



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC 146599

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA
DENGAN BETON PRACETAK PADA ELEMEN
BALOK DAN PELAT**

RESKI CHANDRA KUMALA
NRP. 10111410000052

Dosen Pembimbing:
NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG
FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN
BETON PRACETAK PADA ELEMEN BALOK DAN
PELAT**

**RESKI CHANDRA KUMALA
NRP. 10111410000052**

**Dosen Pembimbing
NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



APPLIED FINAL PROJECT - RC146599

**STRUCTURAL DESIGN OF FACULTY
FISHERIES AND MARINE AIRLANGGA
UNIVERSITY SURABAYA BUILDING USING
PRECAST CONCRETE ON BEAM AND PLATE**

RESKI CHANDRA KUMALA
NRP. 10111410000052

Counsellor Lecture
NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.
NIP. 19720115 199802 1 001

**STUDY PROGRAM DIPLOMA IV INFRASTRUCTURE CIVIL
ENGINEERING
VOCATIONAL FACULTY
INSTITUTE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN BETON PRACETAK PADA ELEMEN BALOK DAN PELAT

PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
pada
Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh :
MAHASISWA


RESKI CHANDRA KUMALA
NRP. 10111410000052

Disetujui oleh :
DOSEN PEMBIMBING

01 AUG 2018





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

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

Tanggal : 19/07/2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Perikanan Dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya Dengan Metode Beton Pracetak Pada Elemen Balok Dan Pelat		
Nama Mahasiswa	Reski Chandra Kumala	NRP	1011141000052
Dosen Pembimbing 1	Nur Achmad Husin, ST, MT. NIP 19720115 199802 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Pengudi
<ul style="list-style-type: none"> - Judul : teks metode dihilangkan. - Perhitungan momen pelat pracetak, momen saat penum puhan. - Halaman. 77. - Cek panjang penyaluran falak. <p style="text-align: right;"><u>Aunah -</u></p>	<p style="text-align: right;"><u>D. Wahyudi. -</u></p>
<ul style="list-style-type: none"> - check perhitungan plat sifat diafragma ✓ - detail potongan tangga & balok ✓ - check geser balok ke Balik Induk. ✓ <p style="text-align: right;"><u>Aunah -</u></p>	<p style="text-align: right;"><u>Ridho Bayu Aji, ST, MT, PhD</u></p>
	<p style="text-align: right;">NIP 19730710 199802 1 002</p>
	<p style="text-align: right;">NIP .</p>
	<p style="text-align: right;">NIP .</p>
	<p style="text-align: right;">NIP .</p>

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Pengudi 1	Dosen Pengudi 2	Dosen Pengudi 3	Dosen Pengudi 4
			
Dr. Ir. Dicky Inam W, MS	Ridho Bayu Aji, ST, MT, PhD	-	-
NIP 19590209 198603 1 002	NIP 19730710 199802 1 002	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
		
	Nur Achmad Husin, ST, MT. NIP 19720115 199802 1 001	- NIP -



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 RESKI CHANDRA KUMALA 2
NRP : 1 1011141000052 2
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS ARLANGGA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK PADA ELEMEN BALOK DAN PELAT
Dosen Pembimbing : NUR ACHMAD HUSIN , ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
1.	20 -02 - 2018	→ Preliminary balok bentang l/l ₂ → Beban - beban tinjau di SNI terlebih dahulu	<i>Murah-</i>	B C K
		→ Permodelan SAP dicak kombali mekaniknya Bandingkan momen untuk balok yg direkomendasikan		
2.	06 -03 - 2018	→ Penulangan pelat menggunakan momen SAP / PBI / Buku > dicantumkan literaturnya → Beban potensi dari SNI	<i>Murah-</i>	B C K
3.	22 -03 - 2018	→ Rasio yang digunakan jika kurang dari minimum diambil sepatigai lebih besar → Kontrol retak terlebih dahulu dari ketebalan rencana	<i>Murah-</i>	B C K
4.	05 -04 - 2018	→ Kombinasi pembelahan untuk pelat tangga ditambahkan beban sampa	<i>Murah-</i>	
5.	12 -04 - 2018	→ Tulangan tumpuan balok anak diteruskan dari tulangan lapangan (kondisi sekelah kompleks) → Balok anak tidak perlu kontrol retak	<i>Murah-</i>	B C K
6.	02 -05 - 2018	→ Sajikan kombinasi beban yang digunakan untuk menghitung tulangan balok. → Gambar hasil perhitungan lentur (tumpuan + lapangan) serta penampang tulangan	<i>Murah-</i>	B C K

Ket.

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



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 RESKI CHANDRA KUMALA 2
NRP : 1 10111910000052 2
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK PADA ELEMEN BALOK DAN PELAT
Dosen Pembimbing : NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
7.	16 - 05 - 2018	> Gaya geser mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2 (kolom) > Titik angkat sebagai connector (gaya geser) > Diharapkan sendi platis terjadi di $\frac{1}{4}$ ln	<i>Nur Adi</i>	B C K
8.	28 - 05 - 2018	> Sambungan balok anak - balok induk cor di PCI Connection > Penggunaan pelat lindas pada konsol tidak kewajiban	<i>Nur Adi</i>	B C K
9	04 - 06 - 2018	> av untuk corbel $\frac{1}{2}$ dari tumpuan > Perbedaan elevasi untuk tulangan, solus untuk tulangan yang berellevasi sama (metode relaksasian) > Perlu reinforced end bearing untuk mengunci pelat siku di balok > Tuliskan borat pada gambar pracetak > Perhatikan perbedaan notasi untuk pracetak > Detail konsol di gambar > Jumlah pracetak tiap kantai > Detail sambungan balok - kolom > Elevasi kolom untuk lap splice > Daftar gambar	<i>Nur Adi</i>	B C K

Ket:

B = Labih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
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>

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

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama	: 1 RESKI CHANDRA KUMALA	2
NRP	: 1011141000052	2
Judul Tugas Akhir	: PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANAGA SURABAYA DENGAN METODE BETON PRACETAK PADA ELEMEN BALOK DAN PELAT	
Dosen Pembimbing	: NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.	

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
10.	05 - 06 - 2018	<ul style="list-style-type: none"> → Sesuaikan judul gambar arsitektur dengan struktur → Denah pracetak per lantai → Notasi untuk pracetak, untuk mempermudah pelaksanaan. Bisa dengan mata angin → Resume jumlah pelat di detail pelat / type → Di detail pelat tidak perlu denah → Tulangan kolom berhenti di lantai ke-2 (lebih baik 6 m) 	B <i>[Signature]</i>	C K <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11.	06 - 06 - 2018	<ul style="list-style-type: none"> → Elevasi korbel di detail kolom → Gambar tulangan setelah komposit → Gambar sambungan pelat - kolom → Gambar tampak tidak perlu elevasi 	B <i>[Signature]</i>	C K <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12.	03 - 07 - 2018	<ul style="list-style-type: none"> → Gambar beskap tulangan balok → Gambar sangkaran TC diberi spesifikasi TC yang digunakan → Gambar detail balok estimasi (tabel) → Proses erection TC 	B <i>[Signature]</i>	C K <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
			B <input type="checkbox"/>	C K <input type="checkbox"/>

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

**“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS
PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS
AIRLANGGA SURABAYA DENGAN BETON PRACETAK
PADA ELEMEN BALOK DAN PELAT”**

Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST., MT.

NIP : 19720115 199802 1 001

Mahasiswa : Reski Chandra Kumala
10111410000052

Departemen : Diploma IV
Teknik Infrastruktur Sipil

ABSTRAK

Bangunan gedung Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Airlangga terletak di Mulyorejo kota Surabaya. Berfungsi sebagai gedung perkuliahan atau fasilitas pendidikan. Bangunan terdiri atas 10 lantai. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Modifikasi struktur dilakukan pada elemen balok dan pelat yang semula dikerjakan dengan cor di tempat (*cast in situ*) menjadi pracetak (*precast*). Perhitungan struktur dan gempa mengacu kepada peraturan yang berlaku. Proses perhitungan struktur meliputi analisa pembebanan, permodelan struktur dengan program bantu SAP, analisa gaya dalam, perhitungan penulangan, dan pengecekan syarat elemen struktur dan kontrol terhadap elemen pracetak. Hasil perhitungan struktrur meliputi tebal pelat 13 cm, dimensi balok induk 40 x 60 cm, dimensi balok anak 25 x 40 cm, dan dimensi kolom 60 x 60 cm. Sambungan antar elemen menggunakan sambungan basah, berupa pengecoran *overtopping* setebal 5 cm untuk pelat dan 13 cm untuk balok.

Kata kunci: Pracetak, SRPMK

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“STRUCTURAL DESIGN OF FACULTY FISHERIES AND MARINE AIRLANGGA UNIVERSITY SURABAYA BUILDING USING PRECAST CONCRETE ON BEAM AND SLAB”

Counsellor Lecturer : Nur Achmad Husin, ST., MT.
NIP : 19720115 199802 1 001
Student : Reski Chandra Kumala
10111410000052
Departement : Diploma IV
Civil Infrastructure Engineering

ABSTRACT

Faculty of Fisheries and Marine Airlangga University building is located in Mulyorejo Surabaya. The building is used to be academy or education facility, it consists of 10 floors. It designed with Special Moment Resisting Frame System. Structure is modified on elements beam and slab, from cast in situ become precast. Structure and seismic is calculated based on on going regulation. Structure's calculation process includes load analysis, structure's modeling with SAP, inner force analysis, rebar calculating, structure's element requirement checking and precast element controlling. The result of structural design are thickness of slab is 13 cm, dimension of the primary beam is 40 x 60 cm, dimension of the secondary beam is 25 x 40 cm, and dimension of column is 60 x 60 cm. The connection design between elements is using wet connection, with overtopping as thick as 5 cm for slab and 13 cm for beam.

Keywords : Precast, Special Moment Resisting Frame System

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir terapan dengan judul **“Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya dengan Beton Pracetak pada Elemen Balok dan Pelat”** sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada program Diploma IV – Teknik Infrastruktur Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

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

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara tercinta yang selalu memberikan dukungan moril maupun materiil.
2. Bapak Nur Achmad Husin, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
3. Teman-teman yang telah memberikan bantuan dan saran selama proses penggerjaan proyek akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan proyek akhir ini tak lepas dari kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga laporan akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Data Bangunan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	5
2.3 Pembebanan	12
2.3.1 Beban Mati	12
2.3.2 Beban Hidup.....	12
2.3.3 Beban Gempa	12
2.3.4 Kombinasi Pembebanan	29

2.4 Preliminary Desain	29
2.4.1 Perencanaan Dimensi Pelat	29
2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok.....	32
2.4.3 Perencanaan Dimensi Kolom	32
2.4.4 Perencanaan Dimensi Tangga	32
2.5 Elemen Struktur Pracetak.....	33
2.5.1 Balok Pracetak.....	33
2.5.2 Pelat Pracetak	33
2.6 Sambungan Beton Pracetak.....	36
2.6.1 Sambungan Balok ke Kolom.....	37
2.6.2 Sambungan Pelat ke Pelat	38
2.7 Titik-Titik Angkat	39
BAB III METODOLOGI	41
3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir Terapan.....	41
3.2 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir Terapan	42
3.2.1 Pengumpulan Data	42
3.2.2 Pemilihan Kriteria Desain	43
3.2.3 Preliminary Desain.....	43
3.2.4 Pembebaan Struktur	44
3.2.5 Permodelan dan Analisa Stuktur	45
3.2.6 Kontrol Penulangan Struktur.....	47
3.2.7 Perencanaan Sambungan	64
3.2.8 Metode Pelaksanaan	66
3.2.9 Gambar Desain	66

BAB IV PEMBAHASAN	67
4.1 Preliminary Desain	67
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	68
4.1.1.1 Dimensi Balok Induk.....	68
4.1.1.2 Dimensi Balok Anak	69
4.1.2 Perencanaan Dimensi Pelat	70
4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom	71
4.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga	74
4.2 Perencanaan Pelat Pracetak	75
4.2.1 Data Perencanaan Pelat	75
4.2.2 Pembelahan dan Kombinasi Beban Pelat	75
4.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat.....	77
4.2.3.1 Penulangan Akibat Pengangkatan	78
4.2.3.2 Penulangan Sebelum Komposit.....	80
4.2.3.3 Penulangan Sesudah Komposit	82
4.2.4 Cek Pelat Sebagai Diafragma	83
4.2.5 Kontrol Lendutan	88
4.2.6 Kontrol Retak	89
4.2.7 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand.....	90
4.2.8 Panjang Penyaluran Tulangan	91
4.2.9 Kontrol Elemen Pracetak.....	91
4.2.9.1 Kontrol Pengangkatan	91
4.2.9.2 Kontrol Penumpukan.....	94
4.2.9.3 Kontrol Pemasangan.....	96

4.2.9.4 Kontrol Pengecoran.....	98
4.3 Perencanaan Tangga.....	99
4.3.1 Penulangan Pelat Tangga	99
4.3.2 Penulangan Pelat Bordes	101
4.3.3 Penulangan Balok Bordes	103
4.4 Perencanaan Balok Anak.....	105
4.4.1 Pembebanan Balok Anak	105
4.4.2 Perhitungan Tulangan Balok Anak	107
4.4.2.1 Penulangan Akibat Pengangkatan	107
4.4.2.2 Penulangan Sebelum Komposit.....	112
4.4.2.3 Penulangan Sesudah Komposit	117
4.4.2.4 Kontrol Tegangan Akibat Pengangkatan.....	120
4.4.3 Kontrol Elemen Pracetak.....	122
4.4.3.1 Kontrol Penumpukan.....	122
4.4.3.2 Kontrol Pemasangan.....	124
4.4.3.3 Kontrol Pengecoran.....	125
4.5 Perencanaan Balok Lift	127
4.5.1 Pembebanan Balok Lift.....	127
4.5.2 Penulangan Balok Lift.....	128
4.6 Pemodelan Struktur	131
4.6.1 Pembebanan.....	131
4.6.2 Kontrol Pemodelan.....	131
4.6.2.1 Kontrol Partisipasi Massa.....	132
4.6.2.2 Kontrol Periode Getar Struktur	132

4.6.2.3 Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa	133
4.6.2.4Kontrol Batas Simpangan	
136	
4.7 Perencanaan Balok Induk.....	138
4.7.1 Pembebanan Balok Induk.....	139
4.7.2 Perhitungan Tulangan Balok Induk.....	139
4.7.2.1 Penulangan Akibat Pengangkatan	140
4.7.2.2 Penulangan Sebelum Komposit.....	145
4.7.2.3 Penulangan Setelah Komposit.....	150
4.7.2.4 Kontrol Tegangan Akibat Pengangkatan.....	164
4.7.3 Kontrol Elemen Pracetak.....	166
4.7.3.1 Kontrol Penumpukan.....	166
4.7.3.2 Kontrol Pemasangan.....	168
4.7.3.3 Kontrol Pengecoran.....	169
4.8 Perencanaan Kolom.....	170
4.8.1 Analisa Gaya Dalam.....	170
4.8.2 Cek Persyaratan Kolom SRPMK	172
4.8.3 Perencanaan Penulangan Longitudinal	173
4.8.4 Cek Syarat <i>Strong Column Weak Beam</i>	173
4.8.5 Perencanaan Penulangan <i>Confinement</i>	174
4.8.6 Perencanaan Penulangan Geser.....	176
4.8.7 Lap Splices	177
4.8.8 Desain Hubungan Balok Kolom	178
4.8.9 Perhitungan Geser di Joint	178

4.9 Perencanaan Sambungan	179
4.9.1 Sambungan Balok dan Kolom	179
4.9.1.1 Penulangan Konsol pada Kolom	180
4.9.1.2 Perencanaan <i>Reinforced Concrete Bearing</i>	182
4.9.1.3 Perhitungan Sambungan Balok ke Kolom	183
4.9.2 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak	185
4.9.2.1 Penulangan Konsol pada Balok Induk	185
4.9.2.2 Perencanaan <i>Reinforced Concrete Bearing</i>	188
4.9.2.3 Perhitungan Kuat Angkur Baut ke Beton.....	189
4.9.3 Sambungan Pelat dan Balok.....	194
4.10 Metode Pelaksanaan	196
4.10.1 Solusi Tulangan Pracetak yang Berelevasi Sama	196
4.10.2 Metode Pengecoran	196
4.10.3 Metode Pembesian Balok.....	197
BAB V PENUTUP	201
5.1 Kesimpulan.....	201
5.2 Saran.....	202
DAFTAR PUSTAKA.....	203
LAMPIRAN	205

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Geser Desain untuk Balok	7
Gambar 2 Geser Desain untuk Kolom.....	8
Gambar 3 Tulangan transversal pada kolom	9
Gambar 4 Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget	19
Gambar 5 S1 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget	19
Gambar 6 Spektrum Respon Desain	23
Gambar 7 Penentuan Simpangan Antar Lantai	27
Gambar 8 Bentuk Balok Pracetak (a) Balok Persegi, (b) Balok L dan (c) Balok T Terbalik	33
Gambar 9 Hollow-Core Slab.....	34
Gambar 10 Doble-tee Slab	35
Gambar 11 Solid Slab.....	35
Gambar 12 Sambungan Cor In-situ.....	37
Gambar 13 Sambungan Beton Corbel.....	38
Gambar 14 Sambungan Menerus	38
Gambar 15 Pengangkatan dengan Dua Titik Angkat	39
Gambar 16 Pengangkatan dengan Empat Titik Angkat	39
Gambar 17 Pengangkatan dengan Delapan Titik Angkat	40
Gambar 18 Diagram Alir.....	41
Gambar 19 Diagram Alir (Lanjutan).....	42
Gambar 20 Spektrum Respon Desain	45
Gambar 21 Permodelan Struktur	46
Gambar 22 Diagram Alir Penulangan Lentur Pelat	47
Gambar 23 Diagram Alir Penulangan Balok.....	49
Gambar 24 Diagram Alir Penulangan Lentur Balok	51
Gambar 25 Diagram Alir Penulangan Geser Balok Apabila $V_c = 0$	52

Gambar 26 Diagram Alir Penulangan Geser Balok Apabila $V_c \neq 0$	53
Gambar 27 Diagram Alir Penulangan Geser Balok Apabila $V_c \neq 0$ (<i>lanjutan</i>).....	54
Gambar 28 Diagram Alir Penulangan Kolom.....	55
Gambar 29 Diagram Alir Kontrol Elemen Pracetak	57
Gambar 30 Diagram Momen Akibat Pengangkatan 4 Titik Angkat	59
Gambar 31 Diagram Momen Akibat Pengangkatan 2 Titik Angkat	60
Gambar 32 Diagram Momen Akibat Penumpukan 2 Titik Tumpu	61
Gambar 33 Diagram Momen Akibat Penumpukan 3 Titik Tumpuk	62
Gambar 34 Diagram Momen Akibat Pemasangan.....	63
Gambar 35 Sambungan Balok-Kolom	64
Gambar 36 Sambungan Balok-Pelat	65
Gambar 37 Sambungan Balok Induk-Balok Anak	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi Situs Tanah.....	13
Tabel 2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.....	14
Tabel 3 Faktor Keutamaan Gempa.....	17
Tabel 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek	17
Tabel 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik	18
Tabel 6 Koefisien Situs, F_a	20
Tabel 7 Koefisien situs, F_v	21
Tabel 8 Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan.....	22
Tabel 9 R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.	25
Tabel 10 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung	27
Tabel 11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x	27
Tabel 12 Simpangan Antar Lantai Ijin $\Delta aa, b$	28
Tabel 13 Tabel minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung	30
Tabel 14 Konversi Umur Beton	58
Tabel 15 Data Perencanaan Gedung.....	67
Tabel 16 Data Perencanaan Pembebatan Bangunan.....	67
Tabel 17 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	69
Tabel 18 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak	69
Tabel 19 Tipe Pelat.....	70
Tabel 20 Mpr pada Balok induk.....	155

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya terdiri atas 10 lantai, memiliki denah yang tipikal di tiap lantainya. Gedung tersebut dibangun menggunakan beton bertulang dengan sistem beton cor ditempat (*cast in place*) dengan Sistem Open Frame.

Beton merupakan komponen utama dari bangunan. Umumnya pekerjaan beton/ pengecoran dilakukan di tempat, metode ini sangat bergantung terhadap cuaca yang dapat menyebabkan keterlambatan proses konstruksi. Oleh sebab itu, dipilih metode pracetak sebagai pengganti metode cor di tempat. Selain dapat menghindari keterlambatan karena terjaganya kontinuitas pekerjaan, metode pracetak diyakini dapat menghasilkan kualitas beton yang lebih baik karena pengawasan dapat dilakukan lebih cermat dan ketepatan akurasi dimensi, serta mereduksi kebisingan di lokasi konstruksi, karena komponen pracetak dibuat di tempat lain (Ervianto, 2006).

Beton pracetak akan lebih efektif digunakan jika volume pekerjaan komponen pracetak lebih besar $\pm 2200 \text{ m}^3$ atau termasuk bangunan bertingkat tinggi (Soetjipto, 2004). Hansson B. pada tahun 1996 melakukan perbandingan bangunan hotel dengan tipe denah identik menggunakan metode beton pracetak dan metode cor di tempat hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi waktu dengan beton pracetak mencapai $\pm 40\%$ dibandingkan dengan metode cor di tempat.

Dari uraian di atas, maka dalam Tugas Akhir Terapan (TAT) ini penulis melakukan modifikasi struktur yang semula menggunakan metode cor di tempat menjadi pracetak pada elemen balok dan pelat. Dengan sistem struktur yang digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena Kategori Desain Seismik (KDS) bangunan D.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pokok dari uraian di atas adalah bagaimana merancang struktur gedung perkuliahan menggunakan metode pracetak. Adapun rincian permasalahan dari perancangan modifikasi struktur gedung ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain komponen beton pracetak balok dan pelat.
2. Bagaimana merancang sambungan pracetak.
3. Bagaimana metode pelaksanaan penulangan balok pracetak.

1.3 Tujuan

Dengan rumusan masalah di atas maka tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan struktur pracetak.
2. Dapat menghasilkan sambungan pracetak.
3. Dapat membuat metode pelaksanaan penulangan balok pracetak.

1.4 Batasan Masalah

1. Menggunakan metode pracetak hanya pada elemen balok induk dan pelat, sedangkan untuk kolom dan tangga menggunakan metode cor in situ.
2. Beton pracetak yang digunakan adalah beton pracetak biasa (bukan prategang).
3. Perencanaan ini tidak meninjau manajemen konstruksi, utilitas, arsitektural dan perhitungan pondasi.
4. Luaran dari metode pelaksanaan balok pracetak berupa gambar bestek penulangan balok pracetak.
5. Tidak menghitung dan membandingkan durasi pekerjaan, volume dan anggaran biaya.

1.5 Manfaat

1. Dapat merencanakan struktur elemen balok dan pelat menggunakan metode pracetak.

2. Dapat merancang detail sambungan pracetak.
3. Menambah wawasan mengenai metode pelaksanaan penulangan balok pracetak.

1.6 Data Bangunan

Data yang digunakan untuk Tugas Akhir Terapan ini memiliki kondisi sebagai berikut :

Nama Gedung	: Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga.
Lokasi	: Mulyorejo, Surabaya
Fungsi	: Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
Jumlah lantai	: 10 lantai
Tinggi gedung	: 48,00 m
Panjang gedung	: 12,45 m
Lebar gedung	: 35,5 m
Material	: Beton bertulang
Sistem struktur	:Open Frame (Struktur Rangka Pemikul Momen)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Beton pracetak adalah beton yang pengecorannya dan perawatannya dilakukan di lokasi yang bukan tempat akhirnya (Elliot, 2002). Menurut SNI 2847:2013, beton pracetak adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Beton pracetak pada dasarnya adalah material bentang sederhana. Bagaimanapun, dapat berkesinambungan dan secara efektif dicapai dengan detail sambungan yang dibuat sangat teliti dengan dan tanpa menggunakan cor di tempat (*PCI Design Handbook 7th Edition*). Pada dasarnya beton pracetak tidaklah berbeda dengan beton konvensional, yang membedakan hanyalah pada tempat fabrikasinya.

2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 9 suatu bangunan gedung diharuskan memiliki sistem struktur yang sesuai dengan faktor daya tahan terhadap gempa sesuai dengan Kategori Desain Seismic (KDS). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus digunakan untuk bangunan dengan KDS B, C, D, E dan F.

Beban gempa dapat dianalisa dengan analisis gaya lateral ekivalen, spectrum respon ragam dan prosedur riwayat respon seismic. Penentuan analisa yang digunakan dipilih berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 13. Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respon harus dihitung menggunakan property masing-masing ragam untuk spectrum respons dibagi dengan kuantitas (R/I_e) dalam SNI 1726:2012 pasal 7.9.2. Dimana nilai R (koefisien modifikasi respons) untuk SRPMK adalah 8 (SNI 1726:2012 tabel 9). Sedangkan nilai I_e (factor keutamaan gempa)

bergantung pada kategori resiko bangunan pada SNI 1726:2012 tabel 2.

Pendetailan elemen struktur pada SRPMK berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5 - 21.8, dengan ketentuan berikut:

1. Balok

a. Pembatasan Dimensi Balok (Pasal 21.5.1.2 – 21.5.1.4)

- Bentang bersih untuk komponen struktur (l_n) $< 4 \times$ tinggi efektif (d)
- Lebar komponen $b_w \geq 0,3$ tinggi balok (h)
 $b_w \geq 250 \text{ mm}$

b. Tulangan Longitudinal (Pasal 21.5.2)

- Luasan tulangan atas maupun bawah tidak boleh kurang dari berikut :

$$A_{s,min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d$$

dan tidak lebih kecil dari $\frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$

- Rasio tulangan (ρ) $< 0,025$
- Paling sedikit 2 batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah
- $M_{muka joint}^+ > \frac{1}{2} M_{muka joint}^-$
- $M_{sebarang penampang}^{+/-} > \frac{1}{4} M_{maks}$

c. Tulangan Transversal (Pasal 21.5.3)

- Sengkang harus dipasang sepanjang $2h$, pada muka balok ke tengah bentang di kedua ujung balok.

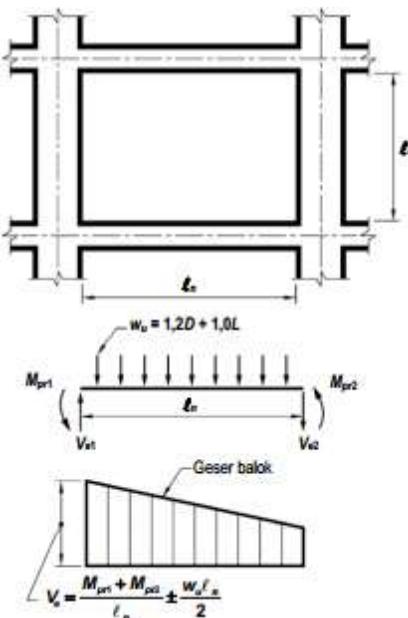
- Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka kolom

- Spasi sengkang tertutup (S) $\leq \frac{d}{4}$
 $S \leq 6 \times$

Diameter tulangan lentur terkecil (D)

$$S \leq 150 \text{ mm}$$

d. Kekuatan Geser (21.5.4)



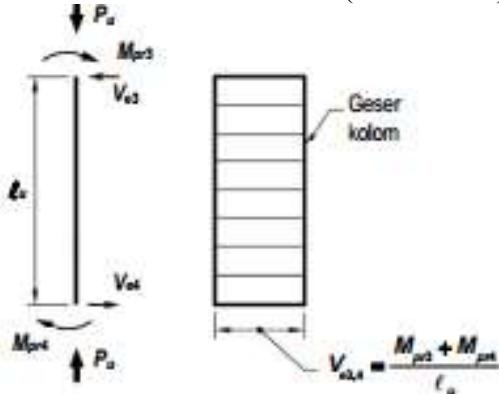
Gambar 1 Geser Desain untuk Balok
(SNI 2847:2013)

- Arah gaya geser V_e tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung
- Momen ujung M_{pr} berdasarkan tegangan tarik baja sebesar $1,25 f_y$
- Tulangan transversal yang ditempatkan sepanjang $2h$, harus dipropsorsikan untuk menahan geser dengan asumsi $V_c = 0$, bilamana :
 - $V_e \geq \frac{1}{2} V_{maks}$
 - $P_u < \frac{Ag \times f'_c}{20}$

2. Kolom

- Pembatasan dimensi (Pasal 21.6.1.1)
 - Dimensi terpendek $\geq 300mm$

- Rasio dimensi penampang terpendek penampang terhadap dimensi tegak lurus $\geq 0,4$
- b. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur (Pu) melebihi $\frac{Ag \times FC}{10}$ (Pasal 21.6.1)
- c. Kekuatan lentur minimum kolom (Pasal 21.6.2)



Gambar 2 Geser Desain untuk Kolom
(SNI 2847:2013)

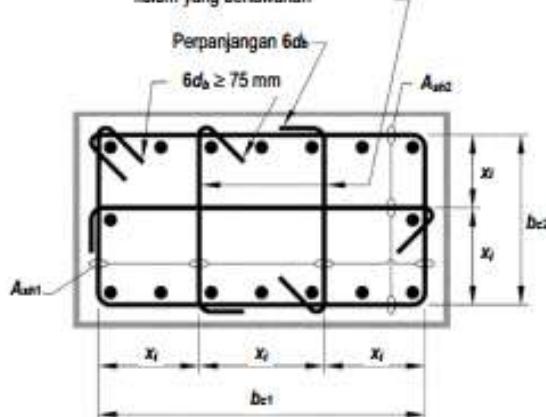
- $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
 $\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint
 $\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint
- d. Tulangan Memanjang (Pasal 21.6.3)
 Luas tulangan memanjang (A_{st}) $\geq 0,01$ luas penampang (A_g)
 $A_{st} \leq 0,06 A_g$
- e. Tulangan Transversal (Pasal 21.6.4)
 - Tulangan transversal dipasang sepanjang $l_0 \geq$ tinggi komponen pada muka joint

$$l_0 \geq \frac{1}{6} ln_{kolom}$$

$$l_0 \geq 450 \text{ mm}$$

- Spasi tulangan tranversal sepanjang l_0
- $$(S) \leq \frac{1}{4} \text{ dimensi komponen struktur minimum}$$
- $$S \leq 6 \times \text{Diameter kolom longitudinal}$$
- $$S \leq S_o$$
- Untuk $S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$
Nilai S_o tidak boleh melebihi 150mm dan tidak kurang dari 100mm. Untuk nilai h_x seperti dijelaskan pada gambar.

Pengikat silang berturutan yang memegang batang tulangan longitudinal yang sama mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi kolom yang berlawanan



Dimensi x_i dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm.. Rumus h_x yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

Gambar 3 Tulangan transversal pada kolom
(SNI 2847:2013)

- Luas penampang total tulangan sengkang persegi (A_{sh}) tidak boleh kurang dari

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \times b_c \times f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \times b_c \times f'_c}{f_{yt}}$$

3. Joint Rangka Momen Khusus

a. Tulangan geser

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.7.3.1 tulangan transversal yang terpasang pada sendi plastis kolom harus dipasang juga pada daerah hubungan balok-kolom. Bila dimensi lebar balok yang merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom memiliki dimensi tiga per empat dimensi lebar kolom, maka tulangan transversal yang harus dipasang didaerah hubungan balok-kolom boleh direduksi setengah dari yang dipasang pada daerah sendi plastis kolom dan spasi yang diizinkan pada kondisi tersebut diperbesar menjadi 150 mm serta tulangan ini harus dipasang mulai dari sisi terbawah balok yang merangka ke hubungan balok-kolom. (SNI 2847:2013 Pasal 21.7.3.2)

b. Panjang penyaluran batang tulangan dalam kondisi tarik (Pasal 21.7.5)

- Panjang penyaluran dengan kait 90° (l_{dh}) $> 8 \times d_b$

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} > \frac{f_y \times d_b}{5,4 \times \sqrt{f'_c}}$$

- Panjang penyaluran batang tulangan lurus

$$l_d > 2,5 l_{dh} \text{ (tinggi balok} < 300 \text{ mm)}$$

$$l_d > 3,25 l_{dh} \text{ (tinggi balok} > 300 \text{ mm)}$$

4. SRPMK beton pracetak

Berdasarkan Pasal 21.8.2 nilai kekuatan geser (V_n) seperti berikut:

$$V_n = A_{vf} \times f_y \times \mu$$

Tidak kurang dari 2 kali V_e

Sambungan mekanis tulangan beton harus ditempatkan tidak lebih dekat dari $\frac{h}{2}$ dari muka joint.

Keterangan,

- f_y = Parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang periode pendek
- fc = Faktor modifikasi respons
- M = Momen
- M_{pr} = kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25 f_y$ dan faktor reduksi kekuatan sebesar 1.0
- ΣM_{nc} = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang terendah
- ΣM_{nb} = Jumlah kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam joint
- l_0 = Panjang, yang diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus harus disediakan
- b_c = Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh} ,

A_{ch}	= Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal
f_{yt}	= Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan fy
μ	= Koefisien friksi
V_n	= Kekuatan geser nominal
A_{vf}	= Luas tulangan geser-friksi

2.3 Pembebaan

2.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap yang tidak terpisahkan dari bangunan selama masa layannya. Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, kladding gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (SNI 1727:2013 Pasal 3.1.1).

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bertumpu pada bangunan yang memiliki kemungkinan untuk lepas dari bangunan tersebut. Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

2.3.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa, perlu diketahui klasifikasi situs tanah dan percepatan yang terjadi pada batuan dasar.

- a. Klasifikasi Situs Tanah

Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismic terdapat pada SNI 1726:2012 Pasal 5, mengenai definisi kelas situs pada pasal 5.3 tabel 3 SNI 1726:2012 mengklasifikasikan situs tanah kedalam 6 kelompok. Pengelompokan berdasarkan:

Tabel 1 Klasifikasi Situs Tanah

Kelas Situs	\bar{v}_s (m / detik)	N atau N_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, PI > 20 2. Kadar air, w $\geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis resoin spesifik – situs	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3m) 		

yang mengikuti 6.10.1)	<ul style="list-style-type: none"> - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa
---------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*N/A = Not Applicable

b. Kategori Risiko Bangunan Gedung

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

Tabel 2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

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

<ul style="list-style-type: none"> - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 	IV

<ul style="list-style-type: none"> - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabel 3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

c. Kategori Desain Seismik

Semua struktur harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desain, S_{DS} dan S_{DI} .

Tabel 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

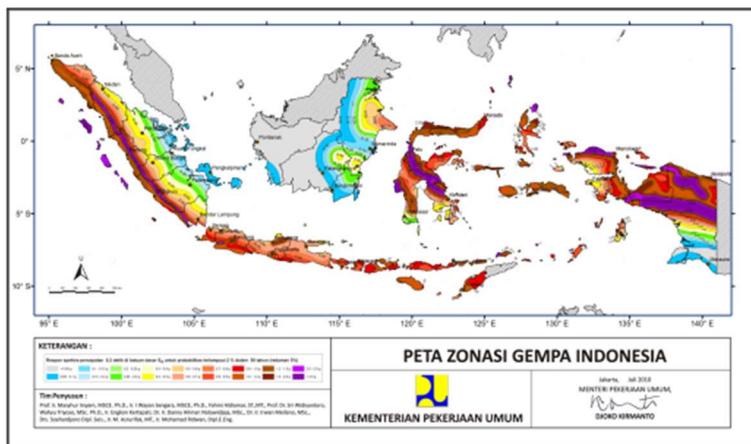
Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV

$S_{DS} < 0,167$	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

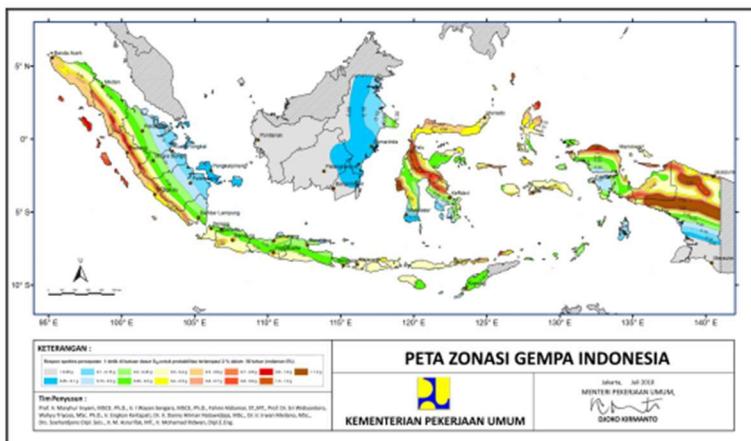
Tabel 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{DS}	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

Untuk menentukan nilai S_{DS} dan S_{DI} dapat diperoleh dari parameter nilai percepatan respons spektral gempa (S_S) dan (S_s) yang ada pada gambar peta gempa Indonesia



Gambar 4 Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (SNI 1726:2012)



Gambar 5 SI Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (SNI 1726:2012)

Percepatan respons spektrum MCE untuk periode singkat (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2012 yaitu:

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

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

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek

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

Dimana nilai F_a dan F_v didapatkan berdarkan tabel 2.6 dan tabel 2.7 dibawah ini yang didapatkan dari peraturan SNI 1726-2012 pasal 6.2.

Tabel 6 Koefisien Sitas, Fa

Kelas Sitas	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,3	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS	SS	SS	SS	SS

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai S_a dapat dilakukan interpolasi linier

- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dari analisis respons situs-spesifik. Lihat 6.10.1

Tabel 7 Koefisien situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁				
	S _s ≤ 0,1	S _s = 0,2	S _s = 0,3	S _s = 0,4	S _s ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS	SS	SS	SS	SS

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai S_a dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dari analisis respons situs-spesifik. Lihat 6.10.1

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

d. Prosedur Analisis

Analisis struktur harus terdiri dari salah satu tipr yang diijinkan dalam tabel 13 SNI 1726:2012, berdasarkan pada kategori desain seismic struktur, sistem struktur, property dinamis dan keteraturan,

atau dengan persetujuan pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diijinkan untuk digunakan (SNI 1726:2012 pasal 7.6)

Tabel 8 Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respon ragam Pasal 7.9	Prosedur riwayat respons seismik Pasal 11
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakaturan horizontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN: Dijinkan, TI: Tidak Dijinkan

e. Spektrum Respon Desain

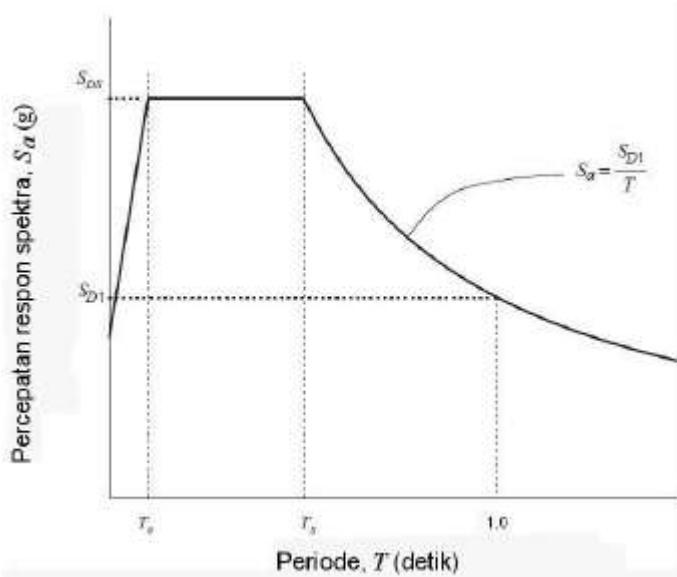
Analisis dinamik adalah analisa struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

- Analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.
- Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

Pada Tugas Akhir Terapan ini penentuan beban gempa dilakukan dengan metode analisa ragam respon spektrum. Respon Spektrum

adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur, T, dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu.

Metode analisa ragam respon spektrum dapat diterapkan pada bangunan tinggi untuk memperoleh besaran respon struktur yaitu simpangan horizontal lantai bangunan. Parameter simpangan lantai sangat penting untuk keperluan perencanaan karakteristik dinamis struktur dan membantu proses perencanaan awal bangunan.



Gambar 6 Spektrum Respon Desain

Sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.4:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Ketentuan untuk perhitungan respons spectrum:

- Untuk $T < T_0$, nilai Sa sebagai berikut:

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

- Untuk $T \geq T_0$, nilai $Sa = S_{DS}$

- Untuk $T > T_S$, nilai $Sa = \frac{S_{D1}}{T}$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan property masing-masing ragam dan spectrum respons dibagi dengan kuantitas (R/ I_e) berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.2.

f. Pemilihan Sistem Struktur

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertical dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam tabel 9 SNI 1726:2012. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertical yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur pada Tabel 9 SNI 1726:2012. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antarlantai tingkat desain (SNI 1726:2012 pasal 7.2.1).

Tabel 9 R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^c	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_a (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10 ^{1/2}	TI ^f	TI'
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	TI ^f	TI ^f	TI'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI

g. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal orthogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.

$$V = C_s W$$

Keterangan,

C_s = Koefisien respons seismic yang ditentukan

W = Berat seismic efektif

Dimana nilai C_s harus ditentukan sesuai persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{Ie}\right)}$$

Namun tidak perlu melebihi persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{Ie}\right)}$$

Dan tidak kurang dari persamaan:

$$C_s = 0,044 S_{DS} Ie \geq 0,01$$

Keterangan,

S_{ds} = Parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang periode pendek

R = Faktor modifikasi respons

Ie = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan

h. Perioda Fundamental

Penentuan perioda fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (Cu) dari tabel 14 SNI 1726:2012 dan perioda fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan melalui persamaan:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan,

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

C_t = Koefisien ditentukan dari tabel 15 SNI 1726:2012

x = Koefisien ditentukan dari tabel 15 SNI 1726:2012

Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menggunakan perioda fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a yang dihitung sesuai persamaan diatas.

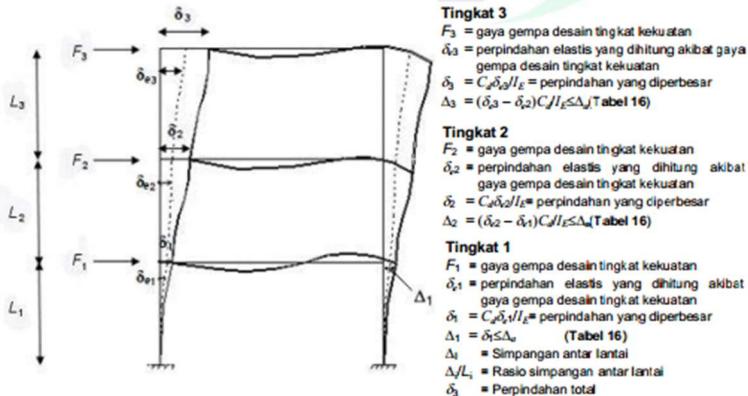
Tabel 10 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D_1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memiliki 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Sebuah sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

i. Simpangan Antar Lantai



Gambar 7 Penentuan Simpangan Antar Lantai
(SNI 1726:2012)

Defleksi pusat massa di tingkat ke-x (δ_x) harus ditentukan dengan persamaan:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan,

C_d = Faktor amplifikasi defleksi dalam tabel 12

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan

Nilai δ_{xe} didapatkan dari analisa menggunakan program bantu SAP 2000. Dimana nilai δ_x tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti didapatkan dari tabel 16 SNI 1726:2012 untuk semua tingkat (SNI 1726:2012 pasal 7.12.1).

Tabel 12 Simpangan Antar Lantai Ijin $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{ex}^c	0,020 h_{ex}	0,015 h_{ex}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	0,010 h_{ex}	0,010 h_{ex}	0,010 h_{ex}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{ex}	0,007 h_{ex}	0,007 h_{ex}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{ex}	0,015 h_{ex}	0,010 h_{ex}

^a h_{ex} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x.

^b Untuk sistem penahanan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan Pasal 7.12.1.1.

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dari Pasal 7.12.3 tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

Untuk nilai kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) dari hasil analisa struktur yang lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_t}$ untuk arah x maupun y.

Keterangan:

V = Geser dasar prosedur gaya lateral ekivalen yang dihitung

V_t = Geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan

2.3.4 Kombinasi Pembebanan

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

Beban ultimate:

1. 1,4D
2. 1,2D +1,6L
3. 1,2D + 1,6L
4. 1,2D + 1,0Ex + 1,0L
5. 1,2D + 1,0Ey + 1,0L
6. 0,9D + 1,0Ex
7. 0,9D + 1,0Ey

Beban layan :

1. D
2. D + L
3. D + 0,75L

Keterangan:

- | | |
|---|---------------|
| D | = Beban Mati |
| L | = Beban Hidup |
| E | = Beban Gempa |

2.4 Preliminary Desain

2.4.1 Perencanaan Dimensi Pelat

a. Perencanaan tebal pelat satu arah

Pelat satu arah merupakan konstruksi pelat dimana rasio bentang panjang dengan bentang pendek sama dengan lebih dari 2. Tebal minimum pelat ditentukan sesuai persyaratan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 tabel 9.5(a) sesuai untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang

besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh merugikan.

Tabel 13 Tabel minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen Struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar				
Pelat masif satu-arah	1 / 20	1 / 24	1 / 28	1 / 10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1 / 16	1 / 18,5	1 / 21	1 / 8
<u>CATATAN:</u>	<p>panjang bentang dalam mm.</p> <p>nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan mutu 420 mpa. untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagaimana berikut:</p> <p>(a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), w_e, di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_e)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.</p>			

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

- b. Perencanaan tebal pelat dua arah

Konstruksi pelat dua arah terjadi apabila rasio bentang panjang dengan bentang pendek kurang dari 2. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.3, untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- (a) Untuk $\alpha_{fm} \leq 0,2$, harus menggunakan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.2, yaitu:

1. Tebal pelat tanpa panel drop 120 mm

2. Tebal pelat dengan panel drop 100 mm

- (b) Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2$ tebal minimum pelat (h) harus memenuhi

$$h = \frac{\ell n x \left(0,8 + \frac{f_y}{400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- (c) Untuk $\alpha_{fm} \geq 2$ tebal minimum pelat (h) harus memenuhi

$$h = \frac{\ell n x \left(0,8 + \frac{f_y}{400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Keterangan:

α_{fm} = Nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel

ℓn = Panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok

f_y = Tegangan leleh baja tulangan

β = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek pelat

Setelah penentuan tipe pelat dan tebal pelat total yang digunakan, kemudian menentukan tebal elemen pelat pracetak yang dibatasi oleh kemampuan angkat tower crane. Lebar dari elemen pelat pracetak tidak lebih dari 3,7 m (SNI 2847:2013 Pasal 16.4.1). Tumpuan untuk elemen pelat pracetak dalam arah bentang

paling sedikit ln/180, akan tetapi tidak kurang dari 50 mm (SNI 2847:2013 Pasal 16.6.2.2).

2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok

Preliminary dimensi balok untuk perencanaan dimensi elemen struktur balok, syarat ketinggian dimensi ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 sesuai Tabel 9.5(a) berlaku untuk konstruksi yang tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar. Sedangkan untuk penentuan lebar balok dapat ditentukan duapertiga dari tinggi balok. Setelah penentuan tebal balok total (pracetak dan *overtopping*) yang digunakan, ditentukan tebal balok elemen pracetak yaitu tebal balok total dikurangi tebal total.

2.4.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi (\emptyset)= 0,65.

$$A = \frac{W}{\emptyset \times f_{c'}}$$

Dimana :

- A = Luas penampang kolom
- W = Beban aksial yang diterima kolom
- \emptyset = Faktor reduksi
- $f_{c'}$ = Kuat tekan beton

2.4.4 Perencanaan Dimensi Tangga

Preliminary dimensi tangga, dalam merencanakan dimensi anak tangga dan bordes digunakan persyaratan sebagai berikut:

$$60 \text{ cm} \leq (2t + i) \leq 65 \text{ cm}$$

Dimana :

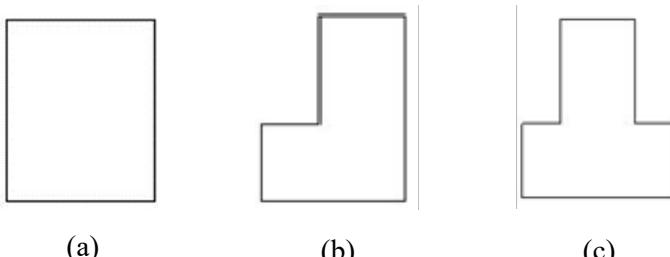
- t = Tanjakan dengan $t \leq 25 \text{ cm}$
 - i = Injakan dengan $25 \text{ cm} \leq i \leq 40 \text{ cm}$
- Syarat kemiringan tangga ($25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$).

2.5 Elemen Struktur Pracetak

2.5.1 Balok Pracetak

Balok adalah elemen struktur yang fungsi utamanya untuk menahan beban yang disebabkan oleh pelat. Dalam elemen pracetak untuk balok pada beberapa tujuan harus mendukung beban yang diakibatkan dari plat, sehingga harus dapat menahan seluruh kemungkinan kombinasi pembebanan. Kondisi balok direncanakan dalam keadaan sebelum komposit serta kondisi setelah komposit.

Dalam bentuk balok pracetak dibagi menjadi 3 macam yaitu balok persegi (*Rectangular Beam*), Balok L (*Ledger Beam*), Balok T terbalik (*Inverted Tee Beam*). Fungsi dari berbagai macam bentuk balok digunakan untuk tumpuan di plat pada bagian dalam struktur maupun bagian luar struktur.



Gambar 8 Bentuk Balok Pracetak (a) Balok Persegi, (b) Balok L dan (c) Balok T Terbalik

(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete. 2010)

2.5.2 Pelat Pracetak

Pelat merupakan elemen struktur horizontal. Pada pelat beton pracetak, ketika pengangkatan dan sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total diterima oleh pelat ketika sesudah komposit. Beberapa jenis pelat yang umum diproduksi sebagai elemen pracetak, diantaranya:

1. Pelat *Precast Berlubang (Hollow-Core Slab)*

Pelat tipe ini biasanya digunakan untuk prategang. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 2 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 15 inchi.



*Gambar 9 Hollow-Core Slab
(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete.2010)*

2. Pelat T Ganda

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. 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 feet.



*Gambar 10 Doble-tee Slab
(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete.2010)*

3. Pelat Tanpa Lubang (*Solid Slab*)

Pelat pracetak tanpa lubang adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar yang bervariasi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 5 hingga 35 feet.



Gambar 11 Solid Slab

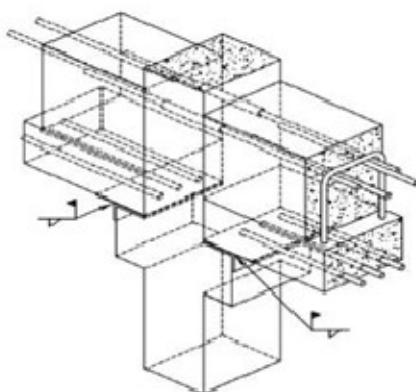
(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete.2010)

2.6 Sambungan Beton Pracetak

Efektifitas suatu desain dan konstruksi tergantung dari ketepatan penggunaan sambungan untuk memenuhi semua kondisi pembebanan. Dalam sebuah bangunan struktur, sambungan akan menjadi salah satu unsur penting dalam sistem struktur. Respon sebuah struktur tergantung dari kelakuan dan karakteristik sambungannya. Tata letak struktur, pengaturan stabilisasi elemen, desain sistem struktur, detail sambungan harus dibuat dengan konsistensi dan penuh ketelitian yang kesemuanya didasarkan pada sifat sebuah struktur.

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, perencana harus mengetahui bagaimana sebuah sambungan dapat mempengaruhi aliran gaya melalui struktur yang terkena gaya horizontal atau pun vertikal. Sambungan struktur terintegrasi langsung dengan elemen struktur yang berdekatan. Lalu desain dan detail sambungan dipengaruhi oleh desain dan detail dari elemen struktur yang akan disambung. Sambungan dapat diklasifikasikan berbeda tergantung dari elemen struktur yang akan disambung dan gaya yang harus di tahan.

Sambungan Cor *In-situ* merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan topping. Elemen pracetak yang telah berada di tempatnya akan di cor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang utuh. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah (*wet connection*). Sambungan ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya.

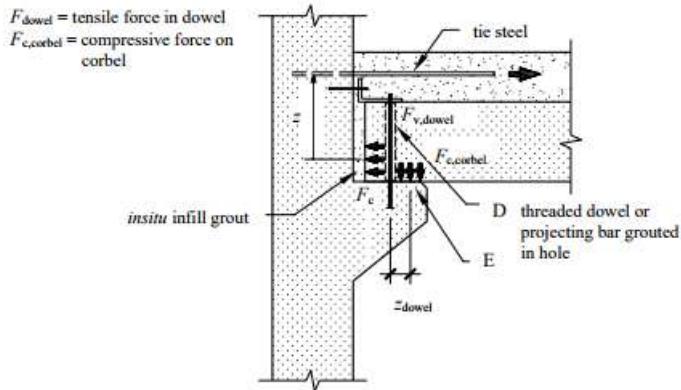


*Gambar 12 Sambungan Cor In-situ
(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete.2010)*

2.6.1 Sambungan Balok ke Kolom

Sambungan balok ke kolom adalah sambungan yang paling penting dalam struktur rangka pracetak. Dalam perencanaan sambungan ini harus mengetahui sifat dari balok pada saat mengalami lentur, yaitu dengan cara mengontrol defleksi yang terjadi, syarat stabilitas kolom dalam rangka dan kapasitas tekuk kolom.

Sambungan beton corbel adalah salah satu proyeksi dari kantilever dengan bentang pendek, terletak pada muka kolom dan menjadi pendukung elemen pracetak horizontal di atasnya. Sambungan ini digunakan ketika hal terkait estetika sambungan tidak diutamakan.



Gambar 13 Sambungan Beton Corbel

2.6.2 Sambungan Pelat ke Pelat

Sambungan pelat ke pelat perlu ditinjau jika pelat direncanakan dua arah. Sambungan menerus adalah ketika dua tulangan saling meneruskan untuk membuat tulangan menjadi satu garis. Panjang dari tulangan yang diteruskan tergantung dari ukuran, kuat beton, dan spasinya. desain sambungan berdasarkan prinsip kesetimbangan daktilitas. Joint pada sambungan di asumsikan sebagai komponen yang mudah rapuh sehingga harus diberikan kapasitas yang cukup untuk meamastikan bahwa lentur atau tarik yang menyebabkan keretaka tidak terjadi di joint melainkan di elemen sambungan betonnya., di mana daktilitas dapat di dapat dengan tulangan biasa. Berikut contoh gambar sambungan menerus.

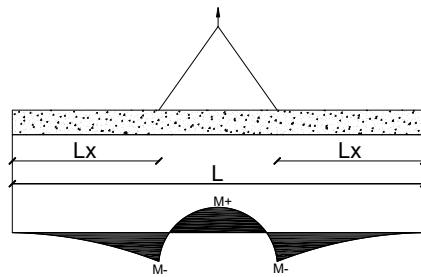


Gambar 14 Sambungan Menerus

2.7 Titik-Titik Angkat

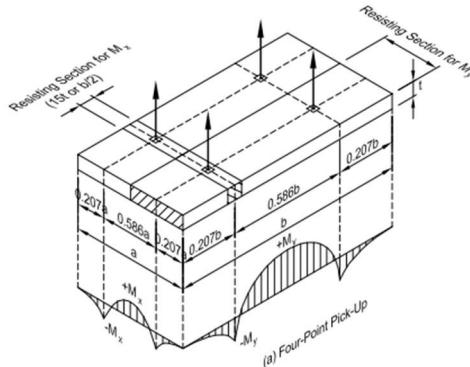
Titik angkat harus diletakkan untuk menjaga elemen pracetak agar tegangan yang dipikulnya tidak melebihi batas dan untuk membuat elemen dapat diangkat. Ada beberapa titik angkat yang disyaratkan untuk mengangkat elemen dari cetakan maupun saat akan melakukan pemasangan dalam *PCI 7th Edition*.

1. Dua Titik Angkat



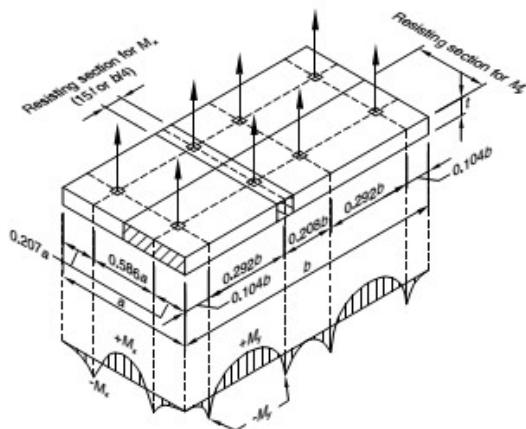
Gambar 15 Pengangkatan dengan Dua Titik Angkat

2. Empat Titik Angkat



*Gambar 16 Pengangkatan dengan Empat Titik Angkat
(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete.2010)*

3. Delapan Titik Angkat



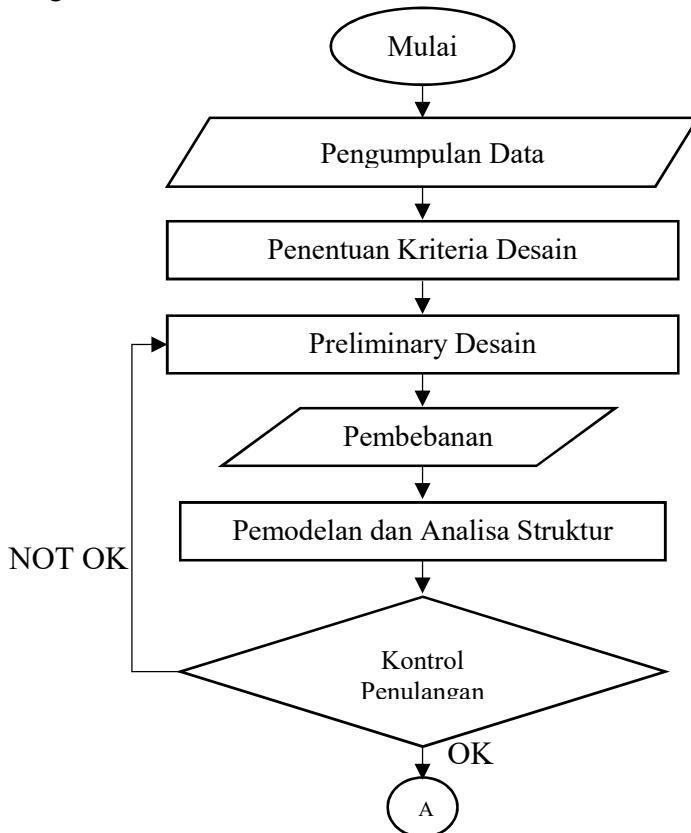
*Gambar 17 Pengangkatan dengan Delapan Titik Angkat
(PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed
Concrete.2010)*

Dalam melakukan pengangkatan elemen pracetak akan mengakibatkan momen. Oleh karena itu, sebelum dilakukan pengangkatan pada elemen pracetak harus dipilih alternatif terbaik untuk pengangkatan elemen pracetak tersebut. Dengan demikian elemen pracetak tersebut terjamin dari kerusakan serta aman dalam operasionalnya.

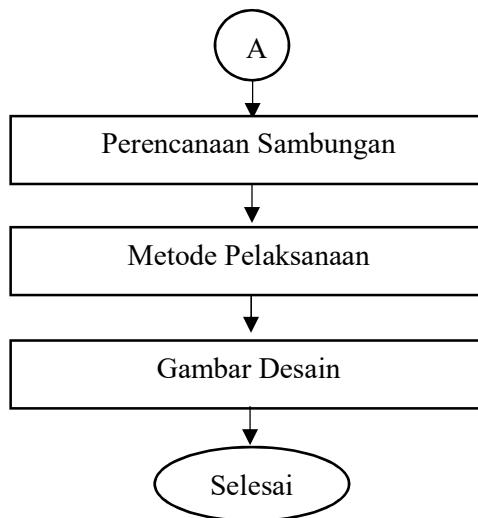
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir Terapan

Metodologi dalam penyelesaian tugas akhir terapan ini akan menguraikan dan menjelaskan urutan pelaksanaan penyusunan tugas akhir terapan yang akan dijelaskan dalam diagram alir berikut ini :



Gambar 18 Diagram Alir



Gambar 19 Diagram Alir (Lanjutan)

3.2 Metodologi Penggerjaan Tugas Akhir Terapan

Dari diagram alir di atas akan dijelaskan mengenai metodologi yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir terapan seperti di bawah ini :

3.2.1 Pengumpulan Data

Mengumpulkan data yang meliputi data gambar dan data tanah dilakukan untuk dapat mengerjakan tugas akhir terapan ini. Dari pengumpulan data ini didapatkan data bangunan sebagai berikut :

- Data Tanah : Berdasarkan N-SPT tanah lokasi pembangunan termasuk kelas situs tanah lunak

- Data Gambar : Gambar struktur
 (terlampir)
 Gambar arsitektur
 (terlampir)

3.2.2 Pemilihan Kriteria Desain

Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respon spectral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismic E. struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada periode 1, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismic F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasar kategori resikonya dan parameter respons spectral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} (SNI 1726:2012 pasal 6.5).

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di Surabaya dengan kelas situs SE (tanah lunak). Berdasarkan Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010, Surabaya mempunyai percepatan batuan dasar periode pendek, S_s sebesar 0,6 dan percepatan batuan dasar periode 1 detik , S_1 sebesar 0,25 sehingga diperoleh parameter percepatan respon spektra desain untuk perioda pendek, S_{DS} sebesar 0,6 dan parameter percepatan respon spektra desain untuk perioda 1, S_{D1} sebesar 0,5. Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 6 dan tabel 7 maka ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismic D.

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 9 didapatkan bahwa kriteria desain yang sesuai dengan kategori desain seismic yang ada adalah sebagai sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus.

3.2.3 Preliminary Desain

Desain elemen struktur tidak menggunakan pracetak sepenuhnya, melainkan komposit dengan dicor di tempat. Adapun

referensi buku dalam perencanaan dimensi elemen pracetak balok dan pelat 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* 12x2,4x1,5 m dengan kapasitas maksimum 30 ton.

- Pelat : menentukan tebal pelat
- Balok : menentukan dimensi b x h
- Kolom : menentukan dimensi b x h
- Tangga : menentukan tebal pelat tangga

3.2.4 Pembebanan Struktur

1. Beban

- Beban Mati

Beban mati yang dihitung pada struktur ini antara lain:

- a. Berat sendiri beton bertulang
- b. Beban dinding (bata ringan atau partisi)
- c. Beban keramik+spesi
- d. Beban penggantung plafond
- e. Beban plafond
- f. Beban *mechanical electrical equipment*
- g. Beban lift

- Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan (SNI 1727:2013 tabel 4). Untuk ruang kelas beban hidup ditentukan sebesar 192 kg/m^2 .

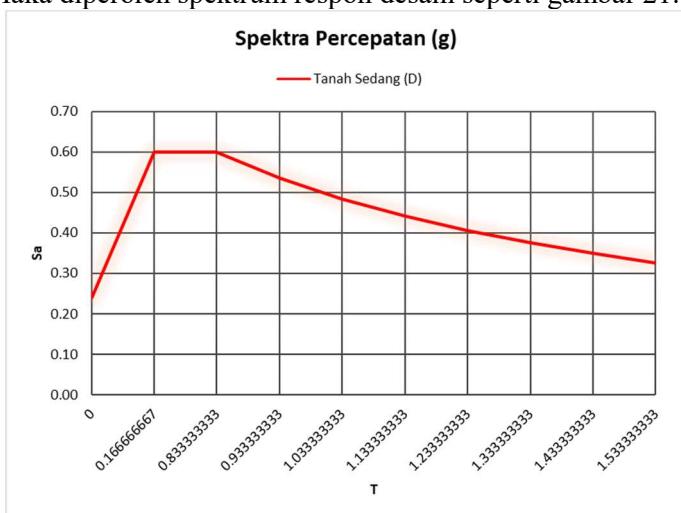
- Beban Gempa

Beban gempa dihitung berdasarkan prosedur pada sub bab 2.3.3 mengenai beban gempa.

$$\begin{array}{lcl} \text{Klasifikasi situs tanah} & = & \text{SE (Tanah Lunak)} \\ & & (\text{N} = 1,8) \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Kategori resiko bangunan} & = & \text{IV} \end{array}$$

	(Jenis pemanfaatan = Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan)
Faktor keutamaan gempa	= 1,5 (Kategori risiko = IV)
Kategori desain seismik = D ($S_{DS} = 0,6$) (berdasarkan S_{DS})	
Kategori desain seismik = D ($S_{D1} = 0,5$) (berdasarkan S_{D1})	
Maka diperoleh spektrum respon desain seperti gambar 21.	

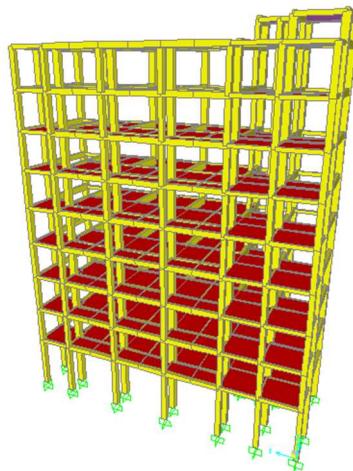


Gambar 20 Spektrum Respon Desain

3.2.5 Permodelan dan Analisa Struktur

Dalam tugas akhir ini komponen pracetak akan dimodelkan pada saat setelah komposit. Elemen pelat pracetak dimodelkan sebagai pelat satu arah yang mana beban akan didistribusikan setengah ke kanan dan setengah ke kiri, antar pelat pracetak akan dimodelkan sambungan basah (*overtopping*). Sedangkan pada elemen balok anak akan *direlease* terhadap balok induk diharapkan momen pada tumpuan sama dengan 0 karena

tidak menggunakan sambungan momen. Output dari pemodelan ini yaitu untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi pada balok, pelat dan kolom, serta untuk melakukan control perilaku struktur.

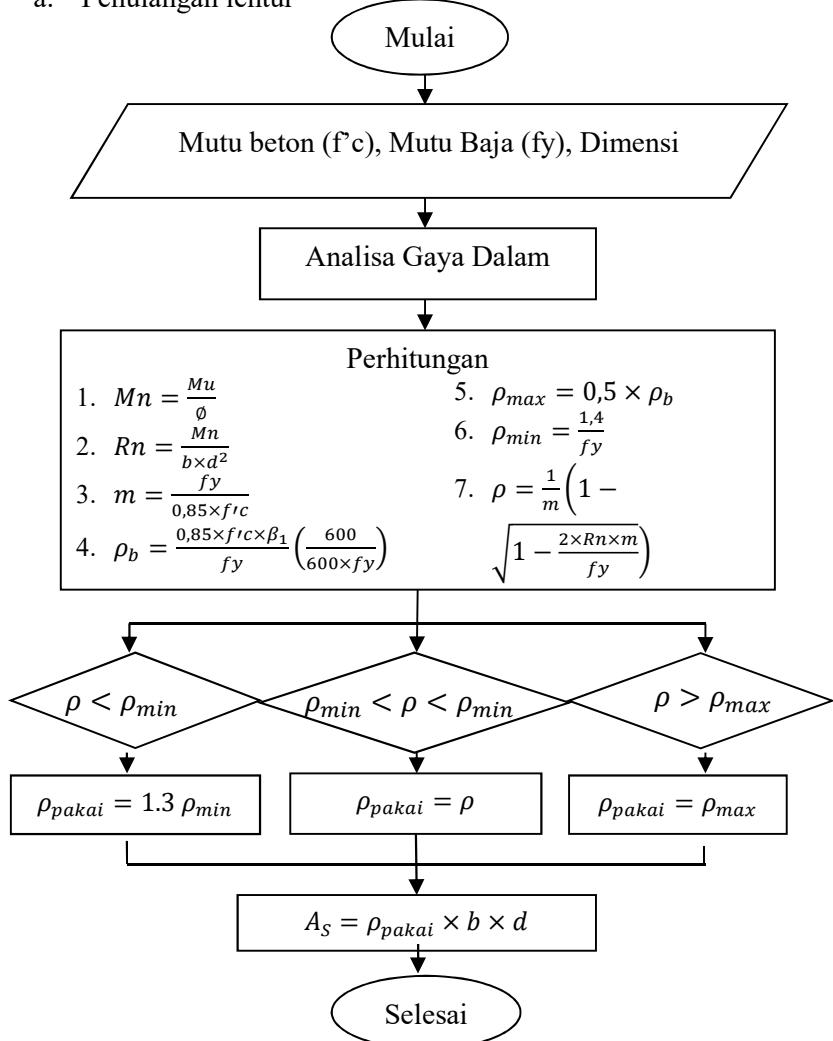


Gambar 21 Permodelan Struktur

3.2.6 Kontrol Penulangan Struktur

1. Penulangan Pelat

a. Penulangan lentur



Keterangan,

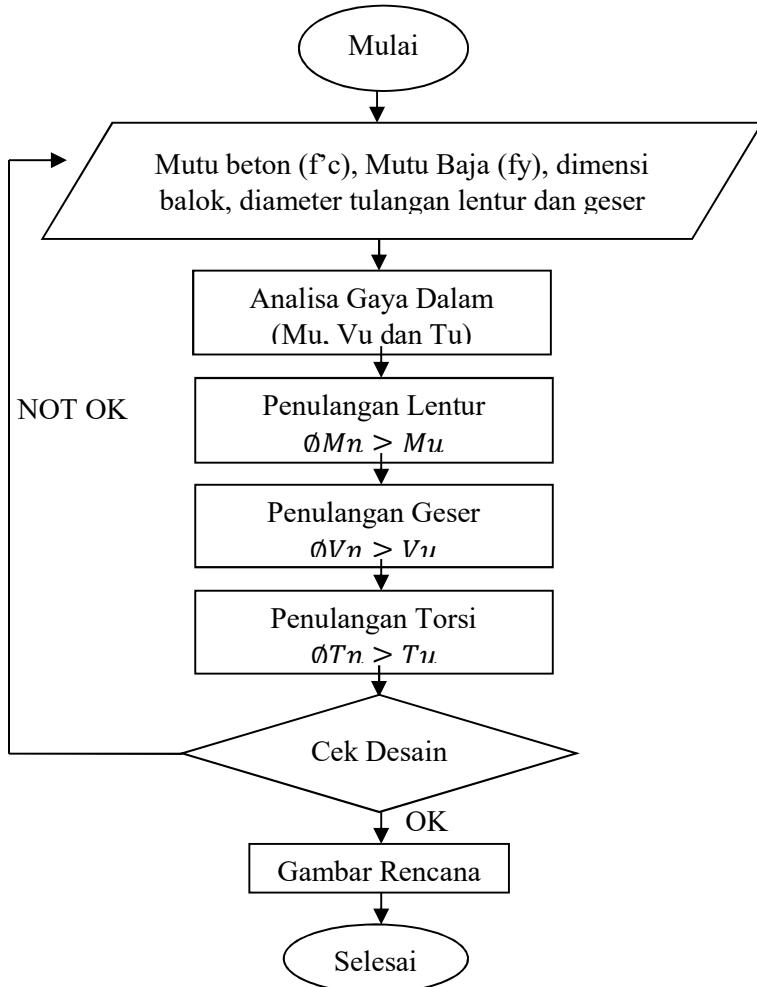
Mutx	=	Momen ultimate tumpuan x
Muty	=	Momen ultimate tumpuan y
Mulx	=	Momen ultimate lapangan x
Muly	=	Momen ultimate lapangan y
Mn	=	Momen nominal
As	=	Luas tulangan

b. Penulangan Susut

Perhitungan kebutuhan tulangan susut merujuk pada peraturan SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1. Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

- a. Slab yang menggunakan batang tulangan ulir Mutu 280 atau 350 adalah 0,0020
- b. Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 adalah 0,0018
- c. Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen adalah $\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

2. Penulangan Balok

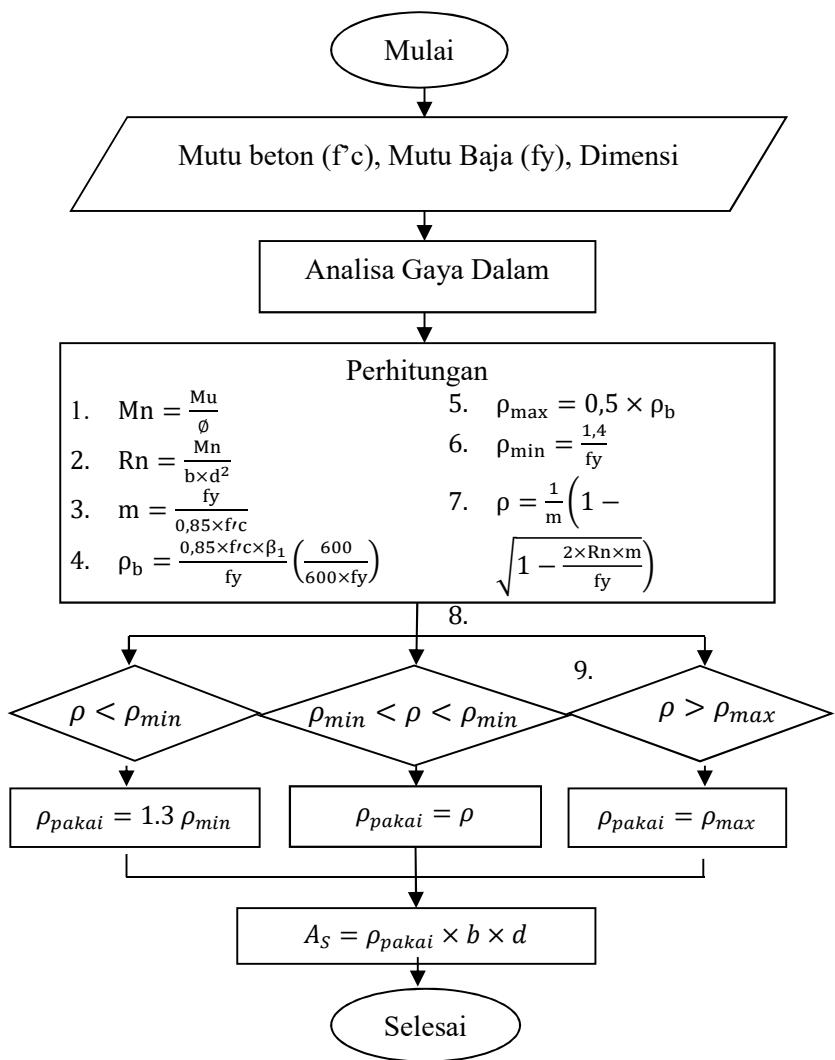


Gambar 23 Diagram Alir Penulangan Balok

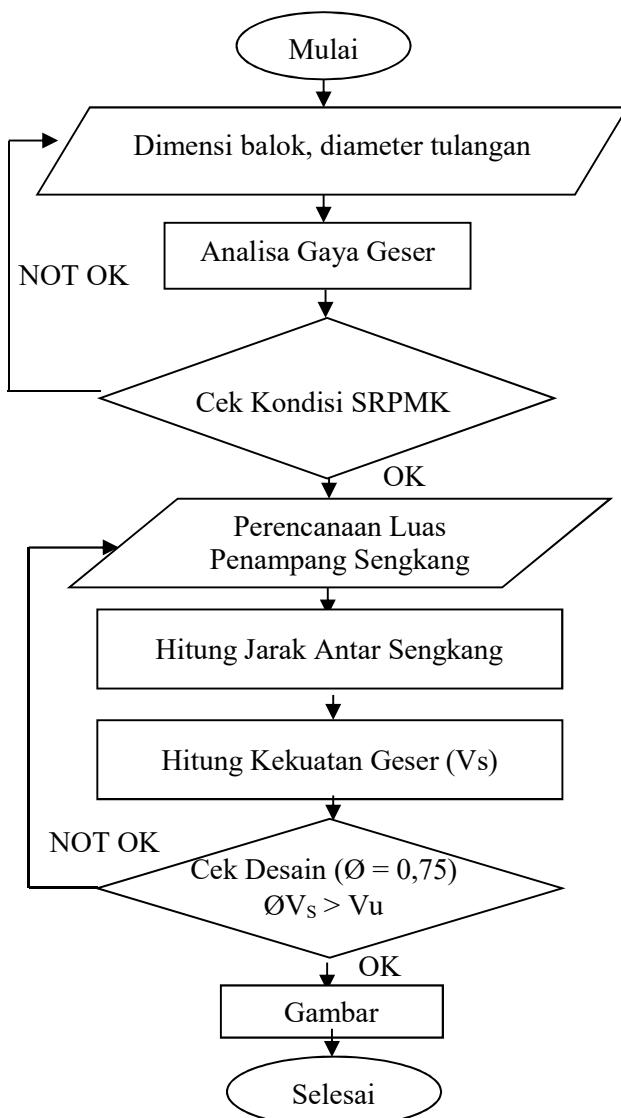
Keterangan,

Mu	=	Momen ultimate tumpuan x
Nu	=	Momen ultimate tumpuan y
Vu	=	Gaya geser ultimate
Tu	=	Momen ultimate lapangan x
Mn	=	Momen ultimate lapangan x
Vn	=	Gaya geser nominal
Tn	=	Momen torsi nominal

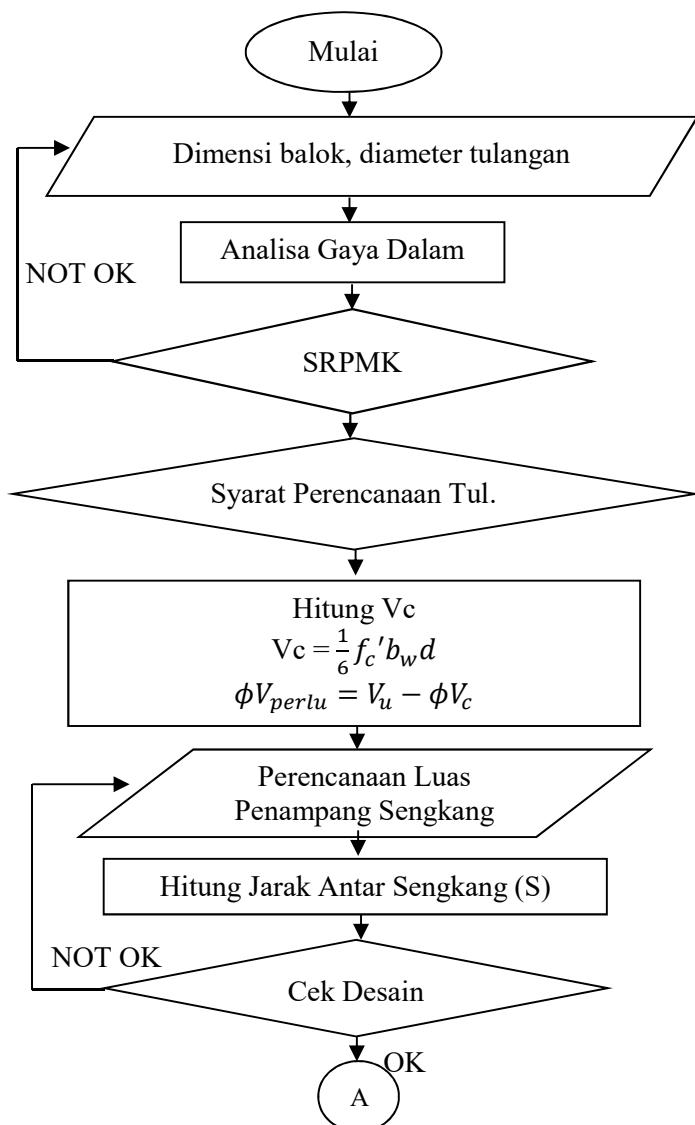
Untuk penulangan lentur tunggal prosedur perhitungannya mengikuti diagram alir pada gambar 24 dan gambar 25.



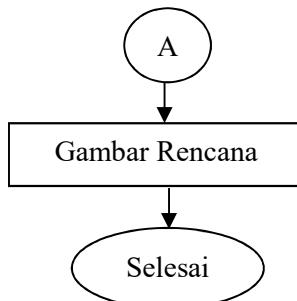
Gambar 24 Diagram Alir Penulangan Lentur Balok



Gambar 25 Diagram Alir Penulangan Geser Balok Apabila $V_c = 0$



Gambar 26 Diagram Alir Penulangan Geser Balok Apabila $V_c \neq 0$



Gambar 27 Diagram Alir Penulangan Geser Balok Apabila $V_c \neq 0$ (lanjutan)

Cek Desain

1. Perhitungan Tulangan Lentur dan Geser
Kontrol desain untuk penulangan lentur dan geser mengikuti ketentuan pada sub bab 2.2 mengenai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada persyaratan pendetailan elemen balok pada poin 1.
2. Kontrol Retak Tulangan
Berdasarkan Pasal 11.5 SNI 2847:2013 pengaruh torsi boleh diabaikan apabila :

$$T_U \leq \emptyset \times 0,83 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

Keterangan :

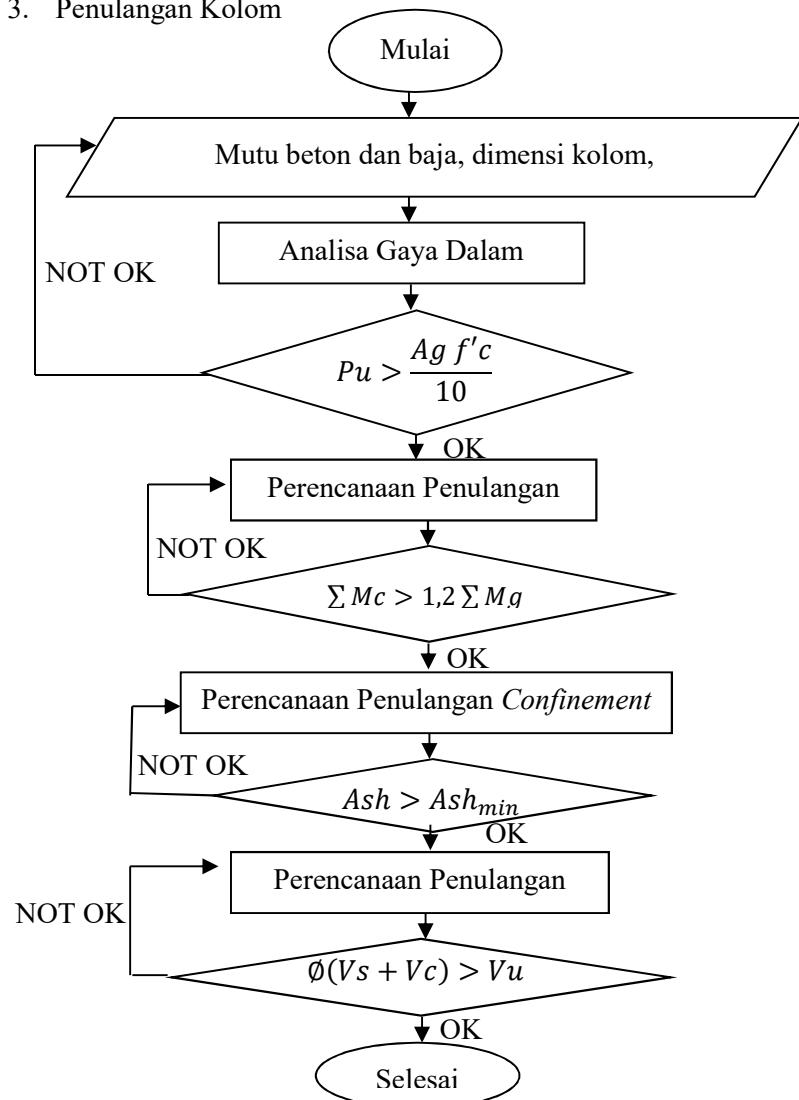
\emptyset = 0,75 (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)

T_U = Kekuatan torsi terfaktor

A_{cp} = Luas penampang beton

p_{cp} = Keliling penampang beton

3. Penulangan Kolom



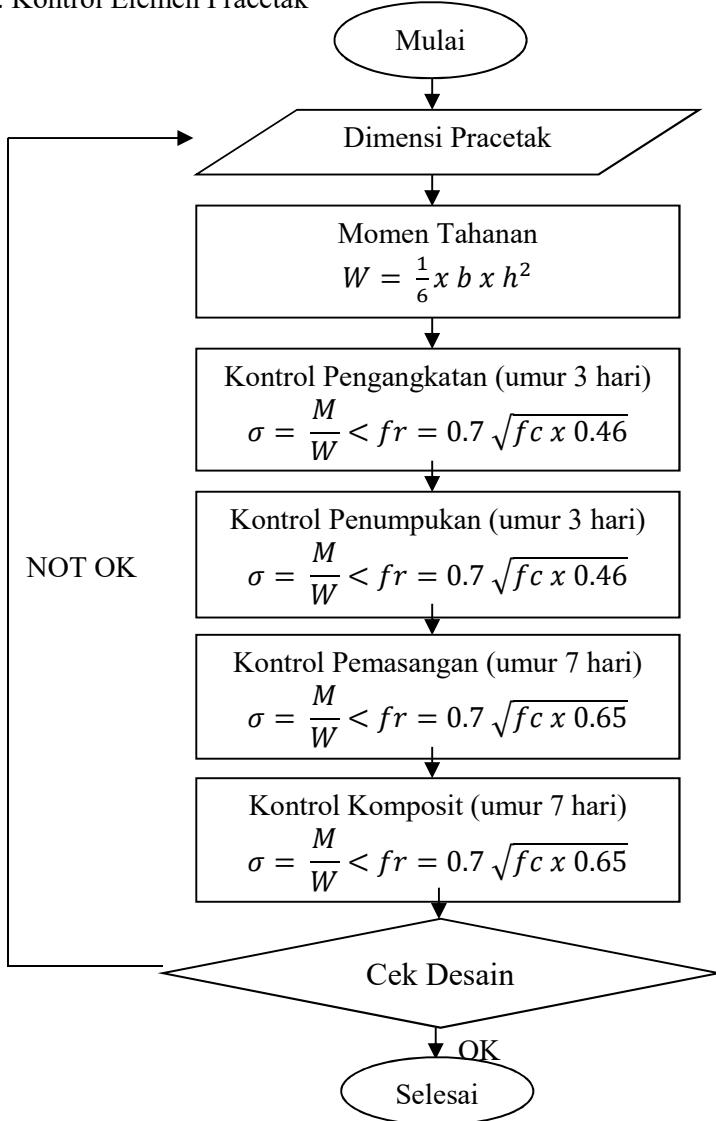
Gambar 28 Diagram Alir Penulangan Kolom

Keterangan,

Mu	= Momen lentur ultimate
Vu	= Gaya geser ultimate
Pu	= Gaya aksial ultimate
Ag	= Luas bruto penampang beton
fc'	= Kuat tekan beton
ΣM_c	= Jumlah momen dua kolom yang bertemu di satu titik
ΣM_g	= Jumlah momen dua balok yang bertemu di satu titik
Ash	= Luas tulangan
s max	= Jarak maksimum antar tulangan
h	= Tinggi kolom
D	= Diameter tulangan memanjang
Vs	= Kekuatan geser nominal oleh tulangan geser
Vc	= Kekuatan geser nominal oleh beton
Vu	= Gaya geser terfaktor pada penampang

Pada tugas akhir ini kolom direncanakan dengan metode *cast in situ* dengan pendetailan penulangan kolom sesuai ketentuan pada sub bab 2.2.2 mengenai kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Program bantu PCACOL digunakan pada perhitungan ini untuk mendapatkan nilai interkasi antar momen balok serta aksial kolom. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.9.1 luas tulangan longitudinal Ast untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0,01 Ag dan tidak lebih besar dari 0,08 Ag.

5. Kontrol Elemen Pracetak



Gambar 29 Diagram Alir Kontrol Elemen Pracetak

Keterangan,

b	= Lebar elemen pracetak
h	= Tebal elemen pracetak
W	= Momen tahanan
M	= Momen ultimate elemen
fr	= Modulus hancur beton
fc	= Kuat tekan beton

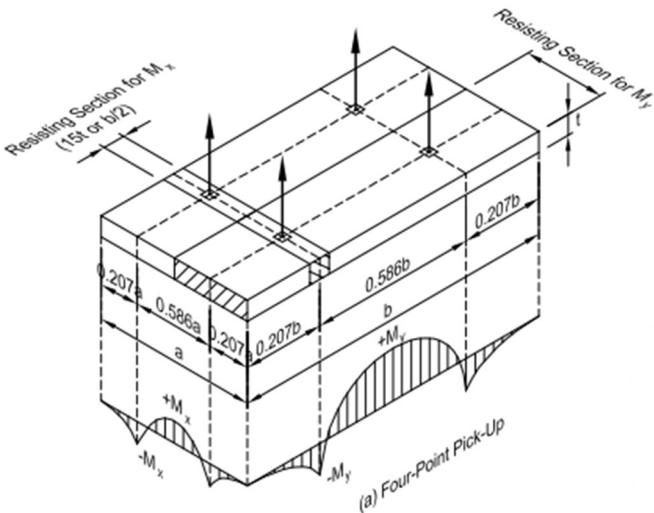
Metode pracetak adalah salah satu metode pembuatan suatu struktur elemen bangunan yang dilakukan dengan pengawasan dan ketelitian yang tinggi. Sehingga dalam prosesnya dari awal fabrikasi, penempatan di storage serta pemasangan harus melalui beberapa control elemen guna memastikan bahwa elemen struktur tersebut dalam kondisi yang optimal saat setelah pemasangan yang disertai cor in situ. Berikut tabel yang menampilkan umur elemen pracetak sesuai dengan waktu.

Tabel 14 Konversi Umur Beton

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28
Semen Portland Biasa	0.4	0.65	0.88	0.95	1.00
Semen Portland dengan Kekuatan Awal Tinggi	0.55	0.75	0.90	0.95	1.00

- Kontrol Pengangkatan

Pengangkatan beton pracetak dilakukan pada beton berumur 3 hari yang kemudian dibawa ke proyek. Elemen pelat pracetak direncanakan menggunakan 4 titik angkat sedangkan elemen balok pracetak direncanakan menggunakan 2 titik angkat. Beban yang bekerja adalah berat sendiri pracetak.



Gambar 30 Diagram Momen Akibat Pengangkatan 4 Titik Angkat

Momen yang terjadi,

$$+M_x = -M_x = 0.0107 wa^2b$$

$$+M_y = -M_y = 0.0107 wab^2$$

Keterangan,

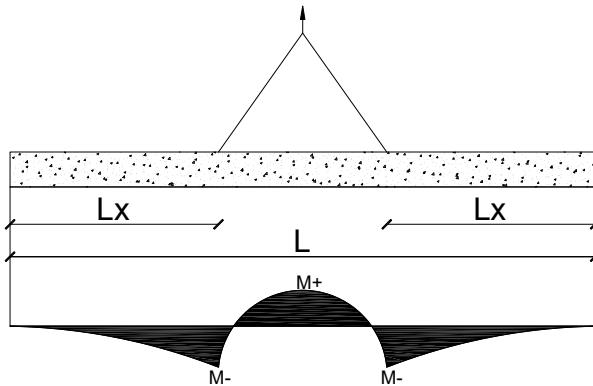
M_x = Momen sumbu x

M_y = Momen sumbu y

w = Berat per unit area

a = Lebar elemen pracetak

b = Panjang elemen pracetak



Gambar 31 Diagram Momen Akibat Pengangkatan 2 Titik Angkat

Momen yang terjadi,

$$M^+ = \frac{q_u x l^2}{8} x_1 - 4x + \frac{4x Y_c}{L \tan \theta}$$

$$M^- = \frac{q_u x (x \times l^2)}{2}$$

$$x = \frac{1 + \frac{4x Y_c}{L \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4x Y_c}{L \tan \theta} \right)} \right)}$$

Keterangan,

q_u = Beban ultimate yang bekerja saat pengangkutan

L = Panjang elemen balok pracetak

θ = Sudut yang dibentuk saat pengangkatan

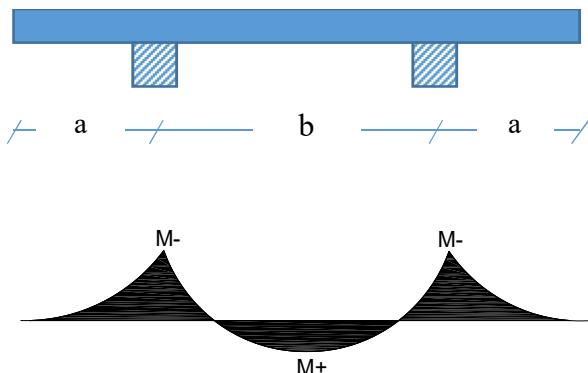
$$Y_b = Y_t = \frac{h_{pracetak}}{2}$$

$$Y_c = Y_t + \text{decking}$$

- Kontrol Penumpukan

Beton pracetak diangkat kemudian ditumpuk di *flatbed truck* untuk diangkut dari pabrik menuju lokasi proyek. Sesampainya di lokasi proyek beton pracetak juga ditumpuk di *stock yard*. Antar elemen pracetak diberi balok kayu. Beban yang bekerja saat penumpukan adalah berat sendiri pracetak dan beban pekerja.

1. Penumpukan dengan 2 titik tumpu

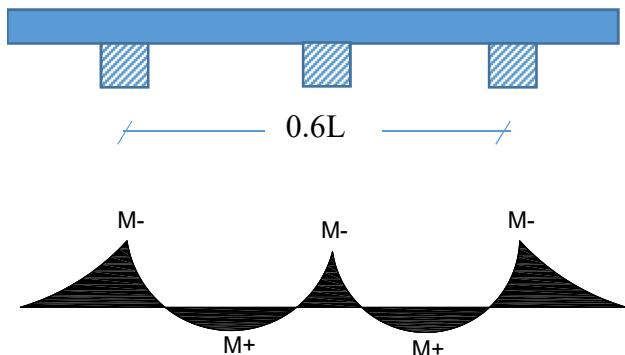


Gambar 32 Diagram Momen Akibat Penumpukan 2 Titik Tumpu

$$M+ = \frac{q_u \times b^2 - 4a^2}{8}$$

$$M- = \frac{q_u \times a^2}{2} + P_u \times a$$

2. Penumpukan dengan 3 titik tumpu



Gambar 33 Diagram Momen Akibat Penumpukan 3 Titik Tumpuk

$$M+ = \frac{q_u x (0.6L)^2}{8}$$

$$M- = \frac{q_u x (0.6L)^2}{10} + \frac{P_u x 0.6L}{4}$$

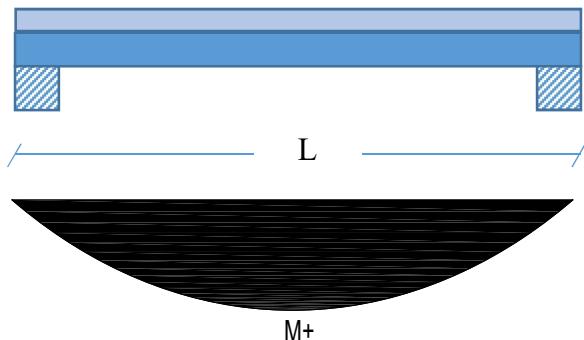
Keterangan,

- M- = Momen tumpuan
- M+ = Momen lapangan
- qu = Beban ultimate yang bekerja
- Pu = Beban yang bekerja
- L = Panjang bentang

- Kontrol Pemasangan

Pemasangan elemen pracetak pada posisi sebenarnya dilakukan saat umur beton 7 hari. Beban yang bekerja adalah

berat sendiri pracetak, beban *overtopping* beton dan beban pekerja.



Gambar 34 Diagram Momen Akibat Pemasangan

$$M_+ = \frac{q_u x L^2}{8}$$

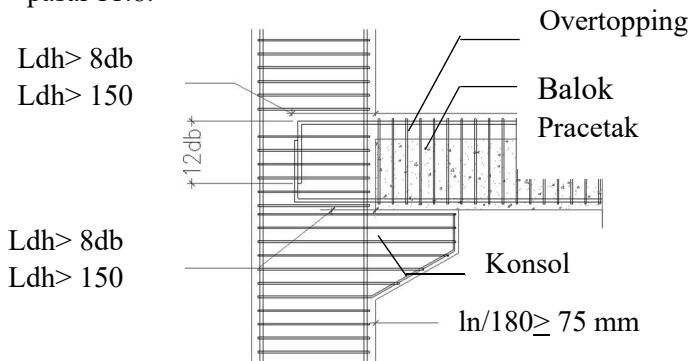
Keterangan,

- | | | |
|-------|---|-----------------------------|
| M_+ | = | Momen lapangan |
| q_u | = | Beban ultimate yang bekerja |
| P_u | = | Beban yang bekerja |
| L | = | Panjang bentang |

3.2.7 Perencanaan Sambungan

1. Sambungan Balok Pracetak dengan Kolom

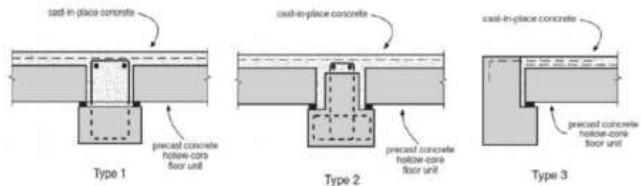
Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus besifat kaku atau monolit. Sambungan balok-kolom direncanakan dengan menggunakan sambungan beton corbel dengan overtopping seperti pada gambar berikut. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Untuk perhitungan perencanaan konsol mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 11.8.



Gambar 35 Sambungan Balok-Kolom

2. Sambungan Balok Pracetak dengan Pelat Pracetak

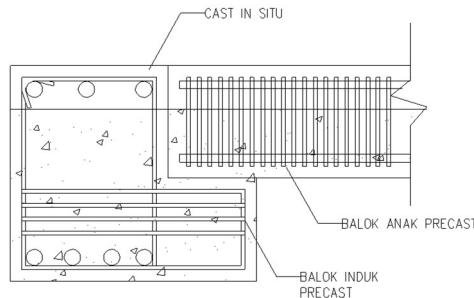
Sambungan balok dan pelat direncanakan dengan overtopping pada balok pracetak dan pelat pracetak minimum 50 mm. Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai SNI 2847:2013 pasal 7.13. Grouting dilakukan pada tumpuan atau bidang kontak antara pelat pracetak dengan balok pracetak. Sehingga didapatkan sambungan yang monolit.



Gambar 36 Sambungan Balok-Pelat

3. Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Pada sambungan antara balok anak dengan balok induk, balok anak direncanakan dengan sistem brakit dengan overtopping seperti pada Gambar 38 berikut. Untuk spesifikasi dan perhitungan perencanaan konsol mengacu pada SNI 2847:2013 Pasal 11.8.



Gambar 37 Sambungan Balok Induk-Balok Anak

4. Sambungan Pelat dengan Pelat

Untuk pelat yang direncanakan satu arah maka pada sambungan pelat dan pelat digunakan sambungan basah yaitu dengan *overtopping* dengan tulangan atas menerus tanpa penyaluran tulangan bawah.

3.2.8 Metode Pelaksanaan

Output dari metode pelaksanaan dalam tugas akhir terapan ini adalah gambar kerja (*shopdrawing*) penulangan balok pracetak.

3.2.9 Gambar Desain

Hasil perhitungan dituangkan dalam bentuk gambar.

1. Gambar arsitektur
 1. Gambar denah
 2. Gambar tampak
 3. Gambar potongan
2. Gambar struktur
 4. Gambar balok
 5. Gambar kolom
 6. Gambar pelat
 7. Gambar tangga
 8. Gambar penulangan balok
 9. Gambar penulangan kolom
 10. Gambar penulangan pelat
 11. Gambar penulangan tangga
 12. Gambar detail sambungan

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Desain

Sebelum melakukan preliminary desain perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban rencana yang diterima oleh struktur bangunan. Berikut data perencanaan struktur gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Univeristas Airlangga:

Tabel 15 Data Perencanaan Gedung

Lokasi	: Mulyorejo, Surabaya
Fungsi	: Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
Jumlah lantai	: 10 lantai
Tinggi gedung	: + 48,00 m
Panjang gedung	: 12,45 m
Lebar gedung	: 35,5 m
Struktur Bangunan	: Beton pracetak
Mutu Beton ($f'c$)	: 35 Mpa
Mutu Baja (fy)	: 390 Mpa

Tabel 16 Data Perencanaan Pembebanan Bangunan

1.	Beban Mati		
	Berat sendiri beton bertulang	: 2400 kg/m ³	(SNI 2847:2013)
	Dinding bata ringan	: 99 kg/m ²	(Brosur LeichtBrick)
	Dinding partisi	: 12,50 kg/m ²	(Brosur NusaBoard)
	Keramik	: 20,50 kg/m ²	(Brosur Keramik Roman)
	Spesi (3 mm)	: 5 Kg/m ²	(Brosur Mortar Utama)

	Plafond dan penggantung plafond	: 5,03 kg/m ²	(Brosur NusaBoard)
	Mechanical Ducting	: 19 kg/m ²	(ASCE-7-2002)
2.	Beban Hidup		
	Ruang kelas	: 192 kg/m ²	(SNI 1727:2013)
3.	Beban Gempa Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726:2012		

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Dimensi balok dihitung sesuai persyaratan pada sub bab 2.4.2 mengenai perencanaan dimensi balok.

4.1.1.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan dengan dua tumpuan sederhana. Dalam tugas akhir ini balok dengan bentang terbesar yaitu 7,2 meter digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi balok induk.

Perhitungan tinggi balok induk (h):

$$h_{min} = \frac{720}{12} x \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 34,30 \text{ cm} \text{ digunakan } h = 60 \text{ cm}$$

Perhitungan lebar balok induk (b):

$$b = \frac{2}{3} x 34,30 = 22,87 \text{ cm} \text{ digunakan } b = 40 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan dimensi balok induk sebesar 40/60 untuk bentang 7,2 m.

Tabel 17 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode Balok Induk	Bentang (cm)	Hmin (cm)	b (cm)	Hpakai (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)
B1	430	34,30	22,87	60	40	40/60
B2	720	57,43	38,29	60	40	40/60
B3	480	38,29	25,52	60	40	40/60
B4	502,5	40,08	26,72	60	40	40/60
B5	240	19,14	12,76	60	40	40/60

4.1.1.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan dengan dua tumpuan sederhana. Dalam tugas akhir ini balok dengan bentang terbesar yaitu 7,2 meter digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi balok induk.

Perhitungan tinggi balok anak (h):

$$h_{min} = \frac{720}{21} x \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 32,82 \text{ cm} \text{ digunakan } h = 40 \text{ cm}$$

Perhitungan lebar balok anak (b):

$$b = \frac{2}{3} x 32,82 = 21,88 \text{ cm} \text{ digunakan } b = 25 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan dimensi balok anak sebesar 25/40 untuk bentang 7,2 m.

Tabel 18 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok Anak	Bentang (cm)	Hmin (cm)	b (cm)	Hpakai (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)
BA1	430	19.60	13.07	40	25	25/40
BA2	480	21.88	14.59	40	25	25/40

BA3	720	32.82	21.88	40	25	25/40
-----	-----	-------	-------	----	----	-------

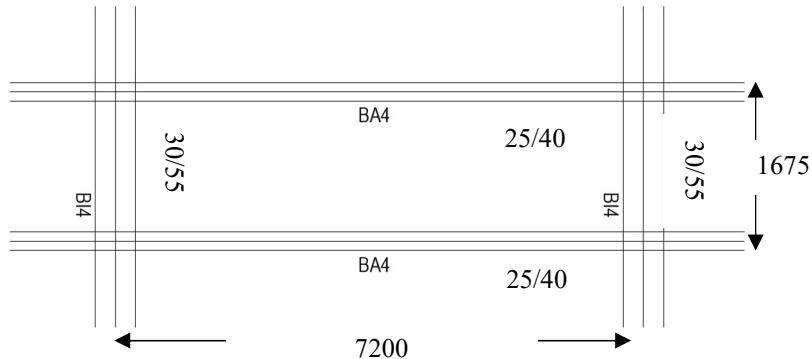
4.1.2 Perencanaan Dimensi Pelat

Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 5 tipe pelat yang memiliki ukuran sebagai berikut:

Tabel 19 Tipe Pelat

1.	Tipe P1	: 4300 x 1200 mm
2.	Tipe P2	: 7200 x 1200 mm
3.	Tipe P3	: 4800 x 1200 mm
4.	Tipe P4	: 7200 x 1675 mm

Dalam tugas akhir ini pelat tipe P4 dengan dimensi terbesar yaitu 7200 x 1675 mm digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi tebal pelat dengan nilai L_n dan S_n sebagai berikut:



$$L_n = 7200 - \left(\frac{300}{2} + \frac{300}{2} \right) = 6900 \text{ mm}$$

$$S_n = 1675 - \left(\frac{250}{2} + \frac{250}{2} \right) = 1425 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{6900}{1425} = 4,84$$

$\beta > 2$, maka tergolong pelat 1 arah

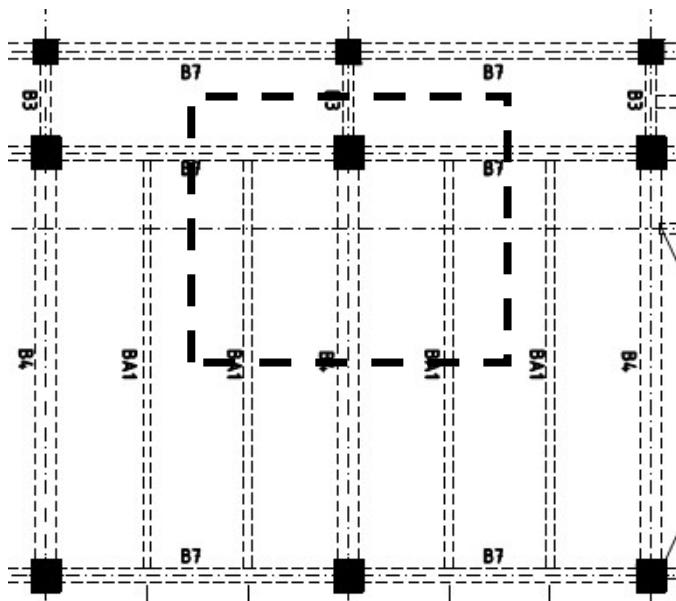
Tebal minimum (h_{\min}) pelat satu arah (*One-way slab*) mengikuti persyaratan pada sub bab 2.4.1 bila lendutan tidak dihitung:

$$h_{min} = \frac{1675}{28} x \left(0,4 + \frac{390}{700} \right) = 57,26 \text{ mm} \text{ digunakan } h = 130 \text{ mm}$$

4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Data-data yang diperlukan dalam penentuan dimensi kolom adalah:

1. Tebal pelat = 12 cm = 120 mm
 2. Jumlah lantai = 9 lantai
 3. Tinggi lantai = 4,8 m
 4. Dimensi balok induk = tabel 18
 5. Dimensi balok anak = tabel 19



Pembebatan kolom menggunakan metode luas tributary seperti berikut:

1. Beban mati lantai 2-9

- Pelat = $7,2 \times 3,7125 \times 0,12 \times 2400 \times 8$
= 61585,92 Kg
- Balok induk memanjang 1 = $1,2 \times 0,25 \times 0,35 \times 2400 \times 8$
= 2016 Kg
- Balok induk memanjang 2 = $2,5125 \times 0,3 \times 0,55 \times 2400 \times 8$
= 7959,6 Kg
- Balok induk melintang = $7,2 \times 0,4 \times 0,65 \times 2400 \times 8$
= 35942,4 Kg
- Balok anak melintang = $7,2 \times 0,25 \times 0,4 \times 2400 \times 2 \times 8$
= 13824 Kg
- Dinding = $7,2 \times 8 \times 4,8 \times 99$
= 27371,52 Kg
- Keramik = $7,2 \times 3,7125 \times 8 \times 20,50$
= 4383,72 Kg
- Spesi = $7,2 \times 3,7125 \times 8 \times 5$
= 1069,2 Kg
- Plafond penggantung dan plafond = $7,2 \times 3,7125 \times 8 \times 5,03$
= 1075,62 Kg
- *Mechanical electrical equipment* = $7,2 \times 3,7125 \times 8 \times 19$
= 4062,96 Kg

Beban mati total (DL) = 159290,94 Kg

2. Beban hidup lantai 2-9

- Pelat = $7,2 \times 3,7125 \times 192 \times 8$
= 41057,28 Kg

Beban hidup total (LL) = 41057,28 Kg

Berdasarkan SNI 1727:2013 beban hidup untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih dari dua lantai boleh direduksi sebesar 20 persen.

$$LL = 80\% \times 41057,28 = 32845,82 \text{ Kg}$$

Jadi berat total = 1,2 DL + 1,6 LL

$$\begin{aligned} &= 1,2 (159290,94) + 1,6 (32845,82) \\ &= 19167466,11 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan dimensi kolom mengacu pada sub bab 2.4.3.

$$A = \frac{W}{\phi \times f_{c'}} = \frac{19167466,11}{0,65 \times 350} = 84252,6 \text{ mm}^2$$

$$b = h, \text{ maka } b^2 = 84252,6 \text{ mm}^2$$

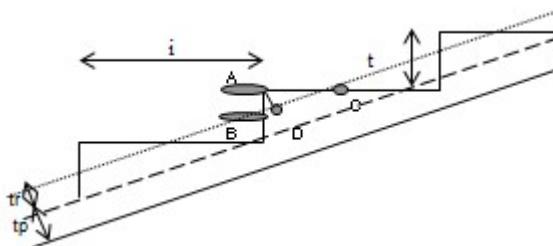
$$= 290,26 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan dimensi kolom $b \times h = 60 \times 60 \text{ cm}$

4.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga

Data perencanaan tangga:

Tinggi lantai	:	480	cm
Tinggi tanjakan (t)	:	17	cm
Lebar injakan (i)	:	20	cm
Lebar tangga	:	480	cm
Tebal plat tangga (tp)	:	15	cm
Tebal plat bordes	:	15	cm
Elevasi bordes	:	240	cm
Lebar bordes	:	117,5	cm
Panjang bordes	:	480	cm
Kemiringan tangga (α)	:	$\alpha = 34^\circ$	
Tebal pelat rata-rata	:	tebal plat tangga + tr	
Tebal pelat rata-rata anak tangga :		(i/2) sin α	
		: (20/2) sin 34°	
		: 6,99 cm	
Tebal pelat rata-rata (tr)	:	tp + tr _{anak tangga}	
		: 15 + 6,99	
		: 21,99 cm = 22 cm	



4.2 Perencanaan Pelat Pracetak

Desain tebal pelat yang direncanakan dalam Tugas Akhir Terapan ini menggunakan ketebalan 13 cm. Dengan tebal pelat pracetak 8 cm dan pelat cor di tempat 5 cm. Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu:

1. Saat Pengangkatan

Keadaan dimana pelat pracetak diangkat dari *stockyard* menggunakan *tower crane*.

2. Sebelum komposit

Keadaan awal pelat dimana pelat pracetak belum menyatu dengan komponen *overtopping*. Perlakuan pelat dianggap tertumpu sederhana.

3. Sesudah komposit

Keadaan akhir pelat dimana pelat pracetak telah menyatu dengan komponen *overtopping*. Perlakuan pelat dianggap terjepit elastis.

4.2.1 Data Perencanaan Pelat

Data perencanaan pelat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat pracetak = 8 cm
- Tebal *overtopping* = 5 cm
- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
- Diameter tulangan rencana = 10 mm

4.2.2 Pembebaan dan Kombinasi Beban Pelat

1. Saat Pengangkatan

Dalam pembebaan saat pengangkatan beban yang bekerja adalah beban mati yang terdiri dari berat sendiri pelat pracetak dan beban kejut akibat pengangkatan.

- Beban mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,08 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Beban kejut} &= 0,5 \times 192 = \underline{\underline{96 \text{ Kg/m}^2}} + \\ &\quad \text{DL} = 288 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Kombinasi pembebaan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 didapatkan:

$$\begin{aligned} Qu &= 1,4 \text{ DL} \\ &= 1,4 (288) = 403,2 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Sebelum komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit beban yang bekerja adalah beban mati yang terdiri dari berat sendiri pelat pracetak dan beban overtopping saat pengecoran dan beban hidup yang merupakan beban pekerja.

- Beban mati (DL)

$$\begin{array}{lcl} \text{Berat sendiri} & & = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Berat overtopping} & & = 0,05 \times 2400 = \underline{96 \text{ Kg/m}^2} + \\ & & \quad \quad \quad \text{DL} = 288 \text{ Kg/m}^2 \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban pekerja} \quad \quad \quad \text{LL} = 100 \text{ Kg/m}^2$$

- Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 didapatkan:

$$\begin{aligned} Qu &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (288) + 1,6 (100) \\ &= 505,6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

3. Sesudah komposit

Dalam pembebanan sesudah komposit beban yang bekerja adalah beban pelat komposit dan beban mati lainnya dan beban hidup untuk gedung sekolah.

- Beban mati (DL)

$$\begin{array}{lcl} \text{Berat sendiri} & & = 0,13 \times 2400 = 312 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Keramik} & & = 20,5 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Spesi} & & = 5 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Plafond dan penggantung plafond} & & = 5,03 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Mechanical Duct} & & = 19 \text{ Kg/m}^2 + \\ & & \quad \quad \quad \text{DL} = 421,53 \text{ Kg/m}^2 \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban kerja} \quad \quad \quad \text{LL} = 192 \text{ Kg/m}^2$$

- Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 didapatkan:

$$Qu = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (421,53) + 1,6 (192) = 813,04 \text{ Kg/m}^2$$

4.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan penulangan pelat direncanakan dalam kondisi sebelum komposit, akibat pengangkatan dan sesudah komposit. Dipilih tulangan paling kritis dari kondisi-kondisi tersebut.

Perhitungan pelat tipe P3 dengan dimensi 720x120 cm dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya. Dimana desain pelat dimodifikasi menjadi satu arah. Tulangan utama hanya terdapat pada arah melintang pelat, sedangkan untuk arah memanjang merupakan tulangan pembagi yang berfungsi sebagai tulangan penahan susut dan suhu.

- Kondisi sebelum komposit

$$dx = 80 - 20 - 10/2 = 55 \text{ mm}$$

$$dy = 80 - 20 - 10 - 10/2 = 45 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 130 - 20 - 10/2 = 105 \text{ mm}$$

$$dy = 130 - 20 - 10 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

- Untuk harga β_1 untuk $fc' = 35 \text{ MPa}$ diambil sebesar 0,8 (Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)

- Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \left(\frac{600}{600+fy} \right) = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600+3} \right) = 0,037$$

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

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

- Dimensi pracetak

$$Ln = 115 \text{ cm}$$

$$Sn = 92,5 \text{ cm}$$

Berdasarkan SNI 7833:2012 gambar R4.6.2

$$\text{Panjang landasan} = \frac{Ln}{180} \geq 50 \text{ mm}$$

$$= \frac{1150}{180} = 6,39 \leq 50 \text{ mm}$$

Maka, digunakan panjang landasan sebesar 50 mm.

$$\begin{aligned}\text{Sehingga, dimensi pracetak} &= 92,5 + (5 \times 2) \times 115 \text{ cm} \\ &= 115 \times 97,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

4.2.3.1 Penulangan Akibat Pengangkatan

Momen (M_u) yang bekerja pada pelat ditentukan berdasarkan PCI 7th Edition Fig. 8.3.2 Four-point pick-up maximum moments pada sub bab 3.2.6 mengenai kontrol penulangan struktur bagian kontrol elemen pracetak untuk kontrol pengangkatan untuk 4 titik angkat.

$$\begin{aligned}M_x &= 0,0107 \times Qu \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 403,2 \times 0,975^2 \times 1,15 \\ &= 4,614 \text{ Kgm} = 46142,1 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_y &= 0,0107 \times Qu \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 403,2 \times 0,975 \times 1,15^2 \\ &= 6,235 \text{ Kgm} = 62354,3 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

- **Penulangan arah x**

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{46142,1}{0,9 \times 1000 \times 55^2} = 0,017$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,35) \times 0,017}{390}} \right)$$

$$= 0,00004$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.3 luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan. Maka, $\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times 0,00004 = 0,00006$

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times dx = 0,00006 \times 1000 \times 55 = 3,11 \text{ mm}^2$$

$$s = 1000 \times \frac{As_{\text{tul.}}}{As_{\text{perlu}}} = 1000 \times \frac{78,54}{3,11} = 25269,39 \text{ mm}$$

syarat jarak antar tulangan

$$s \leq 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 3(80) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 240 \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

maka, digunakan $s = 200 \text{ mm}$

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{s} = 1000 \times \frac{78,54}{200} = 392,7 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu (OK)}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{392,7 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3, untuk $f'_c = 35 \text{ Mpa}$ maka $\beta_1 = 0,8$.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,15}{0,8} = 6,43 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{dx}{c} - 1 \right) = 0,003 \times \left(\frac{55}{6,43} - 1 \right) = 0,0226$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 gambar S9.3.2 faktor reduksinya, \emptyset sebesar 0,9.

$$\begin{aligned} \emptyset Mn &= \emptyset \times As \times fy \times (dx - 0,5a) \\ &= 0,9 \times 392,699 \times 390 \times (55 - 0,5(5,15)) \\ &= 7226263,192 Nmm > Mu \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan arah x **Ø10-200 mm**

- Penulangan arah y**

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset bd^2} = \frac{62354,25}{0,9 \times 1000 \times 45^2} = 0,034$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{18,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,35) \times 0,034}{390}} \right) = 0,00009$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.3 luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan. $\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times 0,00009 = 0,00011$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dy = 0,00011 \times 1000 \times 45 = 5,135 \text{ mm}^2$$

$$s = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{As \text{ perlu}} = 1000 \times \frac{78,54}{5,135} = 15295,02 \text{ mm}$$

syarat jarak antar tulangan

$$s \leq 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 3(80) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 240 \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

maka, digunakan $s = 200 \text{ mm}$

$$\text{sehingga As pakai} = 1000 \times \frac{\text{As tul.}}{s} = 1000 \times \frac{78,54}{200} \\ = 392,7 \text{ mm}^2 > \text{As perlu (OK)}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{392,7 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,148 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3, untuk $f_c' = 35 \text{ Mpa}$
maka $\beta_1 = 0,8$.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,148}{0,8} = 6,435 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{dx}{c} - 1 \right) = 0,003 \times \left(\frac{55}{6,435} - 1 \right) = 0,018$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 gambar S9.3.2 faktor reduksinya, \emptyset sebesar 0,9.

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times (dx - 0,5a) \\ = 0,9 \times 392,699 \times 390 \times (55 - 0,5(5,148)) \\ = 5847889,42 \text{ Nmm} > \text{Mu (OK)}$$

Jadi, digunakan tulangan arah y **Ø10-200 mm**.

4.2.3.2 Penulangan Sebelum Komposit

Momen (Mu) yang bekerja pada pelat ditentukan berdasarkan asumsi perletakan sendi-sendi.

$$\text{Mlap.} = \frac{1}{8} \times Qu \times Lx^2 \\ = \frac{1}{8} \times 505,6 \times 1,2^2 \\ = 32,5 \text{ Kgm} = 325000 \text{ Nmm}$$

- **Penulangan arah x**

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset bd^2} = \frac{325000}{0,9 \times 1000 \times 55^2} = 0,119$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{18,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,35) \times 0,119}{390}} \right) \\ = 0,0003$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.3 luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan. $\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times 0,0003 = 0,0004$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0004 \times 1000 \times 55 = 21,93 \text{ mm}^2$$

$$s = 1000 \times \frac{As \ tul.}{As \ perlu} = 1000 \times \frac{78,54}{21,93} = 3581,45 \text{ mm}$$

syarat jarak antar tulangan

$s \leq 3h$ atau 450 mm

$s \leq 3(80)$ atau 450 mm

$s \leq 240$ atau 450 mm

maka, digunakan $s = 200$ mm

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = 1000 \times \frac{As \ tul.}{s} = 1000 \times \frac{78,54}{200} = 392,7 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu (OK)}$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{392,7 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,148 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3, untuk $f'_c = 35 \text{ Mpa}$
maka $\beta_1 = 0,8$.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,148}{0,8} = 6,435 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{dx}{c} - 1 \right) = 0,003 \times \left(\frac{55}{6,435} - 1 \right) = 0,0226$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 gambar S9.3.2 faktor reduksinya, \emptyset sebesar 0,9.

$$\begin{aligned} \emptyset Mn &= \emptyset \times As \times fy \times (dx - 0,5a) \\ &= 0,9 \times 392,699 \times 390 \times (55 - 0,5(5,148)) \\ &= 7226263,19 \text{ Nmm} > Mu \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan arah x **Ø10-200 mm**

- **Penulangan arah y**

Pada arah Y merupakan tulangan susut. Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1, untuk tulangan mutu 390 Mpa rasio tulangan minimum sebesar 0,0018

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dy = 0,0018 \times 1000 \times 45 = 83 \text{ mm}^2$$

$s \leq 5h$ atau 450 mm

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

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{83}{78,54} = 1,03 \approx 2$$

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

Jadi, digunakan tulangan arah y **Ø10-300 mm** ($262 \text{ mm}^2 > As$ perlu).

4.2.3.3 Penulangan Sesudah Komposit

Momen (Mu) yang bekerja pada pelat ditentukan berdasarkan PBI 1971 tabel 13.3.1.

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{720}{120} = 4,3 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$Mt = 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X, X = 75 \\ = 0,001 \times 813,04 \times (1,20)^2 \times 75 = 149,87 \text{ Kgm}$$

$$Ml = 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X, X = 125 \\ = 0,001 \times 813,04 \times (1,20)^2 \times 125 = 249,78 \text{ Kgm}$$

Karena, penulangan utama pelat pada tumpuan sama dengan lapangan, maka diambil momen paling kritis = 249,78 Kgm.

- Penulangan arah x**

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{2497833,909}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 0,31$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,35) \times 0,31}{390}} \right) \\ = 0,0008$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.3 luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan. $\rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0008 = 0,001$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dx = 0,001 \times 1000 \times 95 = 97,89 \text{ mm}^2$$

$$s = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{As \text{ perlu}} = 1000 \times \frac{78,54}{97,89} = 802,33 \text{ mm}$$

syarat jarak antar tulangan

$s \leq 3h$ atau 450 mm

$s \leq 3(120)$ atau 450 mm

$s \leq 360$ atau 450 mm

maka, digunakan $s = 150$ mm

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{s} = 1000 \times \frac{78,54}{150} \\ = 523,6 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} (\text{OK})$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{392,7 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,148 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3, untuk $f_c' = 35 \text{ Mpa}$ maka $\beta_1 = 0,8$.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,148}{0,8} = 6,435 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{dx}{c} - 1 \right) = 0,003 \times \left(\frac{95}{6,435} - 1 \right) = 0,042$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 gambar S9.3.2 faktor reduksinya, \emptyset sebesar 0,9.

$$\begin{aligned} \emptyset Mn &= \emptyset \times As \times fy \times (dx - 0,5a) \\ &= 0,9 \times 392,7 \times 390 \times (55 - 0,5(6,435)) \\ &= 12739758,3 \text{ Nmm} > \text{Mu (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan arah x **Ø10-150 mm**

- **Penulangan arah y**

Pada arah Y merupakan tulangan susut. Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1, untuk tulangan mutu 390 Mpa rasio tulangan minimum sebesar 0,0018

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times dy = 0,0018 \times 1000 \times 95 = 171 \text{ mm}^2$$

$$s \leq 5h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 5 \times 130 = 650 \text{ mm} \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{171}{78,54} = 2,177 \approx 3$$

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

$$\begin{aligned} \text{sehingga As pakai} &= 1000 \times \frac{\text{As tul.}}{s} = 1000 \times \frac{78,54}{300} \\ &= 261,8 \text{ mm}^2 > \text{As perlu (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan arah y **Ø10-300 mm**.

4.2.4 Cek Pelat Sebagai Diafragma

Cek dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.11 mengenai diafragma dan rangka batang. Slab lantai bekerja sebagai diafragma struktur untuk menyalurkan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh pergerakan tanah gempa pada struktur yang ditetapkan sebagai KDS D. Gaya desain gempa untuk diafragma struktur diperoleh dari Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI

1726:2012 sesuai sub bab 2.3.3 dengan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013 sesuai sub bab 2.3.4.

Slab dengan lapisan atas yang dicor di tempat di atas lantai pracetak diizinkan 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 permukaan (*laitance*) dan dikasarkan dengan sengaja.

- Tebal Minimum Diafragma

Slab beton dan slab dengan lapisan atas komposit yang bekerja sebagai diafragma struktur yang digunakan untuk menyalurkan gaya-gaya gempa tidak boleh kurang dari tebal 50 mm.

Tebal slab yang digunakan = 130 mm > 50 mm (**OK**)

- Tulangan

A. Rasio Tulangan Minimum

Rasio tulangan minimum untuk diafragma struktur memenuhi pasal 7.12 mengenai tulangan susut dan suhu. Luasan tulangan susut dan suhu (tulangan ulir) harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton 0,0018 untuk slab yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 390.

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dy = 0,0018 \times 1000 \times 95 = 171 \text{ mm}^2$$

B. Spasi Minimum Tulangan

Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari 5 kali tebal slab atau tidak lebih jauh dari 450 mm.

$$s \leq 5h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 5 \times 130 = 650 \text{ mm} \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$n = \frac{As \text{ perl}}{As \text{ tulangan}} = \frac{171}{78,54} = 2,177 \approx 3$$

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

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{s} = 1000 \times \frac{78,54}{300} \\ = 261,8 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} (\mathbf{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan arah y ***Ø10-300 mm.***

C. Tulangan Longitudinal Untuk Elemen-Elemen Kolektor Pada Daerah Sambungan

Tulangan tersebut harus mempunyai salah satu dari:

- (a) Spasi pusat ke pusat minimum sebesar 3 diameter batang tulangan longitudinal tetapi tidak kurang dari 50 mm; atau
- (b) Tulangan transversal seperti yang disyaratkan pada pasal 11.4.6.3

$$3db = 3(19) = 57 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ pada balok induk} &= bw - 2\text{decking} - 2\text{Øtul.geser} - (n \times \text{Øtul.lentur}) \\ &= 300 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19) \\ &= 104 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av_{min} &= 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bw s}{fy t} \\ &= 0,062 \sqrt{35} \frac{600 \cdot 150}{390} \\ &= 229,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Av_{pakai} \text{ pada HBK} = 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4 = 530,93 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kekuatan Lentur

Diafragma dan bagian dari diafragma telah didesain sesuai 10.2 dan 10.3.

- Kekuatan Geser

Slab pracetak yang diberi topping di atasnya diizinkan digunakan sebagai diafragma dimana kuat geser tidak boleh melebihi:

$$Vn = Acv \times (0,17 \lambda \sqrt{fc'} + \rho f_y)$$

$$Vn = 0,66 \times Acv \times \sqrt{fc'}$$

$$Vn = Av_f \times f_y \times \mu$$

Dimana nilai Acv sesuai dengan Pasal 21.11.9.1 adalah :

$$Acv = b \times t \text{ pelat total} = 1000 \times 130 = 130000 \text{ mm}^2$$

$$Vu \text{ SAP} = 30727 \text{ N (V2 balok induk akibat kombinasi 1,2D + 1L + 1Ex)}$$

$$Cc = 0,85 fc' a b$$

$$= 0,85 \times 35 \times 500$$

$$= 14875 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 17.5.3 Desain penampang yang dikenai geser horizontal:

$$V_{nh} = 30727 \text{ N} < 0,55 \text{ bv } d = 0,55 \times 1000 \times 95 = 52250 \text{ N}$$

(Memenuhi)

$$V_{nh} = 14875 \text{ N} < 0,55 \text{ bv } d = 0,55 \times 1000 \times 95 = 52250 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.11.9.1 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned} A_{cv} &= \text{Tebal } Overtopping \times b \\ &= 130 \times 1000 \\ &= 130000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 11.9.9.2 SNI 2847:2013, ρt dapat diambil 0,0025.

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} (0,17 \lambda \sqrt{f'_c} + \rho t f_y) \\ &= 130000 ((0,17 \times 1 \times \sqrt{35}) + (0,0025 \times 390)) \\ &= 257495,36 \text{ N} > 30727 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.11.9.2 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,66 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0,66 \times (130000) \times \sqrt{35} \\ &= 507599,65 \text{ N} > 30727 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 21.11.9.3 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi:

$$\begin{array}{ll} \mu &= 1,4 \lambda & \lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)} \\ \mu &= 1,4 (1) = 1,4 \\ V_n &= A_{vf} \times \mu \times f_y \\ &= (\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2) \times 1,4 \times 390 \\ &= 43982,4 \text{ N} > 30727 \text{ N} \end{array}$$

Direncanakan stud menggunakan tulangan angkat yang sebelumnya telah direncanakan menggunakan diameter 10 mm dengan f_y 390 MPa dan jarak antar tulangan pada sumbu X dan sumbu Y masing-masing 0,724 m dan 0,574 m.

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 17.6.1 bila sengkang pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat tidak boleh kurang dari luas yang diperlukan oleh pasal 11.4.6.3 dan

spasi pengikat tidak boleh lebih dari empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu atau melebihi 600 mm.

$$S_{maks} = 4 t = 4 \times 130 = 520 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 600 \text{ mm}$$

Diambil nilai terkecil maka jarak antar stud tidak boleh melebihi 520 mm. Karena jarak antar tulangan angkat melebihi jarak maksimum yang ditentukan oleh SNI maka perlu direncanakan tulangan stud tambahan untuk menahan gaya geser pada pelat pracetak.

Direncanakan tulangan stud = D8 mm

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.9.9.2 pt = 0,0025

$$Av_f = 0,25 \pi d^2 = 0,25 \pi 8^2 = 50,265 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= Av_f \times f_y \times \mu \\ &= 2 \times 50,265 \times 390 \times 1,4 = 87964,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Dipakai yang terkecil, maka $V_n = 87964,8 \text{ N}$

$V_u SAP = 30727 \text{ N}$ (V2 balok induk akibat kombinasi 1,2D + 1L + 1EX)

$$C_c = 14875 \text{ N}$$

$V_u SAP < V_n$ maka dipakai tulangan minimum

$C_c < V_n$ maka dipakai tulangan minimum

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 17.6.1 bila sengkang pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horizontal, luas pengikat tidak boleh kurang dari luas yang diperlukan oleh pasal 11.4.6.3 dan spasi pengikat tidak boleh lebih dari empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu atau melebihi 600 mm.

$$S_{maks} = 4 t = 4 \times 130 = 520 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } S = 500 \text{ mm}$$

SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3

$$Av_{min} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{bw \times s}{f_y} > \frac{0,35 \times bw \times s}{f_y}$$

$$Av_{min} = 0,062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 500}{240} > \frac{0,35 \times 1000 \times 500}{240}$$

$$Av_{min} = 764,16 \text{ mm}^2 > 729,16 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan stud **2Ø8-500**.

Di atas *joint* antar elemen-elemen pracetak pada diafragma slab lapisan atas cor di tempat, V_n tidak boleh melebihi batasan-batasan pada 11.6.5 :

$$V_n = 0,2 f'_c A_c$$

$$V_n = (3,3 + 0,08f'_c) A_c$$

$$V_n = 11 A_c$$

Dimana V_n diambil sebesar C_c

$$C_c = 0,85 f'_c b_a$$

$$= 0,85 \times 35 \times 500$$

$$= 14875 \text{ N}$$

Dimana nilai $A_c = 1450 \times 1150 = 1667500 \text{ mm}^2$

$$V_n = 0,2 \times f'_c \times A_c$$

$$= 0,2 \times 35 \times 1667500$$

$$= 11672500 \text{ N} > 14875 \text{ N} (\text{OK})$$

$$V_n = (3,3 + 0,08 f'_c) A_c$$

$$= (3,3 + 0,08 (35)) 1667500$$

$$= 52192750 \text{ N} > 14875 \text{ N} (\text{OK})$$

$$V_n = 11 A_c$$

$$= 11 (1667500)$$

$$= 18342500 \text{ N} > 14875 \text{ N} (\text{OK})$$

- Joint Konstruksi

Semua joint pada diafragma harus memenuhi metode pekerjaan joint konstruksi dan permukaan kontak harus dikasarkan.

- Rangka Batang Struktur

Seluruh elemen-elemen rangka batang struktur telah direncanakan mempunyai tulangan transversal sesuai 21.6.4. Dan semua tulangan menerus telah direncanakan disambung dan disalurkan untuk kondisi tarik.

4.2.5 Kontrol Lendutan

Beban akibat beban mati dan hidup, $Q = 388 \text{ Kg}$

Momen batas retak yang terjadi pada pelat saat beton berumur 3 hari.

$$f'_c = 0,46 f_c = 0,46 (35) = 11,5 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f'_c} = 0,62 (1) \sqrt{11,5} = 2,103 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} 1000 (80)^3 = 281250000 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{2 fr I}{h} = \frac{2 (2,10) (281250000)}{80} = 7884458,605 \text{ Nmm}$$

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

$$\frac{\frac{b x^2}{2}}{2} = n \times As (d - x)$$

$$\frac{1000 x^2}{2} = 3 \times 132,73 (123,5 - x)$$

$$500x^2 - 49177,313 + 398,20x = 0$$

Sehingga, $x_1 = 9,53 \text{ mm}$ dan $x_2 = -10,32 \text{ mm}$

Maka, digunakan $x = 9,53 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left(\frac{M_{cr}}{Ma} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \\ &= 4,33 \times 10^{12} - 8,41 \times 10^{10} \leq 3 \times 10^8 \\ &= 2,81 \times 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{25} = 15938,5 \text{ MPa}$$

$$(\Delta i)_{DL} = \frac{5 q l^4}{384 Ec I} = \frac{4,62 \times 10^{14}}{1,72 \times 10^{15}} = 0,269 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 batasan lendutan untuk pelat lantai adalah $\frac{l}{240} = \frac{l}{240} = 15,42 \text{ mm}$

Maka lendutan yang terjadi masih dalam batasan maksimum lendutan untuk pelat lantai.

4.2.6 Kontrol Retak

Kontrol retak ditinjau berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.3.

Momen layan yang bekerja adalah:

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times q \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 230,4 \times 1,20^2 \times 7,2 \\ &= 209510,28 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times q \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 230,4 \times 1,2 \times 7,2^2 \\ &= 276852,87 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sehingga, $M_{cr} > M_x$ dan $M_{cr} > M_y$ (OK).

4.2.7 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

- Pembebaan

Beban Mati (DL) :

$$\text{Berat pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Stud + tul. Angkat} = 10\% \times 192 = 19,2 \text{ Kg/m}^2$$

Beban Hidup (LL) :

$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ Kg/m}$$

- Perhitungan Tulangan Angkat

$$\begin{aligned}\text{Beban ultimate} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2(211) + 1,6(200) \\ &= 573,44 \text{ Kg/m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan PCI 7th Edition fig. 8.3.4 mengenai faktor pengali gaya berdasarkan sudut pengangkatan (α) yang direncanakan. Untuk $\alpha = 60^\circ$, faktor pengalinya adalah 1,16.

Sehingga beban yang diterima satu titik angkat :

$$P = 573,44 \times 1,2 \times 2,4 \times 1,16 = 1915,75 \text{ Kg}$$

$$P_1 = 1915,75 / 4 = 478,94 \text{ Kg}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (f_s) diambil sebesar $2/3 f_y$.

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} 390 = 260 \text{ Mpa} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$As = \frac{P_1}{f_s} = \frac{478,94}{2600} = 0,18 \text{ mm}^2$$

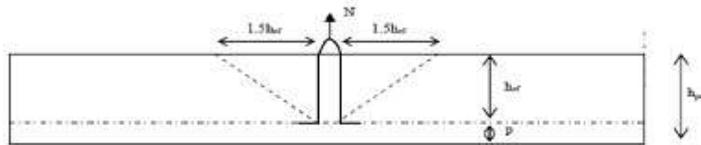
Digunakan tulangan angkat $\text{Ø}10 \text{ mm}$ ($As = 0,79 \text{ mm}^2 > As$)

Jadi, dipakai tulangan angkat $\text{Ø}10 \text{ mm}$.

Berdasarkan SNI 2847:2013 lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($k_c = 10$, angkur cor di dalam), maka

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{k_c \sqrt{f'c}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{19157,5}{10\sqrt{25}}\right)^2} = 52,75 \text{ mm}$$

Maka angkur dipasang sedalam 55 mm.



Berdasarkan PCI 7th fig. 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (*breakout*) yang terbesar dari,

$$de = \frac{hef}{\tan 35^\circ} = \frac{55}{\tan 35^\circ} = 78,55 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 hef = 1,5 (55) = 82,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan $de = 85 \text{ mm}$

- Perhitungan Kebutuhan Strand

Berdasarkan PCI 7th tabel design aid 15.3.1 material properties prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi:

$$\text{Diameter} = 0,5 \text{ in} = 6,35 \text{ mm}$$

$$F_{pu} = 250 \text{ ksi} = 1724 \text{ MPa}$$

$$A = 0,036 \text{ in}^2 = 23,36 \text{ mm}^2$$

$$F_{strand} = 1724 \times 23,36 = 4003,8 \text{ Kg}$$

$$\text{Maka gaya yang dipikul 1 strand} = 4003,8 / 4 = 1000,9 \text{ Kg}$$

Kontrol : $P < F_{strand}$

$$478,94 \text{ Kg} < 1000,9 \text{ Kg} (\textbf{OK})$$

Maka digunakan seven wire strand diameter 0,25 in ($f_{pu} = 250 \text{ ksi}$).

4.2.8 Panjang Penyaluran Tulangan

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 dan pasal 12.5.2 :

$$L_{dh} > 8db = 8 (10) \text{ mm} > 80 \text{ mm}$$

$$L_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times \sqrt{f'_c}}{db} = \frac{0,24 \times 390 \times \sqrt{25}}{10} = 55 \text{ mm}$$

Maka digunakan panjang penyaluran terbesar = 150 mm

4.2.9 Kontrol Elemen Pracetak

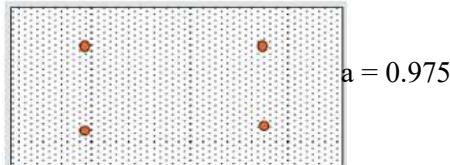
4.2.9.1 Kontrol Pengangkatan

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

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

$$fr = 0,62 \sqrt{fci} = 0,62 \sqrt{16,1} = 2,48 \text{ MPa} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = 1,2 \times 0,08 \times 2400 = 230,4 \text{ kg/m}^2$$



$$b = 1,150 \text{ m}$$

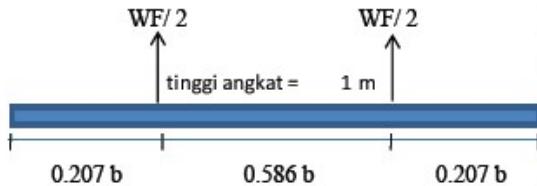
$$P = \frac{a b T_{Precast} BJ_{beton}}{4} = \frac{1 \times 2,95 \times 0,08 \times 2400}{4} = 134,6 \text{ kg}$$

- Tegangan Arah Y (arah panjang)

$$M = 0,0107 w a b^2$$

$$My = 0,0107 \times 230,4 \times 0,975 \times 1,15^2 = 21,45 \text{ kgm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



$$Y_c = 0,5 \times \text{tebal pelat} = 0,04 \text{ m}$$

$$My' = \frac{P \times Y_c}{\tan \theta} = \frac{134,6 \times 0,04}{\tan 45} = 5,38 \text{ kgm}$$

$$\text{Faktor Kejut} = 1,5$$

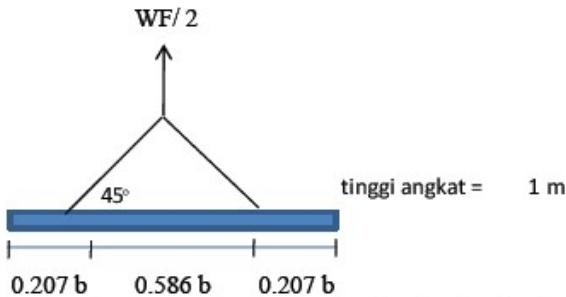
$$My \text{ total} = 1,5 \times (My + My') = 1,5 \times (21,45 + 5,38) = 40,24 \text{ kgm}$$

- Tegangan Arah X (arah pendek)

$$M = 0,0107 w a^2 b$$

$$Mx = 0,0107 \times 230,4 \times 0,975^2 \times 1,15 = 7,27 \text{ kgm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



$$Y_c = 0,5 \times \text{tebal pelat} = 0,04 \text{ m}$$

$$Mx' = \frac{P \times Y_c}{\tan \theta} = \frac{134,6 \times 0,04}{\tan 45^\circ} = 5,38 \text{ kgm}$$

$$\text{Faktor Kejut} = 1,5$$

$$Mx \text{ total} = 1,5 \times (Mx + Mx') = 1,5 \times (7,27 + 5,38) = 18,975 \text{ kgm}$$

- Menghitung Momen Tahanan

Sesuai dengan gambar 4.6, menurut *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, dimana:

Mx ditahan oleh penampang selebar $15t$ atau $b/2$

$$15t = 8 \times 15 = 120 \text{ cm}$$

$$b/2 = 1,15/2 = 147,5 \text{ cm}$$

$$Wx = \frac{1}{6} \times 15t \times t^2 = \frac{1}{6} \times 120 \times 8^2 = 1280 \text{ cm}^3$$

My ditahan oleh penampang selebar $a/2$

$$a/2 = 97,5/2 = 50 \text{ cm}$$

$$Wy = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times 50 \times 8^2 = 533,33 \text{ cm}^3$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{M_{x_{\text{tot}}}}{W_x} = \frac{1897,5}{1280} = 1,48 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 24,87 \text{ kg/cm}^2$$

(Memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M_{y_{\text{tot}}}}{W_y} = \frac{4024}{533,33} = 7,55 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 24,87 \text{ kg/cm}^2$$

(Memenuhi)

4.2.9.2 Kontrol Penumpukan

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

$$F_{ci} = 0,46 \times F'c$$

$$= 0,46 \times 35$$

$$= 16.1 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{16.1}$$

$$= 2.4877 \text{ Mpa}$$

$$= 24.877 \text{ kg/cm}^2$$

- **Pembebatan Saat Penumpukan**

$$\text{Berat sendiri pelat} = 0.08 \times 0.975 \times 2400 = 211.2 \text{ kg/m}$$

$$qD = 1.2 \times 211.2 = 253.44 \text{ kg/m}$$

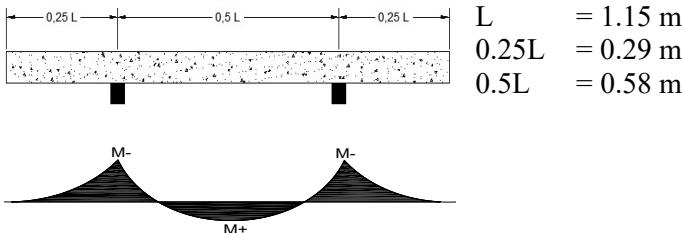
$$\text{Berat Pekerja} = 100 = 100 \text{ kg}$$

$$PL = 1.6 \times 100 = 160 \text{ kg}$$

$$\text{Momen Tahanan (W)} = \frac{1}{6} \times a \times t^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 97,5 \times 8^2$$

$$= 1173.33 \text{ cm}^3$$



$$\begin{aligned}
 M_{\text{tumpuan}} &= \left(\frac{1}{2} \times qD \times 0.25L^2\right) + (pL \times 0.25L) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 253,44 \times 0,29^2\right) + (160 \times 0,29) \\
 &= 61,7 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1.5

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= 1.5 \times 61,7 \\
 &= 92,55 \text{ kgm} \\
 &= 9255 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= \left(\frac{1}{8} \times qD \times 0,5L^2 - L^2\right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 253,4 \times 0,58^2 - 0,29^2\right) \\
 &= 8,176 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1.5

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= 1.5 \times 8,176 \\
 &= 12,264 \text{ kgm} \\
 &= 1226,4 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\
 &= \frac{9255}{1173,333} \\
 &= 7,8878 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tumpuan}} &= \frac{M_{\text{tumpuan}}}{W} \\
 &= \frac{1226,4}{1173,333}
 \end{aligned}$$

$$= 1.045 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})$$

- **Kontrol Jumlah Penumpukan**

Pada penumpukan pelat pracetak digunakan balok kayu dengan ukuran 5 x 10 cm.

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang kontak} &= 0.05 \times 2 \text{ balok kayu} \\ &= 0.10 \text{ m}^2 \\ &= 100000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban (Pu)} &= (1.2 \times t \times a \times b \times \text{BJ beton}) + (1.6 \times \text{pekerja}) \\ &= (1.2 \times 0.08 \times 1.2 \times 0.98 \times 2400) + (1.6 \times 100) \\ &= 654.21 \text{ kg} \\ &= 6542.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \frac{Pu}{A} \\ &= \frac{6542.1}{150000} \\ &= 0.0436 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah penumpukan} &= \frac{fr}{f \times SF} \\ &= \frac{2.487}{0.0436 \times 3} \\ &= 19.013 \approx 19 \text{ tumpukan} \end{aligned}$$

4.2.9.3 Kontrol Pemasangan

Pemasangan pelat pracetak dilakukan saat umur beton 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$\begin{aligned} Fci &= 0.7 \times F'c \\ &= 0.7 \times 35 \\ &= 24.5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

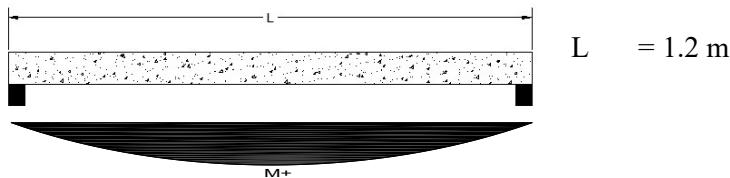
$$\begin{aligned} Fr &= 0.62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{Beton normal}) \\ &= 0.62 \times 1 \times \sqrt{24.5} \\ &= 3.068843 \text{ Mpa} \\ &= 30.68843 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- **Pembebanan Saat Pemasangan**

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= 0.08 \times 0.98 \times 2400 & = 211.2 \text{ kg/m} \\ qD &= 1.2 \times 211.2 & = 253.44 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pekerja} &= 100 & = 100 \text{ kg} \\ \text{PL} &= 1.6 \times 100 & = 160 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Tahanan (W)} &= \frac{1}{6} \times a \times t^2 \\ &= \frac{1}{6} \times 98 \times 8^2 \\ &= 1173.33 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= \left(\frac{1}{8} \times qD \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 253.4 \times 1.2^2 \right) \\ &= 120.4632 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1.5

$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= 1.5 \times 120.4632 \\ &= 180.6948 \text{ kgm} \\ &= 18069.48 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\ &= \frac{18069,48}{1173,333} \\ &= 15,4 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 30.6884 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.2.9.4 Kontrol Pengecoran

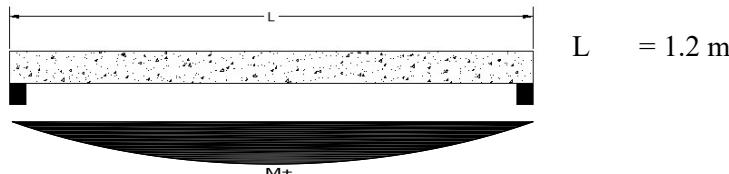
Pengecoran pelat pracetak dilakukan saat umur beton 7 hari , sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$\begin{aligned} F_{ci} &= 0,7 \times F'c \\ &= 0,7 \times 35 \\ &= 24.5 \text{ MPa} \\ F_r &= 0,62\lambda\sqrt{F'c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal}) \\ &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{24.5} \\ &= 3.068843 \text{ MPa} \\ &= 30.68843 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- **Pembebatan Saat Pengecoran**

Berat sendiri pelat	=	$0.13 \times 0.98 \times 2400$	=	369.6 kg/m	
qD	=	1.2×369.6	=	443.52 kg/m	
Berat Pekerja		=	100	=	100 kg
PL		=	1.6×100	=	160 kg

$$\begin{aligned} \text{Momen Tahanan (W)} &= \frac{1}{6} \times a \times t^2 \\ &= \frac{1}{6} \times 98 \times 14^2 \\ &= 3593.33 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= \left(\frac{1}{8} \times qD \times L^2\right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 443.52 \times 1.2^2\right) \\ &= 210.8106 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1.5

$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= 1.5 \times 210.8106 \\ &= 316.2159 \text{ kgm} \\ &= 31621.59 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\ &= \frac{31621.59}{3593.333} \\ &= 8.80007 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 30.6884 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat diambil beberapa macam alternatif, baik konstruksi maupun perletakannya. Dalam perencanaan ini tangga diasumsikan pelat yang kemudian dianalisa menggunakan SAP untuk mengetahui besar momen dan gaya dalam yang terjadi. Dengan data-data perencanaan sebagai berikut:

Panjang datar tangga	: 502,5 cm
Tinggi tangga	: 480 cm
Lebar injakan	: 20 cm
Tinggi tanjakan	: 17 cm
Tebal pelat	: 15 cm
Mutu beton	: 35 MPa
Mutu baja	: 390 MPa
Diameter tulangan lentur	: 16 mm
Diameter tulangan susut	: 16 mm
Selimut beton	: 20 mm

4.3.1 Penulangan Pelat Tangga

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0277$$

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

- Tulangan arah y (memanjang pelat)

$$dy = 150 - 20 - 16 - 16/2 = 106 \text{ mm}$$

$$Mu = 30932 \text{ Kgm} = 30932 \times 10^4 \text{ Nmm (Output SAP)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{30932}{0,9 \times 1000 \times 106^2} = 3,06$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 3,06}{390}} \right) \\ = 0,008$$

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

Maka, $\rho_{pakai} = 0,008$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dx = 0,008 \times 1000 \times 106 = 879,17 \text{ mm}^2$$

$$s = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{As \text{ perlu}} = 1000 \times \frac{201,1}{879,17} = 228,7 \text{ mm}$$

syarat jarak antar tulangan

$s \leq 3h$ atau 450 mm

$s \leq 3(150)$ atau 450 mm

$s \leq 450$ atau 450 mm

maka, digunakan $s = 150$ mm

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{s} = 1000 \times \frac{201,1}{150} \\ = 1340,41 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} \\ (\text{OK})$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{1340,4 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 17,57 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3, untuk $f_c' = 35 \text{ Mpa}$ maka $\beta_1 = 0,8$.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{17,57}{0,8} = 21,96 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{dx}{c} - 1 \right) = 0,003 \times \left(\frac{106}{21,96} - 1 \right) = 0,012$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 gambar S9.3.2 faktor reduksinya, ϕ sebesar 0,9.

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \times (dx - 0,5a)$$

$$= 0,9 \times 1340,4 \times 390 \times (106 - 0,5(17,57)) \\ = 62197630,99 \text{ Nmm} > \text{Mu (OK)}$$

Jadi, digunakan tulangan arah y **D16-150 mm**

- Tulangan arah x (melintang pelat)

Pada arah x merupakan tulangan susut. Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1, untuk tulangan mutu 390 Mpa rasio tulangan minimum sebesar 0,0018

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times dy = 0,0018 \times 1000 \times 122 = 219,6 \text{ mm}^2$$

$$s \leq 5h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 5 \times 150 = 750 \text{ mm} \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{219,6}{201,1} = 1,1 \approx 2$$

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

Jadi, digunakan tulangan arah x **D16-200 mm.**

4.3.2 Penulangan Pelat Bordes

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

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

- Tulangan arah y (memanjang pelat)

$$dy = 150 - 20 - 16 - 16/2 = 106 \text{ mm}$$

$$\text{Mu} = 15608 \text{ Kgm} = 15608 \times 10^4 \text{ Nmm (Output SAP)}$$

$$R_n = \frac{\text{Mu}}{\phi b d^2} = \frac{15608}{0,9 \times 1000 \times 106^2} = 1,54$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 1,54}{390}} \right) \\ = 0,004$$

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

Maka, $\rho_{\text{pakai}} = 0,004$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times dx = 0,004 \times 1000 \times 106 = 430,99 \text{ mm}^2$$

$$s = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{As \text{ perlu}} = 1000 \times \frac{201,1}{430,99} = 466,51 \text{ mm}$$

syarat jarak antar tulangan

$s \leq 3h$ atau 450 mm

$s \leq 3(150)$ atau 450 mm

$s \leq 450$ atau 450 mm

maka, digunakan $s = 150$ mm

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = 1000 \times \frac{As \text{ tul.}}{s} = 1000 \times \frac{201,1}{150} = 1340,41 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu}$$

(OK)

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{1340,41 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 17,57 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3, untuk $f'_c = 35 \text{ Mpa}$
maka $\beta_1 = 0,8$.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{17,57}{0,8} = 21,97 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{dx}{c} - 1 \right) = 0,003 \times \left(\frac{106}{21,97} - 1 \right) = 0,012$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 gambar S9.3.2 faktor reduksinya, \emptyset sebesar 0,9.

$$\begin{aligned} \emptyset Mn &= \emptyset \times As \times fy \times (dx - 0,5a) \\ &= 0,9 \times 1340,41 \times 390 \times (106 - 0,5(17,57)) \\ &= 62197630,99 \text{ Nmm} > \text{Mu (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan arah x **D16-150 mm**

- Tulangan arah x (melintang pelat)

Pada arah x merupakan tulangan susut. Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1, untuk tulangan mutu 390 Mpa rasio tulangan minimum sebesar 0,0018

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dy = 0,0018 \times 1000 \times 122 = 219,6 \text{ mm}^2$$

$s \leq 5h$ atau 450 mm

$s \leq 5 \times 150 = 750 \text{ mm}$ atau 450 mm

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{219,6}{201,1} = 1,1 \approx 2$$

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

Jadi, digunakan tulangan arah y **D16-200 mm.**

4.3.3 Penulangan Balok Bordes

- Perencanaan dimensi balok bordes

$$h_{min} = \frac{l}{16} = \frac{300}{16} = 18,75 \approx 40 \text{ cm}$$

$$h_{min} = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 18,75 = 12,5 \approx 30 \text{ cm}$$

Maka, digunakan dimensi balok bordes 30/40

- Pembebaan balok bordes

Beban Mati (DL)

$$\text{Berat balok} = 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat pelat bordes} = 4,8 \times 0,15 \times 2400 = 1728 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding} &= 4,8 \times 90 \\ &= \underline{\underline{432 \text{ Kg/m}}} + \\ &= 2448 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban hidup tangga} = 4,8 \times 479 = 2299,2 \text{ Kg/m}$$

$$Qu = 1,2 \times 2448 + 1,6 \times 2299,2 = 6616,32 \text{ Kg/m}$$

$$Mu = \frac{1}{16} \times Qu \times L^2 = \frac{1}{16} \times 6616,32 \times 4,8^2 = 9527,5 \text{ Kgm}$$

$$Vu_{total} = \frac{1}{2} \times Qu \times L = \frac{1}{2} \times 6616,32 \times 4,8 = 15879,17 \text{ Kg}$$

Direncanakan :

Diameter tulangan geser = 10 mm

Diameter tulangan lentur = 16 mm

$$d = 400 - 40 - 10 - 16/2 = 342 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{39} = 0,0036$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \left(\frac{600}{600+} \right) = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600+} \right) \\ &= 0,037 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

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

- Penulangan lentur balok bordes

$$Mu = 9527,5 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{9527,5 \times 10^4}{0,9 \times 300 \times 342^2} = 3,01$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 3,01}{390}} \right)$$

$$= 0,008$$

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

Maka, $\rho_{pakai} = 0,008$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dx = 0,008 \times 300 \times 342 = 820,8 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tul.}} = \frac{820,8}{201,1} = 4,08 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga } As \text{ pakai} = n \times As \text{ tul.} = 5 \times (0,25 \times \pi \times 16^2)$$

$$= 1005,3 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} (\text{OK})$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 342 = 389,09 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 300 \times 342 = 368,30 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 1005,31 \text{ mm}^2 > As_{min} (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan atas **5 D16**

Tulangan bawah diambil 0,5 dari tulangan atas = **3 D16**

- Penulangan geser balok bordes

$$Vu = 15879,17 \times 10^4 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} (\sqrt{f'c} \times b_w \times d) = \frac{1}{6} (\sqrt{35} \times 300 \times 342) = 101165 \text{ N}$$

$$\bar{O}V_c = 0,75 \times 101165 = 75873 \text{ N}$$

$$0,5 \bar{O}V_c = 0,5 \times 75873 = 37937 \text{ N}$$

Maka, $\bar{O}V_c < Vu < 0,5 \bar{O}V_c$

Kondisi diatas tidak perlu tulangan geser sehingga dipasang tulangan geser minimum. Batas spasi tulangan geser berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.1

$$S_{maks} = d/2 = 342/2 = 171 \text{ mm atau}$$

$$S_{maks} = 600 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan $2\varnothing 10 - 200 \text{ mm}$ dengan $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ($As_{pakai} = 157 \text{ mm}^2$)

Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3

$$As_{min} = \frac{0,062 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times s = \frac{0,062 \sqrt{35}}{390} 300 \times 200 = 91,7 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{0,35}{f_y} b_w \times s = \frac{0,35}{390} 300 \times 200 = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 157 \text{ mm}^2 > As_{min} (\text{OK})$$

Jadi, dipakai tulangan geser **Ø10 – 200 mm**

4.4 Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi. Dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu pada dua titik tumpu, titik tumpu pertama pada balok induk, titik tumpu kedua pada balok anak.

Balok anak direncanakan bertumpuan sendi-sendi sehingga momen pada tumpuannya sama dengan 0. Dengan data perencanaan :

Dimensi balok anak	: 25 x 40 cm
Tebal decking	: 50 mm
Tulangan lentur	: D19 mm
Tulangan geser	: Ø10 mm
Mutu baja (fy)	: 390 Mpa
Mutu beton (fc')	: 35 Mpa

Dalam perhitungan penulangan balok anak direncanakan dalam tiga keadaan, yaitu penulangan akibat pengangkatan, penulangan akibat beban sebelum komposit dan penulangan akibat beban setelah komposit. Lalu dipilih tulangan yang paling kritis diantara tiga keadaan tersebut.

4.4.1 Pembebanan Balok Anak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat.

$$Lx = 120 - (25/2 + 40/2) = 87,5 \text{ cm}$$

$$Ly = 720 - (40/2 + 40/2) = 680 \text{ cm}$$

1. Saat Pengangkatan

Dalam pembebanan saat pengangkatan beban yang bekerja adalah beban mati yang terdiri dari berat sendiri pelat pracetak dan beban kejut akibat pengangkatan.

- Beban mati (DL)

$$\begin{array}{lcl} \text{Berat sendiri} & = 0,25 \times 0,27 \times 2400 & = 162 \text{ Kg/m} \\ \text{Beban kejut} & = 0,5 \times 162 & = 81 \text{ Kg/m} \\ & & + \\ & & \text{DL} = 243 \text{ Kg/m} \end{array}$$

- Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 didapatkan:

$$Qu = 1,4 \text{ DL} = 1,4 (243) = 340,2 \text{ Kg/m}$$

2. Sebelum komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit beban yang bekerja adalah beban mati yang terdiri dari berat sendiri pelat pracetak dan beban overtopping saat pengecoran dan beban hidup yang merupakan beban pekerja.

- Beban mati (DL)

$$\begin{array}{lcl} \text{Berat sendiri} & = 0,25 \times 0,27 \times 2400 & = 162 \text{ Kg/m} \\ \text{Berat pelat} & = 2 \times 0,5 \times 0,13 \times 2400 \times 2,4 & = 748,8 \text{ Kg/m} \\ \text{Berat overtopping} & = 0,25 \times 0,13 \times 2400 & = 78 \text{ Kg/m} \\ & & + \\ & & \text{DL} = 988,8 \text{ Kg/m} \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban pekerja} \quad LL = 200 \text{ Kg/m}$$

- Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 didapatkan:

$$Qu = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 (988,8) + 1,6 (200) = 1506,6 \text{ Kg/m}^2$$

3. Sesudah komposit

Dalam pembebanan sesudah komposit beban yang bekerja adalah beban pelat komposit dan beban mati lainnya dan beban hidup untuk gedung sekolah.

- Beban mati (DL)

$$\begin{array}{lcl} \text{Berat sendiri} & = 0,25 \times 0,4 \times 2400 & = 240 \text{ Kg/m} \\ \text{Berat pelat} & = 2 \times 0,5 \times 0,13 \times 2400 \times 2,4 & = 748,8 \text{ Kg/m} \\ \text{Keramik} & = 2 \times 0,5 \times 20,5 \times 2,4 & = 49,2 \text{ Kg/m} \\ \text{Spesi} & = 2 \times 0,5 \times 5 \times 2,4 & = 12 \text{ Kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 \text{Plafond \& penggantung} & = 2 \times 0,5 \times 5,03 \times 2,4 & = 12,07 \text{ Kg/m} \\
 \text{Mechanical Duct} & = 2 \times 0,5 \times 19 \times 2,4 & = 45,6 \text{ Kg/m}+ \\
 & & \text{DL} = 1107,7 \text{ Kg/m}
 \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban hidup} = 2 \times 0,5 \times 192 \times 2,4 = 460,8 \text{ Kg/m}$$

Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 didapatkan:

$$Qu = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 (1107,7) + 1,6 (460,8) = 2066,5 \text{ Kg/m}^2$$

4.4.2 Perhitungan Tulangan Balok Anak

- Untuk harga β_1 untuk $f'_c = 35 \text{ MPa}$ diambil sebesar 0,8 (Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)
- Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

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

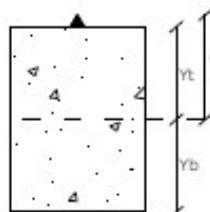
$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

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

4.4.2.1 Penulangan Akibat Pengangkatan

Momen (M_u) yang bekerja pada balok anak ditentukan berdasarkan sub bab 3.2.6 mengenai kontrol penulangan struktur bagian kontrol elemen pracetak untuk kontrol pengangkatan dengan 2 titik angkat.

Kondisi sebelum komposit:



$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 27 \text{ cm}$$

$$\text{decking} = 5 \text{ cm}$$

$$L = 680 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{27}{2} = 14 \text{ cm}$$

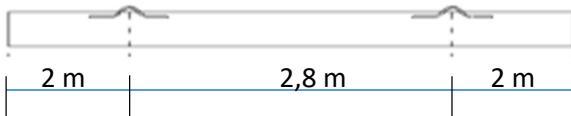
$$Y_c = Y_t + 5 = 19 \text{ cm}$$

Sudut pengangkatan, $\theta = 45^\circ$

$$x = \frac{1 + \frac{4 \times 19}{680 \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{\frac{14}{14} \left(1 + \frac{4 \times 19}{680 \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,2$$

$$x \times L = 0,2 \times 680 = 136 \text{ cm} = 2 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (x \times L) = 6,80 - 2(2) = 2,80 \text{ m}$$



$$\text{Berat sendiri} = 0,25 \times 0,27 \times 2400 = 162 \text{ Kg/m}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,5 :

$$M^+ = \frac{340,2 \times 6,80^2}{8} \times \left(1 - 4 \times 0,2 + \frac{4 \times 19}{680 \tan 45^\circ} \right) = 613,04 \text{ Kgm}$$

$$M^- = \frac{340,2 \times 0,2^2 \times 6,8^2}{2} = 314,6 \text{ Kgm}$$

$$Vu = \frac{1}{2} Qu L = \frac{1}{2} x 340,2 x 6,8 = 1156,7 \text{ kg}$$

• Tulangan Lentur Tarik Lapangan

$$d = 270 - 50 - 10 - 19/2 = 210,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 613,04 \text{ Kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{613,04 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 210,5^2} = 0,62$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 5,2}{390}} \right) \\ = 0,002$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$\text{Maka, } \rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times 0,002 = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,00 \times 250 \times 210,5 = 109,9 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{109,9}{283,53} = 0,4 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 2 \times (0,25 \times \pi \times 19^2)$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu (OK)}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{fc}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 250 \times 210,5 = 199,57 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 250 \times 210,5 = 188,91 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai}} = 567,06 \text{ mm}^2 > As_{\min} (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar - decking - sengkang - } n \times \text{diameter pakai}}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{250 - 2(50) - 2(10) - 2(19)}{2 - 1} = 112 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 112 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan **2 D19**.

- Tulangan Lentur Tekan Lapangan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$As' = 0,5 \times 567,06 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{283,53}{283,53} = 1 \text{ buah}$$

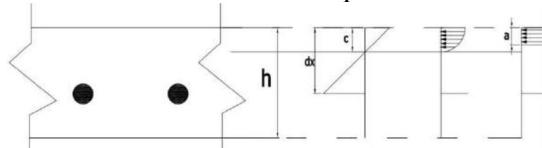
Dipakai 2 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \text{ fy}}{0,85 fc' b} = \frac{567,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 29,73 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk f_c' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,73}{0,8} = 37,2 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{210,5}{37,2} - 1 \right) = 0,01$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ε_t lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 567,06 \times 390 \left(210,5 - \frac{1}{2} \times 44,6 \right)$$

$$\phi M_n = 38938322,14 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$3893,8 \text{ kgm} > 613,04 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19**.

- Tulangan Lentur Tarik Tumpuan**

$$d = 270 - 50 - 10 - 19/2 = 210,5 \text{ mm}$$

$$M_u = 314,6 \text{ Kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{314,6 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 21,5^2} = 0,316$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 0,316}{390}} \right) \\ = 0,0008$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$\text{Maka, } \rho_{\text{pakai}} = 0,001$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,001 \times 250 \times 210,5 = 55,73 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{55,73}{283,53} = 0,2 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 2 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ = 567,06 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \quad (\text{OK})$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$A_{s\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 250 \times 210,5 = 199,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 250 \times 210,5 = 188,91 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 567,06 \text{ mm}^2 > A_{s\min} (\text{OK})$$

Jadi, digunakan **2 D19**

- Tulangan Lentur Tekan Tumpuan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$A_s' = 0,5 \times 567,06 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{283,53}{283,53} = 1 \text{ buah}$$

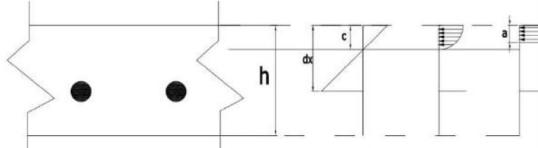
Dipakai 2 buah tulangan

$$A_s \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{567,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 29,73 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk f'_c diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,73}{0,8} = 37,2 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{210,5}{37,2} - 1 \right) = 0,01$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ϵ_t lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 567,06 \times 390 \left(210,5 - \frac{1}{2} \times 44,6 \right)$$

$$\phi M_n = 38938322,14 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$3893,8 \text{ kgm} > 314,6 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19**.

- Tulangan Geser Akibat Pengangkatan**

$$V_u = 1156,7 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ci}} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 250 \times 210,5 = 51888,95 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 51888,95 = 38916,7 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 38916,7 = 19458,4 \text{ N}$$

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c$$

$$1156,7 \text{ N} \leq 19458,4 \text{ N}$$

Sehingga, tidak diperlukan tulangan geser. Digunakan tulangan geser minimum **2 Ø10 – 200 mm**.

- Kontrol Lendutan**

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

$$fr = 0,62 \sqrt{f_{ci}} = 0,62 \sqrt{16,1} = 2,48 \text{ MPa} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_e = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 250 \times 270^3 = 410062500 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_{ci}} = 4700 \sqrt{16,1} = 18858,658$$

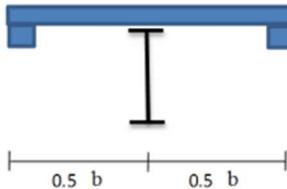
$$\Delta = \frac{5 Q u L^4}{384 E_c I_e} = \frac{5 \times 2,43 \times 6800^4}{384 \times 18858,658 \times 1166400000} = 8,75 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2012 batasan lendutan pelat adalah L/240

$$\frac{L}{240} = \frac{6800}{240} = 28,33 \text{ mm}$$

$$\Delta = 8,75 \text{ mm} \leq 28,33 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.4.2.2 Penulangan Sebelum Komposit



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding di tengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$M_{lap} = \frac{1}{16} \times Qu \times (0,5Lx)^2 = \frac{1}{16} \times 1506,6 \times (0,5 \cdot 6,8)^2 \\ = 1088,5 \text{ Kgm}$$

$$M_{lum} = \frac{1}{10} \times Qu \times (0,5Lx)^2 = \frac{1}{10} \times 1506,6 \times (0,5 \cdot 6,8)^2 \\ = 1741,63 \text{ Kgm}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times Qu \times Lx = \frac{1}{2} \times 1506,6 \times 6,8 = 5122,44 \text{ Kg}$$

• Tulangan Lentur Tarik Lapangan

$$d = 270 - 50 - 10 - 19/2 = 210,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 1088,5 \text{ Kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{1088,5 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 210,5^2} = 1,09$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 1,09}{390}} \right) \\ = 0,003$$

$$\rho_{min} > \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$\text{Maka, } \rho_{pakan} = 1,3 \times 0,003 = 0,004$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,004 \times 250 \times 210,5 = 194,84 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{194,84}{283,53} = 0,7 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 2 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ = 567,06 \text{ mm}^2 > \text{As perlu (OK)}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_{rc}}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 250 \times 210,5 = 199,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 250 \times 210,5 = 188,91 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 567,06 \text{ mm}^2 > A_{s\min} (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar - decking - sengkang - } n \times \text{diameter pakai}}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{250 - 2(50) - 2(10) - 2(19)}{2 - 1} = 112 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 112 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan 2 D19.

- Tulangan Lentur Tekan Lapangan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$A_s' = 0,5 \times 567,06 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{283,53}{283,53} = 1 \text{ buah}$$

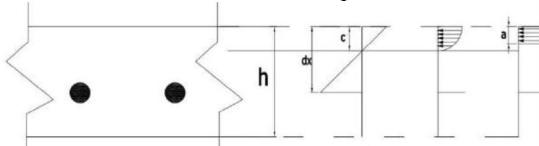
Dipakai 2 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{567,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 29,73 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk f'_c diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,73}{0,8} = 37,2 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\epsilon t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{210,5}{37,2} - 1 \right) = 0,01$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ϵt lebih besar dari 0,005

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

$$\phi Mn = 0,9 \times 567,06 \times 390 \left(210,5 - \frac{1}{2} \times 44,6 \right)$$

$$\phi Mn = 38938322,14 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$3893,8 \text{ kgm} > 1088,5 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19**

- Tulangan Lentur Tarik Tumpuan**

$$d = 270 - 50 - 10 - 19/2 = 210,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 1741,63 \text{ Kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{1741,63 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 210,5^2} = 1,75$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,1} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,1) \times 1,75}{390}} \right) \\ = 0,005$$

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

$$\text{Maka, } \rho_{\text{pakai}} = 0,005$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,005 \times 250 \times 210,5 = 243,52 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{243,52}{283,53} = 0,9 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 2 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ = 567,06 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \quad (\text{OK})$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{fy} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 250 \times 210,5 = 199,57 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{1,4}{fy} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 250 \times 210,5 = 188,91 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 567,06 \text{ mm}^2 > A_{smin} (\text{OK})$$

Jadi, digunakan 2 D19

- Tulangan Lentur Tekan Tumpuan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$A_s' = 0,5 \times 567,06 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{283,53}{283,53} = 1 \text{ buah}$$

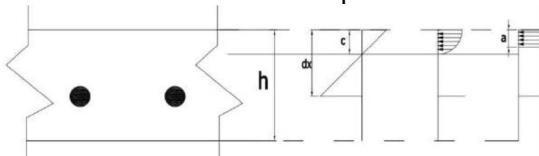
Dipakai 2 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f_{c'} \cdot b} = \frac{567,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 29,73 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk $f_{c'} = 28 \text{ MPa}$, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,73}{0,8} = 37,2 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{210,5}{37,2} - 1 \right) = 0,01$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ϵ_t lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 567,06 \times 390 \left(210,5 - \frac{1}{2} \times 44,6 \right)$$

$$\emptyset \text{ Mn} = 38938322,14 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset \text{ Mn} > \text{Mu}$$

$$3893,8 \text{ kgm} > 1741,6 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19**.

- Tulangan Geser Akibat Sebelum Komposit**

$$Vu = 5122,4 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{fc'} \times bw \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 250 \times 210,5 = 51888,95 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 51888,95 = 38916,7 \text{ N}$$

$$0,5 \phi Vc = 0,5 \times 38916,7 = 19458,4 \text{ N}$$

$$Vu \leq 0,5 \phi Vc$$

$$5122,4 \text{ N} \leq 19458,4 \text{ N}$$

Sehingga, tidak diperlukan tulangan geser. Digunakan tulangan geser minimum **2 Ø10 – 200 mm**.

- Kontrol Lendutan**

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

$$fr = 0,62 \sqrt{fc_i} = 0,62 \sqrt{16,1} = 2,48 \text{ MPa} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ie = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} \times 250 \times 270^3 = 410062500 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700 \sqrt{fc_i} = 4700 \sqrt{16,1} = 18858,658$$

$$\Delta = \frac{5 Qu L^4}{384 Ec Ie} = \frac{5 \times 2,43 \times 6800^4}{384 \times 18858,658 \times 1166400000} = 8,75 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2012 batasan lendutan pelat adalah L/240

$$\frac{L}{240} = \frac{6800}{240} = 28,33 \text{ mm}$$

$$\Delta = 8,75 \text{ mm} \leq 28,33 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.4.2.3 Penulangan Sesudah Komposit

$$M_{\text{lap}} = \frac{1}{8} \times Qu \times (0,5Lx)^2 = \frac{1}{8} \times 2066,5 \times (6,8)^2 = 11944,4 \text{ Kgm}$$

$$M_{\text{lrum}} = 0 \text{ Kgm}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times Qu \times Lx = \frac{1}{2} \times 2066,5 \times 6,8 = 7026,1 \text{ Kg}$$

- Tulangan Lentur Tarik Lapangan**

$$d = 270 - 50 - 10 - 19/2 = 210,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 11944,4 \text{ Kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{11944,4 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 210,5^2} = 11,98$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 11,98}{390}} \right) \\ = 0,04$$

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

$$\text{Maka, } \rho_{pakai} = 0,04$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,04 \times 250 \times 210,5 = 2243,4 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{2243,4}{283,53} = 3,91 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 4 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ = 1134 \text{ mm}^2 > \text{As perlu (OK)}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$\text{As}_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 250 \times 210,5 = 199,57 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 250 \times 210,5 = 188,91 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{pakai} = 1134 \text{ mm}^2 > \text{As}_{min} \text{ (OK)}$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar} - \text{decking} - \text{sengkang} - n \times \text{diameter pakai}}{\text{n tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{250 - 2(50) - 2(10) - 4(19)}{4 - 1} = 124,7 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 124,7 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan **4 D19**.

- Tulangan Lentur Tekan Lapangan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$As' = 0,5 \times 1134 = 567,06 \text{ mm}^2$$

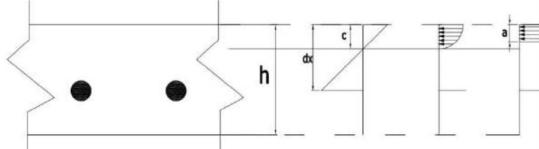
$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{567,06}{283,53} = 2 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \text{ fy}}{0,85 f'_c b} = \frac{1134 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 59,5 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk f'_c diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{59,5}{0,8} = 74,3 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{210,5}{74,3} - 1 \right) = 0,006$$

dipakai $\emptyset = 0,9$ dikarenakan ε_t lebih besar dari 0,005

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

$$\emptyset M_n = 0,9 \times 1134 \times 390 \left(210,5 - \frac{1}{2} \times 59,5 \right)$$

$$\emptyset M_n = 71951903,7 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset M_n > M_u$$

$$71951,9 \text{ kgm} > 11944,37 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19**

- Tulangan Geser Akibat Sebelum Komposit**

$$V_u = 7026,1 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times bw \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 250 \times 210,5 = 51888,95 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 51888,95 = 38916,7 \text{ N}$$

$$0,5 \phi Vc = 0,5 \times 38916,7 = 19458,4 \text{ N}$$

$$Vu \leq 0,5 \phi Vc$$

$$7026,1 \text{ N} \leq 19458,4 \text{ N}$$

Sehingga, tidak diperlukan tulangan geser. Digunakan tulangan geser minimum **2 Ø10 – 150 mm.**

- Kontrol Lendutan**

$$fci (7 \text{ hari}) = 0,7 \times 35 \text{ MPa} = 24,5 \text{ MPa}$$

$$fr = 0,62\sqrt{fci} = 0,62\sqrt{24,5} = 3,06 \text{ MPa} = 30,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ie = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 250 \times 400^3 = 1333333333 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700\sqrt{fci} = 4700\sqrt{24,5} = 23263,81$$

$$\Delta = \frac{5 Qu L^4}{384 Ec Ie} = \frac{5 \times 1568,5 \times 6800^4}{384 \times 23263,81 \times 133333333} = 14,08 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2012 batasan lendutan pelat adalah L/240

$$\frac{L}{240} = \frac{6800}{240} = 28,33 \text{ mm}$$

$$\Delta = 14,08 \text{ mm} \leq 28,33 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.4.2.4 Kontrol Tegangan Akibat Pengangkatan

Pengangkatan balok anak pracetak dilakukan dengan 2 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:
 $fci (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16,1 \text{ M}$

$$fr = 0,62\sqrt{fci} = 0,62\sqrt{16,1} = 2,48 \text{ MPa} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 250 \times 270^2 = 3037500 \text{ mm}^3$$

$$M_{+(lap)} = 6130400 \text{ Nmm}$$

$$M_{-(tump)} = 3146000 \text{ Nmm}$$

Momen yang terjadi

$$\sigma_{max} = \frac{M^+}{W} = \frac{6130400}{3037500} = 2,02 \text{ MPa} \leq fr = 2,48 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

$$\sigma_{min} = \frac{M^-}{W} = \frac{3146000}{3037500} = 1,04 \text{ MPa} \leq fr = 2,48 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

Perhitungan Kebutuhan Tulangan Angkat dan Strand

- Pembebaan

Beban Mati (DL) :

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pracetak} &= 0,25 \times 0,27 \times 2400 = 162 \text{ Kg/m} \\ qD &= 162 \times 6,8 = 1101,6 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL) :

$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ Kg/m}$$

- Perhitungan Tulangan Angkat

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimate} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 (1101,6) + 1,6 (200) \\ &= 1641,92 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan PCI 7th Edition fig. 8.3.4 mengenai faktor pengali gaya berdasarkan sudut pengangkatan (α) yang direncanakan. Untuk $\alpha = 45^\circ$, faktor pengalinya adalah 1,41.

Sehingga beban yang diterima satu titik angkat :

$$P_1 = 1641,92 \times 1,41 / 2 = 1157,55 \text{ Kg}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (fs) diambil sebesar 2/3 fy.

$$fs = \frac{2}{3} fy = \frac{2}{3} 390 = 260 \text{ Mpa} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$As = \frac{P_1}{fs} = \frac{1157,55}{2600} = 0,44 \text{ mm}^2$$

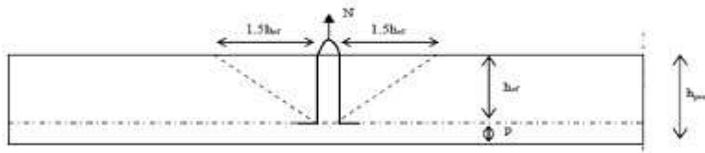
Digunakan tulangan angkat Ø10 mm ($As = 0,79 \text{ mm}^2 > As$)

Jadi, dipakai tulangan angkat Ø10 mm.

Berdasarkan SNI 2847:2013 lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($kc = 10$, angkur cor di dalam), maka

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{kc\sqrt{f'c}} \right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1641,92}{10\sqrt{35}} \right)^2} = 49,75 \text{ mm}$$

Maka angkur dipasang sedalam 50 mm.



Berdasarkan PCI 7th fig. 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (*breakout*) yang terbesar dari,

$$de = \frac{hef}{\tan 35^\circ} = \frac{50}{\tan 35^\circ} = 71 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 hef = 1,5 (50) = 75 \text{ mm}$$

Maka digunakan $de = 75 \text{ mm}$

- Perhitungan Kebutuhan Strand

Berdasarkan PCI 7th tabel design aid 15.3.1 material properties prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi:

$$\text{Diameter} = 0,5 \text{ in} = 6,35 \text{ mm}$$

$$F_{pu} = 250 \text{ ksi} = 1724 \text{ MPa}$$

$$A = 0,036 \text{ in}^2 = 23,36 \text{ mm}^2$$

$$F_{strand} = 1724 \times 23,36 = 4003,8 \text{ Kg}$$

$$\text{Maka gaya yang dipikul 1 strand} = 4003,8 / 2 = 2000,9 \text{ Kg}$$

Kontrol : $P_1 < F_{strand}$

$$1157,55 \text{ Kg} < 2000,9 \text{ Kg} (\text{OK})$$

Maka digunakan seven wire strand diameter 0,25 in ($f_{pu} = 250 \text{ ksi}$).

4.4.3 Kontrol Elemen Pracetak

4.4.3.1 Kontrol Penumpukan

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

$$F_{ci} = 0,46 \times F'c$$

$$= 0,46 \times 35$$

$$= 16,1 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{16,1}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.4877 \text{ Mpa} \\
 &= 24.877 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

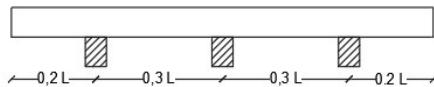
- **Pembebanan Saat Penumpukan**

$$Q_d = 1,2 (0,25 \times 0,27 \times 2400) = 194,4 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 (200) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \times 25 \times 27^2 = 3037,5 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,3 \text{ L} = 0,3 \times 6,8 = 2,04 \text{ m}$$



$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_u \times L$$

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times 194,4 \times 2,04^2 + \frac{1}{4} \times 320 \times 2,04 = 244,11 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{lap} = 366,15 \text{ kgm} = 36615 \text{ kgcm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times Q_d \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times 320 \times 2,04^2 = 166,46 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{tump} = 249,7 \text{ kgm} = 24970 \text{ kgcm}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\
 &= \frac{36615}{3037,5} \\
 &= 12,05 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tumpuan}} &= \frac{M_{\text{tumpuan}}}{W} \\
 &= \frac{24970}{3037,5} \\
 &= 8,22 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- **Kontrol Jumlah Penumpukan**

Pada penumpukan pelat pracetak digunakan balok kayu dengan ukuran $5 \times 10 \text{ cm}$.

$$\text{Luas bidang kontak} = 0.05 \times 3 \text{ balok kayu}$$

$$= 0.15 \text{ m}^2$$

$$= 150000 \text{ mm}^2$$

$$P = 1,2 (6,8 \times 2400 \times 0,25 \times 0,27) + 1,6 (200)$$

$$= 1641,92 \text{ kg} = 16419,2 \text{ N}$$

$$f = \frac{Pu}{A} = \frac{16419,2}{150000} = 0.109 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah penumpukan} &= \frac{fr}{f \times SF} \\ &= \frac{2.487}{0.109 \times 3} \\ &= 7,57 \approx 7 \text{ tumpukan}\end{aligned}$$

4.4.3.2 Kontrol Pemasangan

Pemasangan pelat pracetak dilakukan saat umur beton 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$F_{ci} = 0,7 \times F'c$$

$$= 0,7 \times 35$$

$$= 24.5 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{24.5}$$

$$= 3.068843 \text{ Mpa}$$

$$= 30.68843 \text{ kg/cm}^2$$

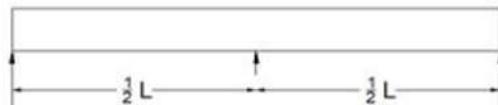
- Pembebanan Saat Pemasangan**

$$Q_d = 1,2 (0,25 \times 0,27 \times 2400) = 194,4 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 (200) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \times 25 \times 27^2 = 3037,5 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,5 b = 0,5 \times 6,8 = 3,4 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen:

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times L$$

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times 194,4 \times 3,4^2 + \frac{1}{4} \times 320 \times 3,4 = 496,73 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{lap} = 745,1 \text{ kgm} = 74510 \text{ kgcm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times Qd \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times 194,4 \times 3,4^2 = 280,91 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{tump} = 421,36 \text{ kgm} = 42136 \text{ kgcm}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}\sigma_{lapangan} &= \frac{M_{lapangan}}{W} \\ &= \frac{74510}{3037,5} \\ &= 24,53 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{tumpuan} &= \frac{Mtumpuan}{W} \\ &= \frac{42136}{3037,5} \\ &= 13,87 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

4.4.3.3 Kontrol Pengecoran

Pengecoran pelat pracetak dilakukan saat umur beton 7 hari , sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$Fci = 0,7 \times F'c$$

$$= 0,7 \times 35$$

$$= 24.5 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{24.5}$$

$$= 3.068843 \text{ Mpa}$$

$$= 30,68843 \text{ kg/cm}^2$$

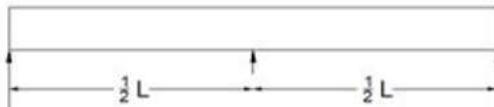
- **Pembebatan Saat Pengecoran**

$$Q_d = 1,2 (0,25 \times 0,4 \times 2400) = 288 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 (200) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \times 25 \times 40^2 = 6666,67 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,5 b = 0,5 \times 6,8 = 3,4 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen:

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_u \times L$$

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times 288 \times 3,4^2 + \frac{1}{4} \times 320 \times 3,4 = 604,93 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{lap} = 907,39 \text{ kgm} = 90739 \text{ kgcm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times Qd \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times 288 \times 3,4^2 = 416,16 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{tump} = 624,24 \text{ kgm} = 62424 \text{ kgcm}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\ &= \frac{90739}{6666,7} \\ &= 13,61 \text{ kg/cm}^2 < \text{Fr} = 30,69 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tumpuan}} &= \frac{M_{\text{tumpuan}}}{W} \\ &= \frac{62424}{6666,7} \\ &= 9,36 \text{ kg/cm}^2 < \text{Fr} = 30,69 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

4.5 Perencanaan Balok Lift

Perencanaan yang dilakukan pada balok lift ini meliputi balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini direncanakan menggunakan lift penumpang produk SIGMA Elevator Company dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe lift	:	IRIS NV
Standar kapasitas	:	1350 Kg
Kecepatan	:	1,0 m/s
Lebar pintu (opening width)	:	1000 mm
Dimensi sangkar (car size)	:	
-Car wide (CW)	:	1800 mm
-Car depth (CD)	:	1700 mm
Dimensi ruang luncur (hoistway size) Duplex	:	
-Hoistway width(HW)	:	4850 mm
-Hoistway depth (HD)	:	2400 mm
Beban reaksi ruang mesin	:	
-R1	:	8900 mm
-R2	:	6000 mm

Dengan data perencanaan sebagai berikut:

Dimensi balok lift	:	30 x 40 cm
Decking	:	40 mm
Tulangan lentur	:	D16 mm
Tulangan geser	:	Ø10 mm
Mutu baja (fy)	:	390 MPa
Mutu beton (fc')	:	35 MPa

4.5.1 Pembebatan Balok Lift

Beban mati (DL)

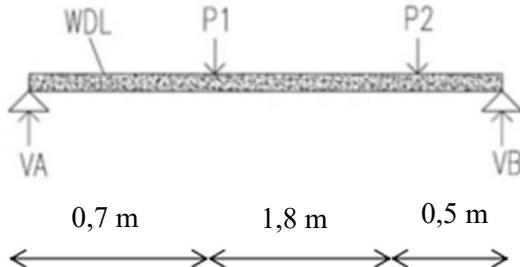
Berat balok lift	=	$0,3 \times 0,4 \times 2400$	=	288 Kg/m
Pelat 8cm	=	$0,08 \times 1,8 \times 2400$	=	345 Kg/m
Beban terpusat R1/2	=	8900/2	=	4450 Kg
Beban terpusat R2/2	=	6000/2	=	3000 Kg

Beban ultimate

$$\begin{aligned} \text{Wu} &= 1,2 \text{ DL} \\ &= 1,2 (288 + 345) = 760 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

4.5.2 Penulangan Balok Lift

Beban terpusat (brosur) pada perhitungan gaya dalam balok lift dibagi menjadi dua, dengan pembagian sebagai berikut:



$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot L - P_1 \cdot L - P_2 \cdot L = 0$$

$$V_A \cdot 3 - 4450 \cdot 2,3 - 3000 \cdot 0,5 = 0$$

$$V_A = 3911,67 \text{ Kg} \uparrow$$

$$\begin{aligned} V_B &= 3911,67 - 4450 - 3000 - (760 \cdot 3) \\ &= 5818,33 \text{ Kg} \downarrow \end{aligned}$$

Distribusi beban terpusat P pada setiap perletakan :

$$V_{Ap1} = 4450 \times \frac{2,3}{3} = 2600 \text{ Kg}$$

$$V_{Bp1} = 4450 - 2600 = 1850 \text{ Kg}$$

$$V_{Ap2} = 3000 \times \frac{0,5}{3} = 420 \text{ Kg}$$

$$V_{Bp2} = 3000 - 420 = 2580 \text{ Kg}$$

$$D_{AB} = 0$$

$$4450 - 760 \cdot L_1 - 2600 - 420 = 0$$

$$L_1 = 1,8 \text{ m dari titik A}$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times Qu \times L^2 + V_{Ap1} \cdot L + V_{Ap2} \cdot L$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times 760 \times 3^2 + 2600 \cdot 2,75 + 420 \cdot 2,7 = 6654 \text{ Kgm}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times Qu \times L + V_{Ap1} + V_{Ap2}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times 760 \times 3 + 2600 + 420 = 5806 \text{ Kg}$$

- Untuk harga β_1 untuk $f'_c = 35 \text{ MPa}$ diambil sebesar 0,8
(Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)

- Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \left(\frac{600}{600+fy} \right) = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600+3} \right) = 0,037$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

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

- Penulangan lentur balok lift

$$Mu = 6654 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$d = h - decking - \phi - \frac{D}{2} = 400 - 40 - 10 - \frac{16}{2} = 342 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{66540000}{0,9 \times 300 \times 342^2} = 2,11$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,11) \times 2,11}{390}} \right) = 0,006$$

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

Maka, $\rho_{\text{pakai}} = 0,006$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,006 \times 300 \times 342 = 615,6 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{615,6}{201,1} = 3,1 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga As pakai} &= n \times \text{As tul.} = 4 \times (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} (\text{OK}) \end{aligned}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$\text{As}_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{fc'}}{fy} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 342 = 389,09 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min} = \frac{1,4}{fy} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 300 \times 342 = 368,30 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{pakai}} = 804,25 \text{ mm}^2 > \text{As}_{\min} (\text{OK})$$

Kontrol Kekuatan

$$a = \frac{As fy}{0,85 fc' b} = \frac{804,25 \times 390}{0,85 \times 35 \times 300} = 35,14 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk fc' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{35,14}{0,8} = 43,9 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{342}{43,9} - 1 \right) = 0,02$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ε_t lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 804,25 \times 390 \left(342 - \frac{1}{2} \times 35,14 \right)$$

$$\phi M_n = 91583912 \text{ Nmm}$$

$\phi M_n > M_u (\text{OK})$

Jadi, digunakan tulangan atas **4 D16**

Tulangan bawah diambil 0,5 dari tulangan atas = **2 D16**

- Penulangan geser balok lift

$$V_u = 5806 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \left(\sqrt{f' c} \times b_w \times d \right) = \frac{1}{6} \left(\sqrt{35} \times 300 \times 342 \right) = 101165 \text{ N}$$

$$\bar{\phi} V_c = 0,75 \times 101165 = 75873 \text{ N}$$

$$0,5 \bar{\phi} V_c = 0,5 \times 75873 = 37937 \text{ N}$$

Maka, $\bar{\phi} V_c < V_u < 0,5 \bar{\phi} V_c$

Kondisi diatas tidak perlu tulangan geser sehingga dipasang tulangan geser minimum. Batas spasi tulangan geser berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.1

$$S_{\max} = d/2 = 342/2 = 171 \text{ mm atau}$$

$$S_{\max} = 600 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan $\text{Ø}10 - 200 \text{ mm dengan } f_y = 240 \text{ Mpa}$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3

$$A_{S\min} = \frac{0,062 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times s = \frac{0,062 \sqrt{35}}{390} 300 \times 200 = 91,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\min} = \frac{0,35}{f_y} b_w \times s = \frac{0,35}{390} 300 \times 200 = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{pakai}} = 157 \text{ mm}^2 > A_{S\min} (\text{OK})$$

Jadi, dipakai tulangan geser **Ø10 – 200 mm**

4.6 Pemodelan Struktur

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 2847:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012. Dengan data perencanaan sebagai berikut:

Mutu beton (fc')	: 35 MPa
Mutu baja (fy)	: 390 MPa
Fungsi bangunan	: Fasilitas pendidikan
Jumlah tingkat	: 10 lantai
Tinggi tiap tingkat	: 4,8 m
Tinggi bangunan	: 48,00 m
Kategori desain seismik	: D

4.6.1 Pembebanan

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh rangka. Pembebanan terdiri dari beban hidup dan beban mati sesuai pada tabel 17 sub bab 4.1 Preliminary Desain dan beban gempa sesuai hasil analisa beban gempa pada sub bab 3.2.4 mengenai beban gempa.

4.6.2 Kontrol Pemodelan

Pemodelan struktur 3 dimensi dilakukan dengan bantuan program SAP 2000, hasil pemodelan harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur. Adapun hal-hal yang perlu dikontrol adalah:

- Partisipasi massa
- Periode getar struktur
- Gaya geser dasar (*base shear*)

- Batas simpangan (*drift*)

Dari pemodelan tersebut diambil hasil analisanya mengenai gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.6.2.1 Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.1, perhitungan respon dinamik struktur harus disediakan sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual masing-masing arah. Berikut adalah hasil analisa partisipasi massa dari SAP 2000:

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 99,47% pada moda ke 16 dan partisipasi massa arah Y sebesar 99,16% pada moda ke 15. Maka dapat disimpulkan pemodelan yang dilakukan telah memenuhi.

4.6.2.2 Kontrol Periode Getar Struktur

A. Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan:

h_n : ketinggian struktur (m) diatas dasar
sampaui tingkat tertinggi struktur

C_t dan x : ditentukan dari Tabel15 SNI 1726-2012

Dan tidak diperkenankan melebihi persamaan berikut:

$$T = C_u T_a$$

Keterangan:

C_u : ditentukan dari Tabel14 SNI 1726-2012

Tabel 14 Koefisien untuk batas atas pada periода yang dihitung

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

Tabel 15 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Se semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

B. Perhitungan Kontrol Periode Fundamental Struktur

- Tinggi bangunan (h) = 48 m
- S_{D1} = 0,5
- C_u = 1,4
- C_t = 0,0488
- x = 0,75

Periode fundamental struktur pendekatan,

$$T_a = 0,0488 * 48^{0,75} = 0,88992 \text{ detik}$$

Dengan batas atas periode fundamental struktur sebesar,

$$T = 1,4 * 0,88992 = 1,2459 \text{ detik}$$

Dari hasil analisa SAP 200 diperoleh periode struktur sebesar,

$$T = 1,1687 \text{ detik}$$

Sehingga periode fundamental struktur telah masuk dalam kisaran:

$$0,8992 \text{ detik} < 1,1687 \text{ detik} < 1,2459 \text{ detik}$$

4.6.2.3 Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa

A. Skala Gaya

Bila periode fundamental yang dihitung melebihi (C_u)(T_a), maka (C_u)(T_a) harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85%

dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85V/V_t$.

B. Koefisien respons seismic (C_s), harus ditentukan dengan

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan:

S_{DS} : parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang periode pendek

R : faktor modifikasi respons

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi

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

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01$$

Kontrol gaya dinamis struktur untuk mengecek gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan *response spectrum* sudah sesuai dengan yang disyaratkan oleh SNI 1726-2012. Dengan data:

R (rangka beton pemikul momen = 8 khusus)

I (gedung sekolah) = 1,5

S_{DS} (Surabaya) = 0,6

S_{D1} (Surabaya) = 0,5

T (periode struktur dari analisa SAP 2000) = 1,1687 detik

F (frekuensi struktur dari analisa = 0,8553 Hz
SAP 2000)

Wt (berat bangunan dari analisa = 77964.386 KN
SAP 2000)

- Dari analisa modal, didapatkan periode fundamental alami struktur sebesar 1,1687 detik, sehingga penentuan koefisien Cs adalah sebagai berikut:

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1125$$

Tetapi tidak perlu melebihi

$$Cs = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,5}{1,1687\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,0963$$

Harus tidak kurang dari

$$Cs = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01$$

$$Cs = 0,044 * 0,6 * 1,5 \geq 0,01$$

$$Cs = 0,0396 \geq 0,01$$

Jadi menggunakan besaran Cs = 0,0963

- Sehingga data menjadi

$$\text{Periode struktur (T)} = 1,1687 \text{ detik}$$

$$\text{Koefisien respons seismic-} = 0,0963$$

$$\text{Surabaya (Cs)}$$

$$\text{Berat bangunan (Wt)} = 77964,39 \text{ KN}$$

$$V_{static} = CsWt = 0,0963 * 77964,4 = 7504,914 \text{ KN}$$

$$0,85V_{static} = 0,85 * 7504,914 \text{ KN} = 6379,18 \text{ KN}$$

Hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari SAP 2000 didapatkan sebesar 4858,738 KN untuk arah x dan 5563,126 KN untuk arah y. Sehingga belum memenuhi ketentuan $V_{baseshear} > 0,85V_{static}$, maka diperlukan faktor perbesaran gempa sebesar:

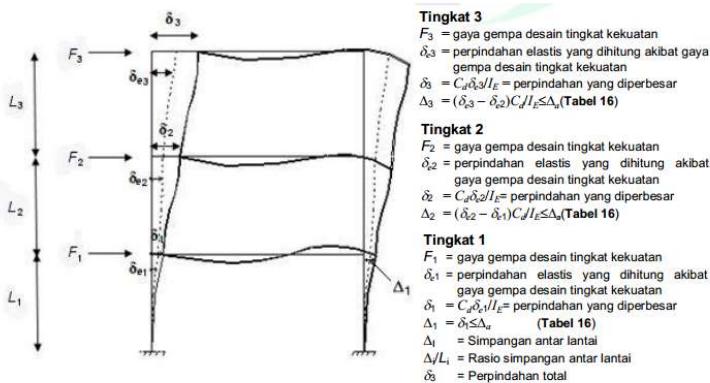
$$FS_x = \frac{6379,18}{4858,738} = 1,31293$$

$$FS_y = \frac{6379,18}{5563,126} = 1,14669$$

Setelah ditambahkan faktor perbesaran, hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari SAP 2000 menjadi sebesar 6379,177 KN untuk arah x dan 6379,177 KN untuk arah y. Sehingga memenuhi ketentuan $V_{baseshear} > 0,85V_{static}$ dan tidak memerlukan faktor perbesaran kedua.

4.6.2.4 Kontrol Batas Simpangan

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut,



Gambar 5 - Penentuan simpangan antar lantai

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

C_d : faktor amplifikasi defleksi dalam Tabel 9

\square_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

Tabel 16 Simpangan antar lantai ijin, $\Delta_s^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, parti, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{zx}^c	0,020 h_{zx}	0,015 h_{zx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	0,010 h_{zx}	0,010 h_{zx}	0,010 h_{zx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{zx}	0,007 h_{zx}	0,007 h_{zx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{zx}	0,015 h_{zx}	0,010 h_{zx}

^a h_{zx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x.

^b Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan Pasal 7.12.1.1.

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, parti, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dari Pasal 7.12.3 tidak dibatalkan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat dibatalkan.

A. Perhitungan Kontrol Simpangan Antar Struktur

$$Cd = 5,5$$

$$\Delta ijin = 0,02 H_{SW}$$

$$I = 1,5$$

- Tabel evaluasi simpangan antar lantai pada sumbu x

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δe (mm)	δxe (mm)	δx (mm)	$\Delta ijin$ (mm)	Ket.
10	48.00	4.80	48.5816	1.59	5.82	96	OK
9	43.20	4.80	46.9931	2.40	8.81	96	OK
8	38.40	4.80	44.5916	3.47	12.71	96	OK
7	33.60	4.80	41.1264	4.55	16.70	96	OK
6	28.80	4.80	36.5721	5.53	20.29	96	OK
5	24.00	4.80	31.0393	6.35	23.30	96	OK
4	19.20	4.80	24.6854	6.97	25.56	96	OK
3	14.40	4.80	17.7158	7.25	26.58	96	OK
2	9.60	4.80	10.4663	6.74	24.73	96	OK
1	4.80	4.80	3.7231	3.72	13.65	96	OK

- Tabel evaluasi simpangan antar lantai pada sumbu y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δ_e (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket.
10	48.00	4.80	36.1522	0.99	3.63	96	OK
9	43.20	4.80	35.162	1.39	5.09	96	OK
8	38.40	4.80	33.7741	2.29	8.39	96	OK
7	33.60	4.80	31.4849	3.19	11.71	96	OK
6	28.80	4.80	28.2912	4.01	14.71	96	OK
5	24.00	4.80	24.2781	4.72	17.30	96	OK
4	19.20	4.80	19.5591	5.28	19.36	96	OK
3	14.40	4.80	14.2782	5.62	20.61	96	OK
2	9.60	4.80	8.657	5.44	19.95	96	OK
1	4.80	4.80	3.2158	3.22	11.79	96	OK

Keterangan:

δ_e : simpangan bangunan dari perhitungan elastis

δ_{xe} : simpangan antar lantai dari perhitungan elastis

δ_x : pembesaran simpangan antar lantai

Δ_{ijin} : simpangan antar lantai yang diijinkan

4.7 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Direncanakan balok induk menggunakan sistem pracetak. Maka, penulangan lentur balok dihitung dalam tiga kondisi, yaitu akibat pengangkatan, sebelum komposit dan sesudah komposit. Lalu dipilih kondisi yang paling kritis untuk penulangan balok induk. Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

Mutu beton (f_c') : 35 MPa

Mutu baja (fy) : 390 MPa
 Dimensi balok : 40/60 cm
 Diameter tulangan lentur : D 19 mm
 Diameter tulangan geser : Ø 13 mm

4.7.1 Pembebanan Balok Induk

1. Saat Pengangkatan

Beban mati (DL)

$$\text{Berat balok induk pracetak} = 0,4 \times 0,47 \times 2400 = 451,2 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban kejut} & = 0,5 \times 451,2 & = 225,6 \text{ kg/m} \\ & & \text{DL} \\ & & = 676,8 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban total (qu)} & = 1,4 \text{ DL} \\ & = 1,4 \times 676,8 \\ & = 947,52 \text{ kg/m} \end{array}$$

2. Sebelum komposit

Beban Terpusat

Beban mati (DL)

$$\text{Berat balok induk pracetak} = 0,4 \times 0,47 \times 2400 = 451,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat balok anak pracetak} = 0,25 \times 0,27 \times 2400 = 162 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban pelat} = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times ly \right) & = 2 \times \frac{1}{2} \times 0,08 \times 2400 \times 7,2 \\ & = 1382,4 \text{ kg/m} \\ \text{DL} & = 451,2 + 162 + 1382,4 \\ & = 1995,6 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban hidup pelat} = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times ly \right) & = 2 \times \frac{1}{2} \times 200 \times 7,2 \\ \text{LL} & = 1440 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban total (qu)} & = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ & = 1,2 \times 1995,6 + 1,6 \times 1440 \\ & = 4698,72 \text{ kg/m} \end{array}$$

3. Sesudah komposit

Pada saat setelah komposit, momen yang bekerja pada balok dihasilkan dari output analisis struktur menggunakan program bantu SAP 2000, dengan kombinasi beban yang maksimum.

4.7.2 Perhitungan Tulangan Balok Induk

Untuk harga β_1 untuk $f_c' = 35 \text{ MPa}$ diambil sebesar 0,8 (Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,004$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \left(\frac{600}{600+fy} \right) = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600+3} \right) \\ = 0,037$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

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

4.7.2.1 Penulangan Akibat Pengangkatan

Momen (M_u) yang bekerja pada balok anak ditentukan berdasarkan sub bab 3.2.6 mengenai kontrol penulangan struktur bagian kontrol elemen pracetak untuk kontrol pengangkatan dengan 2 titik angkat.

Kondisi sebelum komposit:

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

$$h = 47 \text{ cm}$$

$$\text{decking} = 5 \text{ cm}$$

$$L = 442,5 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{47}{2} = 23,5 \text{ cm}$$

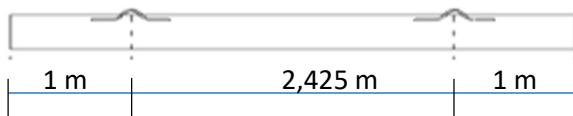
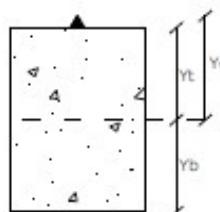
$$Y_c = Y_t + 5 = 28,5 \text{ cm}$$

Sudut pengangkatan, $\phi = 45^\circ$

$$x = \frac{1 + \frac{4 \times 28,5}{440 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{23,5}{23,5} \left(1 + \frac{4 \times 28,5}{440 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,251$$

$$x \times L = 0,251 \times 442,5 = 111,19 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (x \times L) = 4,425 - 2(1) = 2,425 \text{ m}$$



$$\text{Berat sendiri} = 0,4 \times 0,47 \times 2400 = 451,2 \text{ Kg/m}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,5 :

$$M^+ = \frac{947,52 \times 4,425^2}{8} \times \left(1 - 4 \times 0,251 + \frac{4 \times 28,5}{442,5 \tan 45^\circ} \right)$$

$$= 585,69 \text{ Kgm}$$

$$M^- = \frac{947,5 \times 0,251^2 \times 4,425^2}{2} = 584,42 \text{ Kgm}$$

- Tulangan Lentur Tarik Lapangan**

$$d = 470 - 50 - 13 - (1/2)19 = 397,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 585,69 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset b d^2} = \frac{585,69 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 397,5^2} = 0,1$$

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

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,1}{390}} \right) = 0,0003$$

$$\rho_{min} > \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$\rho_{min} > \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$\text{Maka, } \rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0003 = 0,0003$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,0003 \times 400 \times 397,5 = 53,09 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{53,09}{283,53} = 0,2 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 3 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ = 850,6 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} (\text{OK})$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{fyc}}{fy} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 397,5 = 602,99 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{fy} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 400 \times 397,5 = 570,77 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 850,6 \text{ mm}^2 > A_{smin} (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar - decking - sengkang - } n \times \text{diameter pakai}}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2(50) - 2(10) - 3(19)}{3 - 1} = 251,5 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 251,5 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan 3 D19.

- **Tulangan Lentur Tekan Lapangan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$A_s' = 0,5 \times 850,6 = 425,3 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{425,3}{283,53} = 1,5 \text{ buah}$$

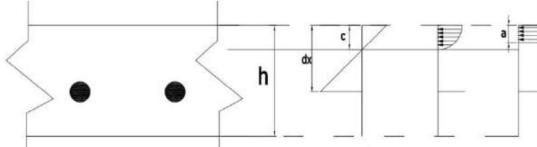
Dipakai 2 buah tulangan

$$A_s \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} \geq A_s \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_{c'} b} = \frac{850,6 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 27,88 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk $f_{c'} = 28 \text{ MPa}$, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,88}{0,8} = 34,85 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{397,5}{34,85} - 1 \right) = 0,02$$

dipakai $\emptyset = 0,9$ dikarenakan εt lebih besar dari 0,005

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

$$\emptyset Mn = 0,9 \times 850,6 \times 390 \left(397,5 - \frac{1}{2} \times 27,88 \right)$$

$$\emptyset Mn = 58685548,23 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset Mn > Mu$$

$$5868,6 \text{ kgm} > 585,69 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19.**

• **Tulangan Lentur Tarik Tumpuan**

$$d = 470 - 50 - 13 - (1/2)19 = 397,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 584,42 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset b d^2} = \frac{584,42 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 397,5^2} = 0,1$$

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

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,1}{390}} \right) = 0,0003$$

$$\rho_{min} > \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$\text{Maka, } \rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0003 = 0,0003$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,0003 \times 400 \times 397,5 = 53,09 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{53,09}{283,53} = 0,2 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga As pakai} &= n \times \text{As tul.} = 3 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 850,6 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{fyc}}{fy} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 397,5 = 602,99 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 400 \times 397,5 = 570,77 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 850,6 \text{ mm}^2 > A_{s\min} (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar - decking - sengkang - } n \times \text{diameter pakai}}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2(50) - 2(10) - 3(19)}{3 - 1} = 251,5 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 251,5 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan **3 D19**.

- **Tulangan Lentur Tekan Tumpuan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$A_s' = 0,5 \times 850,6 = 425,3 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{425,3}{283,53} = 1,5 \text{ buah}$$

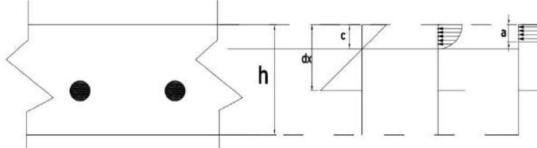
Dipakai 2 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 f_{c'} b} = \frac{850,6 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 27,88 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk $f_{c'}$ diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,88}{0,8} = 34,85 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{397,5}{34,85} - 1 \right) = 0,02$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan εt lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 850,6 \times 390 \left(397,5 - \frac{1}{2} \times 27,88 \right)$$

$$\phi M_n = 58685548,23 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$5868,6 \text{ kgm} > 584,42 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19.**

- Kontrol Lendutan**

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

$$f_r = 0,62 \sqrt{f_{ci}} = 0,62 \sqrt{16,1} = 2,48 \text{ MPa} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_e = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 400 \times 470^3 = 3460766667 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_{ci}} = 4700 \sqrt{16,1} = 18858,658$$

$$\Delta = \frac{5 Q u L^4}{384 E_c I_e} = \frac{5 \times 9,48 \times 4425^4}{384 \times 18858,658 \times 3460766667} = 0,725 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2012 batasan lendutan pelat adalah $L/240$

$$\frac{L}{240} = \frac{4425}{240} = 18,44 \text{ mm}$$

$$\Delta = 0,725 \text{ mm} \leq 18,44 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.7.2.2 Penulangan Sebelum Komposit

Asumsi saat pemasangan balok pracetak menggunakan scaffolding di tengah bentang, sehingga permodelan seperti gambar dibawah:



Berikut hasil perhitungan dari permodelan diatas:

$$M_{lap} = \frac{1}{14} \times Qd \times L^2 = \frac{1}{14} \times 1995,6 \times 4,425^2 = 2791,1 \text{ Kgm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 = \frac{1}{10} \times 1995,6 \times 4,425^2 = 3907,5 \text{ Kgm}$$

• **Tulangan Lentur Tarik Lapangan**

$$d = 470 - 50 - 13 - (1/2)19 = 397,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 2791,1 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset b d^2} = \frac{2791,1 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 397,5^2} = 0,5$$

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

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,5}{390}} \right) = 0,0013$$

$$\rho_{min} > \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$\text{Maka, } \rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0013 = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 400 \times 397,5 = 267,27 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{53,09}{283,53} = 0,2 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga As pakai} &= n \times \text{As tul.} = 3 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 850,6 \text{ mm}^2 > \text{As perlu (OK)} \end{aligned}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{fy} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 397,5 = 602,99 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{fy} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 400 \times 397,5 = 570,77 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 850,6 \text{ mm}^2 > As_{min} (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar} - \text{decking} - \text{sengkang} - n \times \text{diameter pakai}}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2(50) - 2(10) - 3(19)}{3 - 1} = 251,5 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 251,5 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan 3 D19.

- **Tulangan Lentur Tekan Lapangan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$As' = 0,5 \times 850,6 = 425,3 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{425,3}{283,53} = 1,5 \text{ buah}$$

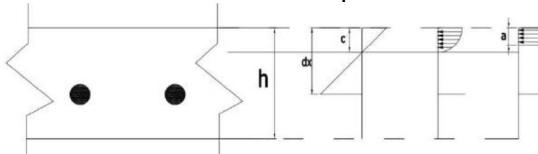
Dipakai 2 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \text{ fy}}{0,85 f_{c'} b} = \frac{850,6 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 27,88 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk $f_{c'} = 28 \text{ MPa}$, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,88}{0,8} = 34,85 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{397,5}{34,85} - 1 \right) = 0,02$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ϵ_t lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 850,6 \times 390 \left(397,5 - \frac{1}{2} \times 27,88 \right)$$

$$\emptyset \text{ Mn} = 58685548,23 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset \text{ Mn} > \text{Mu}$$

$$5868,6 \text{ kgm} > 2791,1 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19.**

- Tulangan Lentur Tarik Tumpuan**

$$d = 470 - 50 - 13 - (1/2)19 = 397,5 \text{ mm}$$

$$\text{Mu} = 3907,5 \text{ Kgm}$$

$$R_n = \frac{\text{Mu}}{\emptyset b d^2} = \frac{3907,5 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 397,5^2} = 0,7$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,1} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(13,1) \times 0,7}{390}} \right) \\ = 0,002$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$\text{Maka, } \rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times 0,002 = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 400 \times 397,5 = 375,5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{53,09}{283,53} = 0,2 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{sehingga As pakai} = n \times \text{As tul.} = 3 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ = 850,6 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \quad (\text{OK})$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$\text{As}_{\text{min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 397,5 = 602,99 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 400 \times 397,5 = 570,77 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{pakai}} = 850,6 \text{ mm}^2 > \text{As}_{\text{min}} \quad (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar} - \text{decking} - \text{sengkang} - n \times \text{diameter pakai}}{\text{n tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2(50) - 2(10) - 3(19)}{3 - 1} = 251,5 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 251,5 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan lapangan **3 D19.**

- Tulangan Lentur Tekan Tumpuan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$As' = 0,5 \times 850,6 = 425,3 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{425,3}{283,53} = 1,5 \text{ buah}$$

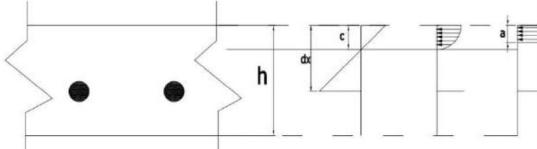
Dipakai 2 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 2 \times 283,53 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \text{ fy}}{0,85 f'_c b} = \frac{850,6 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 27,88 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk f'_c diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,88}{0,8} = 34,85 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{397,5}{34,85} - 1 \right) = 0,02$$

dipakai $\emptyset = 0,9$ dikarenakan ε_t lebih besar dari 0,005

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

$$\emptyset M_n = 0,9 \times 850,6 \times 390 \left(397,5 - \frac{1}{2} \times 27,88 \right)$$

$$\emptyset M_n = 58685548,23 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset M_n > M_u$$

$$5868,6 \text{ kgm} > 3907,5 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **2 D19**.

- **Tulangan Geser Akibat Sebelum Komposit**

$$Vu = \frac{1}{2} Qu L^2 = \frac{1}{2} 4698,72 4,425^2 = 46001,9 N$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{fc'} x bw x d = \frac{1}{6} \sqrt{35} x 400 x 397,5 = 156776 N$$

$$\phi Vc = 0,75 x 156776 = 117582 N$$

$$0,5 \phi Vc = 0,5 x 117582 = 58791 N$$

$$Vu \leq 0,5 \phi Vc$$

$$46001,9 N \leq 58791 N$$

Sehingga, tidak diperlukan tulangan geser. Digunakan tulangan geser minimum **2 Ø10 – 200 mm**.

- **Kontrol Lentutan**

$$fci (3 hari) = 0,46 x 35 MPa = 16,1 MPa$$

$$fr = 0,62 \sqrt{fci} = 0,62 \sqrt{16,1} = 2,48 MPa = 24,8 kg/cm^2$$

$$Ie = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} x 400 x 470^3 = 3460766667 mm^4$$

$$Ec = 4700 \sqrt{fci} = 4700 \sqrt{16,1} = 18858,658$$

$$\Delta = \frac{5 Qu L^4}{384 Ec Ie} = \frac{5 x 34,35 x 4425^4}{384 x 18858,658 x 3460766667} = 2,62 mm$$

Berdasarkan SNI 2847:2012 batasan lendutan pelat adalah $L/240$

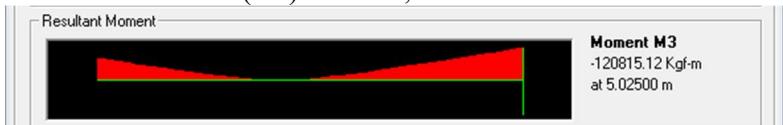
$$\frac{L}{240} = \frac{4425}{240} = 18,44 mm$$

$$\Delta = 2,62 mm \leq 18,44 mm \quad (\text{OK})$$

4.7.2.3 Penulangan Setelah Komposit

- **Tulangan Lentur Tarik Tumpuan**

$$d = 600 - 50 - 13 - (1/2)19 = 527,5 mm$$



$$Mu = 120815,12 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset b d^2} = \frac{120815,12 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 627,5^2} = 8,53$$

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

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 8,53}{390}} \right) = 0,03$$

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

Maka, $\rho_{pakai} = 0,03$

As perlu = $\rho \times b \times d = 0,03 \times 400 \times 527,5 = 5583,35 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{2183,35}{283,53} = 7,7 \approx 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga As pakai} &= n \times \text{As tul.} = 8 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 2268 \text{ mm}^2 > \text{As perlu (OK)} \end{aligned}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$\text{As}_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{fy} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 527,5 = 800,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{min} = \frac{1,4}{fy} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 400 \times 527,5 = 757,4 \text{ mm}^2$$

$\text{As}_{pakai} = 2268 \text{ mm}^2 > \text{As}_{min}$ (OK)

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar} - \text{decking} - \text{sengkang} - n \times \text{diameter pakai}}{\text{n tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2(50) - 2(13) - 4(19)}{4 - 1} = 248,67 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 248,67 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan tumpuan **8 D19**.

- **Tulangan Lentur Tekan Tumpuan**

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2. Namun harus melebihi $\mu(+)$ yang terjadi:



$$Mu = 90711,27 \text{ Kgm}$$

$$As' = 0,5 \times 2268 = 1134 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{1134}{283,53} = 3,99 \text{ buah}$$

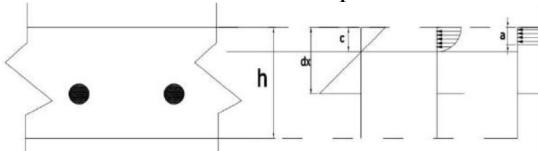
Dipakai 4 buah tulangan

$$As \text{ pakai} = 4 \times 283,53 = 1134 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} \geq As \text{ perlu} = 1134 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As \text{ fy}}{0,85 \text{ fc}' b} = \frac{2268 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 74,33 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk fc' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{74,33}{0,8} = 92,91 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{527,5}{92,91} - 1 \right) = 0,014$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ϵ_t lebih besar dari 0,005

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

$$\phi Mn = 0,9 \times 2268 \times 390 \left(527,5 - \frac{1}{2} \times 74,33 \right)$$

$$\phi Mn = 390340236,9 \text{ Nmm}$$

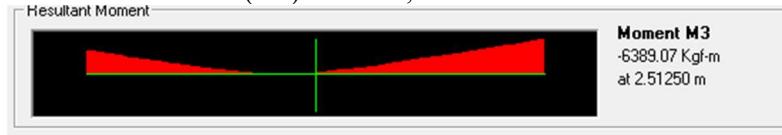
$$\emptyset \text{ Mn} > \text{Mu}$$

$$390340,24 \text{ kgm} > 90711,27 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **4 D19.**

- Tulangan Lentur Tarik Lapangan**

$$d = 600 - 50 - 13 - (1/2)19 = 527,5 \text{ mm}$$



$$\text{Mu} = 6389,07 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{\text{Mu}}{\emptyset b d^2} = \frac{6389,07 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 527,5^2} = 0,64$$

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,109} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,64}{390}} \right) = 0,002$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$\text{Maka, } \rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times 0,002 = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 400 \times 527,5 = 455,08 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul.}} = \frac{455,08}{283,53} = 1,6 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga As pakai} &= n \times \text{As tul.} = 4 \times (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 1134,12 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Cek Syarat Minimum Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 mengenai syarat minimum tulangan.

$$\text{As}_{\text{min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w \times d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 527,5 = 800,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d = \frac{1,4}{390} 400 \times 527,5 = 757,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{pakai}} = 1134,12 \text{ mm}^2 > \text{As}_{\text{min}} \quad (\text{OK})$$

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{\text{lebar} - \text{decking} - \text{sengkang} - n \times \text{diameter pakai}}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2(50) - 2(13) - 4(19)}{4 - 1} = 248,67 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ mm} \leq 248,67 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, digunakan tulangan tumpuan **4 D19**.

• Tulangan Lentur Tekan Lapangan

Untuk tulangan lentur tekan dapat digunakan tidak kurang dari setengah kekuatan lentur tarik berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2. Namun harus melebihi $M_u(+)$ yang terjadi:



$$M_u = 18626,78 \text{ Kgm}$$

$$A_s' = 0,5 \times 2268 = 1134 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1134}{283,53} = 3,99 \text{ buah}$$

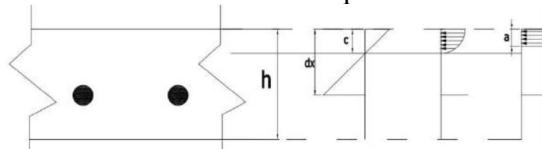
Dipakai 4 buah tulangan

$$A_s \text{ pakai} = 4 \times 283,53 = 1134 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} \geq A_s \text{ perlu} = 1134 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3



Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_{c'} b} = \frac{2268 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 74,33 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan ke sumbu netral

Untuk $f_{c'}$ diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05, tetapi β_1 tidak boleh kurang dari 0,65. Sehingga $\beta_1 = 0,8$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{74,33}{0,8} = 92,91 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$$\epsilon t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left(\frac{527,5}{92,91} - 1 \right) = 0,014$$

dipakai $\phi = 0,9$ dikarenakan ϵt lebih besar dari 0,005

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 2268 \times 390 \left(527,5 - \frac{1}{2} \times 74,33 \right)$$

$$\phi M_n = 390340236,9 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$390340,24 \text{ kgm} > 18626,78 \text{ kgm} \quad (\text{OK})$$

Jadi digunakan **4 D19**.

- **Perencanaan Tulangan Geser**

- Tulangan Geser pada Tumpuan

Tulangan geser direncanakan berdasarkan sub bab 2.2 mengenai SRPMK tulangan transversal dan kekuatan geser balok.

Tabel 20 Mpr pada Balok induk

Tumpuan	Lokasi		Tul. Pasang	As Pasang	apr	Mpr
	Kiri	Atas	8 D19	2268,23	104,5	382978896,7
Kanan	Bawah	4 D19	1134,12	58,08	191489448,4	
	Atas	8 D19	2268,23	104,5	382978896,7	
	Bawah	4 D19	1134,12	58,08	191489448,4	

Dimana:

V_e = Gaya geser ultimit balok akibat gempa

M_{pr1} = Moment pada perletakan 1 akibat goyangan ke kiri (atau kanan)

M_{pr2} = Moment pada perletakan 2 akibat goyangan ke kiri (atau kanan)

w_u = Gaya akibat beban gravitasi

l_n = Panjang bentang bersih balok

$$\begin{aligned} M_{pr} &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) \\ a &= \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = 92,92 \\ l_n &= 4,425 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil SAP 2000 didapatkan nilai $\frac{W_u \times l_n}{2} = V_g = 17548,35 \text{ N}$

- Analisa terhadap gempa kiri

$$V_e^+ = \frac{382978896,7 + 191489448,4}{4,425} + 17548,35 = 147371 \text{ N}$$

$$V_e^- = \frac{382978896,7 + 191489448,4}{4,425} - 17548,35$$

$$= 112275 \text{ N}$$

- Analisa terhadap gempa kanan

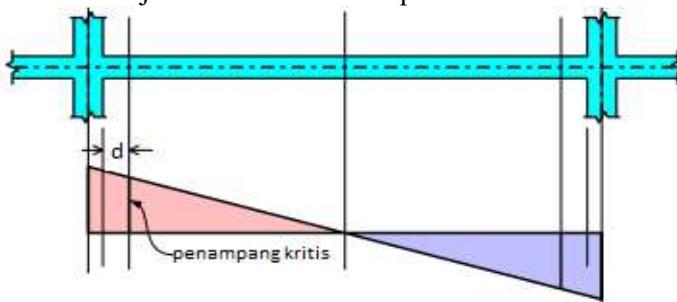
$$V_e^+ = \frac{382978896,7 + 191489448,4}{4,425} + 17548,35 = 147371 \text{ N}$$

$$V_e^- = \frac{382978896,7 + 191489448,4}{4,425} - 17548,35$$

$$= 112275 \text{ N}$$

Sehingga V_e yang digunakan adalah 147371 N

Nilai V_e yang digunakan untuk menentukan tulangan geser harus diambil sejarak d dari muka tumpuan maka nilai V_e adalah:



$$\begin{aligned} V_e \text{ pakai} &= \frac{l/2 - \left(\frac{B_{kolom}}{2}\right) + d}{l/2} \times V_e \\ &= \frac{5,025/2 - \left(\frac{0,6}{2}\right) + 0,5275}{5,025/2} \times 147371 \text{ N} \\ &= 356998,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada sistem rangka pemikul momen tulangan geser harus memampu untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ selama:

$$(a) V_e \geq \frac{1}{2} V_{maks}$$

$$(b) P_u < \frac{Ag \times f'_c}{20}$$

Dimana:

V_{maks} = Gaya geser akibat beban terfaktor

P_u = Gaya aksial akibat beban terfaktor

Hasil dari SAP 2000 didapatkan nilai geser maksimum $V_{maks} = 95398,12$ N dan $P_u = 98986,78$ N

$$V_e \geq \frac{1}{2} V_{maks}$$

$$356998,9 \text{ N} \geq \frac{1}{2} 95398,12 \text{ N}$$

$$356998,9 \text{ N} \geq 47699,06 \text{ N (OK)}$$

$$P_u < \frac{Ag \times f'_c}{20}$$

$$98986 \text{ N} < \frac{600 \times 400 \times 35}{20}$$

$$98986 \text{ N} < 420000 \text{ N (OK)}$$

Maka nilai $V_c = 0$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{356998,9}{0,75} \\ &= 475998,53 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 527,5$$

$$= 823873,27 \text{ N} > V_s = 475998,53 \text{ N}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki dengan $\varnothing 13$ mm ($A_v = 265,45 \text{ mm}^2$), maka

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{265,45 \times 240 \times 527,5}{475998,53} \\ &= 193,57 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 bahwa Sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok

dengan panjang $1/4L = 1256$ mm dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

$$d/4 = 527,5/4 = 131,87 \text{ mm}$$

$$6 \text{ db} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang sengkang tertutup 2 kaki D13-100 mm sepanjang 1256 mm dari muka tumpuan dan sengkang pertama dipasang sejarak 50 mm dari muka tumpuan.

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s} = \frac{265,33 \times 390 \times 527,5}{100} = 5458501,4 \text{ N}$$

$$Vs = 545850,14 \text{ N} > 475998 \text{ N} (\text{Memenuhi})$$

- Tulangan Geser pada Lapangan

Gaya geser maksimum, Vu di luar zona sendi plastis (1256 mm) adalah:

$$\begin{aligned} Ve \text{ pakai} &= \frac{l/2 - 1256}{l/2} \times Ve \\ &= \frac{5025/2 - 1256}{5025/2} \times 356998,9 \text{ N} \\ &= 178534 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada daerah ini nilai Vc diperhitungkan

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 527,5 \\ &= 212209,78 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Vs = \frac{Vu}{\emptyset} - Vc = \frac{178534}{0,75} - 212209,78 = 25835,55 \text{ N}$$

Dicoba sengkang 2 kaki D13 (Av = 265,33 mm²)

$$s = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265,33 \times 400 \times 527,5}{25835,55} = 2166,96 \text{ mm}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.4, spasi maksimal tulangan geser adalah $d/2 = 527,5/2 = 263,75 \text{ mm}$

Maka dipasang 2 kaki D13 – 200 mm

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s} = \frac{265,33 \times 390 \times 527,5}{200} = 272925.0713 \text{ N}$$

$$Vs = 272925,07 \text{ N} > 25835,55 \text{ N} (\text{Memenuhi})$$

- Tulangan Geser saat Pemasangan Balok Anak pada Balok Induk

$$Ve \text{ pada perletakan balok anak} = \frac{l/2 - 1,675}{l/2} \times Ve$$

$$= \frac{5,025/2 - 1,675}{5,025/2} \times 356998,9 \text{ N} \\ = 118999,63 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d \\ = 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 527,5 \\ = 25439,124 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\emptyset} - V_c = \frac{112816,5}{0,75} - 25439,124 = 124982,9 \text{ N}$$

Dicoba sengkang 2 kaki D13 (Av = 265,33 mm²)

$$s = \frac{Av \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,33 \times 400 \times 527,5}{124982,9} = 447,94 \text{ mm}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.4, spasi maksimal tulangan geser adalah d/2 = 527,5/2 = 263,75 mm

Maka dipasang 2 kaki D13 – 200 mm

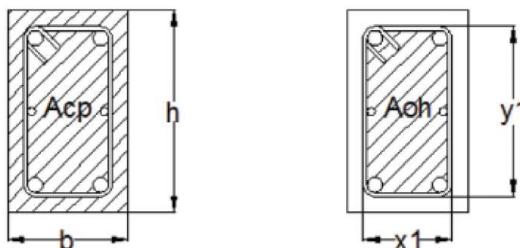
$$V_s = \frac{Av \times f_y \times d}{s} = \frac{265,33 \times 390 \times 527,5}{200} = 272925,1 \text{ N}$$

Vs = 272925,1 N > 124982,9 N (**Memenuhi**)

- Perencanaan Tulangan Puntir dan Geser Akibat Torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok} \\ = 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ = 240000 \text{ mm}^2$$

- Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ = 2000 \text{ mm}$$

- Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp}
- $$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times \\ &\quad (h_{balok} - 2 t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) \times \\ &\quad (600 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) \\ &= 139769 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang
- $$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 t_{decking} - \emptyset_{geser}) + \\ &\quad (h_{balok} - 2 t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(400 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) + \\ &\quad (600 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm})] \\ &= 1548 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar sejarak d dari tumpuan:

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 D + 1 Ey +0,3 Ex + 1 L:

$$Tu = 25807533.94 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir diabaikan apabila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang dari pada: (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1)

$$\begin{aligned} Tu_{min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\ &= 10606347.84 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Nilai Tu min sejarak d dari tumpuan adalah:

$$\begin{aligned} Tu_{min} &= \frac{\ln/2 - \left(\frac{B_{kolom}}{2} \right) + d}{\ln/2} \times Tu_{min} \\ &= \frac{4425/2 - \left(\frac{600}{2} \right) + 527,5}{4425/2} \times 10606347.84 \\ &= 11696944.05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat:

- $Tu_{min} > Tu$ (tidak memerlukan tulangan puntir)

- Tu min < Tu (memerlukan tulangan puntir)

$$Tu_{min} < Tu$$

$$11696944.05 \text{ Nmm} < 25807533.94 \text{ Nmm}$$

(Memerlukan Tulangan Puntir)

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 527.5 \\ &= 25439,124 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$2,08 \leq 3,02 \text{ (Memenuhi)}$$

- **Penulangan Puntir dan Geser Akibat Torsi pada Sendi Plastis**

- Luas Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$Al = \frac{At}{s} P_h \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013

Pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah ini:

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times Fyt}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } Ao &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 139769 \text{ mm}^2 \\ &= 118803,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fyt \times \cot \phi}$$

$$= \frac{25807533,94 / 0,75}{2 \times 118803,65 \times 240 \times \cot 45} \\ = 0,60 \text{ mm}^2$$

Tetapi $\frac{At}{s}$ tidak boleh kurang dari:

$$\frac{At}{s} = \frac{0,175 \text{ bw}}{Fyt} = \frac{0,175 \times 400}{240} = 0,291 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Luas Tulangan Geser

$$\begin{aligned} Vs &= 25835,55 \text{ N} \\ \frac{Av}{s} &= \frac{Vs}{Fyt \times d} \\ &= \frac{25835,55}{240 \times 527,5} \\ &= 0,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Perhitungan Tulangan Geser

$$\begin{aligned} \frac{Avt}{s} &= 2 \times \frac{At}{s} + \frac{Av}{s} \\ &= 2 \times 0,29 + 0,2 \\ &= 0,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai Sengkang 2 kaki D13 ($Av = 265,33 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{265,33}{0,78} \\ &= 340,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

S maksimum diperbolehkan lebih kecil dari:

$$Ph/8 = 1548/8 = 193,5 \text{ mm}$$

$$S = 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai spasi 100 mm

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s} = \frac{265,33 \times 390 \times 527,5}{100} = 545850,1425 \text{ N}$$

$Vs = 545850,1425 \text{ N} > 25835,55 \text{ N}$ (Memenuhi)

- Perhitungan Tulangan Torsi

$$Al = \frac{At}{s} P_h \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \cot^2 \phi$$

$$Al = 0,29 \times 1548 \times \left(\frac{240}{390} \right) \cot^2 45$$

$$= 276,26 \text{ mm}^2$$

Tetapi Al tidak boleh kurang dari:

$$\text{Al min} = \frac{0,42 \sqrt{f_{cr}} Acp}{Fyt} - \left(\frac{At}{s} \times Ph \times \frac{Fyt}{Fy} \right)$$

$$\text{Al min} = \frac{0,42 \sqrt{35} 200000}{240} - \left(0,29 \times 1548 \times \frac{240}{390} \right)$$

$$\text{Al min} = 897,18 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan puntir perlu sebesar 897,18 mm². Untuk arah memanjang dibagi rata keempat sisi penampang balok.

$$\frac{\frac{At}{4}}{4} = \frac{897,18}{4} = 224,3 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan longitudinal:

- Pada sisi atas - disalurkan ½ pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah – disalurkan ½ pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 448,6 mm²

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan D puntir}}$$

$$n = \frac{224,3}{0,25 \pi 13^2}$$

$$n = 1,68 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 2D13

$$\begin{aligned} As &= n \times \text{Luasan D puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 13^2 \\ &= 265,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &\geq As \text{ perlu} \\ 265,33 \text{ mm}^2 &\geq 224,3 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

• Kontrol Lendutan

Lendutan yang terjadi hasil SAP 2000 adalah 1,26 mm

Berdasarkan SNI 2847:2012 batasan lendutan pelat adalah L/240

$$\frac{L}{240} = \frac{5025}{240} = 20,94 \text{ mm}$$

$$\Delta = 1,26 \text{ mm} \leq 20,94 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

- **Panjang Penyaluran Sambungan Tulangan**

$$\begin{aligned} ld &= \left(\frac{f_y \psi t \psi e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c}} \right) db \\ &= \left(\frac{390 \cdot 1,3 \cdot 1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \right) 19 \\ &= 775,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai panjang penyaluran 800 mm

4.7.2.4 Kontrol Tegangan Akibat Pengangkatan

Pengangkatan balok induk pracetak dilakukan dengan 2 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

$$fci (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 \text{ MPa} = 16,1 \text{ M}$$

$$fr = 0,62 \sqrt{fci} = 0,62 \sqrt{16,1} = 2,48 \text{ MPa} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} bh^2 = \frac{1}{6} \times 400 \times 470^2 = 14726666.67 \text{ mm}^3$$

$$M_{+(lap)} = 5856900 \text{ Nmm}$$

$$M_{-(tump)} = 5844200 \text{ Nmm}$$

Momen yang terjadi

$$\sigma_{max} = \frac{M^+}{W} = \frac{5856900}{142726666,7} = 0,4 \text{ MPa} \leq fr = 2,48 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

$$\sigma_{min} = \frac{M^-}{W} = \frac{5844200}{142726666,7} = 0,4 \text{ MPa} \leq fr = 2,48 \text{ MPa}$$

(OK)

Perhitungan Kebutuhan Tulangan Angkat dan Strand

- Pembebatan

Beban Mati (DL) :

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pracetak} &= 0,4 \times 0,47 \times 2400 &= 451,2 \text{ Kg/m} \\ qD &= 451,2 \times 4,425 &= 1196,56 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL) :

$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ Kg/m}$$

- Perhitungan Tulangan Angkat

$$\text{Beban ultimate} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 (1196,56) + 1,6 (200)$$

$$= 1755,87 \text{ Kg/m}^2$$

Berdasarkan PCI 7th Edition fig. 8.3.4 mengenai faktor pengali gaya berdasarkan sudut pengangkatan (α) yang direncanakan. Untuk $\alpha = 45^\circ$, faktor pengalinya adalah 1,41.

Sehingga beban yang diterima satu titik angkat :

$$P_1 = 1755,87 \times 1,41 / 2 = 1237,89 \text{ Kg}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (fs) diambil sebesar $2/3 f_y$.

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} 390 = 260 \text{ Mpa} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{P_1}{f_s} = \frac{1237,89}{2600} = 0,48 \text{ mm}^2$$

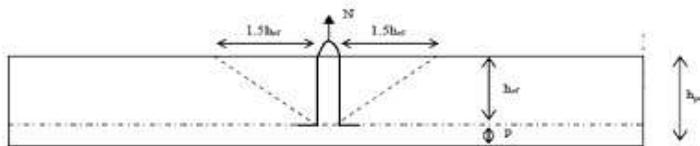
Digunakan tulangan angkat Ø10 mm ($A_s = 0,79 \text{ mm}^2 > A_s$)

Jadi, dipakai tulangan angkat Ø10 mm.

Berdasarkan SNI 2847:2013 lampiran D.5.2.2 kedalaman angkur dalam keadaan tarik ($k_c = 10$, angkur cor di dalam), maka

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{k_c \sqrt{f'c}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1237,89}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 49,75 \text{ mm}$$

Maka angkur dipasang sedalam 50 mm.



Berdasarkan PCI 7th fig. 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (*breakout*) yang terbesar dari,

$$d_e = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{50}{\tan 35^\circ} = 71 \text{ mm}$$

$$d_e = 1,5 h_{ef} = 1,5 (50) = 75 \text{ mm}$$

Maka digunakan $d_e = 75 \text{ mm}$

- Perhitungan Kebutuhan Strand

Berdasarkan PCI 7th tabel design aid 15.3.1 material properties prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi:

$$\text{Diameter} = 0,5 \text{ in} = 6,35 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} F_{pu} &= 250 \text{ ksi} & = 1724 \text{ MPa} \\ A &= 0,036 \text{ in}^2 & = 23,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$F_{strand} = 1724 \times 23,36 = 4003,8 \text{ Kg}$$

Maka gaya yang dipikul 1 strand = $4003,8 / 2 = 2000,9 \text{ Kg}$

Kontrol : $P_1 < F_{strand}$

$$1157,55 \text{ Kg} < 2000,9 \text{ Kg} (\text{OK})$$

Maka digunakan seven wire strand diameter 0,25 in ($f_{pu} = 250 \text{ ksi}$).

4.7.3 Kontrol Elemen Pracetak

4.7.3.1 Kontrol Penumpukan

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

$$F_{ci} = 0,46 \times F'c$$

$$= 0,46 \times 35$$

$$= 16.1 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{16.1}$$

$$= 2.4877 \text{ Mpa}$$

$$= 24.877 \text{ kg/cm}^2$$

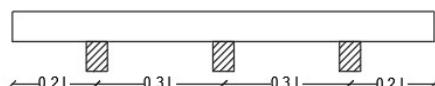
• Pembelahan Saat Penumpukan

$$Q_d = 1,2 (0,4 \times 0,47 \times 2400) = 541,44 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 (200) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \times 40 \times 47^2 = 14726,7 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,3 L = 0,3 \times 4,425 = 1,3 \text{ m}$$



$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_u \times L$$

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times 542,44 \times 1,3^2 + \frac{1}{4} \times 320 \times 1,3 = 195,67 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{lap} = 293,51 \text{ kgm} = 29351 \text{ kgcm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times Qd \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times 542,44 \times 1,3^2 = 114,59 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{tump} = 171,89 \text{ kgm} = 17189 \text{ kgcm}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\ &= \frac{29351}{14726,7} \\ &= 1,99 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tumpuan}} &= \frac{Mt_{\text{tumpuan}}}{W} \\ &= \frac{17189}{14726,7} \\ &= 0,12 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

- **Kontrol Jumlah Penumpukan**

Pada penumpukan pelat pracetak digunakan balok kayu dengan ukuran 5 x 10 cm.

$$\begin{aligned}\text{Luas bidang kontak} &= 0.05 \times 3 \text{ balok kayu} \\ &= 0.15 \text{ m}^2 \\ &= 150000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$P = 1,2 (4,425 \times 2400 \times 0,4 \times 0,47) + 1,6 (200)$$

$$= 2715,872 \text{ kg} = 27156,72 \text{ N}$$

$$f = \frac{Pu}{A} = \frac{27156,72}{150000} = 0.181 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah penumpukan} &= \frac{fr}{f \times SF} \\ &= \frac{2.487}{0.181 \times 3} \\ &= 4,56 \approx 4 \text{ tumpukan}\end{aligned}$$

4.4.3.2 Kontrol Pemasangan

Pemasangan pelat pracetak dilakukan saat umur beton 7 hari , sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$F_{ci} = 0,7 \times F'c$$

$$= 0,7 \times 35$$

$$= 24,5 \text{ MPa}$$

$$F_r = 0,62\lambda\sqrt{F'c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{24,5}$$

$$= 3,068843 \text{ MPa}$$

$$= 30,68843 \text{ kg/cm}^2$$

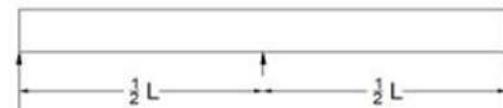
- Pembebatan Saat Pemasangan**

$$Q_d = 1,2 (0,4 \times 0,47 \times 2400) = 541,44 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 (200) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \times 40 \times 47^2 = 14726,7 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,5 b = 0,5 \times 4,425 = 1,3 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen:

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_u \times L$$

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times 541,44 \times 1,3^2 + \frac{1}{4} \times 320 \times 1,3 = 195,5 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{lap} = 293,255 \text{ kgm} = 29325,5 \text{ kgcm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times Q_d \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times 541,44 \times 1,3^2 = 114,38 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{tump} = 171,57 \text{ kgm} = 17157 \text{ kgcm}$$

- Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\ &= \frac{29325,5}{14726,7} \\ &= 1,99 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tumpuan}} &= \frac{Mt_{\text{tumpuan}}}{W} \\ &= \frac{17157}{14726,7} \\ &= 1,17 \text{ kg/cm}^2 < Fr = 24.877 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

4.4.3.3 Kontrol Pengecoran

Pengecoran pelat pracetak dilakukan saat umur beton 7 hari , sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$Fci = 0,7 \times F'c$$

$$= 0,7 \times 35$$

$$= 24,5 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,62\lambda\sqrt{F''c} \quad (\lambda = 1, \text{ Beton normal})$$

$$= 0,62 \times 1 \times \sqrt{24,5}$$

$$= 3,068843 \text{ Mpa}$$

$$= 30,68843 \text{ kg/cm}^2$$

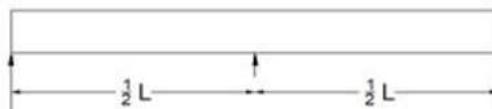
- **Pembebatan Saat Pengecoran**

$$Qd = 1,2 (0,6 \times 0,4 \times 2400) = 691,2 \text{ kg/m}$$

$$Pu = 1,6 (200) = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \times 40 \times 600 = 24000 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,5 b = 0,5 \times 4,425 = 2,2 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen:

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times L$$

$$M_{lap} = \frac{1}{10} \times 691,2 \times 1,3^2 + \frac{1}{4} \times 320 \times 1,3 = 220,81 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{lap} = 331,22 \text{ kgm} = 33122 \text{ kgcm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times Qd \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{8} \times 691,2 \times 1,3^2 = 146,02 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$$M_{tump} = 219,02 \text{ kgm} = 21902 \text{ kgcm}$$

- **Kontrol Tegangan**

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{lapangan}} &= \frac{M_{\text{lapangan}}}{W} \\ &= \frac{33122}{24000} \\ &= 1,38 \text{ kg/cm}^2 < \text{Fr} = 30,69 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tumpuan}} &= \frac{M_{\text{tumpuan}}}{W} \\ &= \frac{21902}{24000} \\ &= 0,9 \text{ kg/cm}^2 < \text{Fr} = 30,69 \text{ kg/cm}^2 (\text{OK})\end{aligned}$$

4.8 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik sekunder maupun balok induk. Data perencanaan kolom sebagai berikut:

Dimensi kolom : 600/600 mm

Tinggi kolom : 4800 mm

Mutu beton (fc') : 35 MPa

Mutu baja (fy) : 390 MPa

Diameter tulangan lentur : D 22 mm

Diameter tulangan geser : Ø 13 mm

Dengan tinggi efektif balok:

$$d = b - \text{decking} - \emptyset \text{ tul. Geser} - 0,5 \times \emptyset \text{ tul. Lentur}$$

$$= 600 - 40 - 13 - (0,5 \times 22)$$

$$= 536 \text{ mm}$$

4.8.1 Analisa Gaya Dalam

Gaya yang terjadi pada kolom (hasil analisa SAP)

- Gaya Aksial Kolom

$1,2D + 1,6L$



$1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey$

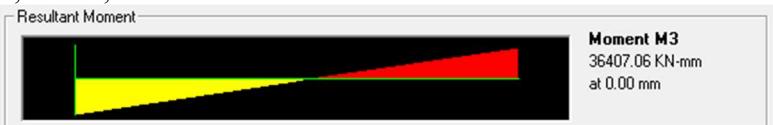


$1,2D + 1L + 0,3Ex + 1Ey$

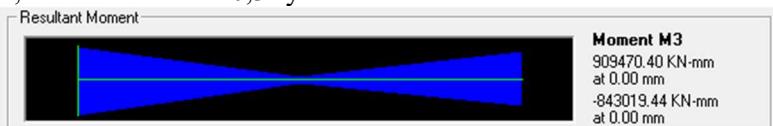


- Momen Arah Sumbu x

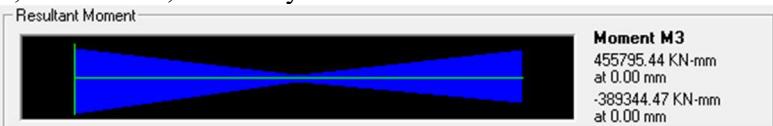
$1,2D + 1,6L$



$1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey$

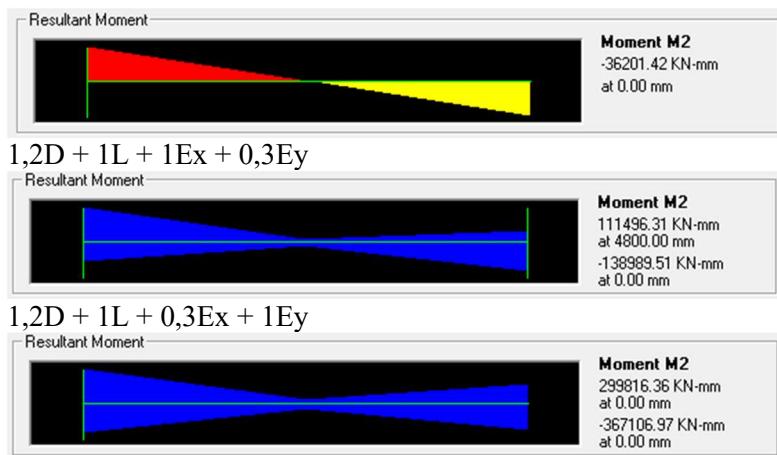


$1,2D + 1L + 0,3Ex + 1Ey$



- Momen Arah Sumbu y

$1,2D + 1,6L$



4.8.2 Cek Persyaratan Kolom SRPMK

Cek persyaratan kolom berdasarkan sub bab 2.2 mengenai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada poin kolom.

- Pembatasan dimensi (Pasal 21.6.1.1)
 - Dimensi terpendek $\geq 300 \text{ mm}$
Dimensi terpendek kolom yang digunakan $600 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (memenuhi)
 - Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus $\geq 0,4$
Rasio dimensi penampang = $600/600 = 1 > 0,4$ (memenuhi)
- Gaya tekan aksial ter faktor pada komponen struktur (Pu) melebihi $\frac{Ag \times Fc}{10}$ (Pasal 21.6.1)

$$\frac{Ag \times Fc}{10} = \frac{600 \times 600 \times 35}{10} = 1260000 \text{ kN}$$

Dari hasil analisa SAP gaya aksial terbesar yaitu berdasarkan kombinasi $1,2D + 1L + 0,3Ex + 1Ey = 3227,991 \text{ kN} > 1478,75 \text{ kN}$ (memenuhi)

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.3.6.2 kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

Dicoba menggunakan 16 D22, maka $As = 6082,12 \text{ mm}^2$

$$\varnothing P_n = 0,8 \times \varphi \times [0,85 \times f_{c'} \times (A_g - As) + f_y \times As]$$

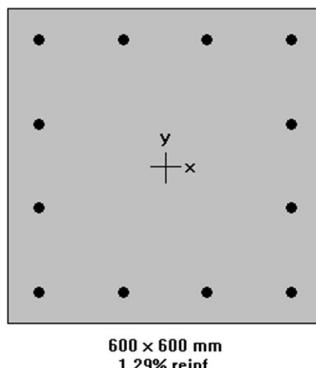
$$\varnothing P_n = 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 35 \times (360000 - 6082,12) + 390 \times 6082]$$

$$\varnothing P_n = 6708564 \text{ N} = 6708,564 \text{ kN} > 3227,991 \text{ kN} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi digunakan tulangan utama **16D22**.

4.8.3 Perencanaan Penulangan Longitudinal

Berdasarkan sub bab 2.2 mengenai SRPMK pada poin tulangan memanjang kolom, luas tulangan memanjang ($A_{st} \geq 0,01$ luas penampang (A_g) dan $A_{st} \leq 0,06 A_g$). Berdasarkan analisa menggunakan PCACOL menunjukkan konfigurasi tulangan longitudinal 16D22 dengan $\rho = 1,29\%$ (memenuhi).



4.8.4 Cek Syarat Strong Column Weak Beam

Berdasarkan sub bab 2.2 mengenai SRPMK pada poin kekuatan lentur minimum kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$. Dimana $\sum M_{nc}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, sedang $\sum M_{nb}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint.

Dari perhitungan penulangan lentur balok pada tumpuan (bertemu di joint yang ditinjau) sebelumnya, didapatkan $\varnothing M_n$ balok

tulangan atas = 382978,9 kN dan $\bar{\Omega}M_n$ balok tulangan bawah = 191489,5 kN.

$$1,2 \sum M_{nb} = 1,2 \times (382978,9 + 191489,5) = 689362,1 \text{ kN.}$$

Menentukan nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P-M dengan PCACOL seperti pada gambar berikut :

- Kolom lantai atas (lantai 2)
Gaya aksial terfaktor kolom, $\bar{\Omega}P_n = 4278,45$ kN. Dari diagram interaksi kolom, didapat $\bar{\Omega}M_n = 383132$ kNm.
- Kolom lantai yang ditinjau (lantai 1)
Gaya aksial terfaktor kolom, $\bar{\Omega}P_n = 5052,60$ kN. Dari diagram interaksi kolom, didapat $\bar{\Omega}M_n = 345233$ kNm.
- Kolom lantai bawah (lantai bawah)
Gaya aksial terfaktor kolom, $\bar{\Omega}P_n = 5852,34$ kN. Dari diagram interaksi kolom, didapat $\bar{\Omega}M_n = 344872$ kNm.

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ (\bar{\Omega}M_n \text{ atas} + \bar{\Omega}M_n \text{ desain}) &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ (383132 + 345233) &\geq 689362,1 \\ 728365 &\geq 689362,1 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ (\bar{\Omega}M_n \text{ bawah} + \bar{\Omega}M_n \text{ desain}) &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ (344872 + 345233) &\geq 689362,1 \\ 690105 &\geq 689362,1 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Maka, persyaratan *strong column weak beam* terpenuhi.

4.8.5 Perencanaan Penulangan *Confinement*

Perencanaan penulangan *confinement* berdasarkan sub bab 2.2 mengenai SRPMK pada poin kolom untuk tulangan transversal. Tulangan transversal harus dipasang sepanjang (l_0).

$$\begin{aligned}l_0 &\geq 600 \text{ mm} \\ l_0 &\geq \frac{1}{6} 420 = 70 \text{ mm} \\ l_0 &\geq 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, tulangan transversal harus dipasang sepanjang 600 mm. Luas penampang total tulangan sengkang persegi (A_{sh}) tidak boleh kurang dari,

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \times b_c \times f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \times b_c \times f'_c}{f_{yt}}$$

$$\begin{aligned} B_c &= \text{lebar penampang inti beton (yang terkekang)} \\ &= bw - 2(40 + \frac{1}{2} db) = 600 - 2(40 + \frac{1}{2} 13) = 507 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= \text{luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar hoop ke serat terluar hoop sisi lainnya.} \\ &= (600 - 2 \times 40)^2 = 270400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{s b_c \times f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{507 \times 35}{390} \left[\left(\frac{600^2}{270400} \right) - 1 \right] = 4,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{s b_c \times f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{507 \times 35}{390} = 4,095 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Maka, diambil nilai $\frac{A_{sh}}{s}$ sebesar 4,5 mm²/mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang lo (s) yang digunakan harus memenuhi persyaratan SRPMK yang tertulis pada sub bab 2.2.

$$s \leq \frac{600}{4} = 150 \text{ mm}$$

$$s \leq 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$s \leq S_o$$

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left(\frac{350 - 275}{3} \right) = 125 \text{ mm}$$

$$100 \leq S_o \leq 150 \text{ mm}$$

$$100 \leq 125 \leq 150 \text{ mm (memenuhi).}$$

Maka, digunakan $s = 100 \text{ mm}$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 4,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 100 = 450 \text{ mm}^2$$

Jadi digunakan tulangan **4 D13-100mm** ($A_{sh} = 531 \text{ mm}^2 > 450 \text{ mm}^2$).

4.8.6 Perencanaan Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain (V_e) harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan (join) di setiap ujung komponen struktur.

- V_e tidak perlu lebih besar dari V_{sway}

$$V_{sway} = \frac{M_{pr\ top} \times DF\ top + M_{pr\ btm} \times DF\ btm}{ln}$$

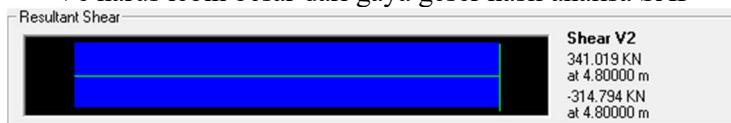
$M_{pr\ top}$ dan $M_{pr\ btm}$ = penjumlahan M_{pr} untuk masing-masing balok di lantai atas dan lantai bawah di muka kolom.

DF = faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah kolom yang didesain.

ln = bentang bersih kolom.

$$V_{sway} = \frac{(760,37 + 451,162) \times 0,5 + (760,37 + 4,52) \times 0,5}{4,2} = 285,06 \text{ kN}$$

- V_e harus lebih besar dari gaya geser hasil analisa SAP



$$V_u = 341,02 \text{ kN} > V_e = 336,53 \text{ kN} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi diambil $V_u = 336,53 \text{ kN}$

Besarnya nilai V_u akan ditahan oleh kuat geser beton (V_c) dan kuat geser tulangan (V_s). Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.2, nilai $V_c = 0$ apabila V_e akibat beban gempa lebih besar $\frac{1}{2} V_u$ dan gaya aksial terfaktor (P_u) kurang dari $A_g \times f'_c / 10$.

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} bw d = 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 600 \times 686 = 517,44 \text{ kN}$$

$$\bar{\Omega} V_c = 0,75 \times 517,44 = 388,08 \text{ kN}$$

$$0,5 \bar{\Omega} V_c = 0,5 \times 388,08 = 194,04 \text{ kN}$$

$$V_u = 341,02 \text{ kN}$$

Cek kebutuhan tulangan geser :

$$0,5 \bar{\Omega} V_c \leq V_u \leq \bar{\Omega} V_c \text{ (maka perlu tulangan geser minimum)}$$

Maka direncanakan tulangan minimum pada penampang kolom :
Dipasang 4 D13 dengan jarak (s) = 100 mm.

$$Av_{min} = 0,0062 \sqrt{fc'} \frac{bw \times s}{fyt} = 0,0062 \sqrt{35} \frac{600 \times 100}{240} = 70,53 \text{ mm}^2$$

$Ash = 531 \text{ mm}^2 > Av_{min} = 70,53 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Untuk bentang di luar lo

SNI 2847:2013 pasal 11.2 memberikan Vc bila ada gaya aksial yang bekerja :

$$Vc = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 \times Ag} \right) \lambda \sqrt{fc'} bw \times d$$

Dimana,

Nu = gaya tekan aksial terkecil

$Nu = 1194,3 \text{ kN}$ (kombinasi 1,2D + 1L + 1Ex + 1Ey)



$$\bar{O}Vc = 0,75 \times 0,17 \left(1 + \frac{1194,3}{14 \times 600^2} \right) 1 \sqrt{35} 750 \times 686 = 491,9 \text{ kN}$$

$$V_{s,min} = 0,33 \times b \times d = 0,33 \times 600 \times 686 = 169,78 \text{ kN}$$

$$\bar{O}Vc + V_{s,min} = 661,68 \text{ kN} > \frac{Vu}{\emptyset} = \frac{336,53}{0,75} = 448,7 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, di luar panjang lo , kolom harus diberi hoops dengan spasi minimum 150 mm atau $6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$. Maka dipasang tulangan geser **4 D13-130mm**.

4.8.7 Lap Splices

Lap splices (sambungan lewat) dipasang di tengah tinggi kolom dan harus diikat dengan tulangan sengkang. Sepanjang *lap splice*, spasi tulangan transversal dipasang sesuai perhitungan tulangan *confinement* sebelumnya yaitu 100 mm.

Dalam perencanaan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.17.2.2., sambungan lewat diklasifikasikan dalam kelas B, dimana panjang lewatannya adalah $1,3ld$ (pasal 12.15.1) besarnya ld berdasarkan persamaan sesuai pasal 12.2.3 dengan menggunakan nilai $ktr = 0$ untuk penyederhanaan desain.

Untuk tulangan D22 maka panjang penyaluran adalah :

$$ld = \left(\frac{fy \psi_t \psi_e \psi_s}{1,1\lambda \sqrt{fc'} \left(\frac{cb+}{db} \right)} \right) db$$

$$1,3 ld = 1,3 \times \left(\frac{390 \times 1,3 \times 1 \times 1}{1,1 \times 1 \sqrt{35} \left(\frac{64+0}{22} \right)} \right) 22 = 765,93 \text{ mm}$$

Maka, digunakan *lap splices* sepanjang 1000 mm.

4.8.8 Desain Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom didesain dengan metode SRPMK, dimensi joint dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1, luas efektif hubungan balok kolom (A_j) = $600 \times 600 = 360000 \text{ mm}^2$. Panjang joint yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di joint sedikitnya 20 kali db longitudinal terbesar. Panjang join = $20 \times 22 = 440 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$ (OK)

Penulangan transversal untuk *confinement* harusa tersedia pada joint. Untuk joint interior, jumlah tulangan yang dibutuhkan setidaknya setengah tulangan sengkang yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom atau $0,5Ash/s = 0,5 \times 4,5 \text{ mm}^2/\text{mm} = 2,25 \text{ mm}^2/\text{mm}$. Spasi sengkang yang diizinkan diperbesar hingga 150 mm.

$$150 \text{ mm} \times 2,25 \text{ mm}^2/\text{mm} = 337,5 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan dipasang hoop 4 D13 ($Ash = 531 \text{ mm}^2 > 337,5 \text{ mm}^2$).

4.8.9 Perhitungan Geser di Joint

Balok yang memasuki joint memiliki *porable moment* (Mpr) 390 kNm dan 195 kNm. Pada joint, kekakuan kolom atas dan kekakuan kolom bawah sama, sehingga DF = 0,5 untuk setiap kolom, sehingga :

$$Me = 0,5 \times (390000000 + 195000000) = 292500000 \text{ Nmm}$$

Geser pada kolom atas

$$Vsway = (292500000 + 292500000) / 4200 = 139285,71 \text{ N}$$

Di bagian lapis atas balok, baja tulangan yang dipakai adalah 8 D19 ($As = 3041 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik yang bekerja pada baja tulangan balok

$$T' = 1,25 \times As \times fy$$

$$= 1,25 \times 3041 \times 390$$

$$= 1482518 \text{ N}$$

Gaya tekan yang bekerja pada balok

$$C = T = 1482518 \text{ N}$$

$$Vu = V_j = V_{sway} - C - T$$

$$= 139285,71 - 1482518 - 1482518$$

$$= 2825750 \text{ N (ke kiri)}$$

Kuat geser nominal joint yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$V_n = 1,7 \sqrt{fc'} \times Aj$$

$$\bar{\Omega}V_n = 0,75 \times 1,7 \sqrt{35} \times 360000$$

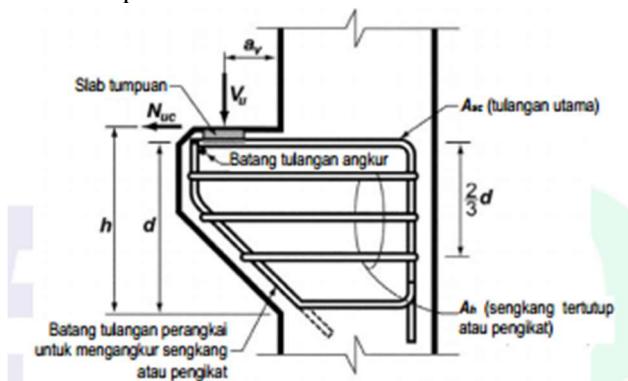
$$= 2715480,6 \text{ N} > Vu = 2091674 \text{ N (OK)}$$

Jadi, perencanaan kuat geser pada joint sudah memenuhi.

4.9 Perencanaan Sambungan

4.9.1 Sambungan Balok dan Kolom

Pada perencanaan sambungan antara kolom dan balok induk dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk. Perencanaan konsol pada kolom disesuaikan dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.



4.9.1.1 Penulangan Konsol pada Kolom

- Data perencanaan

$$V_u = 277,545 \text{ kN} \text{ (Output dari SAP)}$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 40 / 60$$

Dimensi konsol :

$$bw = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 22 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 50 - (0,5 \times 22) = 339 \text{ mm}$$

$$f_{c'} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$a_v = 150 \text{ mm}$$

Geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi harus sesuai dengan persyaratan SNI 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$A_v/d = 150/339 = 0,44 < 1 \text{ (memenuhi)}$$

$$N_{uc} \geq 0,2 V_u$$

$$N_{uc} \geq 0,2 \times 277,545 = 55,5 \text{ kN}$$

- Cek kecukupan penampang

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2 (a) untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$0,2.f_{c'} \cdot b_w \cdot d = 0,2 \times 35 \times 400 \times 238 = 666,4 \text{ kN} > V_n$$

$$(3,3 + 0,08.f_{c'})b_w.d = (3,3 + 0,08 \times 35)400 \times 238 \\ = 580,72 \text{ kN} > V_n \text{ (OK)}$$

$$11 b_w.d = 11 \times 400 \times 238 = 1047 \text{ kN} > V_n \text{ (OK)}$$

Maka, dimensi konsol mampu menahan geser yang terjadi.

- Penentuan tulangan konsol

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan V_e pada balok yaitu,

$$V_e (-) = -114,89 \text{ kN}$$

$$V_e (+) = 429,57 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.6.4.2 untuk menentukan V_n pada konsol akibat geser friksi, yaitu:

$$V_n = A_{vf} \times f_y \times \mu$$

$$\mu = 1,4$$

$$V_n = 1899 \times 390 \times 1,4 = 1037 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.8.2 untuk join pada metode praetak sebagai penahan gempa harus memenuhi persyaratan berikut dan semua persyaratan cor di tempat.

$$V_n > 2V_e$$

$$1037 \text{ kN} > 2 \times 429,57 \text{ kN}$$

$$1037 \text{ kN} > 859,14 \text{ kN (OK)}$$

- Luas tulangan lentur

$$M_u = V_u \times a_v + N_{uc} (h - d)$$

$$= 272,236 \times 150 + 54,44 (300 - 238)$$

$$= 44210680 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{390} = 0,0032$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) = \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{390} \left(\frac{600}{600+390} \right) = 0,0281$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0211$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c'} = \frac{390}{0,85 \times 25} = 18,35$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3820000}{0,9 \times 1000 \times 205^2} = 0,379$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,35) \times 0,379}{390}} \right) = 0,0009$$

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

Maka, digunakan $\rho = 0,0065$

Tulangan untuk menahan momen:

$$A_{fl} = \frac{M_u}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} = \frac{44210680}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 238} = 741,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d = 0,0065 \times 400 \times 238 = 618,8 \text{ mm}^2$$

Maka, diambil luas tulangan $618,8 \text{ mm}^2$ untuk menahan momen.

Tulangan untuk menahan N_{uc} :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{54,44 \times 1000}{0,75 \times 390} = 186,11 \text{ mm}^2$$

- Pemilihan tulangan yang digunakan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 618,8 + 186,11 = 804,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n = \frac{2 \times 1899}{3} + 186,11 = 1452,11 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan sebesar 1452,11 mm²

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

$$\frac{A_{sc\ min}}{b \times d} \geq 0,04 \frac{f_c}{f_y}$$

$$\frac{1452,11}{400 \times 339} \geq 0,04 \frac{35}{390}$$

0,0064 ≥ 0,0035 (memenuhi)

$$n = \frac{A_{sc}}{A_{sc} \cdot D22} = \frac{1452,11}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 3,89 \approx 4 \text{ buah}$$

Sehingga dipakai **5 D22** ($A_{vf} = 1899 \text{ mm}^2 > 1452,1 \text{ mm}^2$)

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari :

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (804,9 - 186,11) = 309,395 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser :

$$n = \frac{A_h}{A_s \cdot D22} = \frac{309,395}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,33 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang **3 D13** ($A_v = 398 \text{ mm}^2 > 309,39 \text{ mm}^2$) dan dipasang sepanjang $\frac{2}{3}d = 226 \approx 250 \text{ mm}$.

4.9.1.2 Perencanaan *Reinforced Concrete Bearing*

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada *PCI Design Handbook 7th Edition section 5.6.2* yaitu tentang *concrete brackets or corbel*. Penulangan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Dengan data perencanaan :

Asumsi retak sudut = 0°

Koefisien friksi = 1,4

Sudut penanaman = 15°

Diameter tulangan = 13 mm = #4

Bar size, #	$\zeta_c = 3000 \text{ psi}$				$\zeta_c = 4000 \text{ psi}$				$\zeta_c = 5000 \text{ psi}$				$\zeta_c = 6000 \text{ psi}$				Min. comp. splice	
	Tension		Com- pres- sion		Tension		Com- pres- sion		Tension		Com- pres- sion		Tension		Com- pres- sion			
	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	ℓ_d	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	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	

Mutu beton = 35 MPa = 5000 Psi

Ld = 17 in = 432 mm

bw = 400 mm = 15,7 in

$\lambda = 1,0$

$f_y = 390 \text{ MPa} = 58065 \text{ lb/in}^2$

$V_u = 272,23 \text{ kN} = 61,1 \text{ kip}$

$A_{cr} = l_d \times b = 267,72 \text{ in}^2$

$$\mu_e = \frac{\emptyset \times 1000 \times A_{cr} \times \lambda \times \mu}{V_u} = \frac{0,75 \times 1000 \times 330 \times 1 \times 1,4}{61140} = 5,66$$

Karena $\mu_e > 3,4$ maka diambil $\mu_e = 3,4$

Kebutuhan tulangan horizontal:

At = Avf + An

$$\begin{aligned} &= \frac{Vu}{\emptyset \times f_y \times \mu_e} + \frac{Nu}{\emptyset \times f_y} \\ &= \frac{272232}{0,75 \times 390 \times 3,4} + \frac{54446,3}{0,75 \times 390} \\ &= 459,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 4 D13 ($As = 530,93 \text{ mm}^2 > 459,88 \text{ mm}^2$)

Kebutuhan sengkang:

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \frac{At \times f_y}{\mu_e \times f_{y_s}} \\ &= \frac{459,88 \times 390}{3,4 \times 390} \\ &= 135,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 2 D13 ($As = 265,47 \text{ mm}^2 > 135,26 \text{ mm}^2$)

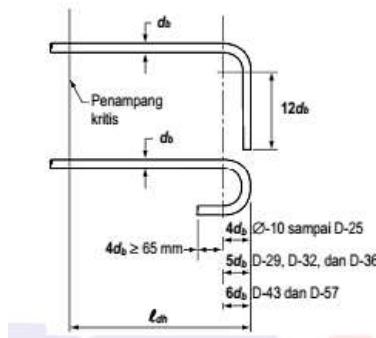
4.9.1.3 Perhitungan Sambungan Balok ke Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan

balok, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah. Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu tarik dan tekan.

- Panjang penyaluran kondisi tekan

Untuk menahan gaya gempa bolak-balik, panjang penyaluran kondisi tekan disamakan dengan penyaluran kondisi tarik. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



$$l_{dh} \geq 8db = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

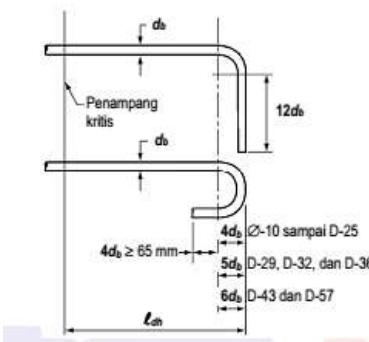
$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \times db = \frac{0,24 \times 1 \times 390}{1\sqrt{35}} \times 19 = 300,60 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran kait standar dalam tarik adalah 320 mm dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam balok induk dengan sudut kait 90° sebesar $12db = 12 \times 19 = 228 \approx 250$ mm.

- Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



$$ldh \geq 8d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$ldh \geq 150 \text{ mm}$$

$$ldh \geq \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_{c'}}} \times d_b = \frac{0,24 \times 1 \times 390}{1\sqrt{35}} \times 19 = 300,60 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran kait standar dalam tarik adalah 320 mm dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam balok induk dengan sudut kait 90° sebesar $12d_b = 12 \times 19 = 228 \approx 250 \text{ mm}$.

4.9.2 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk. Perencanaan konsol pada balok induk disesuaikan dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.

4.9.2.1 Penulangan Konsol pada Balok Induk

- Data perencanaan

$V_u = 216,73 \text{ kN}$ (Output dari SAP)

Dimensi balok induk = 40 / 60

Dimensi konsol :

$$bw = 200 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

Diameter tulangan lentur	= 19 mm
d	= $200 - 50 - (0,5 \times 19) = 185,5 \text{ mm}$
fc'	= 35 MPa
fy	= 390 MPa
av	= 150 mm

Geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi harus sesuai dengan persyaratan SNI 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$Av/d = 150/185,5 = 0,81 < 1 \text{ (memenuhi)}$$

$$Nuc \geq 0,2 Vu$$

$$Nuc \geq 0,2 \times 215,73 = 43,35 \text{ kN}$$

- Cek kecukupan penampang

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2 (a) untuk beton normal, kuat geser Vn tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$0,2 \cdot fc' \cdot bw \cdot d = 0,2 \times 35 \times 200 \times 185,5 = 259,7 \text{ kN} > Vn$$

$$(3,3 + 0,08 \cdot fc') \cdot bw \cdot d = (3,3 + 0,08 \times 35) \cdot 200 \times 185,5 \\ = 226,3 \text{ kN} > Vn \text{ (OK)}$$

$$11 \cdot bw \cdot d = 11 \times 200 \times 185,5 = 408,1 \text{ kN} > Vn \text{ (OK)}$$

Maka, dimensi konsol mampu menahan geser yang terjadi.

- Penentuan tulangan konsol

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan Ve pada balok yaitu,

$$Ve (-) = -114,89 \text{ kN}$$

$$Ve (+) = 429,57 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.6.4.2 untuk menentukan Vn pada konsol akibat geser friksi, yaitu:

$$Vn = A_{vf} \times fy \times \mu$$

$$\mu = 1,4$$

$$Vn = 1899 \times 390 \times 1,4 = 1037 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.8.2 untuk join pada metode praetak sebagai penahan gempa harus memenuhi persyaratan berikut dan semua persyaratan cor di tempat.

$$Vn > 2Ve$$

$$1037 \text{ kN} > 2 \times 429,57 \text{ kN}$$

$$1037 \text{ kN} > 859,14 \text{ kN} (\text{OK})$$

- Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} Mu &= Vu \times av + Nuc (h - d) \\ &= 272,236 \times 150 + 54,44 (300 - 238) \\ &= 44210680 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc}}{fy} = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{390} = 0,0032$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \left(\frac{600}{60} \right) = \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{390} \left(\frac{600}{600+390} \right) = 0,0281$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0211$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{390}{0,85 \times 25} = 18,35$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{3820000}{0,9 \times 1000 \times 205^2} = 0,379$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{18,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,35) \times 0,379}{390}} \right) = 0,0009$$

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

Maka, digunakan $\rho = 0,0065$

Tulangan untuk menahan momen:

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times fy \times d} = \frac{44210680}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 238} = 741,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d = 0,0065 \times 400 \times 238 = 618,8 \text{ mm}^2$$

Maka, diambil luas tulangan $618,8 \text{ mm}^2$ untuk menahan momen.

Tulangan untuk menahan Nuc:

$$A_n = \frac{Nuc}{\phi \times fy} = \frac{54,44 \times 1000}{0,75 \times 390} = 186,11 \text{ mm}^2$$

- Pemilihan tulangan yang digunakan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$Asc = Af + An = 618,8 + 186,11 = 804,9 \text{ mm}^2$$

$$Asc = \frac{2 \times Avf}{3} + An = \frac{2 \times 1899}{3} + 186,11 = 1452,11 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan sebesar $1452,11 \text{ mm}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

$$\frac{A_{sc\ min}}{b \times d} \geq 0,04 \frac{f_c}{f_y}$$

$$\frac{1452,11}{400 \times 339} \geq 0,04 \frac{35}{390}$$

$0,0064 \geq 0,0035$ (memenuhi)

$$n = \frac{A_{sc}}{A_{sc} \cdot D_2} = \frac{1452,11}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 3,89 \approx 4 \text{ buah}$$

Sehingga dipakai 5 D22 ($A_{vf} = 1899 \text{ mm}^2 > 1452,1 \text{ mm}^2$)

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari :

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (804,9 - 186,11) = 309,395 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser :

$$n = \frac{A_h}{A_s \cdot D_{22}} = \frac{309,395}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,33 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang 3 D13 ($A_v = 398 \text{ mm}^2 > 309,39 \text{ mm}^2$) dan dipasang sepanjang $\frac{2}{3} d = 226 \approx 250 \text{ mm}$.

4.9.2.2 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing

Perencanaan penulangan ujung balok anak pada tugas akhir ini didasarkan pada *PCI Design Handbook 7th Edition section 5.6.2* yaitu tentang *concrete brackets or corbel*. Penulangan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Dengan data perencanaaan :

Asumsi retak sudut = 0°

Koefisien friksi = 1,4

Sudut penanaman = 15°

Diameter tulangan = 13 mm = #4

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-pression		Tension		Com-pression		Tension		Com-pression		Tension		Com-pression			
	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	

Mutu beton = 35 MPa = 5000 Psi

$$Ld = 17 \text{ in} = 432 \text{ mm}$$

$$bw = 400 \text{ mm} = 15,7 \text{ in}$$

$$\lambda = 1,0$$

$$fy = 390 \text{ MPa} = 58065 \text{ lb/in}^2$$

$$Vu = 272,23 \text{ kN} = 61,1 \text{ kip}$$

$$Acr = ld \times b = 267,72 \text{ in}^2$$

$$\mu_e = \frac{\emptyset \times 1000 \times Acr \times \lambda \times \mu}{Vu} = \frac{0,75 \times 1000 \times 330 \times 1 \times 1,4}{61140} = 5,66$$

Karena $\mu_e > 3,4$ maka diambil $\mu_e = 3,4$

Kebutuhan tulangan horizontal:

$$At = Avf + An$$

$$\begin{aligned} &= \frac{Vu}{\emptyset \times fy \times \mu_e} + \frac{Nu}{\emptyset \times fy} \\ &= \frac{272232}{0,75 \times 390 \times 3,4} + \frac{54446,3}{0,75 \times 390} \\ &= 459,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 4 D13 ($As = 530,93 \text{ mm}^2 > 459,88 \text{ mm}^2$)

Kebutuhan sengkang:

$$\begin{aligned} Ash &= \frac{At \times fy}{\mu_e \times fy_s} \\ &= \frac{459,88 \times 390}{3,4 \times 390} \\ &= 135,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 2 D13 ($As = 265,47 \text{ mm}^2 > 135,26 \text{ mm}^2$)

4.9.2.3 Perhitungan Kuat Angkur Baut ke Beton

Dalam sambungan konsol balok induk dengan balok anak dipasang angkur baut untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan pada saat pemasangan elemen balok anak pracetak. Desain sambungan harus mampu menahan gaya gaya aksial yang terjadi di balok.

Dari perhitungan struktur balok anak sebelumnya, didapat gaya geser dari analisa SAP sebesar :

$$V_u = 66407,04 \text{ N}$$

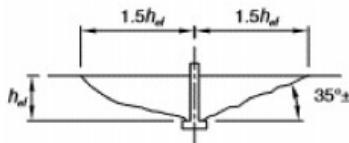
$$V_n = \frac{V_u}{\emptyset} = \frac{66407,04}{0,75} = 88542,72 \text{ N}$$

- Data perencanaan :

Berdasarkan SNI 1729:2015 tabel J3.1M dan J3.2 direncanakan baut A325 dengan ukuran M20, berikut data perencanaan sambungan baut :

$$\begin{aligned} db &= 20 \text{ mm} \\ A &= 314 \text{ mm}^2 \\ f_{ub} &= 620 \text{ MPa} \\ f_{yb} &= 372 \text{ MPa} \\ f'_c &= 35 \text{ MPa} \\ hef &= 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Menentukan jarak angkur :



$$C_{a1} = 1,5 \times hef = 1,5 \times 160 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$C_{a2} = 200 \text{ mm}$$

a. Kuat baut angkur dalam kondisi geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal D.6.1.2 kekuatan nominal baut angkur dalam kondisi geser tidak boleh melebihi V_{sa} untuk angkur baut berkepala.

$$f_{uts} \leq 1,9 f_{yb} = 1,9 \times 372 = 706,8 \text{ MPa}$$

$$f_{uts} \leq 860 \text{ MPa}$$

Maka, digunakan $f_{uts} = 706,8 \text{ MPa}$

$$V_{sa} = 0,6 \times A_{se,v} \times f_{uts}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \times 314,2 \times 706,8 \\
 &= 133228,66 \text{ N} > 88542,72 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka, baut angkur mampu menahan geser.

b. Kuat jebol (*breakout*) beton angkur dalam kondisi geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal D.6.2.1. kekuatan jebol beton nominal dalam kondisi geser tidak boleh melebihi V_{cb} dari angkur tunggal.

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \psi_{ed,v} \cdot \psi_{c,v} \cdot \psi_{cp,v} \cdot V_b$$

Dimana :

A_{vco} = luas terproyeksi untuk angkur tunggal pada komponen struktur tinggi dengan jarak dari tepi sama atau lebih besar dari $1,5c_{a1}$ dalam arah tegak lurus terhadap gaya geser. Dihitung berdasarkan persamaan D-32.

$$\begin{aligned}
 A_{vco} &= 4,5(c_{a1})^2 \\
 &= 4,5(240)^2 \\
 &= 259200 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

A_{vc} = luas terproyeksi permukaan kegagalan pada sisi komponen struktur beton pada tepinya untuk angkur tunggal atau kelompok angkur.

$$\begin{aligned}
 A_{vc} &= nA_{vco} \\
 &= 1 \cdot 259200 \\
 &= 259200 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$\psi_{ed,v}$ = faktor modifikasi untuk pengaruh tepi untuk angkur tunggal atau kelompok angkur yang dibebani dalam kondisi geser (SNI 2847:2013 pasal D.6.2.6)

$$1,5c_{a1} = 1,5 \times 240 = 360 \text{ mm} > c_{a2} = 200 \text{ mm}$$

Maka, $\psi_{ed,v}$ dihitung berdasarkan persamaan D-38 SNI 2847:2013

$$\psi_{ed,v} = 0,7 + 0,3 \frac{c_{a2}}{1,5 c_{a1}}$$

$$= 0,7 + 0,3 \frac{200}{360}$$

$$= 0,87$$

$\psi_{c,v}$ = faktor modifikasi untuk angkur yang terletak dalam daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan tidak ada retak pada beban layan (SNI 2847:2013 pasal D.6.2.7)

$$\psi_{c,v} = 1,4$$

$\psi_{h,v}$ = faktor modifikasi untuk angkur yang terletak pada komponen struktur beton (SNI 2847:2013 pasal D.6.2.8)

$$h_a = 400 \text{ mm}$$

Untuk $h_a > 1,5c_{a1}$

$$\psi_{h,v} = 1$$

V_b = kekuatan jebol beton dasar dalam kondisi geser dari angkur tunggal pada beton retak (V_b) harus yang lebih kecil dari (a) dan (b) (SNI 2847:2013 pasal D.6.2.2)

$$(a) \quad V_b = \left(0,6 \left(\frac{le}{db} \right)^{0,2} \sqrt{db} \right) \lambda_a \sqrt{f'c} (c_{a1})^{1,5}$$

$$= \left(0,6 \left(\frac{120}{20} \right)^{0,2} \sqrt{20} \right) 1 \sqrt{35} (240)^{1,5}$$

$$= 54857,91 \text{ N}$$

$$(b) \quad V_b = 3,7 \lambda_a \sqrt{f'c} (c_{a1})^{1,5}$$

$$= 3,7 1 \sqrt{35} (240)^{1,5}$$

$$= 81386,54 \text{ N}$$

Maka, digunakan $V_b = 54857,91 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_{cb} &= \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \psi_{ed,v} \cdot \psi_{c,v} \cdot \psi_{cp,v} \cdot V_b \\ &= \frac{259200}{259200} 0,87 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 54857,91 \\ &= 66816,93 \text{ N} \end{aligned}$$

$V_{cb} > V_n$ (memenuhi)

Maka, angkur baut mampu menahan jebol (*breakout*).

c. Kekuatan rompal (*pryout*) beton angkur kondisi geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal D.6.3.1 kekuatan rompal nominal dalam kondisi geser tidak boleh melebihi V_{cp} dari angkur tunggal.

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cp}$$

Dimana :

$$k_{cp} = 2,0 \text{ untuk } h_{ef} \geq 65 \text{ mm}$$

$N_{cp} = N_{cb}$ berdasarkan persamaan D-3

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b$$

$$1,5h_{ef} = 1,5 \times 120 = 180 \text{ mm}$$

$$\psi_{ed,N} = 1 \text{ (untuk } c_{a1} \geq 1,5 h_{ef})$$

$$\psi_{c,N} = 1,25 \text{ (untuk angkur cor di dalam)}$$

$$\psi_{cp,N} = 1$$

$$k_c = 10 \text{ (untuk angkur cor di dalam)}$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton (c_{a1}) = 240 mm

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times 160^2 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nc} = n A_{Nco} = 1 \times 230400 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$N_b = k_c \times \lambda_a \sqrt{f c'} h_{ef}^{1.5} = 10 \times 1 \sqrt{35} \times 160^{1.5} = 119733 \text{ N}$$

Baut angkur tunggal

$$\begin{aligned} N_{cb} &= \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b \\ &= \frac{230400}{230400} 1.1.25.1.119733 \\ &= 29930 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cp} = 2,0 \times 29930 = 59860 \text{ N}$$

$V_{cp} > V_n$ (memenuhi)

4.9.3 Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara pelat dan balok mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok.

- Panjang penyaluran tulangan pelat

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pelat tipe P1 sebagai berikut :

$$db = 10 \text{ mm}$$

Arah x

$$As \text{ perlu} = 392 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ terpasang} = 471 \text{ mm}^2$$

Arah y

$$As \text{ perlu} = 171 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ terpasang} = 392 \text{ mm}^2$$

- Penyaluran arah x

Kondisi tarik :

SNI 2847:2013 pasal 12.2.4

$ld \geq 300 \text{ mm}$

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{fc'}} = \frac{12 \cdot 390 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{25 \sqrt{35}} = 316,43 \text{ mm}$$

Maka, dipakai $ld = 350 \text{ mm}$

Kondisi tekan :

SNI 2847:2013 pasal 12.3

$$ldb = \frac{db \times fy}{4\sqrt{fc}} = \frac{10 \times 390}{4\sqrt{35}} = 165 \text{ mm}$$

$$ldb = ldb \frac{As.\text{perlu}}{As.\text{pasang}} = 165 \times \frac{392}{471} = 137,16 \text{ mm}$$

$ld \geq 200 \text{ mm}$

$ld \geq 0,043 \cdot db \cdot fy = 167 \text{ mm}$

Maka, dipakai $ld = 200 \text{ mm}$

b. Penyaluran arah y

Kondisi tarik :

SNI 2847:2013 pasal 12.2.4

$ld \geq 300 \text{ mm}$

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{fc'}} = \frac{12 \cdot 390 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{25 \sqrt{35}} = 316,43 \text{ mm}$$

Maka, dipakai $ld = 350 \text{ mm}$

Kondisi tekan :

SNI 2847:2013 pasal 12.3

$$ldb = \frac{db \times fy}{4\sqrt{fc}} = \frac{10 \times 390}{4\sqrt{35}} = 165 \text{ mm}$$

$$ldb = ldb \frac{As.\text{perlu}}{As.\text{pasang}} = 165 \times \frac{392}{471} = 137,16 \text{ mm}$$

$ld \geq 200 \text{ mm}$

$ld \geq 0,043 \cdot db \cdot fy = 167 \text{ mm}$

Maka, dipakai $ld = 200 \text{ mm}$

- Kontrol tegangan di tumpuan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 4.6.2.2 jarak tumpuan pada komponen pracetak untuk beton polos paling sedikit yaitu 50 mm untuk pelat dan 75 mm untuk balok.

Berikut data perencanaan untuk perhitungan kekuatan tumpu dan kontrol tumpuan pada pelat – balok.

$$F_{ci} = 0,7 \times 35 = 25 \text{ MPa}$$

$$A = 50 \times 1000 = 50000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Vu &= \frac{1}{2} \times Qu \times L = \frac{1}{2} \times (0,13 \times 3,3 \times 2400) \times 1,2 \\ &= 617 \text{ kg} = 6170 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 22.5.5 kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi,

$$\begin{aligned} B_n &= \varnothing \times 0,85 \times f_{ci} \times A \\ &= 0,65 \times 0,85 \times 25 \times 50000 = 690625 > Vu = 6170 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan,

$$Fr = 0,6 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,6 \times \sqrt{25} = 3 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{Vu}{A} = \frac{6170}{50000} = 0,12 < Fr = 3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)}$$

4.10 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan merupakan hal yang penting dalam setiap perencanaan pekerjaan konstruksi. Karena, perencanaan metode pelaksanaan yang baik akan memudahkan merealisasikan konstruksi yang sudah didesain.

4.10.1 Solusi Tulangan Pracetak yang Berelevasi Sama

Tulangan bawah balok induk pracetak yang berelevasi sama memiliki kemungkinan untuk bertubrukkan di pertemuan balok kolom (HBK). Solusi untuk masalah tersebut adalah pembengkokan tulangan bawah sejarak diameter batang tulangan yang berelevasi sama. Untuk balok melintang tulangan dibengkokan ke arah horizontal tulangan, sedang untuk balok memanjang tulangan perlu dibengkokan pula ke arah vertikal tulangan. pembengkokan tulangan dilakukan sebelum pracetak dibentuk.

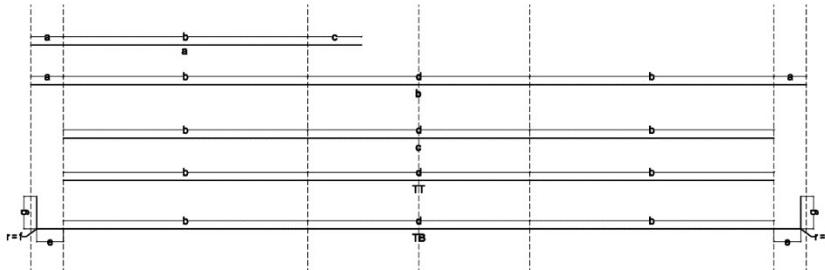
4.10.2 Metode Pengecoran

Pada pelaksanaan konstruksi bangunan dengan elemen pracetak perlu direncanakan metode pengecorannya, sehingga memudahkan pelaksanaan di lapangan.

1. Pemancangan tiang pancang.
2. Pemotongan tiang pancang.
3. Pemasangan begisting dan pemasangan pile cap.
4. Pemasangan begisting dan pemasangan sloof.
5. Pemasangan pemasangan dan begisting kolom sebatas konsol.
6. Pengecoran kolom setinggi elevasi konsol kolom.

7. Pemasangan balok dan pelat pracetak. Untuk memudahkan proses pemasangan agar tidak terjadi kekeliruan, elemen pracetak ditandai sesuai desain.
8. Pembesian kepala kolom/HBK, tulangan atas balok dan tulangan atas pelat pelat.
9. Pemasangan begiting kepala kolom dan tepi balok.
10. Pengecoran kepala kolom, *overtopping* balok dan pelat.

4.10.3 Metode Pembesian Balok



SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)								TOTAL PANJANG (mm)	
			a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)		
4300	B1	(mm)	19	320	318.63	925	600				1845	
	a		19	320	318.63	925					4340	
	b		19				600	1850			3050	
	TT		10			925		1850			3700	
	TB		19			925		1850	155	80	230	4165

SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)								TOTAL PANJANG (mm)	
			a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)		
7200	B2	(mm)	19	320	318.63	1650	600				2570	
	a		19	320	318.63	1650					7240	
	b		19				600	3300			4500	
	TT		10			1650		3300			6600	
	TB		19			1650		3300	155	80	230	7065

SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)								TOTAL PANJANG (mm)
			a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)	
4800	B3	(mm)	a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)	
	a	19	320	318.63	1050	600					1970
	b	19	320	318.63	1050		2100				4840
	c	19				1000	2100				4100
	TT	10			1050		2100				4200
	TB	19			1050		2100	155	80	230	4665

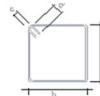
SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)								TOTAL PANJANG (mm)
			a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)	
2400	B4	(mm)	a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)	
	a	19	320	318.63	450	600					1370
	b	19	320	318.63	450		900				2440
	c	19				600	900				2100
	TT	10			450		900				1800
	TB	19			450		900	155	80	230	2265

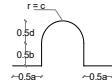
SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)								TOTAL PANJANG (mm)
			a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)	
5025	B5	(mm)	a	ldc	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	e (8db)	f (4db)	g (12db)	
	a	19	320	318.63	1110	600					2030
	b	19	320	318.63	1110		2215				5075
	c	19				1000	2215				4215
	TT	10			1110		2215				4435
	TB	19			1110		2215	155	80	230	4900

SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)				TOTAL PANJANG (mm)
			a	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	
4300	B1	(mm)	a	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	
	b	19	25	925		1850	3650
	TB	10	25	925		1850	3650

SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)				TOTAL PANJANG (mm)
			a	b (0.25ln)	c (40dB)	d (0.5ln)	
7200	BA2	(mm)	a	b (0.25ln)	c (40dB)	d (0.5ln)	
	b	19	25	1650		3300	6650
2	TB	10	25	1650		3300	6550

SEGMENT	TIPE	db	DIMENSI (mm)				TOTAL PANJANG (mm)
			a	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	
4800	BA3	(mm)	a	b (0.25ln)	c (d)	d (0.5ln)	
	b	19	25	1050		2100	4150
2	TB	10	25	1050		2100	4150

SEGMENT	TIPE	BENTUK	db	DIMENSI (mm)				TOTAL PANJANG (mm)	n
				(mm)	a (h-2d)	b (b-2d)	c (4db)		
B.INDUK 40/60	S-1		12	500	300	50	95	1790	8670
B.ANAK 25/40	S-2		10	300	150	40	80	1060	15162

SEGMENT	TIPE	BENTUK	db	DIMENSI (mm)				TOTAL PANJANG (mm)	n / balok	n
				(mm)	a	b	c			
B.INDUK 40/60	A-1		13	150	100	100	50	350	2	810
B.ANAK 25/40	A-2		10	150	100	100	50	350	2	450

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan “Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya dengan Metode Beton Pracetak pada Elemen Balok dan Pelat” maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa Struktur

- Periode

Periode terbesar yang didapat dari analisis SAP = 1,1687 detik. Periode memenuhi batas atas 1,2459 detik dan batas bawah 0,8992 detik.

- Gaya Geser

- Untuk gaya gempa arah X
Vdinamik > 85% Vstatik
6379,177 N > 6379,177 N (OK)
- Untuk gaya gempa arah Y
Vdinamik > 85% Vstatik
6379,177 N > 6379,177 N (OK)

2. Hasil Perhitungan Struktur

a. Pelat

Tebal pelat pracetak = 8 cm
Tebal pelat *overtopping* = 5 cm

b. Tangga

Tebal pelat = 15 cm

c. Balok Lift

Dimensi balok = 30 x 40 cm

d. Balok Anak

Dimensi sebelum komposit = 25 x 27 cm
Dimensi setelah komposit = 25 x 40 cm

e. Balok Induk

Dimensi sebelum komposit = 40 x 47 cm

Dimensi setelah komposit = 40 x 60 cm

- f. Kolom

Dimensi = 60 x 60 cm

3. Sambungan

- a. Sambungan Balok Induk – Kolom

Menggunakan konsol pendek pada kolom 400 x 400 mm.

- b. Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Menggunakan konsol pendek pada balok induk 200 x 200 mm.

- c. Sambungan Pelat – Balok

Pelat diberi panjang penyaluran tulangan yang kemudian didudukan di atas balok.

- d. Sambungan Pelat – *Overtopping*

Adanya tulangan angkat yang digunakan untuk memastikan kemonolitan antara beton pracetak dan *overtopping*.

5.2 Saran

Dari hasil analisa selama proses pengerjaan Proyek Akhir Terapan ini, ada beberapa saran yang dapat disampaikan antara lain:

1. Pada saat pelaksanaan konstruksi pracetak diperlukan pengawasan khusus yang baik, terutama pada pekerjaan sambungan untuk memastikan sambungan yang dikerjakan sesuai dengan rencana sehingga kemonolitan struktur yang direncanakan dapat tercapai.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk penerapan metode pracetak pada daerah gempa tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **SNI 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Ervianto, Wulfram I. 2006. **Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting.** Yogyakarta : Andi Yogyakarta.
- PCI. 2010. *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress Concrete.*
- Soetjipto, Widodo. 2004. *Perbandingan Beton Konvensional dengan Beton Pracetak pada Bangunan Tingkat Tinggi.* Jember : Universitas Jember.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS



Reski Chandra Kumala, lahir di Madiun, 7 Juli 1996, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah 1 Sidoarjo tahun 2008, SMPN 6 Sidoarjo tahun 2011, dan SMAN 2 Sidoarjo tahun 2014. Setelah lulus dari SMAN 2 Sidoarjo, penulis melanjutkan studi di Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan

NRP 10111410000052. Total 8 semester, 148 sks dengan konsentrasi bangunan gedung telah ditempuh penulis hingga lulus. Selama menempuh pendidikan di Diploma IV Teknik Infrastruktur Teknik Sipil Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan yang diadakan oleh jurusan, fakultas dan institut terutama pada bidang kesejahteraan mahasiswa. Penulis juga telah mengikuti Kerja Praktek di PT. WIKA Gedung pada Proyek Pembangunan Gresik Apartemen Icon.