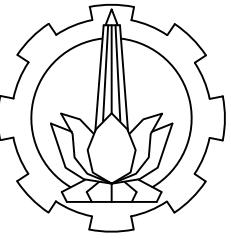
JUDUL GAMBAR

DETAIL PORTAL

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 50	STR
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
27	33



DETAIL PORTAL
SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

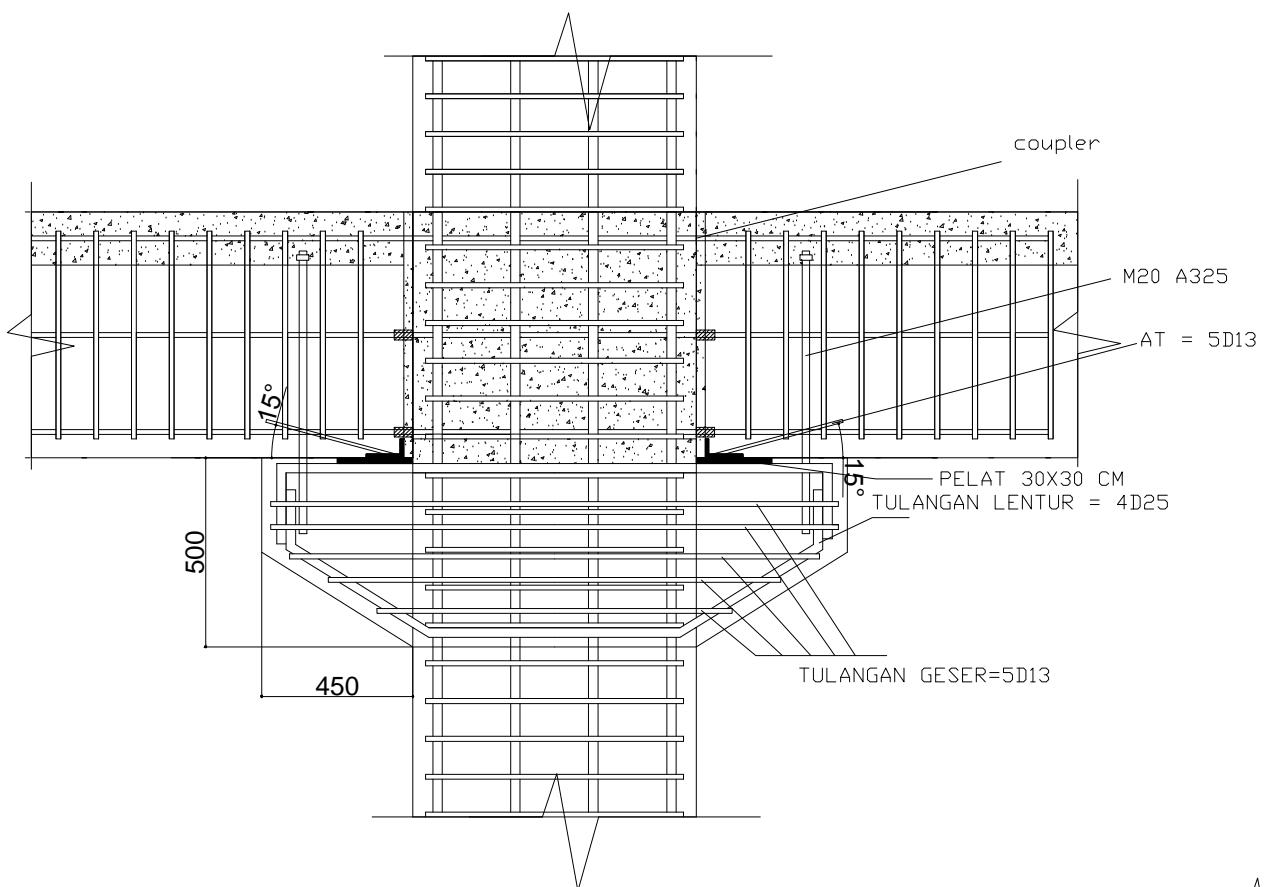
SAMBUNGAN KOLOM INTERIOR &
EKSTERIOR

SKALA KODE GAMBAR

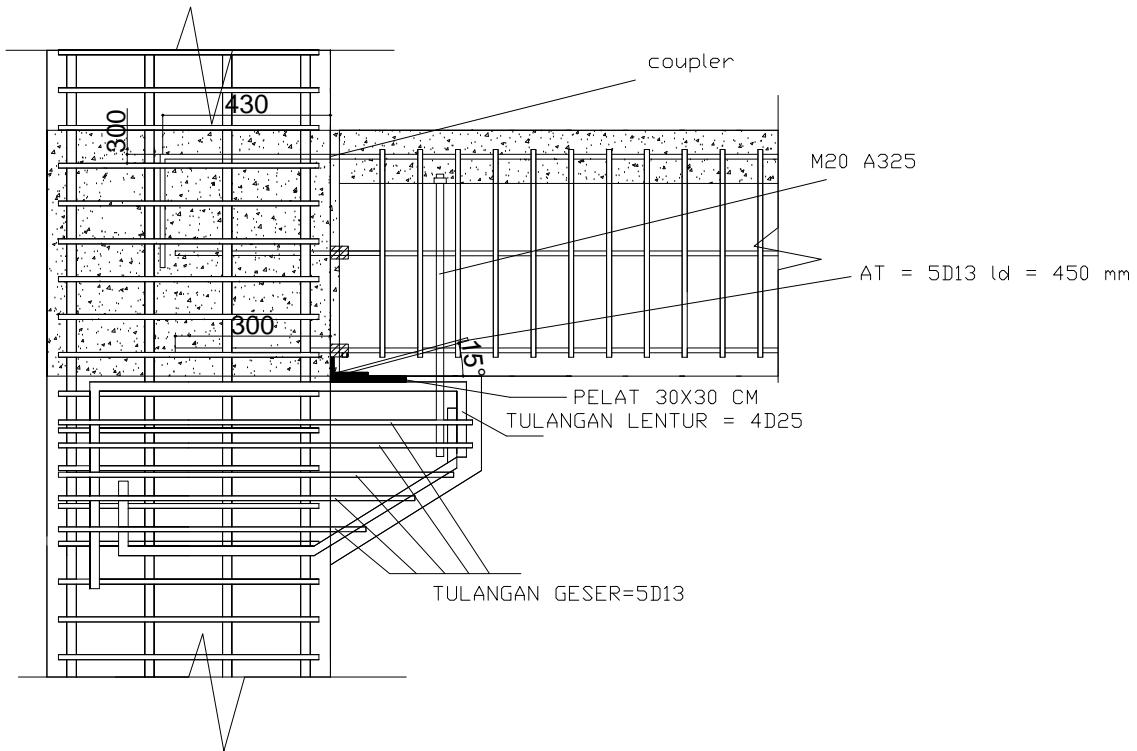
1:200 STR

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

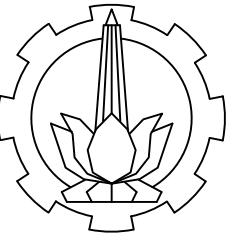
28 33



SAMBUNGAN KOLOM INTERIOR
SKALA 1:25



SAMBUNGAN KOLOM EKSTERIOR
SKALA 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

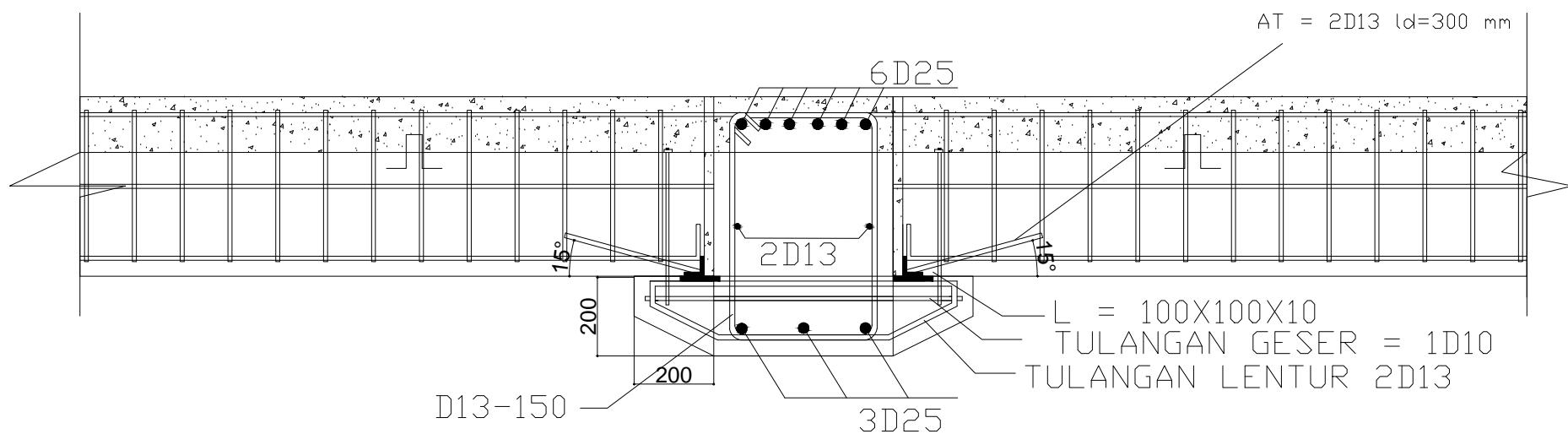
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

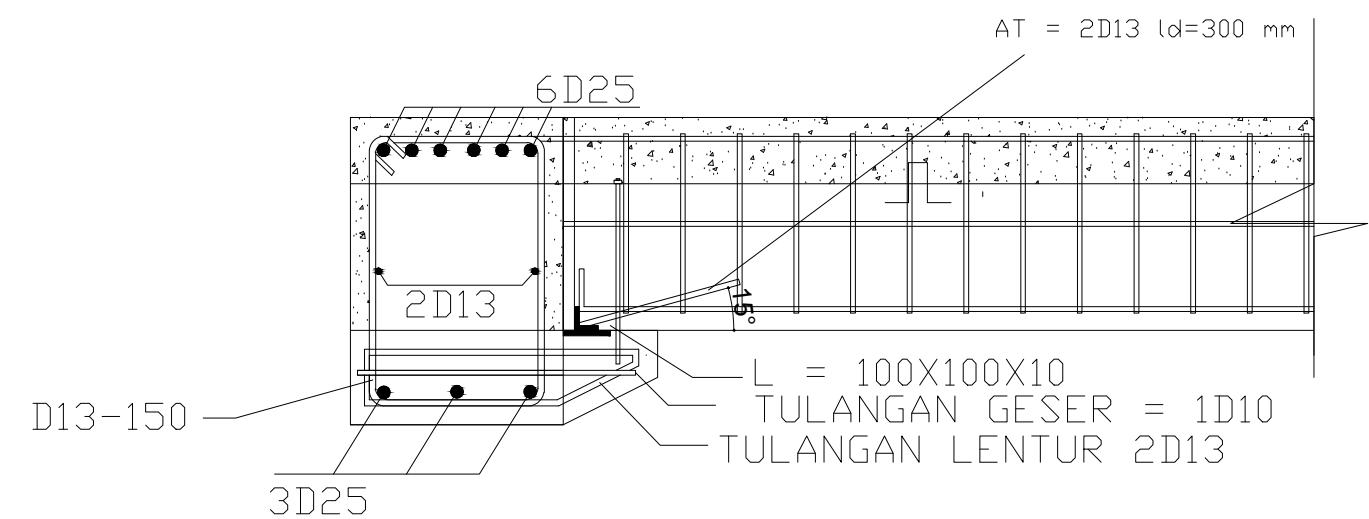
JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK

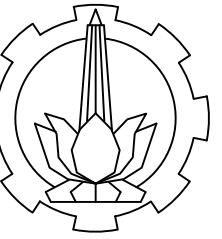
SKALA	KODE GAMBAR
1:200	STR



(○) SAMBUNGAN BALOK INDUK INTERIOR
SKALA 1:25



(○) SAMBUNGAN BALOK INDUK EKSTERIOR
SKALA 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

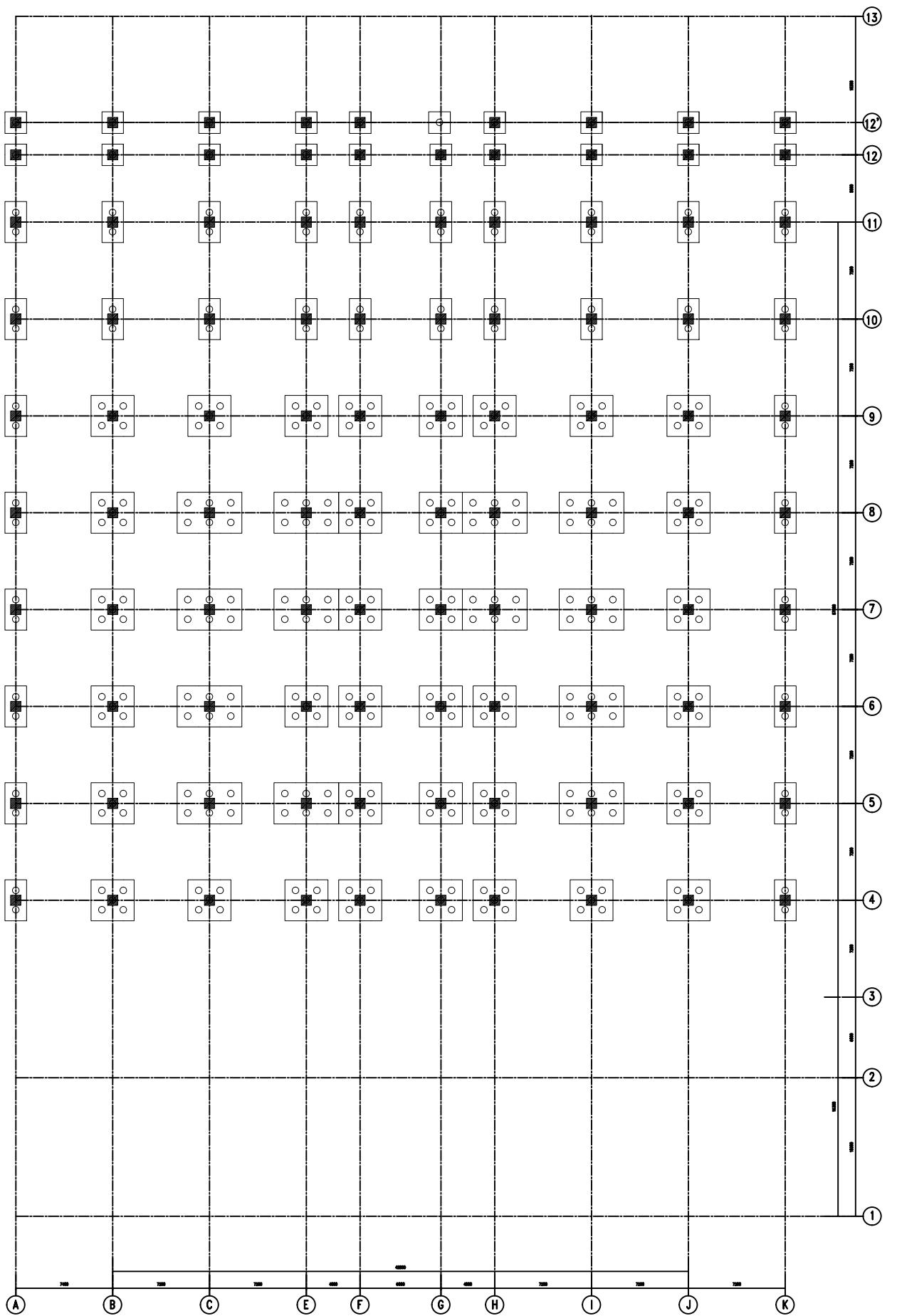
KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

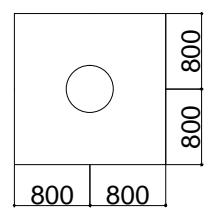
DENAH PILECAP

SKALA	KODE GAMBAR
1:200	STR

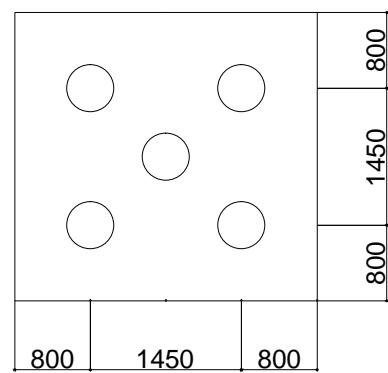
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
30	33



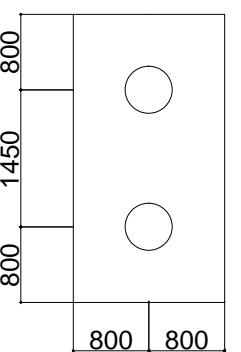
Tipe TP1 SKALA 1:200



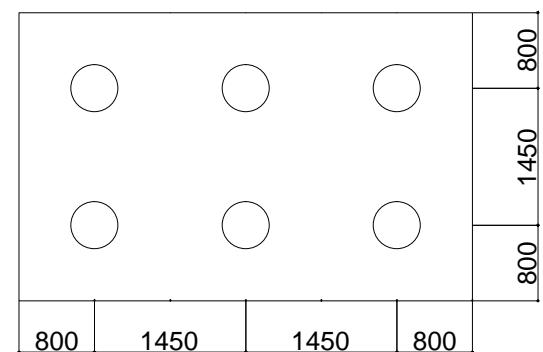
Tipe TP1
SKALA 1:200



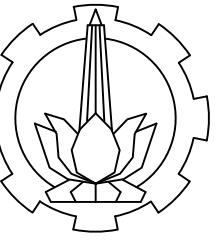
Tipe TP5
SKALA 1:200



Tipe TP2
SKALA 1:200



Tipe TP6
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

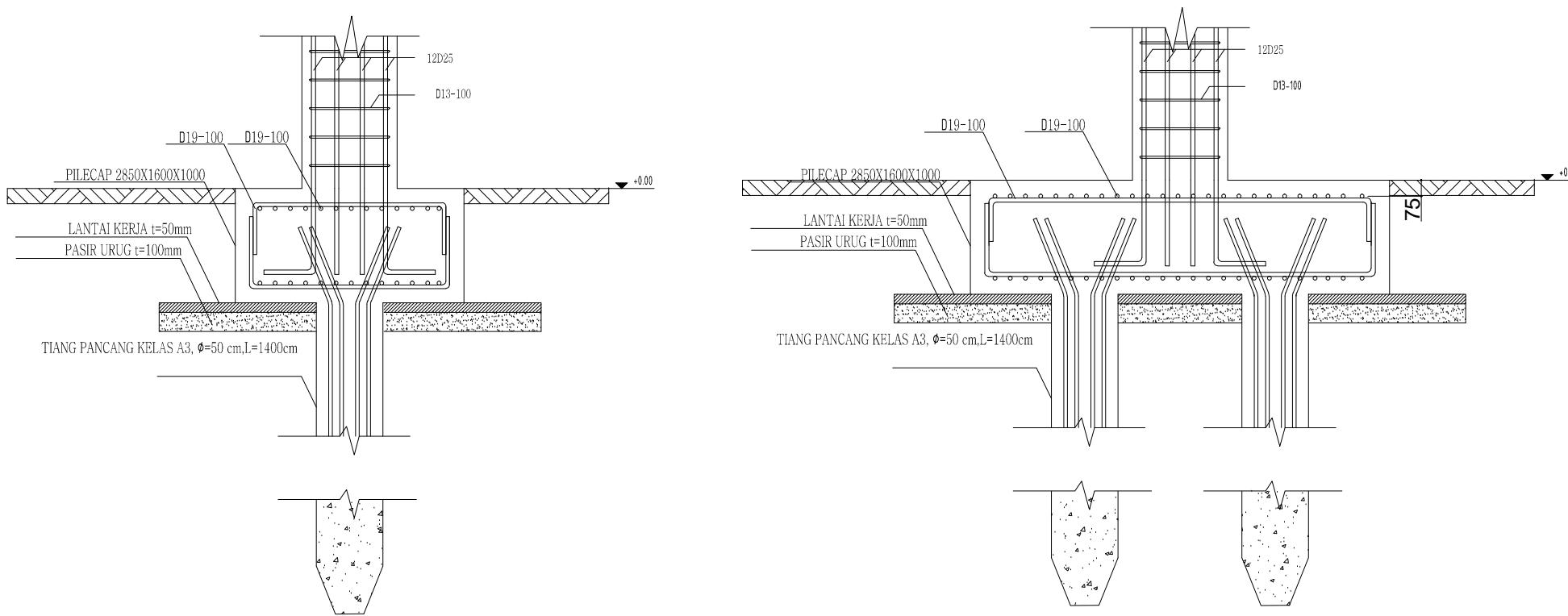
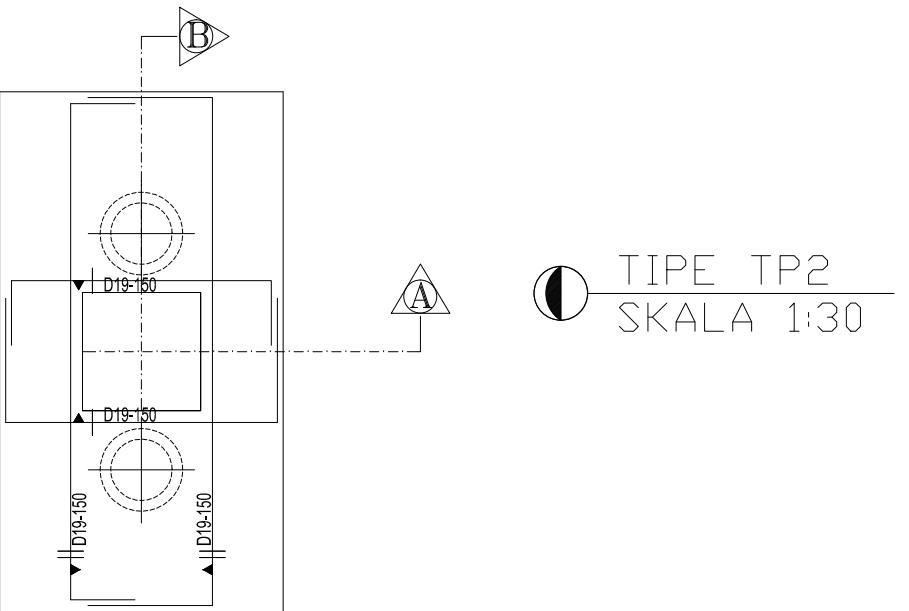
Dinarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

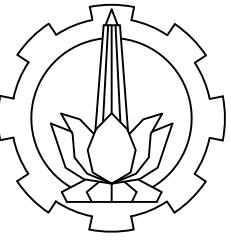
DETAIL PILECAP TIPE TP2

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 30	STR
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
31	33



POTONGAN A
SKALA 1:30

POTONGAN B
SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

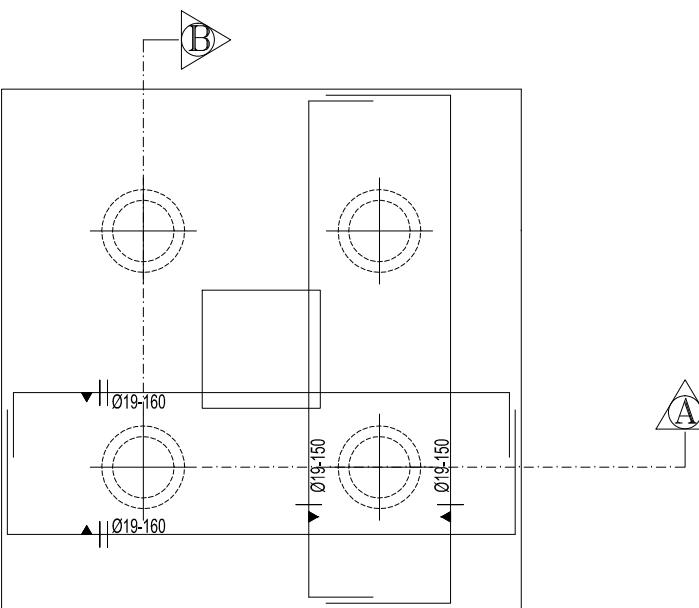
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

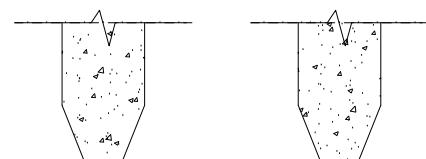
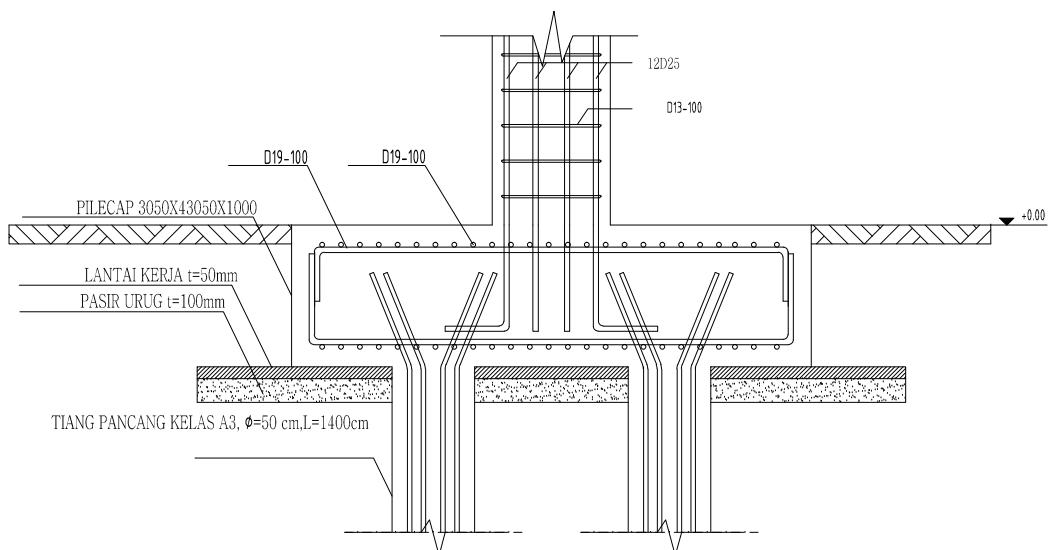
DETAIL PILECAP TP5

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 30	STR
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
32	33

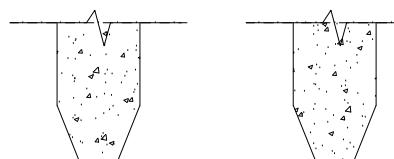
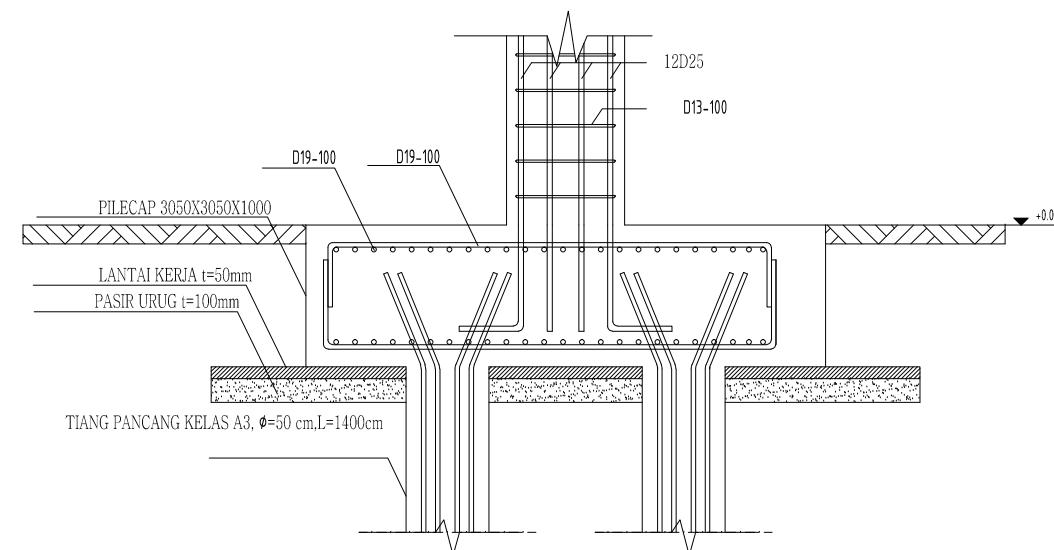


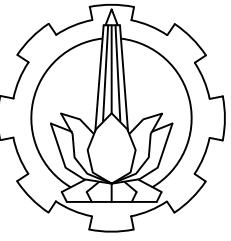
TIPE TP5
SKALA 1:30

POTONGAN A
SKALA 1:30



POTONGAN B
SKALA 1:30





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

GAMBAR RENCANA

PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG REKTORAT 9
LANTAI DI MALANG DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

DOSEN PEMBIMBING

SRIE SUBEKTI, M.T.
NIP. 19560520 198903 2 001

DOSEN PEMBIMBING

AFIF NAVIR REVANI, S.T., M.T.
NIP. 19840919 201504 1 001

NAMA MAHASISWA

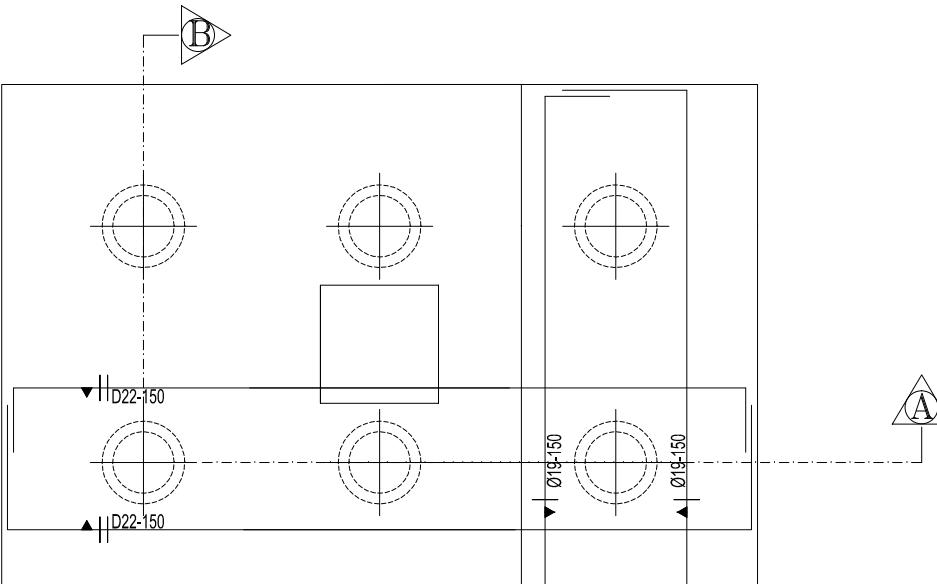
Diniarshinta Ayu Febrina
NRP. 1011171500024

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

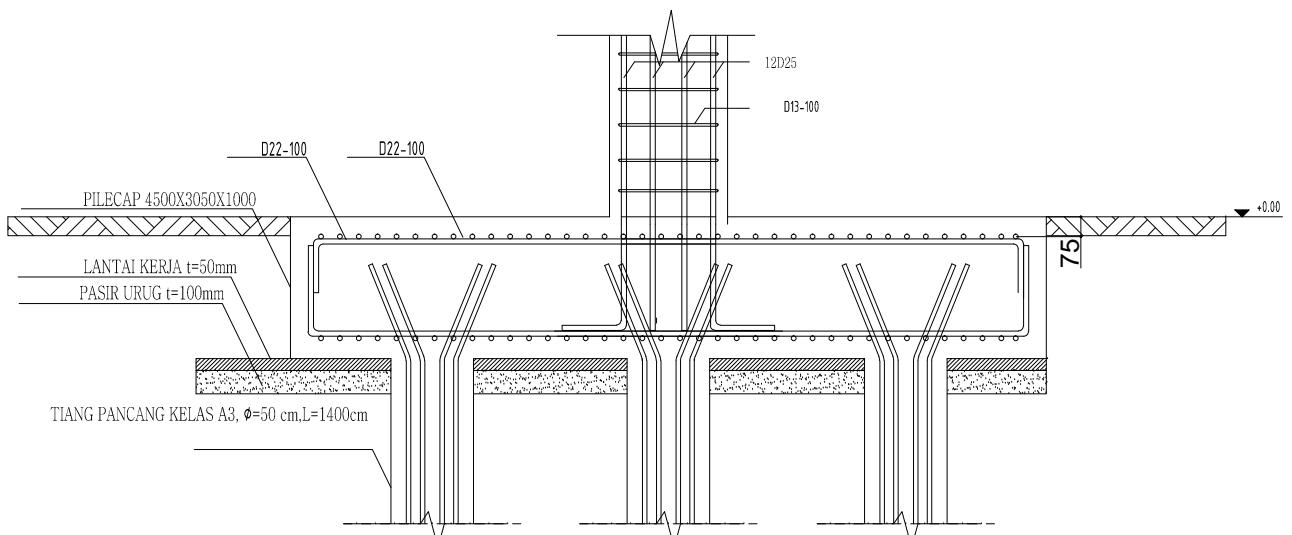
DETAIL PILECAP TP6

SKALA	KODE GAMBAR
1 : 30	STR
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR



TIPE TP5
SKALA 1:30

POTONGAN A
SKALA 1:30



POTONGAN B
SKALA 1:30

