



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT DENTAL  
NANO MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)**

**Mahasiswa**

**Heraldy Bhaskarawan Putra**

**NRP 3113 041 089**

**Dosen Pembimbing I**

**Nur Ahmad Husin, ST, . MT.**

**NIP .19720115 199802 1 001**

**Dosen Pembimbing II**

**Afif Navir Refani, ST, . MT.**

**NIP . 19840919 201504 1 001**

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



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT  
DENTAL NANO MALANG DENGAN METODE BETON  
PRACETAK (*PRECAST*)**

**Mahasiswa**

**Heraldy Bhaskarawan Putra  
NRP 3113 041 089**

**Dosen Pembimbing I**

**Nur Ahmad Husin, ST, . MT.  
NIP .19720115 199802 1 001**

**Dosen Pembimbing II**

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

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





**FINAL PROJECT APPLIED - RC146599**

**STRUCTURAL DESIGN OF DENTAL NANO MALANG  
HOSPITAL WITH PRECAST METHOD**

**Student**

**Heraldry Bhaskarawan Putra**

**NRP 3113 041 089**

**Supervisor I**

**Nur Ahmad Husin, ST, . MT.**

**NIP .19720115 199802 1 001**

**Supervisor II**

**Afif Navir Refani, ST, . MT.**

**NIP . 19840919 201504 1 001**

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

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT DENTAL NANO MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

### TUGAS AKHIR

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

Oleh :



**Heraldry Bhaskarawan Putra**  
**NRP. 3113 041 089**

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

31 JUL 2017



31/7/2017



**Nur Achmad Husin, ST., MT**  
NIP. 19720115 199802 1 001

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



# BERITA ACARA

## TUGAS AKHIR TERAPAN

PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI ITS

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

Tanggal : 7/20/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Dental Nano Malang Metode Beton Pracetak		
Nama Mahasiswa	Heraldhy Bhaskarawan	NRP	3113041089
Dosen Pembimbing 1	Nur Achmad Husin, ST., MT. NIP 19720115 199802 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Cek Pelat pracetak yang dua arah (two way) ✓</li> <li>→ Cek / kontrol pelat pracetak tdk diapayama lantai</li> <li>→ Cek persyaratan H&amp;K (Joint) balok tdk seremp ✓</li> </ul>	 Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. Ph.D. NIP 19630726 198903 1 003
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Sempurnakan penulangan balok (gambar)</li> <li>→ Sempurnakan metode relaksasi balok induksi, sesuaikan dg asumsi &amp; waktu pengerjaan.</li> </ul>	 R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002
	-
	NIP -
	-
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. Ph.D. NIP 19630726 198903 1 003	R. Buyung Anugraha A., ST., MT. NIP 19740203 200212 1 002	- 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	Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001





### ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

**Nama** : 1 HERALDY BHASKARAWAN 2  
**NRP** : 1 3113 041 089 2  
**Judul Tugas Akhir** : ~~Perencanaan~~ Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Dental Hano Malang Dengan Metode Beton Pracetak (Precast).  
**Dosen Pembimbing** : 1) Nur Ahmad Husni, ST., MT. 2) Afif Navir Refani, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
				B	C	K
1.	9/2 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelat Jarak, 2 arah, ada konsekuensinya</li> <li>• Konsep SRPMK dan sambungan pracetak</li> <li>• Baca literatur sambungan yang memenuhi konsep SRPMK (Tahan Gempa).</li> </ul>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
2.	23/2 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design dimensi pracetak seringan mungkin (1-2 ton).</li> <li>• Coba design mendekati dimensi yang ada dipasar. (Mob - demob)</li> <li>• Tebal rata-rata pelat (12-15cm)</li> <li>• Coba berpikir saat pelaksanaan. (Murah, Mudah, Efisien).</li> </ul>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
3.	2/3 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perulangan Pelat pracetak hanya untuk tulangan bawah, overtopping untuk tulangan atas.</li> <li>• Perhatikan Penomoran Pelat pracetak</li> </ul>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 HERALDY BHASKARAWAN 2  
**NRP** : 1 3113 041 089 2  
**Judul Tugas Akhir** : Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Dental Hano Malang Dengan Metode Beton Pracetak.  
**Dosen Pembimbing** : 1.) NUR AHMAD HUSIN, ST., MT 2.) AFIF HANIR REFANI, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan								
4	15 / 3 2017	- Detailkan gambar dan tabelkan - Pembebanan masing-masing denah rumah sakit (alat lab, Ruang operasi) - Konsep Geser lentur pelat-pelat - Detailkan kedalaman tulangan angkat - Sediakan gambar balok pracetak	<i>Nur AB</i>	<table border="1"> <tr><td></td><td>B</td><td>C</td><td>K</td></tr> <tr><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>		B	C	K		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B	C	K									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
5	30/3 2017	- Pergambaran pracetak : tampak atas letak tulangan angkat, seelas mungkin - Tabelkan type komponen pracetak (berat, jumlah, tulangan, dll) - Cek tulangan disetiap kondisi	<i>Gun AB</i>	<table border="1"> <tr><td></td><td>B</td><td>C</td><td>K</td></tr> <tr><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>		B	C	K		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B	C	K									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
6	6/4 2017	- Cek penulangan elemen struktur pembebanan disetiap kondisi. - Permodelan tangga jepit - sendi - sendi - Medikan sambungan balok anak - balok induk, tumpuan (pangang landasan) - Konsep sambungan balok anak - balok induk.	<i>[Signature]</i>	<table border="1"> <tr><td></td><td>B</td><td>C</td><td>K</td></tr> <tr><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>		B	C	K		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B	C	K									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									

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





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 HERALDY BHASKARAWAN 2  
**NRP** : 1 2113 041 089 2  
**Judul Tugas Akhir** : Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Dental Hancu Malang Dengan Metode Beton Pracetak.  
**Dosen Pembimbing** : 1) Nur Ahmad Husni, ST., MT 2) Afif Navir Refani, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7.	21 April 2017	- Analisis gempa kombinasi beban, gunakan yang dominan di tumpuan dan lapangan.	} Nur Ah -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Konsep balok induk L dan balok anak, coba pikirkan elevasi tumpuan komponen struktur.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	27 April 2017	- Coba cari tahu sumber dan filosofi crack. Saat penulangan dicoba pakai penampang Iutuh dan Ioss. Mana yang lebih masuk akal.	} Nur Ah -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Jarak ditatasi dengan sesuai SNI R726-2012 jangan dikuti eksisting.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	12 Mei 2017	- Petakan gaya-gaya reaksi di tiap balok induk bentang 8,4 m	} Nur Ah -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Cek tulangan di lapangan, petakan momen di lapangan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	18 Mei 2017	- Cek persyaratan sambungan balok kolom di SNI 2847-2013 pasal 21.8 khusus pracetak	} Nur Ah -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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



**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 HEPAUDY BHASKARAWAN PUTRA 2  
**NRP** : 1 3113 011 089 2  
**Judul Tugas Akhir** : PERENCANAAN STRUKTUR GEORUNG DENTAL NANO MALANG DENGAN METODE BÉTON PRECAST.  
**Dosen Pembimbing** : 1) NUR AHMAD HUSIN, ST, MT 2) AFIF NAVIR REFANI, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
11	18 Mei 2017	- Pemisahan struktur antar kolom pada parat bersih. Pada bab kantiiever dipisahkan Smar - Coba cek disertai Pat defy . beam - column joint Precast beban gempa		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
12	20 Mei 2017	- Untuk gording hitung metode ASD - Pampang las mengelling penampang - Desain profil giatkan gaya dalam di lapangan. Sedangkan ditumpuan jika penampang belum cukup tambahkan profil tees.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
13	2 Juni 2017	- Detail penulangan pelat, beri tebal selumut tebal pelat. - Detail sambungan konsol, sengkang yang mau kolom (pampang penyatukan. ldn.) - Detail sambungan tul. lentur balok ke kolom Interior, bagaimana dengan tul. yang saling bertemu?		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
14	16 Juni 2017	- Konsol interior diberi extra decking - tulangan lentur atas balok tidak diberi coupler, sambungan lewatan diberi extra sengkang setinggi cor in situ balok		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K

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



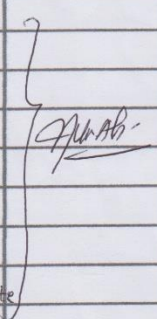


**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**  
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 HERALDY BHASKARAWAN P. 2  
**NRP** : 1 2  
**Judul Tugas Akhir** : PERENCANAAN STRUKTUR GEONGUNG RUMAH SAKIT DENTAL NANO MALANG Dengan MENGGUNAKAN BETON PRACETAK  
**Dosen Pembimbing** : 1. Nur Achmad Husin, ST., MT. 2. AFIF HAUIR PERAHU, ST.MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
				B	C	K
15.	19 Juni 2019	- Detail konsol, gambar tampak atas. Mutu las, dan panjang las pelat siku.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Sambungan pelat-pelat pakai plat siku lalu di las titik.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Tiedat pakai coupler, tulangan dari balok di pangkarkan saja.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Detailkan mana yang precast dan cast insitu		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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



# PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT DENTAL NANO MALANG DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

Nama Mahasiswa : Heraldy Bhaskarawan Putra  
NRP : 3113 041 089  
Jurusan : Diploma IV Teknik Infratraktur Sipil  
FV - ITS  
Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST., MT.  
Afif Navir Revani, ST.MT

## ABSTRAK

*Metode beton pracetak (precast) adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (fabrication) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (installation). Pemakaian metode beton pracetak (precast) memiliki beberapa kelebihan meliputi waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, kontrol kualitas beton lebih terjamin, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, serta kemudahan dalam pelaksanaannya*

*Proyek Desain Rumah Sakit Dental Nano merupakan salah satu gedung bertingkat 10 lantai yang terletak di Jalan Ir. Soekarno Hatta No. 6-8 Malang dengan menggunakan metode pembangunan cast in situ. Pada proyek tugas akhir terapan ini akan dibuat dengan menggunakan metode pracetak khusus pada elemen struktur balok dan pelat. Gedung ini dirancang menggunakan Sistem Rangka Momen Khusus (SRPMK).*

*Hasil perencanaan Gedung Dental Nano ini meliputi ukuran pelat dengan tebal 13 cm, dimensi balok induk 40/60, dimensi balok anak 30/40, dan dimensi kolom 75x75 cm. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek.*

**Kata Kunci** : Monolit, Pracetak, SRPMK

# STRUCTURAL DESIGN OF DENTAL NANO MALANG HOSPITAL WITH PRECAST METHOD

Student Name : Heraldy Bhaskarawan Putra  
NRP : 3113 041 089  
Departmen : Diploma IV Civil Infrastructure Engineering  
FV - ITS  
Supervisor : Nur Achmad Husin, ST., MT.  
Afif Navir Revani, ST., MT.

## ABSTRAK

*Precast method is concrete construction technology using components which casted first at fabrication and then casted in project location (installation). This method has several advantages than conventional method. Such as a relatively short working time, the production process not depending at weather, unnecessary too much space of material storage, quality control of the concrete is more assured, more efficient of formwork, and ease of implementation.*

*Dental Nano Hospital Design Project is one of the 10 storey building located on St. Ir. Soekarno Hatta No. 6-8 Malang using the method of cast in situ development. In the applied final project will be made by using a precast method on the structural elements of the beams and plates. The building was designed using a Special Moment Frame System (SRPMK).*

*The results of this Dental Nano Building include plate size with 13 cm thick, 40/60 premier beam dimension, 30/40 sekunder beam dimension, and 75x75 cm column dimension. Connection between precast elements using wet connection and short console.*

**Kata Kunci** : Monolit, Pracetak, SRPMK

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir terapan dengan judul **“Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Dental Nano Malang Dengan Metode Beton Pracetak (Precast)”** sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan. Pada program Diploma IV Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

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

1. Orang tua serta keluarga yang tiada hentin memberikan doa dan semangat serta dukungan kepada penulis.
2. Bapak Nur Ahmad Husin, ST., MT & Bapak Afif Navir Refani ST, MT. Selaku dosen pembimbing
3. Teman-teman yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tuas akhir ini tak lepas dari banyak kesalahan. Oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan selanjutnya.

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

Surabaya, Juli 2017

Penulis

# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Sistem Struktur Gedung .....	5
2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	5
2.3. Tinjauan Elemen Pracetak .....	7
2.2.1 Pelat .....	7
2.2.2 Balok .....	10
2.4 Perencanaan Sambungan .....	12
2.4.1 Sambungan Dengan Cor Setempat .....	13
2.4.2 Sambungan Las .....	14
2.4.3 Sambungan Baut.....	15
2.5 Titik Angkat Elemen Pracetak.....	16
2.5.1 Pengangkatan Pelat Pracetak .....	16
2.5.2 Pengangkatan Balok Pracetak .....	18
2.6 Fase Penanganan Produk Pracetak .....	19
2.6.1 Pengangkatan dari Bekisting Modul (stripping).....	19
2.6.2 Transportasi ke Lokasi .....	20
2.6.3 Pemasangan (Erection).....	20
BAB III METODOLOGI .....	22
3.2 Pengumpulan Data.....	24
3.3 Pemilihan Kriteria Desain .....	25
3.4 Preliminary Desain .....	26
3.4.1 Dimensi Pelat.....	26
3.4.2 Dimensi Balok.....	28
3.4.3 Dimensi Kolom .....	28

3.4.4	Dimensi Tangga.....	29
3.5	Permodelan Struktur.....	29
3.6	Pembebanan Struktur.....	30
3.6.1	Beban Statis.....	30
3.6.2	Beban Dinamis.....	32
3.6.3	Kombinasi Pembebanan.....	33
3.7	Analisa Gaya Dalam dan Perhitungan Struktur.....	34
3.7.1	Penulangan Pelat.....	35
3.7.2	Penulangan Balok.....	36
3.7.3	Penulangan Kolom.....	37
3.8	Preliminary Elemen Pracetak.....	38
3.8.1	Span to Depth Ratios.....	38
3.8.2	Desain Tumpuan/Landasan.....	39
3.9	Kontrol Elemen Pracetak.....	40
3.9.1	Kontrol Pengangkatan.....	40
3.9.2	Kontrol Penumpukan.....	41
3.9.3	Kontrol Pemasangan.....	42
3.9.4	Kontrol Komposit.....	43
3.10	Perencanaan Sambungan.....	43
3.10.1	Sambungan Balok Kolom.....	43
3.10.2	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	44
3.10.3	Sambungan Balok dan Pelat.....	45
3.10.4	Hubungan Balok Kolom.....	46
3.11	Perencanaan Atap Baja.....	47
3.11.1	Gording.....	49
3.11.2	Penggantung Gording.....	50
3.11.3	Profil Kuda Kuda.....	51
3.11.4	Ikatan Angin Atap.....	55
3.11.5	Desain Sambungan.....	55
3.12	Gambar Teknik.....	57
BAB IV PEMBAHASAN.....		60
4.1	Preliminary Desain.....	60
4.1.1	Umum.....	60
4.1.2	Data Perencanaan.....	60
4.1.3	Pembebanan.....	61
4.1.4	Perencanaan Dimensi Balok.....	62
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat.....	65
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom.....	67
4.1.7	Perencanaan Dimensi Tangga.....	69

4.2	Perencanaan Struktur Sekunder.....	73
4.2.1	Perencanaan Pelat.....	73
4.2.2	Perencanaan Tangga.....	115
4.2.3	Perencanaan Balok Anak.....	133
4.2.4	Perencanaan Balok Lift.....	156
4.2.5	Perencanaan Atap Baja.....	162
4.3	Permodelan Struktur.....	215
4.3.5	Data Perencanaan.....	216
4.3.6	Pembebanan.....	217
4.3.7	Kontrol Analisa Struktur.....	235
4.4	Perencanaan Struktur Utama.....	248
4.4.5	Umum.....	248
4.4.6	Perencanaan Balok Induk.....	248
4.4.7	Perencanaan Kolom.....	293
4.4.8	Desain Hubungan Balok Kolom.....	305
4.5	Perencanaan Sambungan.....	307
4.5.1	Umum.....	307
4.5.2	Sambungan Balok dan Kolom.....	308
4.2.2	Sambungan Balok Induk dan Balok Anak.....	320
4.2.3	Sambungan Pelat dan Balok.....	327
4.2.4	Sambungan Pelat dan Pelat.....	330
4.3	Metode Pelaksanaan.....	333
4.3.2	Umum.....	333
4.3.3	Fabrikasi.....	334
4.3.4	Transportasi.....	334
4.3.5	Penyimpanan.....	335
4.3.6	Pengangkatan.....	336
4.3.7	Pemasangan.....	337
4.3.8	Pengecoran.....	338
4.3.9	Perawatan.....	340
BAB V PENUTUP.....		341
5.1	Kesimpulan.....	341
5.2	Saran.....	342
DAFTAR PUSTAKA.....		343
LAMPIRAN		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Hollow Core Slabs</i> .....	8
Gambar 2 <i>Solid Slabs</i> .....	9
Gambar 3 <i>Double Tee Slab</i> .....	10
Gambar 4 <i>Rectagular Beam</i> .....	11
Gambar 5 <i>Ledger Beam</i> .....	11
Gambar 6 <i>Inverted Tee Beam</i> .....	12
Gambar 7 Sambungan Dengan Cor Setempat .....	14
Gambar 8 Sambungan Dengan Las .....	15
Gambar 9 Sambungan Dengan Baut.....	16
Gambar 10 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	17
Gambar 11 Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat).....	17
Gambar 12 Pengangkatan Balok Pracetak.....	18
Gambar 13 Permodelan Struktur dengan SAP 2000 .....	30
Gambar 14 Ilustrasi Saat Pengangkatan Elemen Pracetak .....	41
Gambar 15 Ilustrasi Saat Penumpukan Elemen Pracetak .....	42
Gambar 16 Ilustrasi Saat Erection Elemen Pracetak .....	42
Gambar 17.1 Parameter Geometri Konsol Pendek.....	44
Gambar 18 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak.....	45
Gambar 19 Sambungan Balok dan Pelat .....	46
Gambar 20 Penggantungan Gantung.....	49
Gambar 21 Kuda Kuda .....	51
Gambar 22 Denah Pembalokan .....	63
Gambar 23 Luas Tributary Kolom .....	67
Gambar 24 Mekanika Perencanaan Tangga .....	70
Gambar 25 Denah Perencanaan Tangga.....	71
Gambar 26 Potongan Pelat Tangga .....	72
Gambar 27 Pelat Tipe S2 (360cm x 250cm) .....	77
Gambar 28 Posisi Titik Angkat Pelat ( 4 buah titik angkat).....	82
Gambar 29 Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak.....	107
Gambar 30 Distribusi Gaya Pada Permodelan Tangga 2D.....	118
Gambar 31 Dimensi balok anak .....	134

Gambar 32 Distribusi Beban pada Balok Anak 30/40 .....	134
Gambar 33 Momen Saat Pengangkatan Balok Anak .....	137
Gambar 34 Letak titik Pengangkatan Balok anak .....	138
Gambar 35 Pengangkuran Tulangan Angkat Balok Anak .....	150
Gambar 36 Denah Lift.....	157
Gambar 37 Denah Pembebanan Balok Lift.....	158
Gambar 38 Pembebanan Balok Lift .....	159
Gambar 39 Tampak Depan Atap.....	163
Gambar 40 Denah Base Plate .....	192
Gambar 41 Titik Titik Sambungan.....	199
Gambar 42 Sambungan Antar Kuda Kuda.....	199
Gambar 43 Sambungan Kuda Kuda dan Kolom .....	205
Gambar 44 Permodelan Struktur 3D Struktur Utama .....	216
Gambar 45 Denah Permodelan Struktur Utama .....	217
Gambar 46 Kecepatan Angin Wilayah Kota Malang.....	220
Gambar 47 Peta untuk menentukan harga $S_s$ .....	231
Gambar 48 Grafik Respon Spectrum Daerah Malang.....	233
Gambar 49 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	237
Gambar 50 Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung..	237
Gambar 51 Luas Tributary Balok Induk .....	249
Gambar 52 Pembebanan balok induk sebelum komposit.....	250
Gambar 53 Momen Saat Pengangkatan Balok Induk.....	253
Gambar 54 Balok Induk yang ditinjau Untuk Penulangan.....	257
Gambar 55 Diagram Momen Tumpuan Balok Induk.....	257
Gambar 56 Diagram Momen Lapangan Pada Balok Induk .....	257
Gambar 57 Diagram Geser Pada Balok Induk .....	258
Gambar 58 Diagram Axial dan Torsi Pada Balok Induk.....	258
Gambar 59 Tinggi efektif Balok.....	259
Gambar 60 Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	269
Gambar 61 Gambar Sketsa Lokasi Penampang Momen .....	280
Gambar 62 Luas Tributary Area untuk Menghitung Pembebanan.....	282



Gambar 63 Pengukuran Tulangan Angkat Balok Anak.....	288
Gambar 64 Denah Posisi Kolom K-1 (75/75) Pada As G – 10 .....	295
Gambar 65 Lokasi Kolom yang di tinjau .....	295
Gambar 66 Diagram Interaksi P-M PCACOL.....	298
Gambar 67 Penentuan Mnc dengan diagram P-M spcolumn .....	299
Gambar 68 Sketsa Penampang Desain Kolom K1 As G-10.....	304
Gambar 69 Geometrik Konsol Pendek .....	308
Gambar 70 Detail batang tulangan dengan kait standar .....	316
Gambar 71 Jarak Angkur Pada Konsol Kolom .....	317
Gambar 72 Detail batang tulangan dengan kait standar .....	327
Gambar 73 Tumpuan Pelat Pada Balok.....	329
Gambar 74 Sambungan Pelat Pelat.....	330
Gambar 75 Spesifikasi Truck HINO .....	335
Gambar 76 Lokasi Storage Area.....	336
Gambar 77 Jarak Jangkauan Tower Crane (Jib L4 - 55 m).....	337
Gambar 78 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom .....	338
Gambar 79 Pemasangan Balok Induk Pracetak .....	339
Gambar 80 Pemasangan Balok Anak Pracetak .....	339

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbedaan Metode Penyambungan.....	13
Tabel 2 Angka Pengali Beban Statis Ekvivalen .....	19
Tabel 3 Beban Hidup Pada Struktur .....	32
Tabel 4 Preliminary Design for Span to Depth .....	38
Tabel 5 Perbandingan Kuat Tekan (Mpa) Beton Pada Berbagai Umur	40
Tabel 6 Deflection Limit .....	50
Tabel 7 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	64
Tabel 8 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak .....	65
Tabel 9 Tulangan Terpasang Pada Pelat.....	114
Tabel 10 Tabel Cross.....	119
Tabel 11 Penulangan Tumpuan Balok Anak.....	147
Tabel 12 Penulangan Lapangan Balok Anak .....	147
Tabel 13 Spesifikasi IRIS NV Elevator.....	156
Tabel 14 Nilai Momen Ultimate.....	165
Tabel 15 Faktor Arah Angin, Kd.....	221
Tabel 16 Konstanta Eksposur Daratan .....	223
Tabel 17 Koefisien Tekanan Internal .....	225
Tabel 18 Koefisien Tekanan Dinding.....	227
Tabel 19 Koefisien Tekanan Atap.....	228
Tabel 20 Koefisien Situs Fa .....	232
Tabel 21 Koefisien Situs Fv .....	233
Tabel 22 Kategori desain seismik pada perioda pendek.....	234
Tabel 23 Kategori desain seismik pada perioda 1 detik .....	234
Tabel 24 Modal Periode dan Frekusensi Struktur .....	238
Tabel 25 Reaksi Dasar Struktur.....	239
Tabel 26 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa .....	239
Tabel 27 Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi pada Gedung A.....	241
Tabel 28 Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi pada Gedung B.....	242
Tabel 29 Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi pada Gedung C.....	242

Tabel 30 Kontrol Simpangan Gempa Arah X Pada Gedung A .....	243
Tabel 31 Kontrol Simpangan Gempa Arah X Pada Gedung B .....	243
Tabel 32 Kontrol Simpangan Gempa Arah X Pada Gedung C .....	244
Tabel 33 Kontrol Simpangan Gempa Arah Y Pada Gedung A .....	244
Tabel 34 Kontrol Simpangan Gempa Arah Y Pada Gedung B .....	245
Tabel 35 Kontrol Simpangan Gempa Arah Y Pada Gedung C .....	245
Tabel 36 Dilatasi Gedung .....	247
Tabel 37 Momen Envelope Pada Balok .....	259
Tabel 38 Kapasitas Momen Nominal Balok B1 (1-2).....	273
Tabel 39 Konfigurasi Penulangan dan Kapasitas Momen Nominal ...	275
Tabel 40 Penulangan Tumpuan Balok Induk .....	285
Tabel 41 Penulangan Lapangan Balok Induk.....	285
Tabel 42 <i>Required Development Lengths</i> .....	314

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia mendorong adanya inovasi dalam berbagai metode konstruksi pada bidang ketekniksipilan. Inovasi tersebut tidak hanya dalam segi kekuatan dan kestabilan struktur, namun juga harus memperhatikan segi ekonomis, praktis, dan ketepatan waktu. Seperti halnya pemakaian metode beton pracetak (*precast*) dalam perencanaan struktur suatu gedung yang merupakan salah satu alternatif untuk mencapai hal tersebut.

Metode beton pracetak (*precast*) adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*fabrication*) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (*installation*).

Penggunaan beton pracetak dianggap lebih menguntungkan dibandingkan beton dengan system pengecoran di tempat (*cast in site*). Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain, tidak memerlukan bekisting dan penopang bekisting yang terlalu banyak, dapat menghasilkan komponen bangunan dengan akurasi dimensi yang lebih baik, mengurangi kesalahan/ketidaksesuaian mutu beton karena proses pembuatan beton pracetak dilakukan di pabrik, serta mempermudah proses pelaksanaan di lapangan sehingga dapat mereduksi jumlah pekerja lapangan.

Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) lebih tepat dan efisien apabila diterapkan pada kondisi tertentu, yaitu pada bangunan gedung yang memiliki bentuk yang sama di tiap lantai (tipikal) sehingga lebih mudah dalam pengerjaan dan pelaksanaannya. Selain itu metode beton pracetak (*precast*) juga digunakan pada bangunan yang berada di wilayah zona gempa rendah atau menengah. Hal ini dikarenakan

sambungan struktur yang menggunakan beton pracetak (*precast*) belum dapat dijamin benar-benar kaku untuk menahan gaya gempa tinggi.

Proses penyatuan komponen-komponen tersebut menjadi sebuah struktur bangunan yang monolit merupakan hal yang amat penting. Sambungan antar komponen pracetak tidak hanya berfungsi sebagai penyalur beban tetapi juga harus mampu secara efektif mengintegrasikan komponen-komponen tersebut sehingga struktur secara keseluruhan dapat berperilaku monolit. Gaya-gaya yang harus disalurkan dalam struktur bangunan adalah gaya horisontal yaitu gaya yang timbul akibat beban horisontal (beban angin, beban gempa), dan gaya vertikal, yaitu gaya yang ditimbulkan akibat beban gravitasi (berat sendiri komponen).

Dari uraian di atas, maka dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan modifikasi perencanaan Gedung Rumah Sakit Dental Nano Malang setinggi 10 (sepuluh) lantai, yang semula menggunakan beton bertulang konvensional dengan system cor di tempat (*cast in site*), dimana metode konstruksinya direncanakan menggunakan metode pracetak (*precast*). Dalam perencanaan gedung ini, system gedung yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMK).

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam perencanaan struktur Gedung Rumah Sakit Dental Nano Malang dengan menggunakan metode pracetak (*precast*) terdapat permasalahan yang timbul. Permasalahan yang timbul antara lain :

1. Bagaimana mendesain dimensi elemen-elemen pracetak yang kuat menahan beban-beban yang ada serta gaya-gaya yang timbul akibat proses pelaksanaan selama fabrikasi hingga terpasang menjadi satu kesatuan struktur bangunan?

2. Bagaimana merencanakan sambungan yang memenuhi kriteria perancangan struktur, yaitu kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*) dan stabilitas (*stability*)?
3. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan dan perancangan ke dalam gambar teknik?
4. Bagaimana metode pelaksanaan untuk pekerjaan yang menerapkan metode beton pracetak

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan-tujuan yang diharapkan dari perencanaan struktur gedung ini, antara lain adalah :

1. Merancang dimensi dari beton pracetak sehingga mampu mendapatkan dimensi yang efisien
2. Merancang detailing sambungan pada komponen pracetak.
3. Menuangkan hasil perhitungan dan perancangan ke dalam gambar teknik.
4. Mampu merencanakan metode pelaksanaan beton pracetak.

### 1.4 Batasan Masalah

Permasalahan untuk penyerderhanaan perhitungan sehingga tujuan dari penulisan tugas akhir ini dapat dicapai yaitu :

1. Tugas akhir ini tidak membandingkan kecepatan waktu pelaksanaan dan rencana anggaran biaya proyek konstruksi gedung menggunakan metode pracetak (*precast*) dengan metode cor di tempat (*cast in site*).
2. Dalam perencanaan struktur rumah sakit ini direncanakan penggunaan teknologi pracetak pada balok dan pelat sedangkan untuk kolom dan tangga menggunakan sistem cor ditempat (*cast in site*).
3. Tidak meninjau pondasi bangunan
4. Perencanaan tidak termasuk sistem utilitas, kelistrikan dan sanitasi.

## 1.5 Manfaat

Dengan penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan wawasan khususnya kepada penulis tentang metode pracetak (*precast*) balok, pelat dan lantai. Sehingga kedepannya dapat menjadi salah satu pilihan dalam melakukan perencanaan bangunan. Selain itu Pembaca dapat mengetahui alternatif lain tata cara perencanaan gedung menggunakan beton pracetak yang mempunyai banyak kelebihan dibandingkan menggunakan beton konvensional.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Sistem fabrikasi dalam pembuatan struktur beton bertulang dikenal dengan sistem pracetak. Definisi beton pracetak menurut SNI-2847-2013 pasal 2.2 adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Pada dasarnya beton pracetak tidaklah berbeda dengan beton biasa. Yang membedakan hanyalah pada metode fabrikasinya.

Sebagian besar dari elemen struktur pracetak diproduksi ditempat tertentu (fabrikasi) dilanjutkan dengan proses pengangkatan beton pracetak ke lokasi (transportasi). Komponen-komponen tersebut dipasang sesuai keberadaannya sebagai komponen struktur dari sistem struktur beton (ereksi).

#### **2.2. Sistem Struktur Gedung**

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

##### **2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus**

Membangun di wilayah resiko gempa tinggi, yang masuk wilayah gempa 5 dan 6, dan untuk memikul gaya-gaya akibat gempa harus menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK) atau sistem dual khusus. (Purwono, 2005). Menurut SNI-1726-2012 pasal 3.53, tentang perencanaan bangunan terhadap gempa menyebutkan bahwa



SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Persyaratan-persyaratan fundamental untuk SRPMK yang daktail adalah:

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

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

### 2.3. Tinjauan Elemen Pracetak

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

#### 2.2.1 Pelat

Pada waktu pengangkutan pelat beton pracetak atau sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi pada saat pelat sudah komposit. Dalam *PCI Design Handbook 7<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga macam pelat pracetak (*precast slab*) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain:

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

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. 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 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 16 inchi.



**Gambar 1** *Hollow Core Slabs*

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

## 2. Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan 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 lebar rata-rata 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 8 inchi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 10 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang.



**Gambar 2** *Solid Slabs*

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

### 3. Pelat Pracetak *Double Tee*

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 ft.



**Gambar 3** *Double Tee Slab*

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

### **2.2.2 Balok**

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga tipe balok pracetak yang umum di produksi dan digunakan dalam gedung berdasarkan *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete* :

1. Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

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



**Gambar 4** *Rectagular Beam*

2. Balok berpenampang L (*Ledger Beam*)

Bentuk balok ini biasanya digunakan untuk perletakan pelat yang berada di tepi bangunan.



**Gambar 5** *Ledger Beam*

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

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

Bentuk balok ini biasanya digunakan untuk perletakan antar dua pelat yang berada di tengah bangunan.



**Gambar 6** *Inverted Tee Beam*

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

## 2.4 Perencanaan Sambungan

Proses penyatuan komponen-komponen struktur beton pracetak menjadi sebuah struktur bangunan yang monolit merupakan hal yang penting dalam pengaplikasian teknologi beton pracetak. Oleh karena itu, perencanaan sambungan harus diperhatikan dengan seksama sehingga tidak menyulitkan pada saat pelaksanaan.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, sambungan dengan cor di tempat (*in situ concrete joint*), sambungan dengan menggunakan las dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang disajikan dalam tabel 1 berikut ini:

**Tabel 1** Perbedaan Metode Penyambungan

Deskripsi	Sambungan Dengan Cor Setempat	Sambungan Dengan Las Baut
Kebutuhan struktur	Monolit	Tidak Monolit
Jenis sambungan	Basah	Kering
Toleransi dimensi	Lebih Tinggi	Tergolong rendah, karena dibutuhkan akurasi yang tinggi selama produksi dan erection
Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif	Perlu setting time	Segera dapat berfungsi
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter
Metode <i>erection</i> yang sesuai	<i>Horizontal method</i>	<i>Vertical method</i>
Bentang dari struktur yang mampu didukung	Terbatas	Terbatas

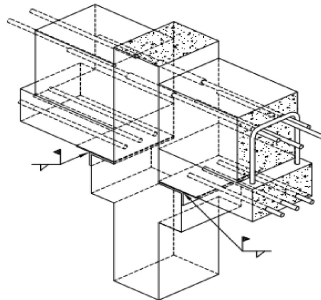
(Sumber : Wulfram I. Ervianto, 2006)

#### 2.4.1 Sambungan Dengan Cor Setempat

Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan



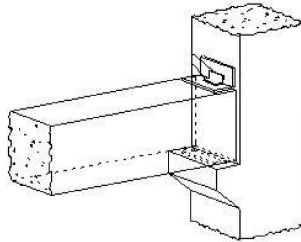
elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam modifikasi ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.



**Gambar 7** Sambungan Dengan Cor Setempat

#### **2.4.2 Sambungan Las**

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti gambar 2.8. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.

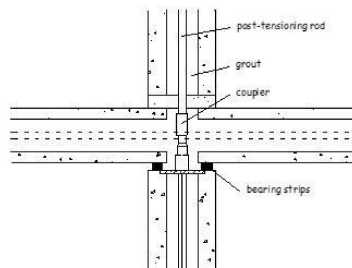


**Gambar 8** Sambungan Dengan Las

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

### 2.4.3 Sambungan Baut

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



## Gambar 9 Sambungan Dengan Baut

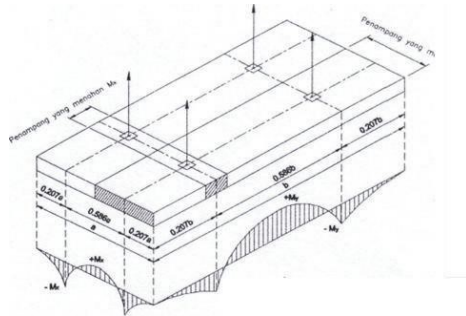
### 2.5 Titik Angkat Elemen Pracetak

#### 2.5.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

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

#### 1. Empat Titik Angkat

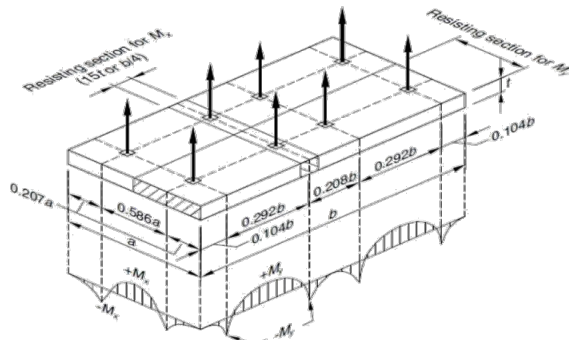
- Momen Maksimum (pendekatan) :  
 $+M_x = -M_y = 0,0107 w a^2 b$   
 $+M_y = -M_x = 0,0107 w a b^2$
- $M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari  $15t$  atau  $b/2$
- $M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$



**Gambar 10** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)  
(Sumber : *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

## 2. Delapan Titik Angkat

- Momen Maksimum (pendekatan) :  
 $+M_x = -M_x = 0,0054 w a^2 b$   
 $+M_y = -M_y = 0,0027 w a b^2$
- $M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan 15t atau  $b/4$
- $M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$

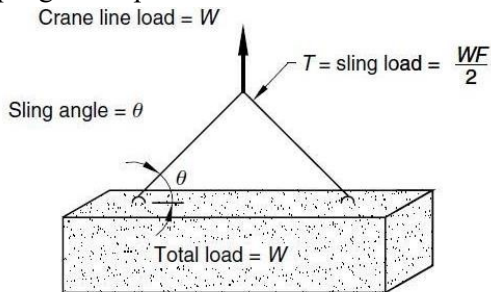


**Gambar 11** Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat)

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

### 2.5.2 Pengangkatan Balok Pracetak

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



**Gambar 12** Pengangkatan Balok Pracetak

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

Pada waktu proses pengangkatan balok pracetak diperlukan perhitungan gaya pengangkatan yang terjadi akibat berat sendiri balok. Kemudian gaya yang terjadi tersebut dikalikan dengan angka pengali beban statis ekuivalen yang terdapat pada Tabel 2 guna menghindari kerusakan pada balok pada waktu proses pengangkatan tersebut.

**Tabel 2** Angka Pengali Beban Statis Ekuivalen Untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan Gaya Dinamik

**Table 8.3.1** Equivalent static load multipliers to account for stripping and dynamic forces<sup>a, b</sup>

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

a. These factors are used in flexural design of panels and are not to be applied to required safety factors on lifting devices. At stripping, suction between prod-

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

## 2.6 Fase Penanganan Produk Pracetak

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

### 2.6.1 Pengangkatan dari Bekisting Modul (*stripping*)

Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut lekatan permukaan beton dengan bekisting dan kejut, lihat tabel jumlah dan lokasi peralatan angkat berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang terbawa saat produk diangkat. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*). Berikut beberapa yang harus diperhatikan :

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut
- b. Lokasi titik-titik angkat sementara
- c. Lokasi peumpukan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
- d. Perlindungan dari sinar matahari langsung/curing

### 2.6.2 Transportasi ke Lokasi

Sistem transportasi yang digunakan adalah jalur jalan raya. Karena jalan raya merupakan jalur yang memungkinkan dari lokasi pabrik ke lokasi proyek. Dalam pengiriman beton pracetak ke lokasi proyek diperhatikan beban yang akan diangkut oleh *flatbed truck* memenuhi syarat beban maksimum yang diizinkan. Di Indonesia ukuran maksimum *flatbed truck* adalah 1200x240x150 cm dengan kapasitas maksimum 30 ton.

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membetuk sudut
- b. Lokasi sokongan vertikal maupun horisontal
- c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
- d. Pertimbangan dinamis saat transportasi

### 2.6.3 Pemasangan (*Erection*)

Proses pemasangan beton pracetak yang telah diproduksi dan layak untuk disatukan menjadi bagian bangunan disebut dengan *erection* (Wulfram I. Ervianto, 2006). Peralatan yang dibutuhkan pada tahap *erection* adalah *tower crane* atau *mobile crane*. Faktor yang mempengaruhi metode *erection* adalah sistem struktur bangunan, jenis alat sambung yang akan digunakan, kapasitas alat berat (*crane*) yang tersedia, dan kondisi lapangan. Metode yang dapat digunakan dibedakan menjadi dua yaitu metode vertikal dan metode horizontal. Peralatan yang dibutuhkan untuk mengangkat elemen pracetak dibedakan berdasarkan tinggi bangunan yang akan dilaksanakan (Wulfram I. Ervianto, 2006). Secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

1. Bangunan tinggi dengan jumlah tingkat lebih dari 16 lantai peralatan yang dapat digunakan adalah *fixed tower crane*, *monorail system with Chicago boom*, dan *guy-derrick*.

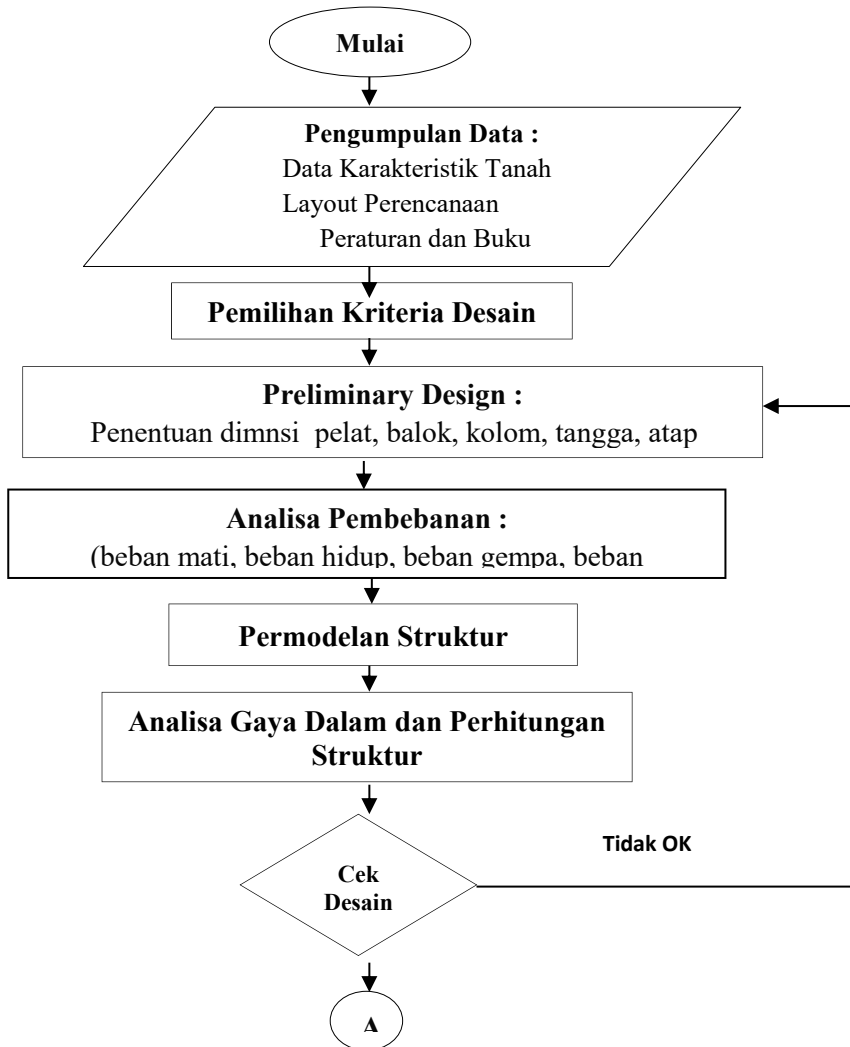
2. Bangunan menengah dengan jumlah tingkat 5-15 lantai peralatan yang dapat digunakan adalah *portable tower crane* atau *fixed tower crane*, *crawler crane*, dan *rubber-tired truck crane*.
3. Bangunan rendah dengan jumlah tingkat paling banyak 4 lantai peralatan yang dapat digunakan adalah *rubber-tired truck crane* dan *hydro*.

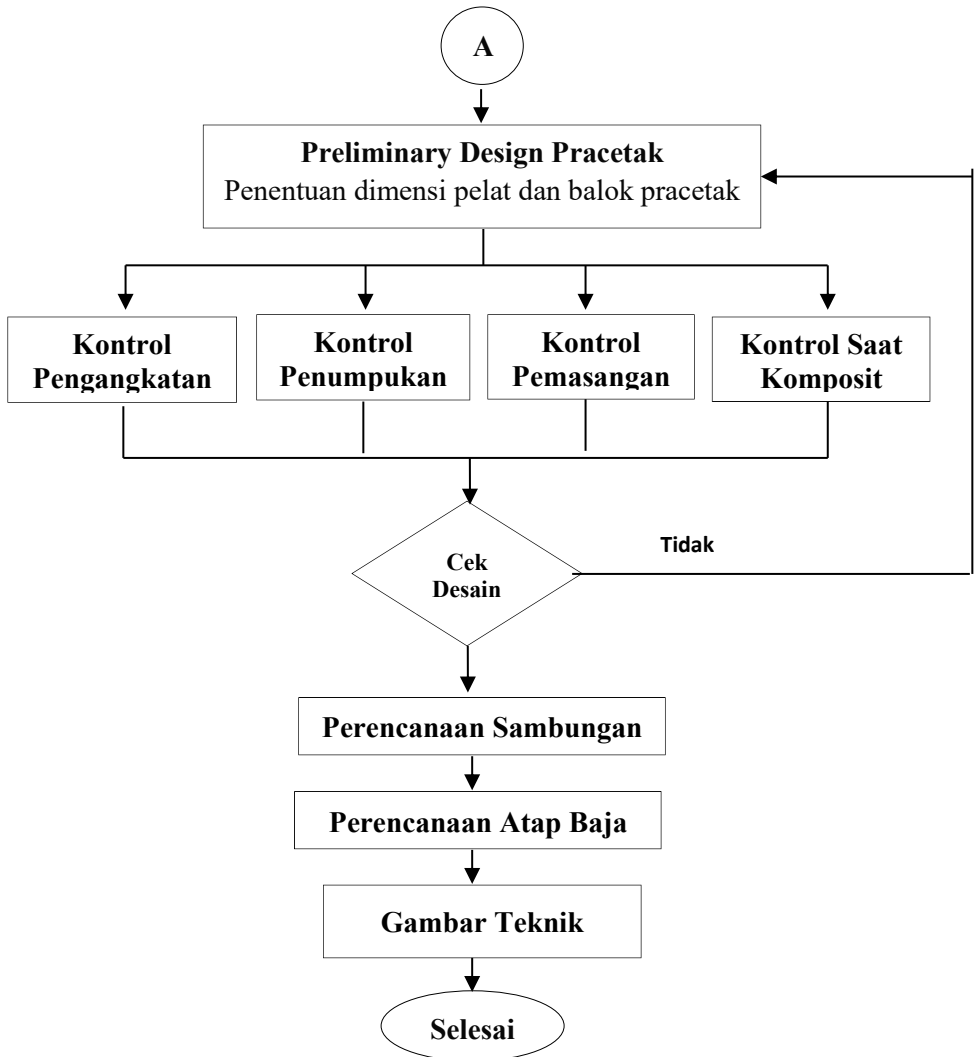
Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton overtopping.



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Perencanaan





### 3.2 Pengumpulan Data

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

1. Data umum
  - a. Nama gedung : Rumah Sakit Dental Nano  
Universitas Brawijaya  
Malang
  - b. Lokasi : Kampus Universitas  
Brawijaya, Jalan Veteran  
Malang
  - c. Fungsi : Rumah Sakit
  - d. Jumlah lantai : 10
  - e. Tinggi bangunan : +48.8m
  - f. Total luas area : 3612 m<sup>2</sup>
  - g. Struktur Bangunan : Beton Precast
  - h. Struktur Atap : Struktur atap baja
2. Data tanah : Terlampir
3. Data Gambar : Terlampir

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton *precast*. Peraturan yang digunakan sebagai acuan dalam modifikasi desain dalam Tugas Akhir Terapan antara lain :

1. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).
2. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung (SNI 7833:2012).
3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).

4. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan (SNI 2847:2013).
5. Badan Standarisasi Nasional. 2015. Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural. (SNI 1729 : 2015)

Beberapa literatur yang digunakan untuk menunjang pengerjaan Tugas Akhir Terapan antara lain :

1. *PCI*. 2010. *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress Concrete*.
2. Kim S. Elliot. 2002. *Precast Concrete Structures*.
3. Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya. ITS Press.
4. Wulfram I. Ervianto. 2006. Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting. Yogyakarta : Andi Yogyakarta.
5. Wahyudi, Herman. 1999. Daya Dukung Pondasi Dalam, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
6. T. Segui, William. 2007. *Steel Design 4th Edition*, The University of Memphis

### **3.3 Pemilihan Kriteria Desain**

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

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di Malang dengan kelas situs SD (tanah sedang). Berdasarkan aplikasi respon spektral dari puskim.pu.go.id mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda pendek,  $S_{DS} = 0,60$  dan parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik,  $S_{D1} = 0,31$ . Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 maka didapat Malang mempunyai kategori desain seismik D.

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

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

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

### 3.4 Preliminary Desain

#### 3.4.1 Dimensi Pelat

Pelat pracetak di desain menjadi satu arah dengan lebar maksimal 3.7m menurut SNI 7833 : 2012, pasal 4.4.1. Pelat satu arah adalah pelat yang memiliki perbandingan bentang

yang panjang terhadap bentang yang lebih pendek lebih besar dari 2. Untuk ketebalan pelat didesain sesuai SNI 2847:2013. Langkah langkah menentukan dimensi pelat :

1. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2 (tabel 9.5(a)). Sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3
2. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3 :

- Untuk  $\alpha_m \leq 0,2$

Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm

Tebal pelat dengan penebalan 100 mm

- Untuk  $0.2 \leq \alpha_m \leq 2.0$

ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

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

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

- Untuk  $\alpha_m > 2.0$

ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h_{\min} = \frac{l_n \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta} \geq 90\text{mm}$$

$$\beta = \frac{l_n}{s_n}$$

dimana,

- $h$  = Tebal pelat total  
 $l_n$  = Panjang bentang bersih terpanjang pelat  
 $\alpha_f$  = Rasio kekuatan lentur  
 $\alpha_{fm}$  = Nilai rata-rata  $\alpha_f$  untuk ke empat sisi pelat  
 $\beta$  = Rasio bentang bersih terpanjang terhadap bentang

bersih terpendek pelat

### 3.4.2 Dimensi Balok

- Balok anak menurut SNI 2847 : 2013, tabel 9.5(a) dan SNI 7833 : 2012, tabel 2. dimana,  $b_w \geq 250\text{mm}$  dan  $b_w \geq 0.3h$  menurut SNI 2847 : 2013, pasal 21.5.1.2.
- Balok anak menurut SNI 2847 : 2013, tabel 9.5(a) dan SNI 7833 : 2012, tabel 2 adalah :

$$h_{min} = \frac{L}{16}, \text{ untuk } f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left( 0.4 + \frac{f_y}{700} \right), \text{ untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa}$$

- dimana,  $b_w \geq 250\text{mm}$  dan  $b_w \geq 0.3h$  menurut SNI 2847 : 2013, pasal 21.5.1.2.

### 3.4.3 Dimensi Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi = 0,65.

$$A = \frac{W}{\theta \times f_c'}$$

Dimana,

$W$  = Beban aksial yang diterima kolom

$F_c'$  = Kuat tekan beton

$A$  = Luas Penampang Kolom

### 3.4.4 Dimensi Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi

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

Dimana,

t = Tinggi injakan

i = Lebar injakan

Syarat kemiringan Tangga ( $\alpha$ ) : ( $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ )

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

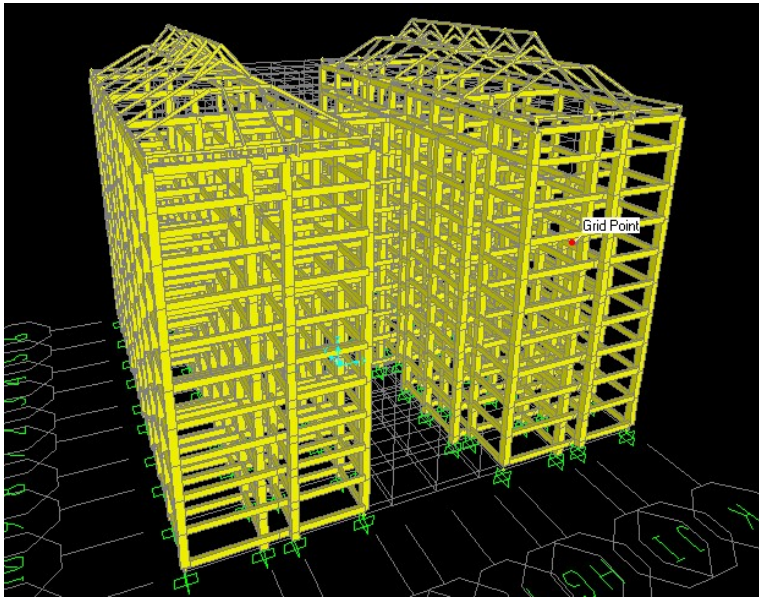
### 3.5 Permodelan Struktur

Output dari permodelan ini antara lain untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku komponen struktur meliputi komponen kolom dan balok yang ditinjau dari gaya dalam yang didapat dari permodelan struktur. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah x dan y, torsi, geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser dan torsi.

Permodelan dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut:

- Menggambar permodelan struktur
- Mendesain material dan penampang
- Memasukkan beban gravitasi dan beban lateral
- Perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan running, setelah itu dilakukan pengecekan apakah struktur tersebut sesuai dengan persyaratan atau tidak.





**Gambar 13** Permodelan Struktur dengan SAP 2000

### **3.6 Pembebanan Struktur**

Dalam melakukan analisa desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Perilaku suatu struktur sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja padanya. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 03-1726-2012, SNI 03-2847-2013.

#### **3.6.1 Beban Statis**

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states

yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis adalah sebagai berikut :

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain. Beban mati yang digunakan sesuai pada perancangan berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 3.1.2

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang – kadang dapat berarah horizontal. 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 pasal 4.3.1).

**Tabel 3** Beban Hidup Pada Struktur

Hunian/Penggunaan	Beban Merata	Satuan
Ruang operasi, laboratorium rumah sakit	2,87	kN/m <sup>2</sup>
Ruang pasien rumah sakit	1,92	kN/m <sup>2</sup>
Koridor di atas lantai pertama	3,83	kN/m <sup>2</sup>

*Sumber : SNI 1727:2013 Tabel 4-1*

### 3.6.2 Beban Dinamis

Bekerja hanya untuk rentang waktu tertentu saja, akan tetapi walaupun hanya bekerja sesaat akibat yang ditimbulkan dapat merusakkan struktur bangunan, oleh karena itu beban ini harus diperhitungkan didalam merencanakan struktur bangunan. penyelesaian persoalan dinamik harus dilakukan secara berulang-ulang mengikuti sejarah pembebanan yang ada.

#### a. Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012). Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Menurut SNI 1726 : 2012 terdapat beberapa factor dalam perencanaan beban gempa, meliputi:

- Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung pada tabel 1.
- Factor keutamaan ( $I_e$ ) gempa pada tabel 2.
- Klasifikasi kelas situ pada table 3 diolah dari data tanah.

- Percepatan batuan dasar periode pendek ( $S_s$ ) pada gambar 9.
- Percepatan batuan dasar periode 1 detik ( $S_1$ ) pada gambar 10.
- Percepatan respon spektrum periode pendek ( $F_a$ ), pada tabel 4.
- Percepatan respon spectrum periode 1 detik ( $F_v$ ), pada tabel 5.
- Parameter respon spectrum desain untuk periode pendek ( $S_{MS}$ )

$$S_{MS} = F_a S_s$$

- Parameter respon spectrum desain untuk periode 1 detik ( $S_{M1}$ )

$$S_{M1} = F_v S_1$$

- Parameter spektra desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ )

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

- Parameter spektra desain untuk periode 1 detik ( $S_{D1}$ )

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

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

- $T_s$  :  $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

- 

### 3.6.3 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1727 : 2013:

#### 1. Kombinasi ultimate, pasal 2.3.2

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan tulangan

- $U = 1,4D$
- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (Lr \text{ atau } 0,5W)$

- $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
- $U = 0,9D + 1,0W$
- $U = 0,9D + 1,0E$

## 2. Kombinasi layan, pasal 2.4.1

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan struktur baja

- $U = D$
- $U = D + L$
- $U = D + Lr \text{ atau } S \text{ atau } R$
- $U = D + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,7E) + 0,75S$
- $U = 0,6D + 0,6W$
- $U = 0,6D + 0,7E$

dimana,

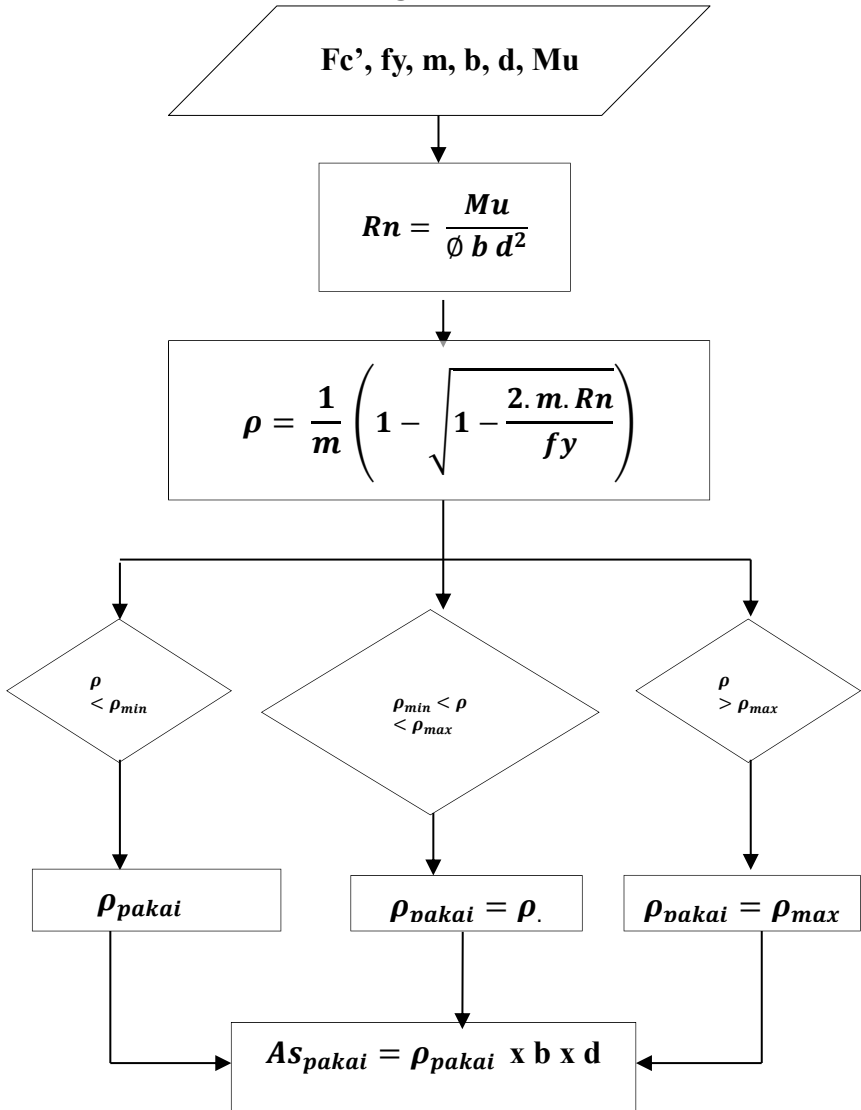
- D = beban mati
- L = beban hidup
- E = beban gempa
- W = beban angin
- Lr = beban hidup atap
- R = beban hujan
- S = beban salju

### 3.7 Analisa Gaya Dalam dan Perhitungan Struktur

Analisa permodelan struktur menggunakan program bantu SAP 2000 diperoleh analisa gaya dalam meliputi gaya geser (D), momen lentur (M), momen torsi (T), dan gaya aksial (P). Dan selanjutnya dilakukan perhitungan struktur beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

### 3.7.1 Penulangan Pelat

#### 3.7.1.1 Penulangan Lentur Pelat



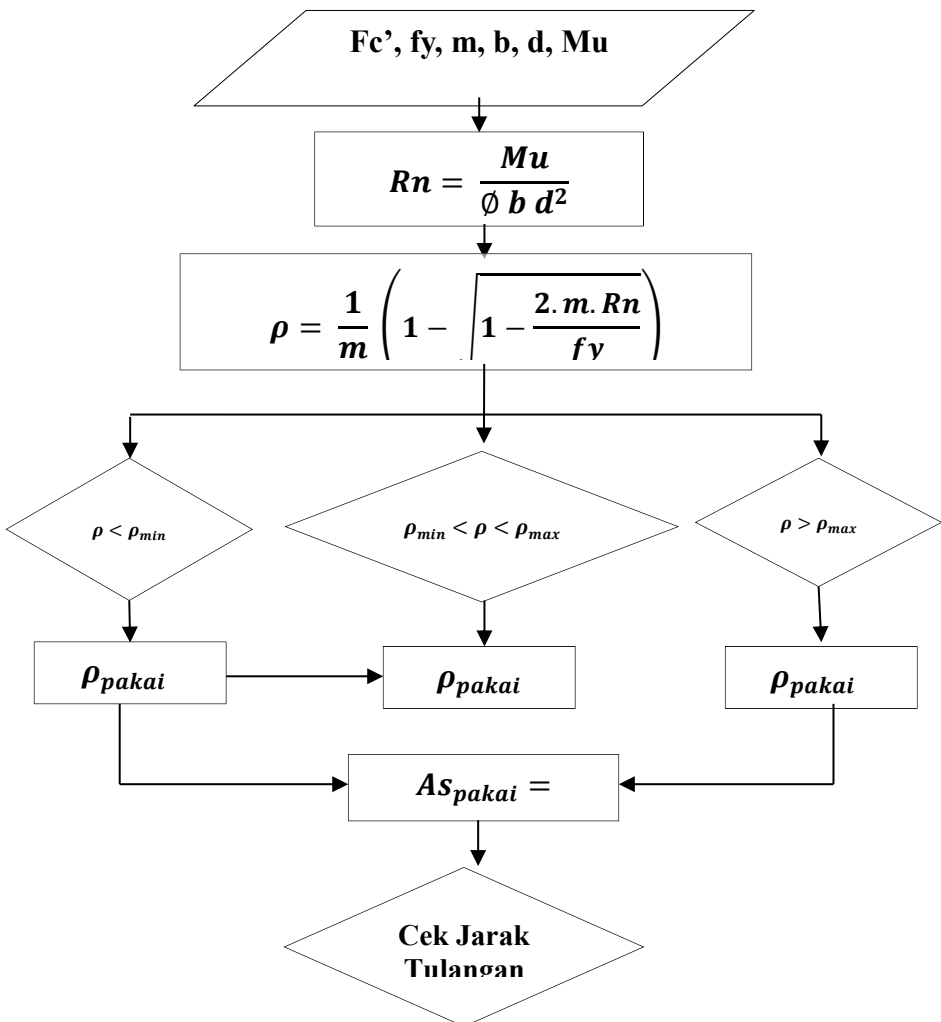
### 3.7.1.2 Penulangan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 03-2847-2013  
Pasal 7.12.2.1

## 3.7.2 Penulangan Balok

### 3.7.2.1 Penulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur balok adalah sebagai berikut:



### 3.7.2.2 Penulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus

$$\Phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_s = A_v \times f_y \times d / s < 0.66 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

Dimana :

$V_n$  = kuat geser nominal penampang

$V_u$  = kuat geser terfaktor penampang

$V_s$  = kuat geser tulangan

$\Phi$  = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

### 3.7.2.3 Kontrol Torsi

Perencanaan tulangan torsi harus memenuhi persyaratan SNI 2847 : 2013 pasal 11.5-11.5.7.

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = 0.083 \sqrt{f_c} \left( \frac{A^2 c_p}{p_{cp}} \right)$$

dimana,

$$\phi = 0.75$$

$T_n$  = Kekuatan torsi nominal

$T_u$  = Kekuatan torsi terfaktor

### 3.7.3 Penulangan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 2847 : 2013, pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk



perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 2847 :2013,pasal 23.5.1.

### 3.7.3.1 Penulangan Lentur Kolom

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-28472013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa :

$$M_{nc} \geq 1,2 M_{nb}$$

Dimana  $\Sigma M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\Sigma M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat strong column weak beam.

## 3.8 Preliminary Elemen Pracetak

Preliminary desain berdasarkan PCI Design Handbook Precast dan Prestressed Concrete. Hal yang perlu diperhatikan adalah dimensi elemen, rasio bentang dan tebal elemen, konsep sambungan, beban lateral dan gravitasi, serta mekanisme penanganan elemen pracetak itu sendiri.

### 3.8.1 Span to Depth Ratios

Untuk rasio bentang dan tebal elemen struktur lentur precast umumnya menggunakan nilai yang disajikan pada tabel berikut :

**Tabel 4** Preliminary Design for Span to Depth

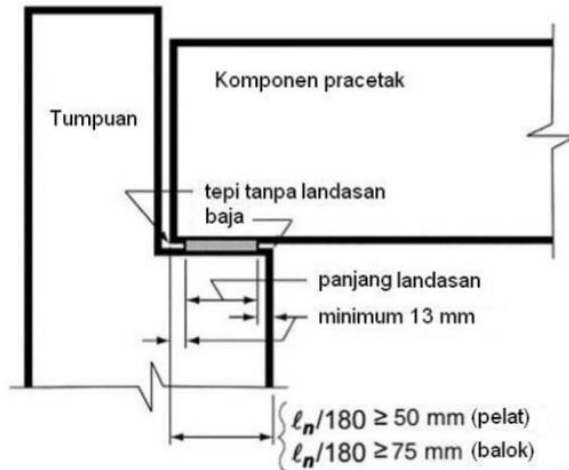
Frame	Ratio
Hollow core floor slabs	30 - 40
Hollow core roof slabs	40 - 50
Flat Slabs	20 - 30
Stemmed floor components	25 - 30
Stemmed roof components	30 - 35

Beam and girders	10 - 20
Stairs	Design Aid 3.12.10
Precast concrete walls	Design Aid 3.12.7
Stadium risers	Design Aid 3.12.11

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

### 3.8.2 Desain Tumpuan/Landasan

Untuk panjang landasan diatur dalam SNI 7833 – 2012 tentang Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung. Tapal tumpuan mendistribusikan gaya gaya terpusat dan reaksi reaksi atas permukaan tumpuan, dan mengijinkan terjadinya gerakan horional dan rotasional dalam mengurangi tegangan.



**Gambar 13** Panjang Landasan  
(Sumber: SNI 7833 - 2012)

### 3.9 Kontrol Elemen Pracetak

Pada umumnya proses pembuatan elemen pracetak berada di fabriaksi sehingga perlu di kontrol saat fase fase tertentu, seperti pada saat pengangkatan beton dari cetakan, penumpukan ke *storage area*, pemasangan beton pracetak di lokasi proyek, dan kontrol pada saat komposit. Hal ini perlu ditetapkan umur kekuatan beton.

**Tabel 5** Perbandingan Kuat Tekan (Mpa) Beton Pada Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan Kekuatan Awal Tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

(Sumber : Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971)

#### 3.9.1 Kontrol Pengangkatan

Saat umur beton mencapai 3 hari, maka akan di angkat dari bekisting modul menuju lokasi penyimpanan. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak.

$$\sigma = \frac{M}{W} < fr = 0,7\sqrt{fc'x 0,40}$$

Dimana,

$\sigma$  = Tegangan terjadi

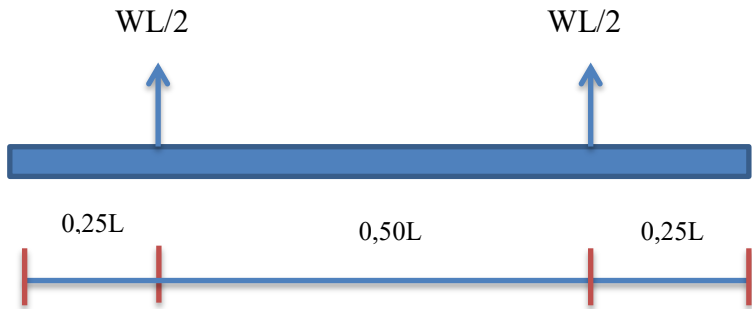
$M$  = Momen Terjadi

$W$  = Momen Tahanan

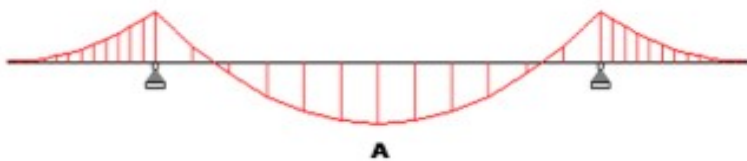
$fr$  = Kuat Tekan Beton pada umur tertentu

$fc'$  = Kuat Tekan Beton Rencana

Beban yang bekerja adalah berat elemen pracetak itu sendiri. Saat elemen pracetak diangkat diilustrasikan seperti pada gambar berikut :



**Gambar 14** Ilustrasi Saat Pengangkatan Elemen Pracetak



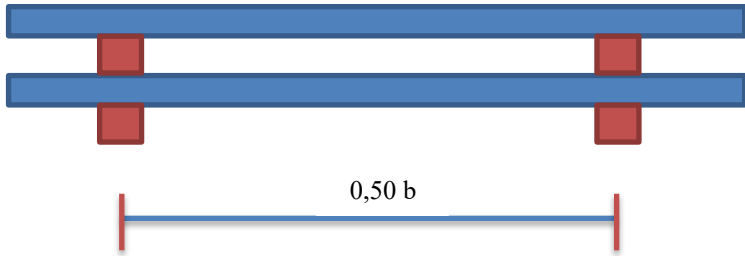
**Gambar 14** Diagram Momen Akibat Pengangkatan

### 3.9.2 Kontrol Penumpukan

Saat elemen pracetak berada di *storage area* (umur 3 hari), yang perlu diperhatikan adalah tumpuan yang menopang elemen tersebut serta jumlah batasan tumpukan elemen yang akan diletakkan.

$$\sigma = \frac{M}{W} < fr = 0,7\sqrt{f'c'x 0,40}$$

Beban yang bekerja adalah berat elemen pracetak itu sendiri dan pekerja. Saat elemen pracetak ditumpuk diilustrasikan seperti pada gambar berikut :



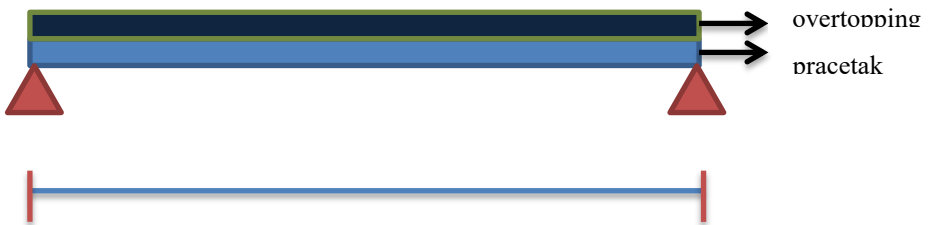
**Gambar 15** Ilustrasi Saat Penumpukan Elemen Pracetak

### 3.9.3 Kontrol Pemasangan

Selama ereksi (pemasangan), komponen struktur pracetak dan struktur harus ditumpu dan diperkaku secukupnya untuk menjamin kelurusan (alignment) yang tepat dan integritas struktur hingga sambungan permanen selesai dipasang. Pada saat proses pemasangan, direncanakan umur beton 7 hari.

$$\sigma = \frac{M}{W} < fr = 0,7\sqrt{f'c' \times 0,65}$$

Beban yang bekerja adalah berat elemen pracetak itu sendiri, beban pekerja, dan beban *overtopping* beton. Saat elemen pracetak dipasang diilustrasikan seperti pada gambar berikut :



**Gambar 16** Ilustrasi Saat Erection Elemen Pracetak

### 3.9.4 Kontrol Komposit

Setelah dilakukan pengecoran *overtopping* beton, beban yang bekerja adalah beban mati struktur dan beban hidup keseluruhan yang direncanakan.

L

### 3.10 Perencanaan Sambungan

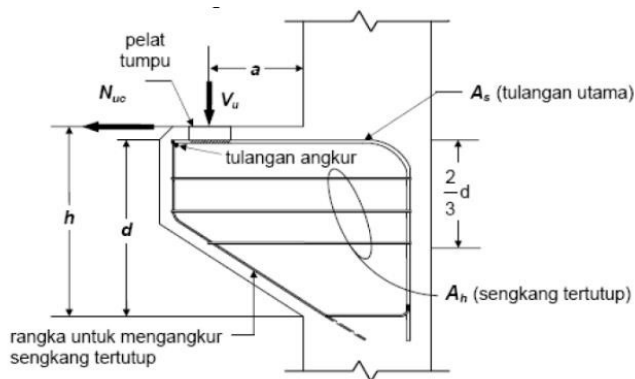
Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup besar.

Dengan metode konstruksi semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton cast in place di atasnya, maka diharapkan sambungan elemen-elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pada detail sambungan ini memang butuh penelitian mengenai perilaku sambungan tersebut terhadap beban gempa. Berdasarkan beberapa referensi hasil penelitian yang dimuat dalam PCI Journal, ada rekomendasi pendetailan sambungan elemen pracetak dibuat dalam kondisi daktail sesuai dengan konsep desain kapasitas strong coloumn weak beam. Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya – gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan grouting, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi cara – cara tersebut.

#### 3.10.1 Sambungan Balok Kolom

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI 2847-

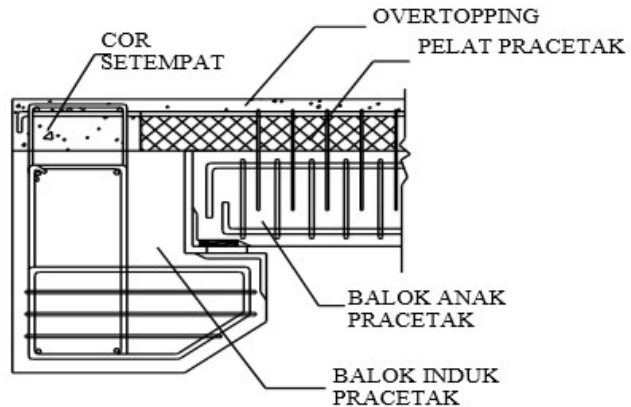
2013 pasal 11.8 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.



**Gambar 17.1** Parameter Geometri Konsol Pendek  
(Sumber: SNI 03-2847-2013)

### 3.10.2 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya  $1/180$  kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SNI 03-2847-2013. Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.



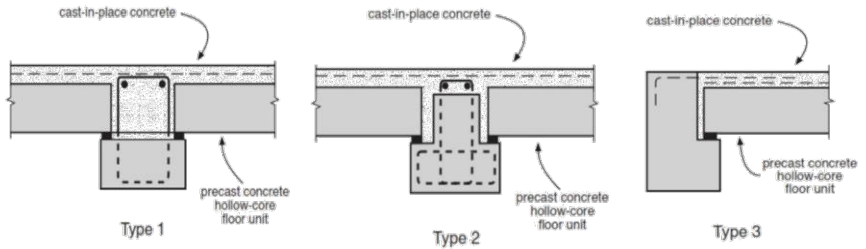
**Gambar 18** Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

### 3.10.3 Sambungan Balok dan Pelat

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

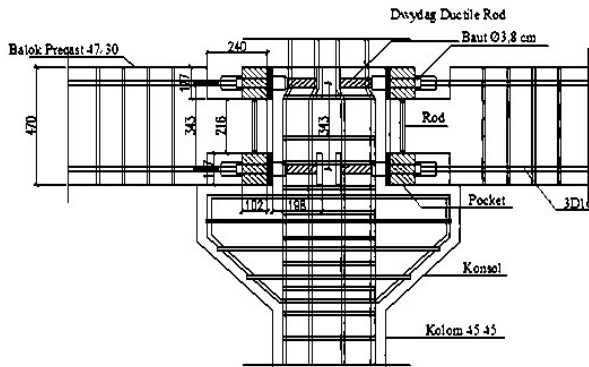
- Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847- 2013 pasal 7.13.
- Grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.





**Gambar 19** Sambungan Balok dan Pelat  
(Sumber : *Precast Concrete Building Design Guide Handbook*)

### 3.10.4 Hubungan Balok Kolom

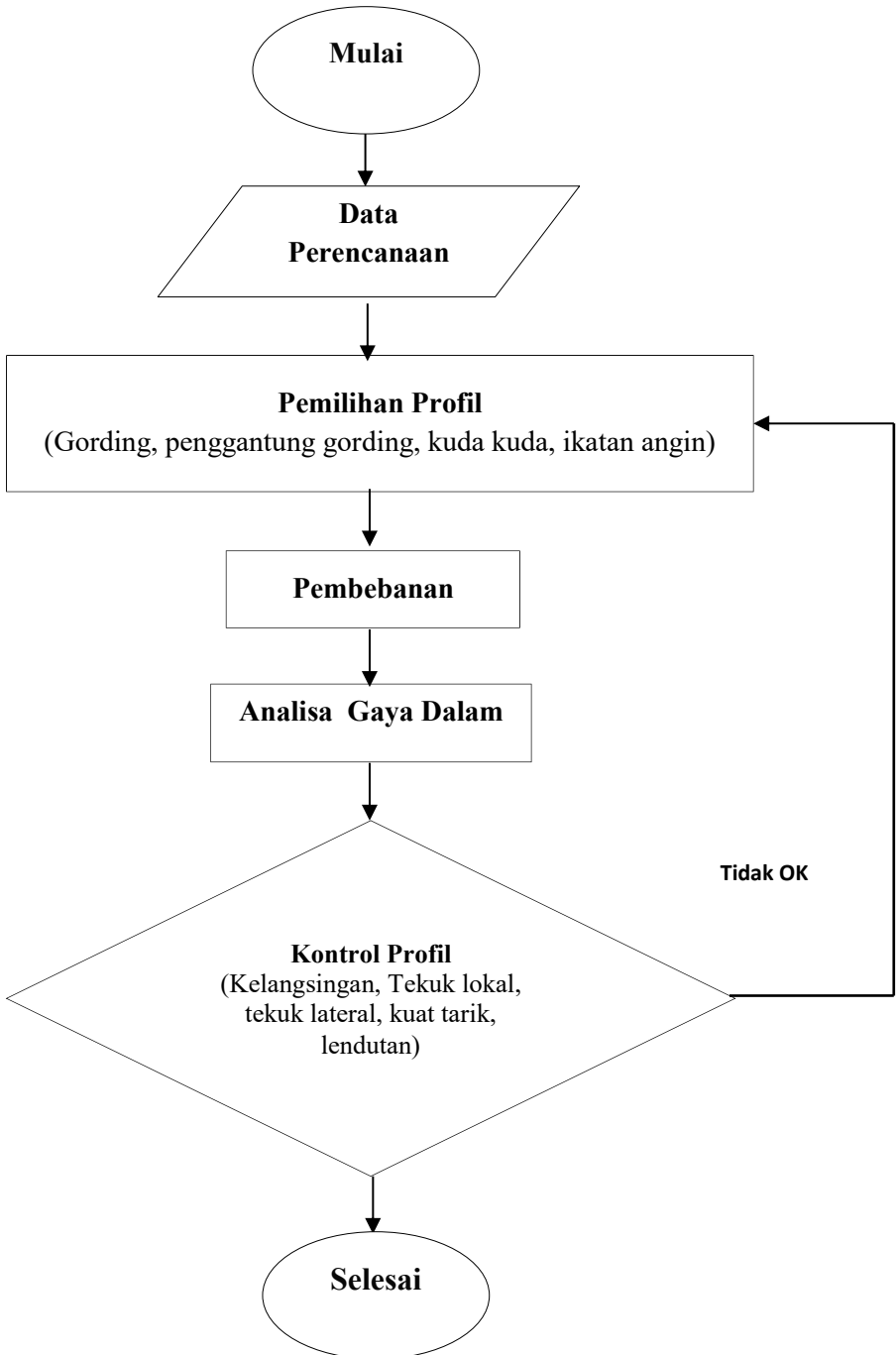


Gambar diatas merupakan detail sambungan hubungan balok kolom, pada balok menggunakan sambungan mekanis baut dan mur, lalu pada kolom digunakan panjang penyaluran yang dimasukkan di selongsong baja yang terletak pada kolom bagian bawah.

### **3.11 Perencanaan Atap Baja**

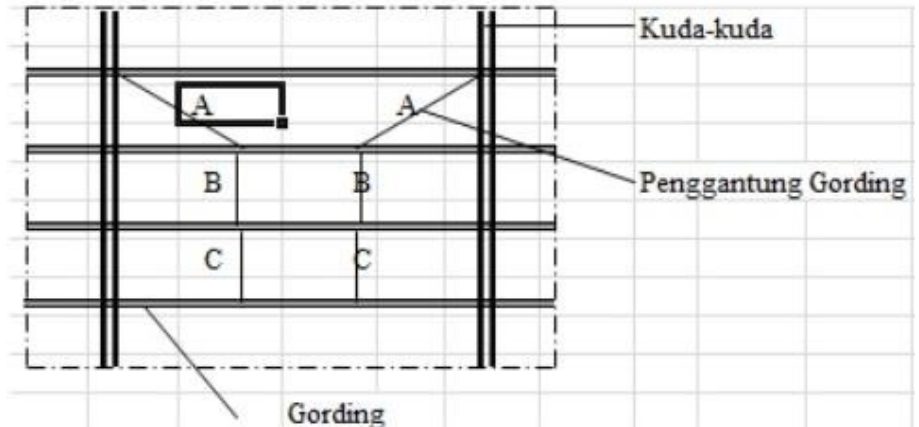
Struktur atap merupakan konstruksi atas yang berfungsi sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari pengaruh cuaca secara langsung. Pada gedung rumah sakit dental nano Malang ini menggunakan atap pelana dimana struktur atap menggunakan profil baja dengan penutup atap menggunakan genteng.

Perhitungan dan analisa struktur atap menggunakan program bantu SAP 2000. Prinsip perhitungan struktur atap ditinjau dari beban mati, beban hidup, dan beban angin serta gempa. Perletakan struktur atap diasumsikan sebagai jepit jepit dengan menggunakan sambungan baut dan las. Berikut diagram alir perencanaan atap baja.



### 3.11.1 Gording

Pembebanan gording dilakukan dalam permodelan struktur SAP 2000, diantaranya adalah beban mati, beban hidup (air hujan), dan beban angin, serta beban kombinasi. Setelah itu didapatkan gaya gaya dalam (*output* SAP 2000).



**Gambar 20** Penggantungan Gantung

Dalam menentukan jarak gording, ada beberapa yang perlu diperhatikan seperti kemiringan atap serta panjang sisi atap, jarak gording, profil gording. Cek kapasitas profil dalam menerima tegangan tegangan yang terjadi.

$$\sigma \max = \frac{M_x}{\phi M_{nx}} + \frac{M_y}{\phi M_{ny}} < 1$$

Dimana,

$M_x$  = Momen terjadi arah x

$M_y$  = Momen terjadi arah y

$M_{nx}$  = Momen nominal arah x

$M_{ny}$  = Momen nominal arah y

$\phi$  = faktor reduksi

Cek lendutan maksimum yang terjadi dan tidak boleh melampaui lendutan izin yang tertera pada tabel berikut :

**Tabel 6** Deflection Limit

Type of Member	Max Live Load defl.
Span for floors	L/360
Span for roof	L/240
Span for cantilevers	L/150

(Sumber : *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structure, ASCE, Reston Virginia, Second Edition, 2002*)

Lendutan terjadi : 
$$f = \left[ \frac{5}{384} x \frac{q.L^4}{EI} \right] + \left[ \frac{1}{48} x \frac{P.L^3}{EI} \right]$$

Dimana,

f = Lendutan terjadi

q = Beban mati

E = Elastisitas baja ( $2,1 \times 10^{-6}$  kg/cm<sup>2</sup>)

I = Inersia profil baja

L = Bentang struktur

### 3.11.2 Penggantungan Gording

Beban yang bekerja adalah beban mati dan beban hidup (pekerja). Penggantungan gording ini termasuk dalam batang tarik. Berikut perencanaan untuk batang tarik :

- Kontrol Leleh :  $P_u = \phi \cdot f_y \cdot A_g$

$$A_g \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi \cdot f_y}$$

- Kontrol Putus :  $P_u = \phi \cdot f_u \cdot 0,75 A_g$

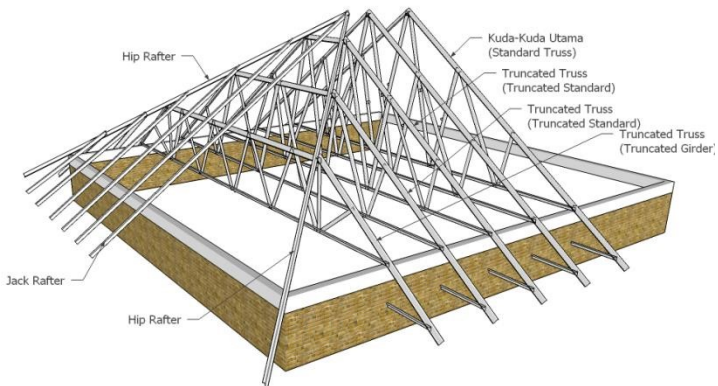
$$A_g \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi \cdot f_u \cdot 0,75}$$

- Diameter rencana :  $D = \sqrt{\frac{4xAg}{\pi}}$

### 3.11.3 Profil Kuda Kuda

Pembebanan kuda kuda dilakukan dalam permodelan struktur SAP 2000, diantaranya adalah beban mati, beban hidup, dan beban angin, serta beban kombinasi. Setelah itu didapatkan gaya gaya dalam (*output* SAP 2000).

- Batas kelangsingan :  $i_{min} = \frac{L}{240}$
  - Batas Leleh :  $Ag \geq \frac{Pu}{\phi f_u U}$
  - Batas putus :  $An \geq \frac{Pu}{\phi f_u U}$
  - Kontrol Leleh :  $Pu = \phi \cdot f_y \cdot Ag$
  - Kontrol putus :  $U = 1 - \frac{e}{L}$
- $$An = 2(Ag - \phi x L x d)$$



**Gambar 21** Kuda Kuda

Setelah didapatkan gaya gaya dalam dari *output* SAP 2000, cek kapasitas profil dalam menerima tegangan tegangan yang terjadi.

$$Nu < \phi Nn$$

$$Nn = \frac{Ag \cdot fy}{\omega}$$

Dimana,

Nu = Beban terfaktor

Nn = Kuat tekan nominal

Ag = Luas Penampang profil

Fy = Mutu Baja

$\omega$  = koefisien tekuk

### 3.11.3.1.1 Kontrol Tekuk lokal

Jika penampang yang dipakai terlalu tipis, maka akan berpotensi mengalami tekuk lokal. Jika itu terjadi, maka komponen struktur tersebut tidak akan lagi mampu memikul beban tekan secara penuh., dan ada kemungkinan struktur tersebut akan mengalami keruntuhan. Pada SNI 1729 – 2015 membatasi rasio antara lebar dengan ketebalan suatu elemen, dan penampang tersebut dapat diklasifikasikan menjadi penampang kompak, tidak kompak dan langsing.

### 3.11.3.1.2 Kontrol Lentur

Kekuatan lentur desain diatur berdasarkan SNI 1729 – 2015 pasal F1 dan F2,  $\phi Mn$  dan kekuatan lentur yang diizinkan,  $Mn / \Omega_b$ , harus ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk semua ketentuan dalam bab ini

$$\phi = 0,9 \quad \Omega_b = 1,67$$

2. 
$$Cb = \frac{12,5 M_{maks}}{2,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$

Keterangan :

$M_{maks}$  = Nilai untuk momen maksimum dalam segmen tanpa dibresing

$MA$  = Nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen tanpa dibresing

$MB$  = Nilai mutlak momen pada sumbu segmen tanpa dibresing

$MC$  = Nilai mutlak momen pada titik tiga-perempat segmen tanpa dibresing

Kekuatan lentur nominal,  $M_n$  harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh ( momen plastis ) dan tekuk torsi-lateral

1. Pelelehan

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_x$$

Keterangan :

$f_y$  = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan ( Mpa )

$Z_x$  = modulus penampang plastis di sumbu x (  $mm^2$  )

2. Tekuk Tosi lateral

Tekuk torsi lateral adalah kondisi batas yang menentukan kekuatan sebuah balok. Sebuah balok mampu memikul momen maksimum hingga mencapai momen plastis ( $M_p$ ). Tercapai atau tidaknya momen plastis, keruntuhan dari sebuah fraktur balok adalah salah satu dari peristiwa berikut :

a. Bila  $L_b \leq L_p$ , keadaan batas dari tekuk torsi-lateral tidak boleh digunakan

b. Bila  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 f_y \cdot S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

c.  $L_b > L_r$



$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

Keterangan :

$L_b$  = panjang antara titik-titik, baik yang dibresing melawan perpindahan lateral sayap tekan atau dibresing melawan puntir penampang melintang ( mm )

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

Dimana :

$E$  = Modulus Elastis baja = 200000 Mpa

$J$  = Konstanta torsi ( mm<sup>4</sup> )

$S_x$  = Modulus penampang elastis di sumbu x ( mm<sup>3</sup> )

$h_o$  = jarak antara titik berat sayap ( mm )

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w}$$

Pembatasan panjang  $L_p$  dan  $L_r$  ditentukan sebagai berikut :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_r = 1,95 r_{ts}$$

$$\frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}}$$

Dimana,

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

dan koefisien  $c$  ditentukan sebagai berikut :

- a. Untuk profil I simetris ganda :  $c = 1$

$$b. \text{ Untuk kanal : } c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$$

### 3.11.4 Ikatan Angin Atap

Ikatan angin atap merupakan batang tarik, berikut perencanaan batang tarik :

- Kontrol Leleh :  $Pu = \phi \cdot fy \cdot Ag$   
 $Ag \text{ perlu} = \frac{Pu}{\phi \cdot fy}$
- Kontrol Putus :  $Pu = \phi \cdot fu \cdot 0,75Ag$   
 $Ag \text{ perlu} = \frac{Pu}{\phi \cdot fu \cdot 0,75}$

### 3.11.5 Desain Sambungan

Setiap struktur baja merupakan gabungan dari beberapa komponen batang yang disatukan. Sambungan pada struktur baja ada 3 macam yaitu sambungan las, sambungan baut, dan kombinasi sambungan las – baut.

#### 1. Sambungan Las

Kekuatan desain,  $\phi R_n$  dan kekuatan yang diizinkan,  $R_n/\Omega$ , dari joint yang dilas harus merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser dan kekuatan logam las yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan berikut ini

Untuk logam dasar :

$$R_n = F_{Nbm} \cdot A_{BM}$$

Untuk logam las :

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Keterangan :

$F_{Nbm}$  = Tegangan nominal dari logam dasar ( Mpa )

$F_{nw}$  = Tegangan nominal dari logam las ( Mpa )

$A_{BM}$  = Luas penampang logam dasar ( mm<sup>2</sup> )

$A_{we}$  = Luas efektif las ( mm<sup>2</sup> )

### 1. Sambungan Baut

Kekuatan tarik atau geser desain,  $\phi R_n$  dan kekuatan tarik atau geser yang diizinkan,  $R_n/\Omega$ , dari suatu baut snug-tightened atau baut mutu tinggi pra-tarik atau bagian berulir harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser sebagai berikut :

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

Keterangan :

$A_b$  = luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir ( mm<sup>2</sup> )

$F_n$  = tegangan tarik nominal,  $F_{nt}$ , atau tegangan geser  $F_{nv}$  ( Mpa )

$$\phi = 0,75$$

$$\Omega = 2$$

Kombinasi gaya tarik dan geser dalam sambungan tipe-tumpuan. kekuatan tarik yang tersedia dari baut yang menahan kombinasi gaya tarik dan geser harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas dari keruntuhan geser sebagai berikut :

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

Keterangan :

$F_{nt}$  = tegangan tarik nominal yang dimodifikasi

mencakup efek tegangan geser (Mpa )

$$F_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (DFBK)$$

$$F_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (DKI)$$

Keterangan :

$F_{nt}$  = tegangan tarik nominal dari table( Mpa )

$F_{nv}$  = tegangan geser dari tabel ( Mpa )

$f_{rv}$  = tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi DFBK atau DKI, ( MPA )

### 3.12 Gambar Teknik

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan program AutoCAD.

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Preliminary Desain**

##### **4.1.1 Umum**

Preliminary desain merupakan tahapan perhitungan dalam perancangan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur. Elemen struktur sendiri terbagi dalam elemen struktur primer atau struktur utama dan struktur sekunder. Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung, ataupun tegangan akibat perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian perancangan struktur sekunder ini meliputi pelat dan tangga. Sebelum menentukan dimensi pelat, perlu diadakan preliminary design untuk menentukan besarnya pembebanan yang terjadi pada pelat. Perhitungan preliminary design mengikuti peraturan SNI-03-2847-2013.

##### **4.1.2 Data Perencanaan**

Sebelum perhitungan preliminary design perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima oleh struktur gedung. Pada perencanaan Rumah Sakit Dental Nano Malang dimodifikasi menggunakan beton pracetak (non prategang) dengan data perencanaan sebagai berikut:

- a. Nama gedung : Rumah Sakit Dental Nano Universitas Brawijaya Malang
- b. Lokasi : Kampus Universitas Brawijaya, Jalan Veteran Malang
- c. Fungsi : Rumah Sakit
- d. Jumlah lantai : 10
- e. Tinggi bangunan : +41.10m

- f. Total luas area : 3612 m<sup>2</sup>
- g. Struktur Bangunan : Beton Precast
- h. Struktur Atap : Struktur atap baja
- i. Mutu beton (f'c) : 35 Mpa
- j. Mutu baja (fy) : 390 Mpa

### 4.1.3 Pembebanan

#### 1. Beban Gravitasi

Beban Mati (brosur terlampir)

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Keramik : 20,5 kg/m<sup>2</sup>
- Spesi : 5 kg/m<sup>2</sup>
- Hebel 15cm : 575 kg/m<sup>3</sup>
- Plafond + penggantung : 6,5 kg/m<sup>2</sup>
- Mekanikal + ducting : 19 kg/m<sup>2</sup>
- Atap genteng : 2,62 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup (SNI 1727-2013 tabel 4-1)

- Ruang alat lab : 287 kg/m<sup>2</sup>
- Koridor : 383 kg/m<sup>2</sup>
- Tangga dan bordes : 479 kg/m<sup>2</sup>
- Partisi : 72 kg/m<sup>2</sup>
- Ruang kantor : 240 kg/m<sup>2</sup>
- Atap : 96 kg/m<sup>2</sup>
- Beban pekerja : 200 kg/m<sup>2</sup>

#### 2. Beban Angin (SNI 1727-2013 pasal 27.1.5)

- Beban desain minimum : 77 kg/m<sup>2</sup>

#### 3. Beban Gempa

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan overtopping (cor in site) setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan system tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit. Dimensi balok yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \times (0,4 + f_y 700) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \times (1,65 - 0,003w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c \text{ 1440 sampai } 1840 \text{ kg/m}^3$$

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

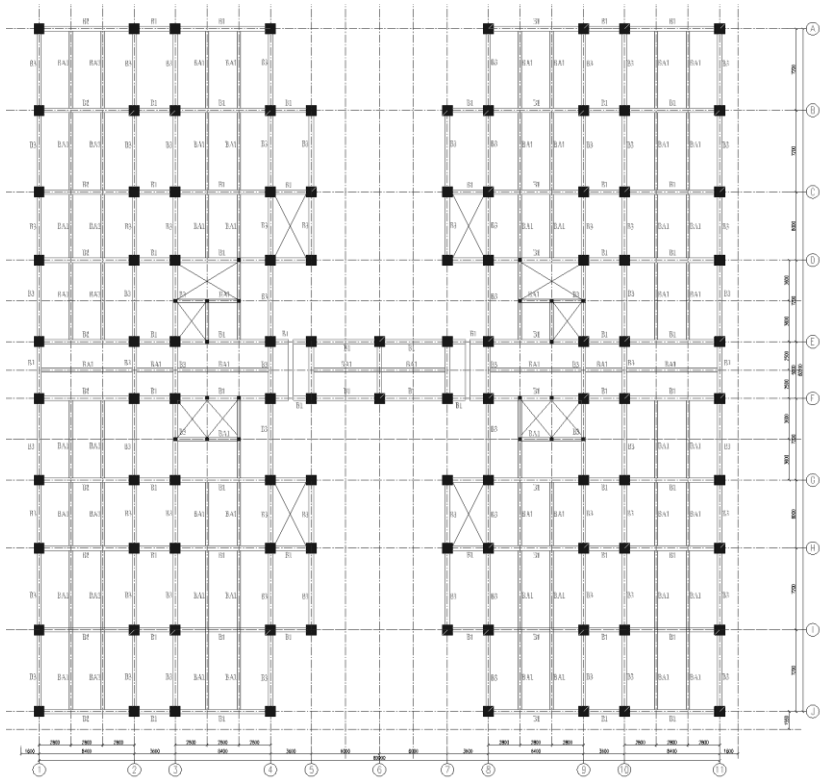
$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

L = lebar kotor dari balok



**Gambar 22** Denah Pembalok

#### 4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan:

- Dimensi Balok induk memanjang:  $L = 8,4$  meter

$$h_{\min} = \frac{840}{16} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 51 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 51 \text{ cm digunakan } h = 60 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 51 \text{ cm} = 34 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 40 \text{ cm}$$



Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 40/60

- Dimensi Balok induk memanjang:  $L = 7,2$  meter

$$h_{min} = \frac{720}{16} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 44 \text{ cm}$$

$h_{min} = 44$  cm digunakan  $h = 60$  cm

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 44 \text{ cm} = 34 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 40 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 40/60

**Tabel 7** Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode Balok Induk	Bentang Balok (cm)	Hmin (cm)	b (cm)	H.pakai (cm)	b.pakai (cm)	Dimensi (cm)
B1	840	51	34	60	40	40/60
B2	360	22	14	60	40	40/60
B3	600	36	24	60	40	40/60
B4	720	43	29	60	40	40/60
B5	500	30	20	60	40	40/60

#### 4.1.4.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan:

$$h_{min} = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + f_y 700\right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

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

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

Dimana:

$b$  = lebar balok

$h$  = tinggi balok

$L$  = lebar kotor dari balok

- Dimensi balok anak :  $L = 8,4$  meter

$$h_{min} = \frac{840}{21} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 38 \text{ cm}$$

$h_{min} = 38$  cm digunakan  $h = 50$  cm

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 38 \text{ cm} = 26 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 30 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 30/50

**Tabel 8** Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok Induk	Bentang Balok (cm)	Hmin (cm)	b (cm)	H.pakai (cm)	b.pakai (cm)	Dimensi (cm)
BA1	840	38	26	40	30	30/50
BA2	360	16	11	40	30	30/50
BA3	600	27	18	40	30	30/50
BA4	720	33	22	40	30	30/50

## 4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

### 4.1.5.1 Perencanaan Tebal Pelat

Penentuan tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2 tabel 9.5(a). sedangkan untuk pelat dua arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.

### 4.1.5.1 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai

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

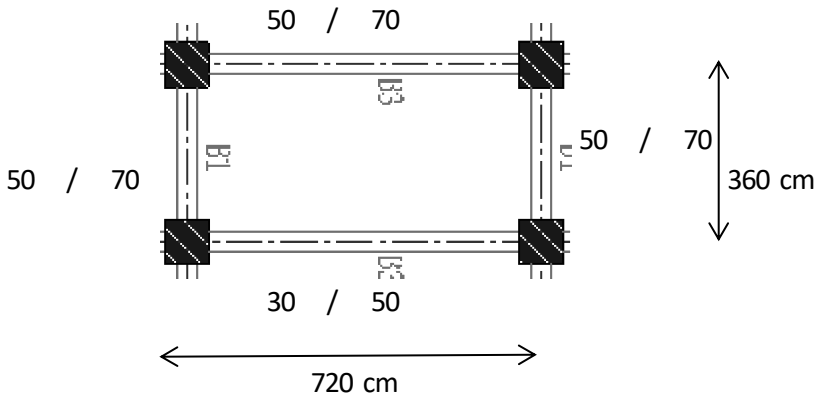
- Pelat tipe S1 : 280 x 720 cm
- Pelat tipe S2 : 360 x 720 cm
- Pelat tipe S3 : 250 x 840 cm
- Pelat tipe S4 : 280 x 600 cm

- Pelat tipe S5 : 250 x 600 cm

Semua tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu baja : 390 MPa
- Tebal pelat rencana : 12 cm

Dalam perencanaan ini, pelat berupa pelat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan elemen pracetak tersebut dilanjutkan (pekerjaan overtopping). Dalam tugas akhir ini pelat tipe S2 dengan dimensi terbesar yaitu 360 x 720 cm digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi tebal pelat dengan sehingga nilai  $L_n$  dan  $S_n$  yaitu:



$$L_n = 720 - \left( \frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 670 \text{ cm}$$

$$S_n = 360 - \left( \frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 310 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{670}{320} = 2,1$$

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

Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2 (tabel 9.5(a)).

Tebal minimum (h) bila lendutan tidak dihitung :

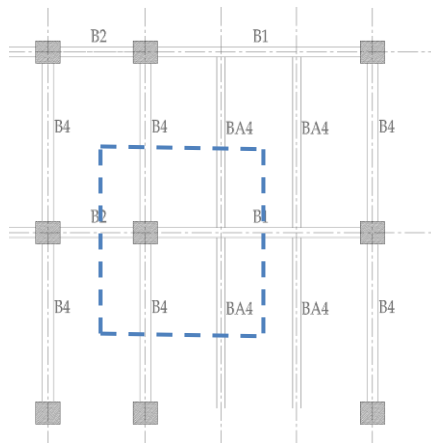
$$\frac{L}{28} = \frac{360}{28} = 12,85 \text{ cm}$$

Maka diambil tebal pelat = 13 cm.

#### 4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang tinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Data-data yang diperlukan dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat = 13 cm = 130 mm
- Jumlah lantai = 9 lantai
- Tinggi Lantai = 4,2 m
- Dimensi balok induk = Tabel 7
- Dimensi balok anak = Tabel 8



**Gambar 23** Luas Tributary Kolom

Pembebanan kolom menggunakan metode luas tributary seperti berikut ini:

## 1. Beban mati lantai 2-9

- Pelat  $= 7,2 \times 6 \times 0,13 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 9$   
 $= 121305 \text{ kg}$
- Balok Induk Mem.  $= 6 \times 0,4 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 9$   
 $= 31104 \text{ kg}$
- Balok Induk Mel.  $= 7,2 \times 0,4 \times 0,6 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 9$   
 $= 37324 \text{ kg}$
- Balok Anak Mel.  $= 7,2 \times 0,3 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 9$   
 $= 23328 \text{ kg}$
- Plafond + peanggantungan  $= 7,2 \times 6 \times 6,5 \text{ kg/m}^2 \times 9$   
 $= 2527 \text{ kg}$
- Mekanikal + ducting  $= 7,2 \times 6 \times 19 \text{ kg/m}^2 \times 9$   
 $= 7387 \text{ kg}$
- Keramik  $= 7,2 \times 6 \times 20,5 \text{ kg/m}^2 \times 9$   
 $= 7970 \text{ kg}$
- Spesi  $= 7,2 \times 6 \times 5 \text{ kg/m}^2 \times 9$   
 $= 1944 \text{ kg}$
- Hebel  $= 7,2 \times 6 \times 87 \text{ kg/m}^2 \times 9$   
 $= 33825 \text{ kg}$

Beban Mati Total (DL) = 266716 kg

## 2. Beban hidup lantai 2-9

- Pelat  $= 7,2 \times 6 \times 287 \text{ kg/m}^2 \times 9 = 111585 \text{ kg}$   
Beban Hidup Total (LL) = 111585 kg

Berdasarkan RSNI 02-1727-2013 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu 2 lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup :

$$LL = 80\% \times 111585 \text{ kg} = 89268 \text{ kg}$$

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

$$= 1,2 (266716) + 1,6 (89268)$$

$$= 498597 \text{ kg}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial dan beban aksial dengan lentur, faktor reduksi yang digunakan adalah  $\phi = 0,65$ . Setelah itu dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$A = \frac{W}{\phi f'c} = \frac{332942,4}{0,65 \times 350} = 1707,4 \text{ cm}^2$$

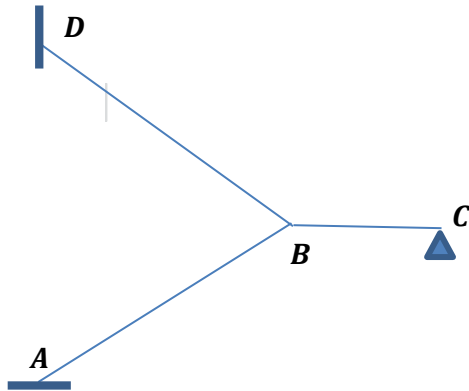
$$b = h, \text{ maka } b^2 = 1707,4 \text{ cm}^2 \\ = 47 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

jadi digunakan dimensi kolom  $b \times h = 70 \times 70 \text{ cm}$

#### 4.1.7 Perencanaan Dimensi Tangga

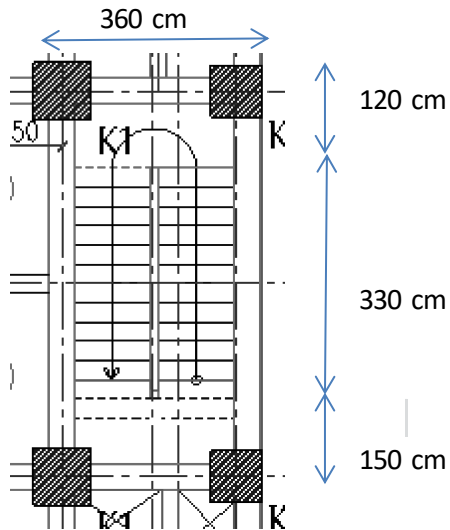
Permodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang di input adalah sebagai berikut:

1. Perletakan = jepit – sendi - jepit
2. Pembebanan = Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
3. Kombinasi = 1,2 DL + 1,6 LL
4. Distribusi = (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.



**Gambar 24** Mekanika Perencanaan Tangga

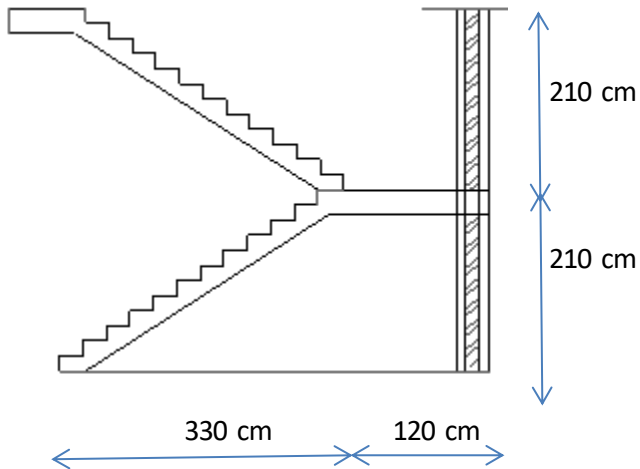
- Data Perencanaan
  - Panjang datar tangga : 600 cm
  - Tinggi tangga : 420 cm
  - Tinggi plat bordes : 210 cm
  - Tebal plat tangga : 15 cm
  - Tebal plat bordes : 15 cm
  - Lebar injakan (i) : 30 cm
  - Tinggi tanjakan (t) : 17,5 cm



**Gambar 25** Denah Perencanaan Tangga  
Panjang Miring Tangga :

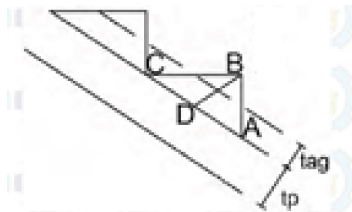
$$= \sqrt{(3,3)^2 + (2,1)^2} = 3,91 \text{ m}$$





**Gambar 26** Potongan Pelat Tangga

Panjang Miring Anak Tangga :



$$BC = 30 \text{ cm}$$

$$AB = 17,5 \text{ cm}$$

$$AC = \sqrt{(30)^2 + (17,5)^2}$$

$$AC = 34,73 \text{ cm}$$

Jumlah tanjakan (nt)

$$\text{Tinggi bordes} = 2,1 \text{ m} = 210 \text{ cm}$$

$$nt = \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi tanjakan}} = \frac{420}{17,5} = 24 \text{ buah}$$

### Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{17,5}{30}$$

$$\alpha = 30,24^\circ \approx 31^\circ$$

### Syarat sudut kemiringan

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

$$25^\circ \leq 31^\circ \leq 40^\circ \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

### Tebal plat ekuivalen

$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{30 \times 17,5}{34,73}$$

$$BD = 15,11 \text{ cm}$$

$$\text{Tag} = \frac{2}{3} \times BD$$

$$= \frac{2}{3} \times 15,11$$

$$= 10,07 \text{ cm}$$

maka tebal efektif pelat tangga = 10,07  $\approx$  15 cm

## 4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

### 4.2.1 Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 13 cm dengan perincian tebal pelat pracetak 8 cm dan pelat cor setempat (overtopping) 5 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar

beban yang bekerja pada struktur pelat adalah SNI 1727-2013 pasal 3.1.2. Desain Pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

### 1. Sebelum Komposit

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.

### 2. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis. Pada dasarnya, permodelan pelat terutama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit adalah untuk perhitungan tulangan pelat. Pada saat sebelum komposit yaitu kondisi ketika pemasangan awal pelat, pelat diasumsikan tertumpu pada dua tumpuan. Sedangkan pada saat setelah komposit, perletakan pelat diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis. Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan diatas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

#### 4.2.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah:

- Dimensi Pelat komposit = 720 cm x 360 cm
- Tebal Pelat Pracetak = 80 mm
- Tebal overtopping = 50 mm
- Tebal decking = 20 mm
- Diameter tulangan = 10 mm
- Mutu Baja ( $f_y$ ) (master steel) = 390 Mpa

- Mutu Beton ( $f_c'$ ) = 350 Mpa

#### 4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

- **Sebelum Komposit**

Dalam pembebanan sebelum komposit akan diperhitungkan dua keadaan yaitu:

1. Berat orang yang bekerja dan peralatannya saat pemasangan pelat pracetak, pada saat ini berat topping belum bekerja.
2. Topping telah terpasang tapi belum berkomposit dengan pelat pracetak, sehingga yang terjadi beban precast + topping + pekerja.

Pada kedua keadaan ini diambil nilai yang paling kritis.

Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat precast} &= 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat topping} &= 0,05 \times 2400 = \underline{120 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{DL} &= 312 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban Pekerja} \quad \text{LL} = 200 \text{ kg/m}^2$$

- **Sesudah Komposit**

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban.

Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,13 \times 2400 = 312 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Penggantung + Plafond} &= 6,5 = 6,5 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Keramik} &= 20,5 = 20,5 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Ducting + mekanikal} &= 19 = 19 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Spesi} &= 5 = \underline{5 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{DL} &= 363 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL)

Beban Kerja	= 287	= 287 kg/m <sup>2</sup>
Beban Partisi	= 72	<u>= 72 kg/m<sup>2</sup> +</u>
	LL	= 359 kg/m <sup>2</sup>

#### 4.2.1.3 Kombinasi Pembebanan Pelat Lantai

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan :

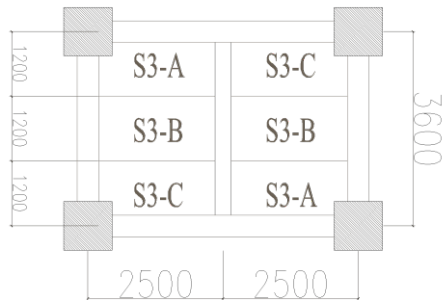
$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan pelat lantai :

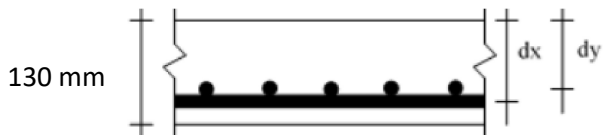
- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban pekerja  
 $Q_u = 1,2 (192) + 1,6 (200) = 550,4 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 1 sebelum komposit, topping telah terpasang  
 $Q_u = 1,2 (312) + 1,6 (200) = 694,4 \text{ kg/m}^2$   
 Maka diambil yang paling kritis 694,4 kg/m<sup>2</sup>
- Keadaan 3, setelah komposit  
 $Q_u = 1,2 (363) + 1,6 (359) = 1010 \text{ kg/m}^2$

#### 4.2.1.4 Perhitungan Tulangan Pelat 2 Arah

Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam tiga tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit, penulangan saat pengangkatan, dan penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara ketiga keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat tipe B dengan dimensi 360 cm × 250 cm.



**Gambar 27** Pelat Tipe S2 (360cm x 250cm)



- Kondisi sebelum komposit  
 $D_x = 80 - 20 - 10/2 = 55 \text{ mm}$   
 $D_y = 80 - 20 - 10 - 10/2 = 45 \text{ mm}$
- Kondisi sebelum komposit  
 $D_x = 130 - 20 - 10/2 = 105 \text{ mm}$   
 $D_y = 130 - 20 - 10 - 10/2 = 95 \text{ mm}$
- Untuk mutu beton  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  berdasarkan SNI 03-28472013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:  
 $\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'_c - 28) / 7 \geq 0,65$   
 $\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) / 7 \geq 0,65 = 0,800$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

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

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

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

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

$$m = \frac{fy}{0,85 fc'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

Menghitung dimensi pracetak :

$$Ln = 360 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 320 \text{ cm}$$

$$Sn = 250 - \left( \frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right) = 215 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{320}{215} = 1,48 \quad \beta < 2, \text{ maka tergolong pelat 2 arah}$$

Berdasarkan SNI 7833 – 2012 Gambar R4.6.2

$$\begin{aligned} \text{Panjang Landasan} &= \frac{ln}{180} \geq 50mm \\ &= \frac{2500}{180} = 13,88 \leq 50mm \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jadi, dimensi pracetak} &= 215 \text{ cm} + (5 \times 2) \times 120 \text{ cm} \\ &= 225 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada perencanaan tebal pelat, asumsi perletakan pelat lantai adalah jepit penuh. Dimana dalam menganalisa gaya gaya dalam yang terjadi pada pelat menggunakan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) pasal 13.3 tabel 13.3(1).

### 1. Penulangan Sebelum Komposit

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat 2 arah dengan menggunakan pada arah X (arah panjang pelat) dan pada arah Y (arah pendek pelat) sesuai PBBI 1971. Beban yang digunakan pada kondisi ini adalah beban pelat sebelum komposit ( $q = 694,4 \text{ kg/m}$ )

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 tabel 13.3(1) pelat termasuk dalam tipe II dimana persamaan gaya dalam momen yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ = +0,001 \cdot 694,4 \cdot 2,5^2 \cdot 28 = 121,52 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ = +0,001 \cdot 694,4 \cdot 2,5^2 \cdot 20 = 86,8 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ = +0,001 \cdot 694,4 \cdot 2,5^2 \cdot 64 = 277,76 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ = +0,001 \cdot 694,4 \cdot 2,5^2 \cdot 56 = 243,04 \text{ kgm}$$

#### • Penulangan Arah X

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{277,76 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1,14$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,14}{390}} \right) \\ = 0,0030$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 > 0,0030 < 0,0277 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.



Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0030 \times 1,3 = 0,0039$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0039 \times 1000 \times 55 \\ &= 214,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10  
 $A_s$  tulangan =  $0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54 \text{ mm}^2$   
 Jumlah tulangan = 5 buah  
 $A_s$  pakai = 5 buah  $\times$   $78,54 = 392,5 \text{ mm}^2$
- Kontrol kebutuhan tulangan,  
 $A_s$  pakai  $>$   $A_s$  perlu  
 $A_s$  pakai =  $392,5 \text{ mm}^2 >$   $A_s$  perlu =  $214,65 \text{ mm}^2$  (Memenuhi)

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

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

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 55 = 208,6 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 55 = 197,4 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 392,7 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 200

- **Penulangan Arah Y**

$$R_n = \frac{M_u}{\emptyset b d^2} = \frac{243,04 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1}{390}} \right) = 0,0026$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 > 0,0026 < 0,0277 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0026 \times 1,3 = 0,0034$

$As = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0034 \times 1000 \times 55$$

$$= 187,34 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10

$$As \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan = 5 buah

$$As \text{ pakai} = 5 \text{ buah} \times 78,54 = 392,5 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

As pakai > As perlu

$$As \text{ pakai} = 392,5 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 187,34 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

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

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$As_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{fc}}{Fy} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 55 = 208,6 \text{ mm}^2$$

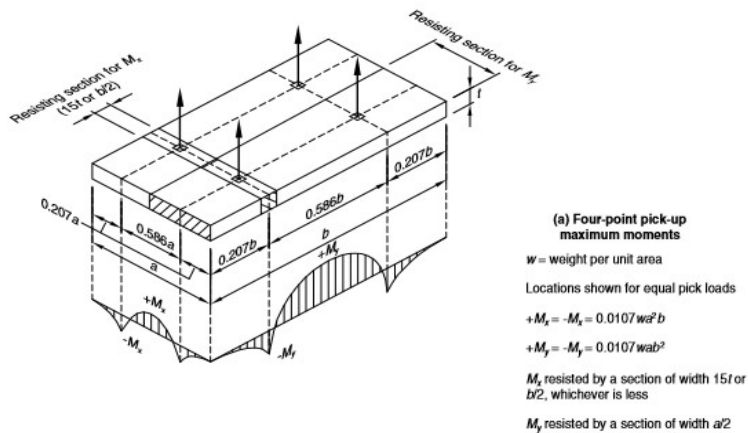
$$As_{\min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 55 = 197,4 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai}} = 392,7 \text{ mm}^2 > As_{\min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 200

## 2. Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



**Gambar 28** Posisi Titik Angkat Pelat ( 4 buah titik angkat)

(Sumber : *PCI Design Handbook 7<sup>th</sup> Precast and Prestressed Concrete*)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times b^2 \times a$$

Pada pelat tipe S2:  $320 \times 120$  cm ( $L_x = 1,2$  m,  $L_y = 3,2$  cm)

Ditentukan  $a = 1,2$  m dan  $b = 3,2$  m

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

Maka:

$$M_x = 0,0107 \times 230,4 \times 1,2^2 \times 3,2 = 11,36 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 230,4 \times 3,2^2 \times 1,2 = 30,29 \text{ kgm}$$

- **Penulangan Arah X**

$$M_{ux} = 11,36 \text{ kg/m}^2$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{11,36 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,0469$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,0469}{390}} \right) \\ = 0,0001205$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 > 0,0001205 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai *SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)* sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0005267 \times 1,3 = 0,000157$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,000157 \times 1000 \times 55$$

$$= 8,6129 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\phi$ -10

$$A_s \text{ tulangan} = 0,25 \pi \phi^2 = 78,54$$

Jumlah tulangan = 3 buah

$$A_s \text{ pakai} = 3 \text{ buah} \times 78,54 = 235,5 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

As pakai = 235,5 mm<sup>2</sup> > As perlu = 8,6129 mm<sup>2</sup> (Memenuhi)

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,3 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$\text{As min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 55 = 208,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 55 = 197,4 \text{ mm}^2$$

As pakai = 235,5 mm<sup>2</sup> > As min (Memenuhi)

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 300

- **Penulangan Arah Y**

$$M_{uy} = 30,29 \text{ kg/m}^2$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{30,29 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,1252$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,0469}{390}} \right) = 0,0003217$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 > 0,0003217 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0003217 \times 1,3 = 0,000418$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,000418 \times 1000 \times 55 \\
 &= 22,998 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10  
 $A_s \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54$   
 Jumlah tulangan = 3 buah  
 $A_s \text{ pakai} = 3 \text{ buah} \times 78,54 = 235,5 \text{ mm}^2$
- Kontrol kebutuhan tulangan,  
 $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$   
 $A_s \text{ pakai} = 235,5 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 22,998 \text{ mm}^2$  (Memenuhi)
- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :  

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,3 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$
- Cek syarat minimum tulangan  
 Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 45 = 170,65 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 45 = 161,53 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 314 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 300

### 3. Penulangan Sesudah Komposit

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat 2 arah dengan menggunakan pada arah X (arah panjang pelat) dan pada arah Y (arah

pendek pelat) sesuai PBBI 1971. Beban yang digunakan pada kondisi ini adalah beban pelat sebelum komposit ( $q = 1010 \text{ kg/m}$ )

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 tabel 13.3(1) pelat termasuk dalam tipe II dimana persamaan gaya dalam momen yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Mlx &= +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 1010 \cdot 2,5^2 \cdot 28 = 176,75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mly &= +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 1010 \cdot 2,5^2 \cdot 20 = 126,25 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mtx &= +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 1010 \cdot 2,5^2 \cdot 64 = 404 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mty &= +0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 1010 \cdot 2,5^2 \cdot 56 = 353,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- **Penulangan Arah X**

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{404 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 105^2} = 0,45$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,45}{390}} \right) = 0,0011$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } \rho \text{ min} &< \rho < \rho \text{ max} \\ 0,0036 &> 0,0011 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi}) \end{aligned}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% , \rho = 0,0011 \times 1,3 = 0,0015$$

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0011 \times 1000 \times 105 \end{aligned}$$

$$= 161,57 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10

$$\text{As tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{As pakai} = 6 \text{ buah} \times 78,54 = 471 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

$$\text{As pakai} > \text{As perlu}$$

$$\text{As pakai} = 471 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 161,57 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{6 \text{ buah}} = 166,67 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Syarat spasi maksimum antar tulangan ( SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.4 dan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2 ) diambil yang terkecil diantara :

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 3h = 3(130) = 390 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 260 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$\text{As min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 105 = 398,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 105 = 376,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = 471 \text{ mm}^2 > \text{As min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur  $\emptyset$ 10 – 150



- **Penulangan Arah Y**

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{353,5 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 105^2} = 0,4$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,4}{390}} \right) = 0,001$$

Syarat :  $\rho \min < \rho < \rho \max$

$$0,0036 > 0,001 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,001 \times 1,3 = 0,0013$

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0013 \times 1000 \times 105 \\ &= 141,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10

$$As \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan = 6 buah

$$As \text{ pakai} = 6 \text{ buah} \times 78,54 = 471 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

As pakai > As perlu

$$As \text{ pakai} = 471 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 141,24 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{6 \text{ buah}} = 166,67 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Syarat spasi maksimum antar tulangan ( SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.4 dan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2 ) diambil yang terkecil diantara :

$$S_{maks} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 3h = 3(130) = 390 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < S_{maks} = 260 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 105 = 398,2 \text{ mm}^2$$

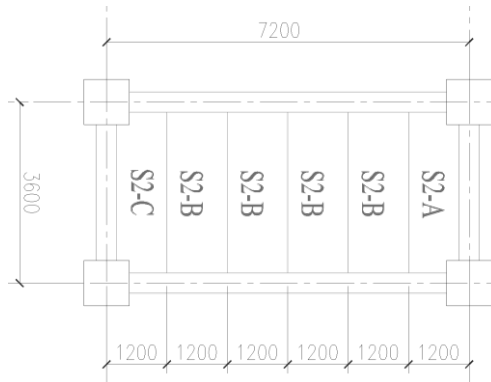
$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 105 = 376,9 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 471 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} \text{ (Memenuhi)}$$

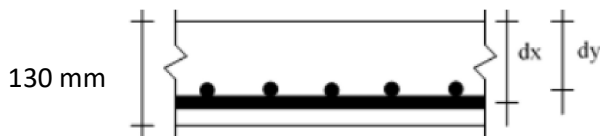
Jadi dipakai Tulangan lentur  $\emptyset 10 - 150$

#### 4.2.1.5 Perhitungan Tulangan Pelat 1 Arah

Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam tiga tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit, penulangan saat pengangkatan, dan penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara ketiga keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat tipe B dengan dimensi 360 cm  $\times$  720 cm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.



**Gambar 28** Pelat Tipe S2 (720cm x 360cm)



- Kondisi sebelum komposit  
 $D_x = 80 - 20 - 10/2 = 55 \text{ mm}$   
 $D_y = 80 - 20 - 10 - 10/2 = 45 \text{ mm}$
- Kondisi sebelum komposit  
 $D_x = 130 - 20 - 10/2 = 105 \text{ mm}$   
 $D_y = 130 - 20 - 10 - 10/2 = 95 \text{ mm}$
- Untuk mutu beton  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  berdasarkan SNI 03-28472013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:  
 $\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'_c - 28) / 7 \geq 0,65$   
 $\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) / 7 \geq 0,65 = 0,800$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

Menghitung dimensi pracetak :

$$Ln = 720 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 680 \text{ cm}$$

$$Sn = 360 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 320 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{680}{320} = 2,1 \quad \beta > 2, \text{ maka tergolong pelat 1 arah}$$

Berdasarkan SNI 7833 – 2012 Gambar R4.6.2

$$\begin{aligned} \text{Panjang Landasan} &= \frac{ln}{180} \geq 50 \text{ mm} \\ &= \frac{3200}{180} = 17,22 \leq 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jadi, dimensi pracetak} &= 320 \text{ cm} + (5 \times 2) \times 120 \text{ cm} \\ &= 330 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada penulangan pelat satu arah hanya terdapat satu tulangan utama yaitu searah melintang pelat. Sedangkan tulangan yang terdapat pada arah memanjang pelat merupakan tulangan pembagi yang berfungsi untuk menahan susut dan suhu.

Penulangan utama pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan utama maupun tulangan pembagi direncanakan menggunakan D10 (78,54 mm<sup>2</sup>).

### 1. Penulangan Sebelum Komposit

Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan SNI -3-2847-2013 pasal 8.3.3. Pada penulangan lentur pelat precast hanya pada arah X (arah panjang pelat) sedangkan pada arah Y (arah pendek pelat) merupakan tulangan pembagi.

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{320}{120} = 2,7 \quad \beta > 2, \text{ maka tergolong pelat 1 arah}$$

#### • Penulangan Arah X

$$W_u = 694,4 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{+(lap)} = \frac{1}{16} \times W_u \times Lx^2 = \frac{1}{16} \times 694,4 \times 3,2^2 = 444,42 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{444,42 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1,836$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,836}{390}} \right) = 0,0048$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0036 < 0,0048 < 0,0277 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0048 \times 1000 \times 55$$

$$= 267,51 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10  

$$\text{As tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{As pakai} = 5 \text{ buah} \times 78,54 = 392,5 \text{ mm}^2$$
- Kontrol kebutuhan tulangan,  

$$\text{As pakai} > \text{As perlu}$$

$$\text{As pakai} = 392,5 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 267,51 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

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

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

$$\text{As min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 55 = 208,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 55 = 197,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = 392,7 \text{ mm}^2 > \text{As min (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 200

- **Penulangan Arah Y**

Penulangan arah Y merupakan tulangan susut. Menurut *SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 390 MPa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0.018

$$\begin{aligned} \text{Aperlu} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 45 \text{ mm} \\ &= 81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :  $S_{\text{maks}} \leq 5h$  atau  $S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$

$$S_{\text{maks}} = 5 \times h = 5 \cdot 80 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

- Jumlah tulangan,  $n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \emptyset 10} = \frac{81}{78,54} = 1,03 \approx 2 \text{ buah}$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{2 \text{ buah}} = 500 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak  $300 \text{ mm} < S_{maks} = 400 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol kebutuhan tulangan,

Dipakai tulangan  $\emptyset 10$ -300

$$A_s \text{ pakai} = \frac{0,25 \pi 10^2 1000}{300}$$

$$= 261,8 \text{ mm}^2$$

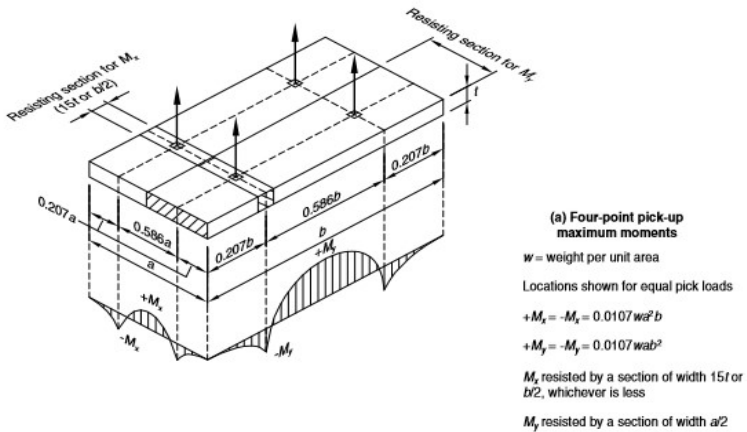
Syarat :  $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$261,8 \text{ mm}^2 > 81 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi Dipakai tulangan susut  $\emptyset 10$ -300

## 2. Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



**Gambar 29** Posisi Titik Angkat Pelat ( 4 buah titik angkat)  
(Sumber : *PCI Design Handbook 7<sup>th</sup> Precast and Prestressed Concrete*)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times b^2 \times a$$

Pada pelat tipe S2:  $320 \times 120$  cm ( $L_x = 1,2$  m,  $L_y = 3,2$  m)

Ditentukan  $a = 1,2$  m dan  $b = 3,2$  m

Dengan  $w = 1,2$  ( $0,08 \times 2400$ ) = 230,4 kg/m

Maka:

$$M_x = 0,0107 \times 230,4 \times 1,2^2 \times 3,2 = 11,36 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 230,4 \times 3,2^2 \times 1,2 = 30,29 \text{ kgm}$$

### • Penulangan Arah X

$$M_{ux} = 11,36 \text{ kg/m}^2$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{11,36 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,0469$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,0469}{390}} \right) = 0,0001205$$



$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0036 > 0,0001205 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai *SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)* sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% , \rho = 0,0005267 \times 1,3 = 0,000157$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,000157 \times 1000 \times 55 \\ &= 8,6129 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10

$$A_s \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 3 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pakai} = 3 \text{ buah} \times 78,54 = 235,5 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$A_s \text{ pakai} = 235,5 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 8,6129 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,3 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \min = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 55 = 208,6 \text{ mm}^2$$

$$A_s \min = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 55 = 197,4 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 235,5 \text{ mm}^2 > A_s \min \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 300

- **Penulangan Arah Y**

$$M_{uy} = 30,29 \text{ kg/m}^2$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{30,29 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,1252$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,0469}{390}} \right) = 0,0003217$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0036 > 0,0003217 < 0,024$  (Tidak Memenuhi)

Sesuai *SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)* sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0003217 \times 1,3 = 0,000418$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,000418 \times 1000 \times 55 \\ &= 22,998 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -10

$$A_s \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 78,54$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 3 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pakai} = 3 \text{ buah} \times 78,54 = 235,5 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$A_s \text{ pakai} = 235,5 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 22,998 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,3 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 45 = 170,65 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 45 = 161,53 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 314 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur D 10 – 300

### 3. Penulangan Sesudah Komposit

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan SNI -3-2847-2013 pasal 8.3.3. Pada penulangan lentur pelat setelah komposit hanya pada arah X (arah pendek pelat) sedangkan pada arah Y (arah panjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{670}{310} = 2,2 \quad \beta > 2, \text{ maka tergolong pelat 1 arah}$$

- **Penulangan Arah X**

$$W_u = 1010 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{+(lap)} = \frac{1}{16} \times W_u \times Lx^2 = \frac{1}{16} \times 1010 \times 3,10^2 = 606,63 \text{ kgm}$$

$$M_{-(tump)} = \frac{1}{10} \times W_u \times Lx^2 = \frac{1}{10} \times 1010 \times 3,10^2 = 970,61 \text{ kgm}$$

Karena penulangan utama pelat pada tumpuan (-) sama dengan pada lapangan (+), maka diambil momen paling kritis yaitu :

$$M_{-(eks)} = 970,61 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1468,1 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 105^2} = 1,1005$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,1005}{390}} \right) = 0,00287$$

Syarat :  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$

$$0,0036 > 0,00287 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,00287 \times 1,3 = 0,0037$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0037 \times 1000 \times 105$$

$$= 392,56 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\phi$ -10

$$As \text{ tulangan} = 0,25 \pi \phi^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 6 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 6 \text{ buah} \times 78,54 = 471 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

$$As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$$

$$As \text{ pakai} = 471 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 392,56 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{6 \text{ buah}} = 166,67 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Syarat spasi maksimum antar tulangan ( SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.4 dan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2 ) diambil yang terkecil diantara :

$$S_{maks} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 3h = 3(130) = 390 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < S_{maks} = 260 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 105 = 398,2 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 105 = 376,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 471 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur  $\emptyset 10 - 150$

- **Penulangan Arah Y**

Penulangan arah Y merupakan tulangan susut. Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 390 MPa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\text{min}}$ ) = 0.018

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000\text{mm} \cdot 95\text{mm} \\ &= 171 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } S_{maks} \leq 5h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 5 \times h = 5 \cdot 130\text{mm} = 650 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

- Jumlah tulangan,  $n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \emptyset 10}} = \frac{171}{78,54} = 2,2 \approx 3 \text{ buah}$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,3 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak  $200\text{mm} < S_{maks} = 450 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol kebutuhan tulangan,

Dipakai tulangan  $\emptyset 10-200$

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{0,25 \pi 10^2 1000}{200} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :  $As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$

$392,69 \text{ mm}^2 > 171 \text{ mm}^2$  (memenuhi)

Jadi Dipakai tulangan susut  $\emptyset 10-200$

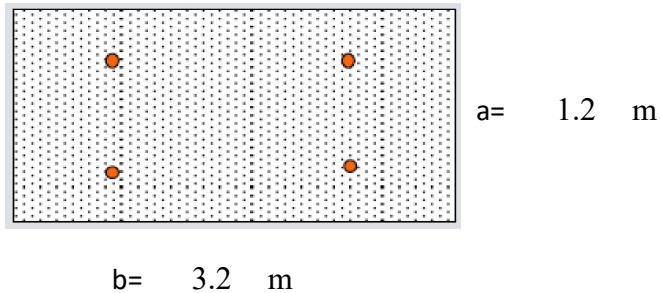
#### 4.2.1.6 Kontrol Tegangan Akibat Pengangkatan

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

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

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa} = 28 \text{ kg/cm}^2$$

Pada saat pengangkatan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat =  $1,2 (0,08 \times 2400) = 230,4 \text{ kg/m}^2$

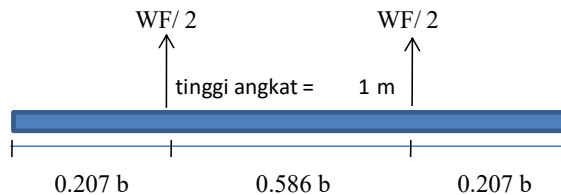


- Tegangan arah Y (panjang)

$$M_y = 0,0107 \times w \times b^2 \times a$$

$$M_y = 0,0107 \times 230,4 \times 3,2^2 \times 1,2 = 30,29 \text{ kgm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan ( $45^\circ$ )



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

$$M_y' = \frac{P x y_c}{\tan \emptyset} = \frac{(w x a x b) x y_c}{\tan \emptyset} = \frac{(230,4 x 3,2 x 1,2) x 0,04}{\tan 45}$$

$$= 35,389 \text{ kgm}$$

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

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

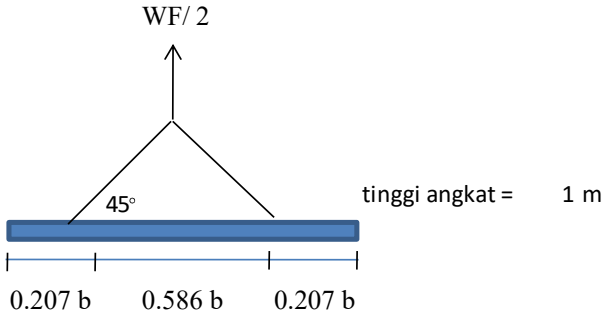
$$= 1,5 (30,29 + 35,39) = 98,52 \text{ kgm} = 9852,42 \text{ kgcm}$$

- Tegangan arah X (pendek)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_x = 0,0107 \times 230,4 \times 1,2^2 \times 3,2 = 11,36 \text{ kgm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan (45°)



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

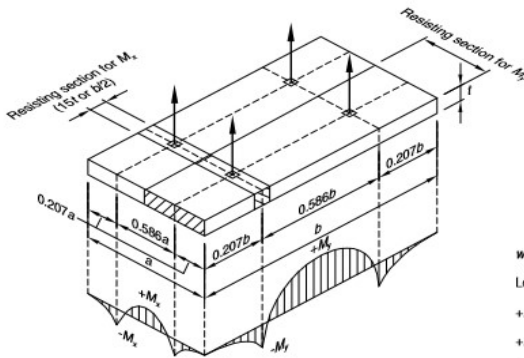
$$M_{x'} = \frac{P \times y_c}{\tan \phi} = \frac{(w \times a \times b) \times y_c}{\tan \phi} = \frac{(230,4 \times 3,2 \times 1,2) \times 0,04}{\tan 45} = 35,389 \text{ kgm}$$

Faktor kejut = 1,5

$M_x \text{ total} = 1,5 (M_x + M_{x'})$

$= 1,5 (11,36 + 35,39) = 70,12 \text{ kgm} = 7012,42 \text{ kgcm}$

- Menghitung momen tahanan



(a) Four-point pick-up maximum moments

$w =$  weight per unit area

Locations shown for equal pick loads

$+M_x = -M_x = 0.0107 w a^2 b$

$+M_y = -M_y = 0.0107 w a b^2$

$M_x$  resisted by a section of width  $1/2$  or  $b/2$ , whichever is less

$M_y$  resisted by a section of width  $a/2$



Sesuai *PCI Design Handbook 7<sup>th</sup> Precast and Prestressed Concrete*,

-Mx ditahan oleh penampang selebar  $15t = 120$  cm atau  $b/2 = 160$  cm, maka ambil terkecil = 120 cm

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

-My ditahan oleh penampang selebar  $a/2 = 60$  cm

$$Wy = \frac{1}{6} x \frac{a}{2} x t^2 = \frac{1}{6} x 60 x 8^2 = 640 \text{ cm}^3$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{Mx. total}{Wx} = \frac{7012,42}{1280} = 5,478 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{My. total}{Wy} = \frac{9852,42}{640} = 15,39 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

#### 4.2.1.7 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan topping cor ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh topping cor ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan stud.

Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Perhitungan stud pelat lantai :

$$\begin{aligned} Cc &= 0,85 \times f'c' \times A_{topping} \\ &= 0,85 \times 35 \text{ MPa} \times 50\text{mm} \times 1000\text{mm} \\ &= 1487500 \text{ N} = 1487,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipakai stud  $\emptyset 8\text{mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,265 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T \\ &= A_s \times f_y < 0,55 A_c \\ &= 50,265 \times 240 < 0,55 \times b_v \times d \\ &= 12,064 \text{ kN} < 0,55 \times 1000 \text{ mm} \times 105 \text{ mm} \\ &= 12,064 \text{ Kn} < 57,75 \text{ kN (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontakya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser  $V_{nh}$  tidak boleh diambil lebih dari  $0,55b_v.d$  dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bilapengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$S_{maks} = 4 \times 60 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$  atau  $S \leq 600 \text{ mm}$   
maka,  $S_{pakai} = 150 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$  (memenuhi)

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3:

$$\begin{aligned} A_{v_{min}} &= 0,062 \sqrt{f'c'} \frac{b_w x s}{f_y} < \frac{0,35 \times b_w \times s}{f_y} \\ &= 0,062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 150}{240} < \frac{0,35 \times 1000 \times 150}{240} \end{aligned}$$

$$= 229 \text{ mm}^2 < 219 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan stud  $\emptyset 8\text{mm} - 150 \text{ mm}$

#### 4.2.1.10 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

- **Pembebanan**

Beban Mati :

$$\begin{aligned} - \text{ Berat Pelat Pracetak} &= 1,2 \times 0,08 \times 2400 = 230,4 \text{ kg/m}^2 \\ - \text{ Stud + Tulangan Angkat} &= 10\% \times 230,4 = \underline{23,04 \text{ kg/m}^2} + \\ & \text{Qd} = 253,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban Hidup :

$$- \text{ P pekerja} = 1,6 \times 200\text{kg} = 320 \text{ kg}$$

- **Menghitung tulangan angkat**

$$\begin{aligned} \text{Beban Ultimate} &= (\text{Qd} \times a \times b) + \text{P pekerja} \\ &= (253,4 \times 1,2 \times 3,2) + 320 = 1293 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4 Terdapat 4 titik Angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar  $45^\circ$  sehingga harus dikalikan faktor  $F = 1,41$

Beban yang diterima 1 titik angkat :

$$P = \frac{1293 \text{ kg}}{4} \times 1,41 = 455,86 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847 -2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (fs) diambil sebesar  $2/3 f_y$ .

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

$$A_s = \frac{P}{f_s} = \frac{455,86 \text{ kg}}{2600 \text{ kg/cm}^2} = 0,175 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat  $\emptyset 10 \text{ mm}$

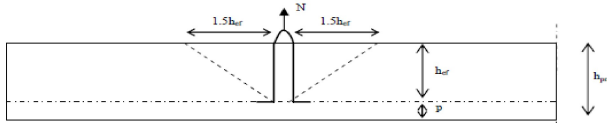
As.pakai =  $78,5 \text{ mm}^2 = 0,785 \text{ cm}^2 > 0,175 \text{ cm}^2$  (Memenuhi)

Jadi dipakai tulangan angkat  $\emptyset 10 \text{ mm}$

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

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{k_c\sqrt{f'_c}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{12930}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 36,28 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 40 mm dari permukaan balok anak pracetak.



**Gambar 29** Pengangkuran Tulangan Angkat Pelat Pracetak

Menurut PCI precast and prestressed concrete 7th figure 6.5.1 panjang tulangan angkat setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (breakout) yang terbesar dari,

$$de = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{40}{\tan 35^\circ} = 57,12 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 40 = 60 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $de = 60 \text{ mm}$

- Menghitung kebutuhan strand  
 $P = 455,86 \text{ kg}$  ( beban 1 titik angkat)

Berdasarkan *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete* tabel design aid 15.3.1 material properties prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

Diameter	= $\frac{1}{4} \text{ in}$	= 6,35 mm
Fpu	= 250 ksi	= 1724 Mpa

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

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

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

Kontrol :  $P < F_{strand}$

$$454,86 \text{ kg} < 1000,9 \text{ kg} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai seven wire strand diameter  $\frac{1}{4}$  in ( $f_{pu}=250\text{ksi}$ )

#### 4.2.1.8 Panjang Penyaluran Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1 dan pasal 12.5.2 :

$$ldh > 8 db = 8 \times 10 \text{ mm} > 80 \text{ mm}$$

$$ldh \geq 150 \text{ mm}$$

$$ldh = \frac{0,24 \times f_y \times \sqrt{f_c'}}{db} = \frac{0,24 \times 390 \times \sqrt{35}}{10} = 55 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar = 250 mm

#### 4.2.1.9 Kontrol Tegangan Saat Penumpukan

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

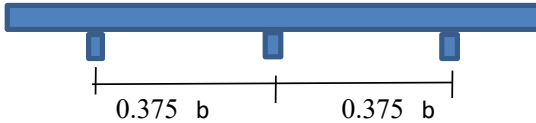
$$f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0,46 \times 35 \text{ Mpa} = 16 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa} = 28 \text{ kg/cm}^2$$

Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

$$Q_d = 1,2 (0,08 \times 1,2 \times 2400) = 276,5 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,6 \times 200 \text{ kg} = 320 \text{ kg} \\
 W &= 1/6 \times a \times t^2 \\
 &= 1/6 \times 120 \times 8^2 = 1280 \text{ cm}^3 \\
 L &= 0,375 b = 0,375 \times 3,2\text{m} = 1,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 M. lap &= \left( \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times L) \\
 &= \left( \frac{1}{10} \times 276,5 \times 1,2^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 1,2) = 135,8 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. lap = 135,8 \times 1,5 = 203,7 \text{ kgm} = 20371,96 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}
 M. tump &= \left( \frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left( \frac{1}{8} \times 276,5 \times 1,2^2 \right) = 22,12 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. tump = 22,12 \times 1,5 = 33,18 \text{ kgm} = 3317,76 \text{ kgcm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{M. lap}{W} = \frac{20371,96}{1280} = 16 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M. tump}{W} = \frac{9852,42}{1280} = 3 \text{ kg/cm}^2 < f_r = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

- Kontrol Jumlah Penumpukan

Digunakan penyangga dari balok kayu 5/10

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang kontak, } A &= 0,05 \times 3 \text{ balok kayu} = 0,15 \text{ m}^2 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 1,2 (0,08\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 1,2\text{m} \times 3,2\text{m}) + 1,6 (200 \text{ kg}) \\ &= 1204,7 \text{ kg} = 12047 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f = \frac{P}{A} = \frac{12047}{150000} = 0,08 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jumlah penumpukan} = \frac{fr}{f \times SF} = \frac{2,8}{0,08 \times 3} = 10 \text{ tumpukan}$$

#### 4.2.1.10 Kontrol Tegangan Saat Pemasangan

Pemasangan pelat pracetak dilakukan dengan 3 tumpuan pada saat umur 28 hari

$$fr = 0,7 \sqrt{fci} = 0,7 \times \sqrt{35} = 4,14 \text{ Mpa} = 41,4 \text{ kg/cm}^2$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban =1,2 sehingga berat sendiri pelat

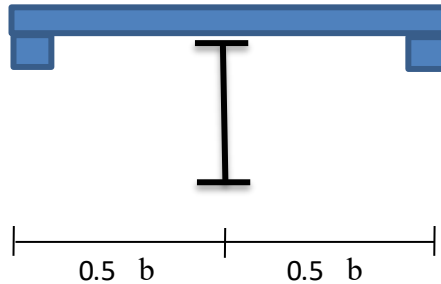
$$Qd = 1,2 (0,08 \times 1,2 \times 2400) = 276,5 \text{ kg/m}$$

$$Pu = 1,6 \times 200 \text{ kg} = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times a \times t^2$$

$$= 1/6 \times 120 \times 8^2 = 1280 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,5 b = 0,5 \times 3,2\text{m} = 1,6 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$\begin{aligned}
 M. lap &= \left( \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\
 &= \left( \frac{1}{10} \times 276,5 \times 1,6^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 1,6) = 198,8 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. lap = 198,8 \times 1,5 = 298,2 \text{ kgm} = 29816,83 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}
 M. tump &= \left( \frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left( \frac{1}{8} \times 276,5 \times 1,6^2 \right) = 88,47 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. tump = 88,47 \times 1,5 = 132,7 \text{ kgm} = 13271,04 \text{ kgcm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{M. lap}{W} = \frac{29816,83}{1280} = 23,29 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M. tump}{W} = \frac{13271,04}{1280} = 10,37 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)



#### 4.2.1.11 Kontrol Tegangan Saat Pengecoran

Pengecoran pelat pracetak dilakukan dengan 3 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,70 \times 35 \text{ Mpa} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa} = 35 \text{ kg/cm}^2$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

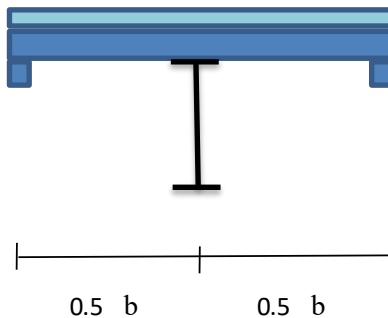
$$Q_d = 1,2 (0,13 \times 1,2 \times 2400) = 1198 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 200 \text{ kg} = 320 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times a \times t^2$$

$$= 1/6 \times 120 \times 13^2 = 9013 \text{ cm}^3$$

$$L = 0,5 b = 0,5 \times 3,2 \text{ m} = 1,6 \text{ m}$$



$$M_{lap} = \left( \frac{1}{10} \times Q_d \times L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times L)$$

$$= \left( \frac{1}{10} \times 1988 \times 1,6^2 \right) + (0,25 \times 320 \times 1,6) = 456,5 \text{ kgm}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. lap = 456,5 \times 1,5 = 684,7 \text{ kgm} = 68470,27 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned} M. tump &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times L^2\right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1988 \times 1,6^2\right) = 383,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. tump = 383,4 \times 1,5 = 575,1 \text{ kgm} = 57507,84 \text{ kgcm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{M. lap}{W} = \frac{68470,27}{9013} = 7,59 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M. tump}{W} = \frac{57507,84}{9013} = 6,38 \text{ kg/cm}^2 < fr = 28 \text{ kg/cm}^2$$

(memenuhi)

#### 4.2.1.12 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang digunakan lebih besar dari tebal pelat minimum seperti yang disyaratkan SNI 2847:2013 tabel 9.5(a) sehingga tidak perlu menghitung lendutan.

#### 4.2.1.13 Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

**Tabel 9** Tulangan Terpasang Pada Pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	Ly(m)	Lx(m)	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)			
S1	7,2	2,8	Ø10 – 150	Ø10 – 300	Ø8 – 150	250	Ø 10
S2	7,2	3,6	Ø10 – 150	Ø10 – 300	Ø8 – 150	250	Ø 10
S3	8,4	2,5	Ø10 – 150	Ø10 – 300	Ø8 – 150	250	Ø 10
S4	6	2,8	Ø10 – 150	Ø10 – 300	Ø8 – 150	250	Ø 10
S5	6	2,5	Ø10 – 150	Ø10 – 300	Ø8 – 150	250	Ø 10

### 4.2.2 Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakkannya

Dalam perencanaan ini tangga diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya – gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi – sendi , sendi – jepit, sendi – rol.

Tangga Gedung Dokter Gigi ini akan dimodelkan sebagai frame statis tak tentu (penyeleseain dengan cara cross) dengan kondisi perletakan berupa sendi (diletakan pada ujung bordes) dan jepit (diletakkan pada ujung sloof ato balok induk)

- Data – data perencanaan

Panjang datar tangga	: 600 cm
Tinggi tangga	: 420 cm
Tinggi plat bordes	: 210 cm
Tebal plat tangga	: 15 cm
Tebal plat bordes	: 15 cm
Lebar injakan (i)	: 30 cm
Tinggi tanjakan (t)	: 17,5 cm

#### 4.2.2.1 Pembebanan Tangga

- Berat pelat anak tangga

Beban mati (DL) (Brosur)

$$\text{Berat pelat (15 cm)} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat anak tangga} = 0,1007 \times 2400 = 242 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik} = 20,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Spesi} = 5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pegangan} = 1,8 \times 2,57 = \underline{4.6 \text{ kg/m}^2}$$

$$q \text{ DL} = 632 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup(LL)

$$\text{Beban hidup tangga} = 479 \text{ kg/m}^2$$

- Berat pelat bordes

Beban mati (DL)

$$\text{Berat pelat (15 cm)} = 0.15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik} = 20,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Spesi} = 5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pegangan} = 1,8 \times 2,57 = \underline{4,6 \text{ kg/m}^2}$$

$$q \text{ DL} = 390 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup (LL)

$$\text{Beban hidup bordes} = 479 \text{ kg/m}^2$$

- Beban ultimate

Untuk tangga

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

$$= 1,2 (632 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1524 \text{ kg/m}^2$$

Untuk bordes

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

$$= 1,2 (390 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1235 \text{ kg/m}^2$$

- Beban merata (Q)

$$Q_{\text{tangga}} = 1524 \text{ kg/m}^2 \times \text{Lebar tangga}$$

$$= 1524 \text{ kg/m}^2 \times 1,8 \text{ m}$$

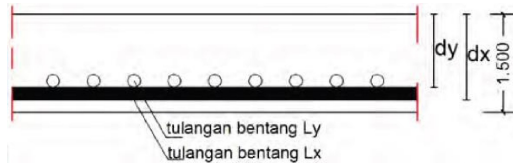
$$= 2745 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{bordes}} &= 1234 \text{ kg/m}^2 \times \text{Lebar bordes} \\
 &= 1235 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} \\
 &= 1482 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2.2 Penulangan Tangga

Dalam contoh perhitungan penulangan plat ini, tipe tangga yang digunakan adalah tangga penghubung lantai 1 dengan lantai 2. Adapun data-data, gambar denah tipe plat dan perhitungan penulangan plat tangga adalah sebagai berikut:

Mutu beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 390 Mpa
$\beta$	: 0,85
Tebal plat	: 15 cm
Tebal selimut beton	: 20 cm
Diameter tulangan lentur	: 16 mm
Diameter tulangan susut	: 10 mm
BJ beton	: 2400 kg/m <sup>3</sup>

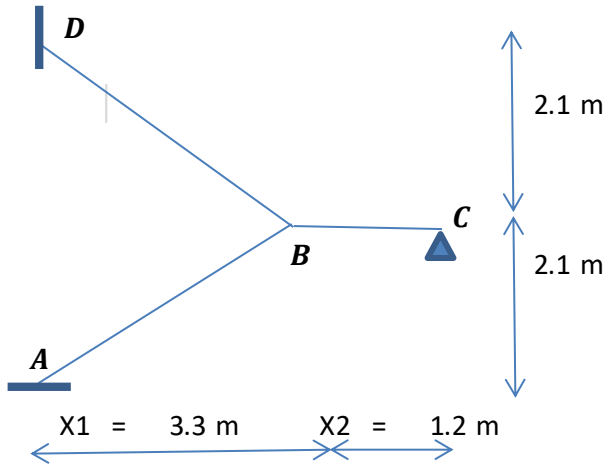


Tebal manfaat pelat:

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}) \\
 &= 123,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm}) \\
 &= 110,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Q_1 = 2744.6 \text{ kg/m} \quad Q_2 = 1481.5 \text{ kg/m}$$



**Gambar 30** Distribusi Gaya Pada Permodelan Tangga 2D  
Panjang miring tangga = 3,91 m

- **Penyelesaian cross**

$$\begin{aligned} \mu_{BC} : \mu_{BA} : \mu_{BD} &= \frac{3EI}{1,2} : \frac{4EI}{3,91} : \frac{4EI}{3,91} \\ &= 2,5EI : 1,02EI : 1,02EI \end{aligned}$$

$$\mu_{BC} = \frac{2,5EI}{2,5EI + 1,02EI + 1,02EI} = 0,55$$

$$\mu_{BA} = \mu_{BD} = \frac{1,02EI}{2,5EI + 1,02EI + 1,02EI} = 0,22$$

$$\text{Kontrol : } \mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BD} = 1 \quad (\text{ok})$$

- **Momen Primair**

$$MF_{BA} = -1/12 \cdot 2745 \cdot 3,3^2 = -2491 \text{ kgm}$$






$$MF_{AB} = 2491 \text{ kgm}$$

$$MF_{BC} = +1/8 \cdot 1482 \cdot 1,2^2 = 267 \text{ kgm}$$

$$MF_{BD} = -1/12 \cdot 2745 \cdot 3,3^2 = -2491 \text{ kgm}$$

$$MF_{DB} = 2491 \text{ kgm}$$

**Tabel 10** Tabel Cross

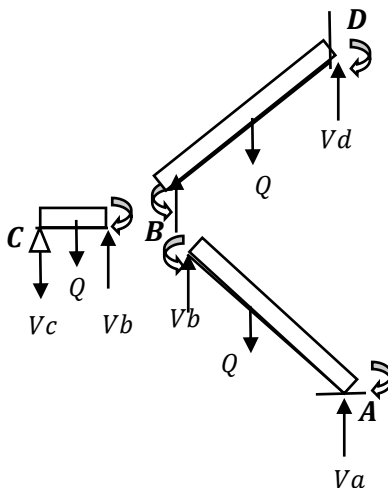
Titik Batang	B			D	A
	BC	BA	BD	DB	AB
FD	-0,55	-0.22	-0.22	0	0
MF	267	-2491	-2491	2491	2491
MD	2593	1037	1037	0	0
MI	0	0	0	519	519
MD	0	0	0	0	0
M.akhir	2860	-1454	-1454	3010	3010
Gbr Momen					

Kontrol momen di akhir

$$M_{.BC} + M_{.BA} + M_{.BD} = 0$$

$$2860 - 1454 - 1454 = 0 \text{ (OK)}$$

- **Free Body Diagram**





**Batang BD**

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 && \text{misal } V_D \uparrow \\ V_D \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{(BD)} - M_{(DB)} &= 0 \\ V_D \cdot 3,3\text{m} - \frac{1}{2} \cdot 2745 \text{ kg/m} \cdot (3,3\text{m})^2 + 1454 \text{ kgm} - 3010\text{kgm} &= 0 \\ V_D &= 5000 \text{ kg} \uparrow \\ V_B = -V_D + Q &= -5000 + (2745 \times 3,3) = 4058 \text{ kg} \uparrow \end{aligned}$$

**Batang BA**

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 && \text{misal } V_A \uparrow \\ V_A \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{(BA)} - M_{(AB)} &= 0 \\ V_A \cdot 3,3\text{m} - \frac{1}{2} \cdot 2745 \text{ kg/m} \cdot (3,3\text{m})^2 + 1454 \text{ kgm} - 3010\text{kgm} &= 0 \\ V_A &= 5000\text{kg} \uparrow \\ V_B = -V_A + Q &= -5000 + (2745 \times 3,3) = 4058 \text{ kg} \uparrow \end{aligned}$$

**Batang BC**

Untuk reaksi VB pada batang BC dapat diambil dari reaksi penjumlahan antara reaksi VB di batang BC dan VB di batang B. Karena pada titik B bukan merupakan perletakan.

Maka kontrol  $\Sigma V$  pada titik B = 0

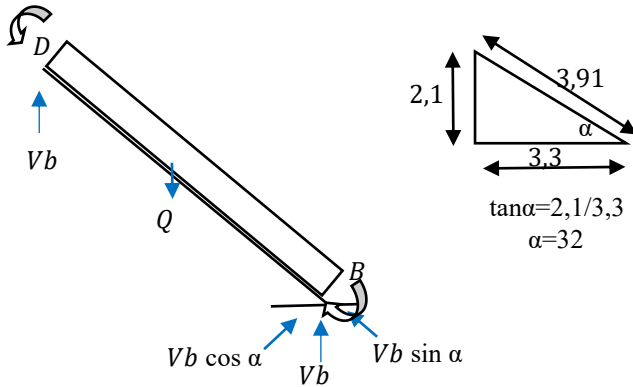
$$\Sigma V_b = 0$$

$$V_b.BA + V_b.BC + V_b.BD = 0$$

$$4058 \text{ kg} + V_b.BC + 4058 \text{ kg} = 0$$

$$V_b.BC = 8116 \text{ kg} \downarrow$$

$$\text{Maka reaksi } V_c = V_b + Q = 8116 + (1482 \times 1,2) = 9894 \text{ kg}$$

**Mmax Batang BD**

$$N_{DB} = -V_b \sin(32) = -4058 \text{ kg} \sin(32) = -2150 \text{ kg}$$

$$D_{BD} = V_b \cos(32) = 4058 \text{ kg} \cos(32) = -3441 \text{ kg}$$

$$D_{DB} = V_d \cos(32) = 5000 \text{ kg} \cos(32) = 4240 \text{ kg}$$

Lihat kanan potongan

$$N_x = -2150 \text{ kg}$$

$$X_2 = 0$$

$$X_2 = 3,3$$

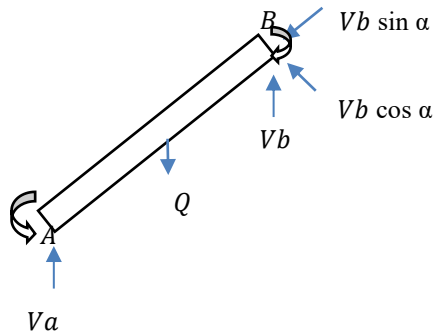
$$D_x = 0 \quad (\text{titik B dianggap } 0)$$

$$-V_b \cos(32) + 2745 \text{ kg/m} (X) = 0$$

$$X = 3441 / 2745 = 1,25 \text{ m (dari titik B)}$$

$$\begin{aligned} M(x) &= V_b \cos(30,2) X - 1/2 Q^2 (X)^2 - M_{(BD)} + M_{(DB)} \\ &= -3441 (1,25) - 1/2 \cdot 2745 (1,25)^2 - 1454 + 4370 \\ &= -3530 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{\max} = -3530 \text{ kgm}$$

**Mmax Batang BA**

$$N_{BA} = V_b \sin(32) = 4058 \text{ kg} \sin(32) = 2150 \text{ kg}$$

$$D_{BA} = -V_b \cos(32) = -4058 \text{ kg} \cos(32) = -3441 \text{ kg}$$

$$D_{AB} = V_a \cos(32) = 5000 \text{ kg} \cos(32) = 4240 \text{ kg}$$

Lihat kanan potongan

$$N_x = -2150 \text{ kg}$$

$$X = 0$$

$$X = 3,3$$

$$D_x = 0 \quad (\text{titik B dianggap } 0)$$

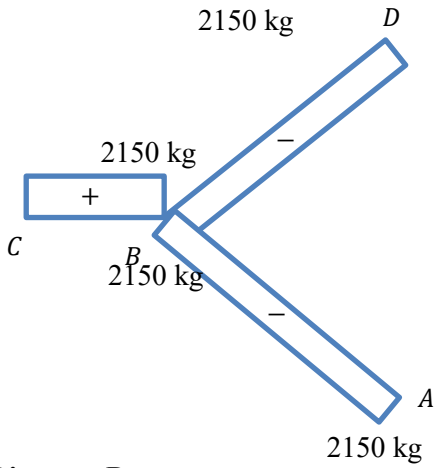
$$-V_b \cos(32) + 2745 \text{ kg/m} (X) = 0$$

$$X = 3441 / 2745 = 1,25 \text{ m (dari titik B)}$$

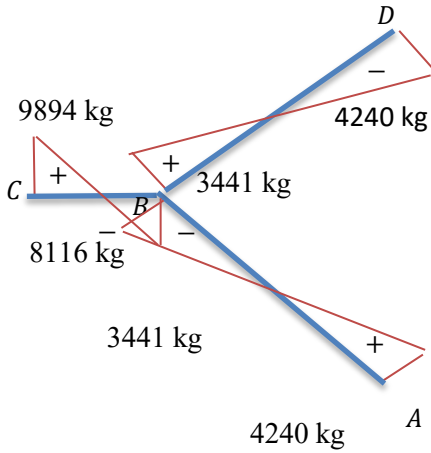
$$\begin{aligned} M(x) &= V_b \cos(32) X - 1/2 Q X^2 - M_{(BD)} + M_{(DB)} \\ &= 3441 (1,25) - 1/2 \cdot 2745 (1,25)^2 - 1454 + 4370 \\ &= -3530 \text{ kgm} \end{aligned}$$

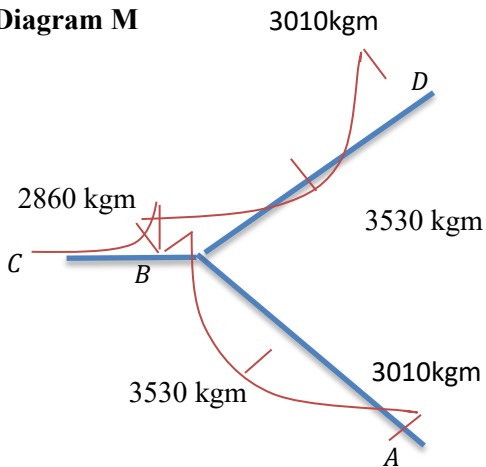
$$M_{\max} = -3530 \text{ kgm}$$

**Diagram N**



**Diagram D**



**Diagram M**

Maka diambil momen paling kritis:

momen tangga = 3530 kgm

momen bordes = 3010 kgm

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

### 1. Penulangan Pelat Tangga

- **Tulangan Arah Y (Memanjang Pelat)**

$$M_u = 3530 \text{ kgm} = 3530 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3530 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 123,5^2} = 2,89 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,89}{390}} \right) \\ = 0,0078$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0036 < 0,0078 < 0,027 \text{ (Memenuhi)}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \\ = 0,0078 \times 1000 \times 123,5 \\ = 965 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset$ -13

$$A_s \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 133 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 8 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pakai} = 8 \text{ buah} \times 133 = 1061 \text{ mm}^2$$

- Kontrol kebutuhan tulangan,

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$A_s \text{ pakai} = 1061 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 965 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

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

Syarat spasi maksimum antar tulangan ( SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.4 dan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2 ) diambil yang terkecil diantara :

$$S_{\max} = 2h = 2(150) = 300 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 3h = 3(150) = 450 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} < S_{maks} = 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 123,5 = 462,7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 123,5 = 437,9 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1607 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur  $\emptyset 13 - 125$

- **Tulangan Arah X (Melintang Pelat)**

Penulangan arah X merupakan tulangan susut. Menurut *SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 390 MPa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0.018

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123,5 \text{ mm} \\ &= 222 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } S_{maks} \leq 5h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 5 \times h = 5 \cdot 150 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

- Jumlah tulangan,  $n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \emptyset 10} = \frac{222}{78,54} = 2,82 \approx 3 \text{ buah}$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,33 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak  $250 \text{ mm} < S_{maks} = 450 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol kebutuhan tulangan,

Dipakai tulangan  $\emptyset 10-250$

$$As \text{ pakai} = \frac{0,25 \pi 10^2 1000}{250}$$

$$= 314,15$$

Syarat :  $As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$

$$314,15 \text{ mm}^2 > 222 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi Dipakai tulangan susut  $\emptyset 10-250$

## 2. Penulangan Pelat Bordes

- Tulangan Arah Y (Memanjang Pelat)

$$Mu = 3010 \text{ kgm} = 3010 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset b d^2} = \frac{3010 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 123,5^2} = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,46}{390}} \right)$$

$$= 0,006$$

Syarat :  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$

$$0,0036 < 0,006 < 0,024 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,006 \times 1000 \times 123,5$$

$$= 817 \text{ mm}^2$$

- Dicoba tulangan  $\emptyset-13$

$$As \text{ tulangan} = 0,25 \pi \emptyset^2 = 133 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan = 8 buah

$$As \text{ pakai} = 8 \text{ buah} \times 133 = 1061 \text{ mm}^2$$



- Kontrol kebutuhan tulangan,

As pakai > As perlu

As pakai =  $1061 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 817 \text{ mm}^2$  (Memenuhi)

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

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

Syarat spasi maksimum antar tulangan ( SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.4 dan SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2 ) diambil yang terkecil diantara :

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(150) = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 3h = 3(150) = 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 1000 \times 123,5 = 462,7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = \frac{1,4}{390} 1000 \times 123,5 = 437,9 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1607 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai Tulangan lentur  $\emptyset 13 - 125$

- **Tulangan Arah X (Melintang Pelat)**

Penulangan arah X merupakan tulangan susut. Menurut *SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 390 MPa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\text{min}}$ ) = 0.018

$$A_{\text{perlu}} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$$

$$= 0,0018 \cdot 1000\text{mm} \cdot 123,5 \text{ mm}$$

$$= 222 \text{ mm}^2$$

Syarat :  $Smaks \leq 5h$  atau  $Smaks \leq 450 \text{ mm}$

$$Smaks = 5 \times h = 5 \cdot 150\text{mm} = 750 \text{ mm}$$

$$Smaks = 450 \text{ mm}$$

- Jumlah tulangan,  $n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ } \emptyset 10} = \frac{222}{78,54} = 2,82 \approx 3 \text{ buah}$

- Jarak antar tulangan yang dibutuhkan :

$$S = \frac{1000}{3 \text{ buah}} = 333,33 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak  $250\text{mm} < Smaks = 450 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol kebutuhan tulangan,

Dipakai tulangan  $\emptyset 10-250$

$$As \text{ pakai} = \frac{0,25 \pi 10^2 1000}{250}$$

$$= 314,15$$

Syarat :  $As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$

$$314,15 \text{ mm}^2 > 222 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi Dipakai tulangan susut  $\emptyset 10-250$

#### 4.2.2.3 Penulangan Balok Bordes

- Perencanaan dimensi balok bordes

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

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

Jadi dipakai dimensi balok bordes 30/40

- Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

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

$$\begin{aligned} \text{Berat Dinding} &= 2,1 \times 86,25 = \underline{182,7 \text{ kg/m}} + \\ &= 470,7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Qult} = 1,2 \times 470,7 = 564,84 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pelat Bordes} &= 9894 / 3,6 = \underline{2748 \text{ kg/m}} + \\ &\text{Qu} = 3312 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap(-)} &= \frac{1}{16} \times Qu \times L^2 = \frac{1}{16} \times 3312 \times 3,6^2 \\ &= 2683 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u_{total}} &= \frac{1}{2} \times Qu \times L = \frac{1}{2} \times 3312 \times 3,6 \\ &= 5961 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan:

Diameter sengkang = 10 mm

Diameter tulangan utama = 16 mm

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

**a) Tulangan Lapangan**

$$Mu = 2683 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{2683 \times 10000}{0,8 \times 1000 \times 342^2} = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,369}{390}} \right) = 0,0024$$

$$\text{Syarat : } \rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max} \\ 0,0036 > 0,0024 < 0,024$$

Sesuai *SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)* sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0024 \times 1,3 = 0,0032$

$$As = \rho \cdot b \cdot d \\ = 0,0032 \times 300 \times 342 \\ = 332 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{332}{0,25 \pi 16^2} = 1,65 \approx 3 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 3 \times (0,25 \pi \times 16^2) = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 402,12 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 332 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$As \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 342 = 389,09 \text{ mm}^2$$

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

$$As_{\text{pakai}} = 603 \text{ mm}^2 > As_{\min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan tumpuan atas 3D16

Tulangan tumpuan bawah diambil 0,5 dari tulangan atas = 2D16

### b) Tulangan Geser

$$V_u = 59610 \text{ N}$$

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

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

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

$$\theta V_c = 75873 \text{ N} < V_u = 59610 \text{ N} < 0,5 \theta V_c = 37937 \text{ N}$$

kondisi diatas tidak perlu tulangan geser sehingga dipasang tulangan geser minimum. Batas spasi tulangan geser menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1:

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

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

Di coba jarak  $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$  dengan mutu baja ( $f_y = 240 \text{ mm}$ )

Cek syarat minimum tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.3

$$As_{\min} = \frac{0,062 \sqrt{f_c'}}{F_y} b_w s = \frac{0,25 \sqrt{35}}{240} 300 \times 200 = 91,7 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{0,35}{F_y} b_w s = \frac{0,35}{240} 300 \cdot 200 = 87,5 \text{ mm}^2$$

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

Jadi di pakai jarak  $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

### 4.2.3 Perencanaan Balok Anak

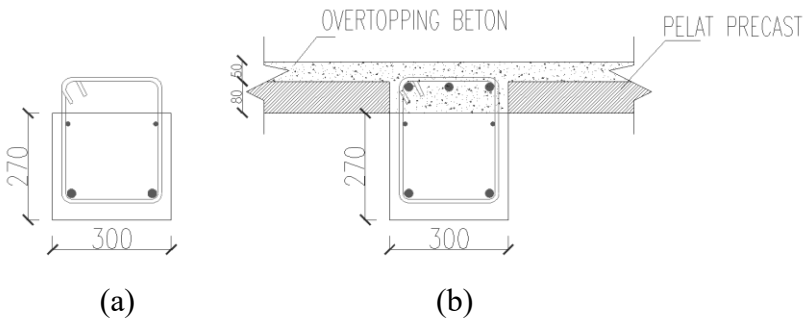
Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada dibalok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

#### 4.2.3.1 Data Perencanaan

- Dimensi Balok Anak = 30 x 40 cm
- Tebal decking = 50 mm
- Tulangan Lentur = D19 mm
- Mutu Baja ( $f_y$ ) = 390 Mpa
- Mutu Beton ( $f_c'$ ) = 350 Mpa
- Tulangan Geser =  $\emptyset 10$

Dalam perhitungan bab ini akan direncanakan dalam tiga tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit, penulangan saat pengangkatan, dan penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara ketiga keadaan tersebut.

Bedasarkan kondisi tersebut maka terdapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit

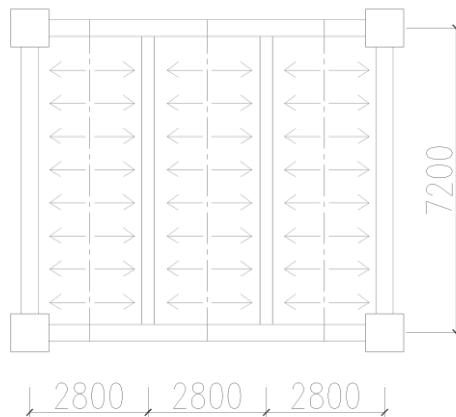


**Gambar 31** (a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) dimensi balok anak sesudah komposit

#### 4.2.3.2 Pembebanan Balok Anak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat).

Distribusi pembebanan sebelum komposit merupakan pelat satu arah, dengan demikian beban yang terjadi adalah persegi panjang yaitu terbagi menjadi dua.



**Gambar 32** Distribusi Beban pada Balok Anak 30/40

$$L_x = 280 - (30/2 + 40/2) = 245 \text{ cm}$$

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

Berdasarkan SNI 7833 – 2012 Gambar R4.6.2

$$\begin{aligned} \text{Panjang Landasan} &= \frac{ln}{180} \geq 75\text{mm} \\ &= \frac{6800}{180} = 37,77 \leq 75\text{mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang landasan 75 mm

$$\begin{aligned} \text{Jadi, panjang balok pracetak} &= 680 \text{ cm} + (7,5 \times 2) \times 120 \text{ cm} \\ &= 695 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Sebelum Komposit

Pada kondisi ini topping terpasang namun belum berkomposit serta orang yang bekerja dan peralatannya.

Beban Mati (DL)

$$\text{Berat balok precast} = 0,3 \times 0,27 \times 2400 = 194 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pelat pecast} = 0,13 \times 2,45 \times 2400 = \underline{764 \text{ kg/m}} +$$

$$\text{DL} = 958 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban Pekerja dan peralatan} \quad \text{LL} = 200 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban Ultimate

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

$$= 1,2 (958) + 1,6 (200) = 1350 \text{ kg/m}$$

- Sesudah Komposit

Pada kondisi ini topping terpasang telah berkomposit serta beban layan hunian dan beban merata yang terjadi dipelat telah bekerja

Beban Mati (DL)

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

$$\text{Berat pelat pecast} = 0,13 \times 2,45 \times 2400 = 764 \text{ kg/m}$$

$$\text{Penggantung + Plafond} = 6,5 \times 2,45 = 15,92 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 20,5 \times 2,45 = 50,23 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + mekanikal} = 19 \times 2,45 = 46,55 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 5 \times 2,45 = \underline{12,25 \text{ kg/m}^2} +$$

$$\text{DL} = 1177 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban Kerja} = 287 = 287 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban Partisi} = 72 = \underline{72 \text{ kg/m}^2} +$$

$$\text{LL} = 359 \text{ kg/m}^2$$



Kombinasi Beban Ultimate

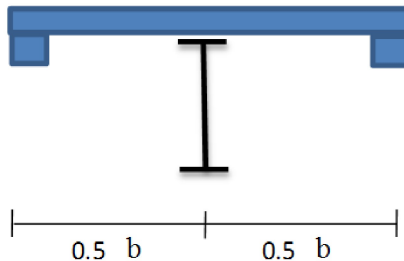
$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (1177) + 1,6 (359) = 1771 \text{ kg/m}$$

#### 4.2.3.3 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 03-28472013 pasal 8.3.3.

- Momen Sebelum Komposit



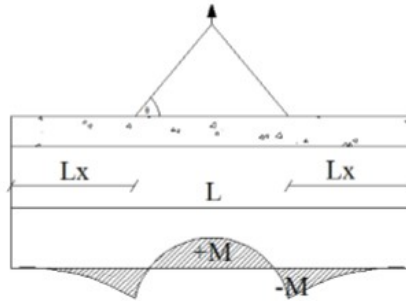
Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$M_{+(lap)} = \frac{1}{16} \times Q_u \times (0,5Lx)^2 = \frac{1}{16} \times 1350 \times 0,5.6,8^2 = 976 \text{ kgm}$$

$$M_{+(tump)} = \frac{1}{10} \times Q_u \times (0,5Lx)^2 = \frac{1}{10} \times 1350 \times 0,5.6,8^2 = 1562 \text{ kg}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times Q_u \times Lx = \frac{1}{2} \times 1350 \times 3,4 = 2296 \text{ kg}$$

- Momen Saat Pengangkatan



**Gambar 33** Momen Saat Pengangkatan Balok Anak

$$M_{+(lap)} = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Yc}{L \times tg\phi} \right) \times 1,5$$

$$M_{-(tump)} = \frac{WX^2L^2}{2} \times 1,5$$

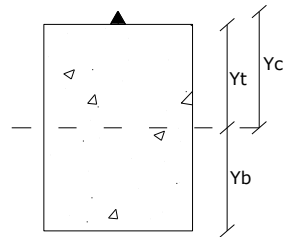
$$X = \frac{1 + \frac{4Yc}{L \times tg\phi}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Yt}{Yb} \left( 1 + \frac{4Yc}{L \times tg\phi} \right)} \right)}$$

Kondisi sebelum komposit :

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

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

$$L = 695 \text{ cm}$$

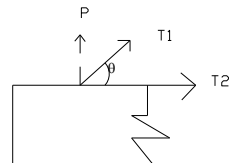


Perhitungan:

$$Yt = Yb = \frac{27}{2} = 14 \text{ cm}$$

$$Yc = Yt + 5 = 19 \text{ cm}$$

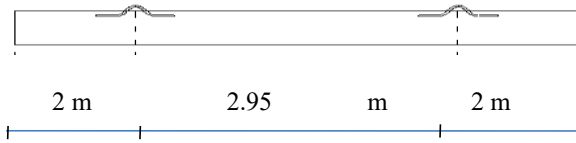
$$\text{Sudut Pengangkatan } (\phi) = 45^\circ$$



$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 24}{720 \times tg45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{14}{14} \left( 1 + \frac{4 \times 19}{695 \times tg45^\circ} \right)} \right)} = 0,222$$

$$X \times L = 0.222 \times 695 = 155 \text{ cm} = 2 \text{ m}$$

$$L - 2x(X \times L) = 6,95 \text{ m} - 2(2\text{m}) = 2,95 \text{ m}$$



**Gambar 34** Letak titik Pengangkatan Balok anak  
Beban yang bekerja pada balok anak pada waktu pengangkatan :

$$\text{Berat sendiri} = 0.3 \times 0.27 \times 2400 = 194 \text{ kg/m}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat pengangkatan sebesar 1.5 :

$$\begin{aligned} M_{+(lap)} &= \frac{194 \times 6,95^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,221 + \frac{4 \times 19}{6,95 \times \text{tg}45^\circ} \right) \times 1,5 \\ &= 382 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{-(tump)} = \frac{194 \times 0,222^2 \times 6,95^2}{2} \times 1,5 = 349 \text{ kgm}$$

- Momen Sesudah Komposit

$$M_{-(lap)} = \frac{1}{8} \times Qu \times Lx^2 = \frac{1}{8} \times 1771 \times 6,8^2 = 10241 \text{ kgm}$$

$$M_{+(tump)} = \frac{1}{10} \times Qu \times Lx^2 = \frac{1}{10} \times 1771 \times 6,8^2 = 8193 \text{ kgm}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times Qu \times Lx = \frac{1}{8} \times 1858 \times 6,8 = 6024 \text{ kg}$$

#### 4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Balok Anak

Untuk mutu beton  $f'c = 35$  MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c - 28) \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) \geq 0,65 = 0,80$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

#### 1. Penulangan Balok Anak Sebelum Komposit

- Tulangan Lentur Lapangan

$$d = 270 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (10) = 205 \text{ mm}$$

$$Mu = 976 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{976 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 205^2} = 0,967 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,967}{390}} \right) = 0,0025$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

0,0036 > 0,0025 < 0,0277 (Tidak Memenuhi)

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,0025 \times 1,3 = 0,0032$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0032 \times 300 \times 205 \\ &= 201 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{208}{0,25 \pi 10^2} = 2,5 \approx 3 \text{ buah}$$

$$A_{spakai} = 3 \times (0,25\pi \times 10^2) = 236 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 236 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 201 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 205 = 233,3 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 300 \times 205 = 220 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 236 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 3D10

- **Tulangan Lentur Tumpuan**

$$d = 270 - 50 - 10^{-1/2} (10) = 205 \text{ mm}$$

$$M_u = 1561 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1561 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 205^2} = 1,548 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,548}{390}} \right)$$

$$= 0,004$$

Syarat :  $\rho \min < \rho < \rho \max$

$$0,0036 < 0,004 < 0,0277 \quad (\text{Memenuhi})$$

$As = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,004 \times 300 \times 205$$

$$= 250,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{250,8}{0,25 \pi 10^2} = 3,1 \approx 4 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 4 \times (0,25\pi \times 10^2) = 314 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 314 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 250,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$As \min = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 205 = 233,3 \text{ mm}^2$$

$$As \min = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 300 \times 205 = 220,7 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 236 \text{ mm}^2 > As \min \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 4D10

- **Tulangan Geser**

$$V_u = 22959 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times (\sqrt{f_c'} \times b_w \times d) = \frac{1}{6} \times (\sqrt{35} \times 300 \times 205) = 60640 \text{ N}$$

$$\theta V_c = 0,75 \times 60640 \text{ N} = 45479 \text{ N}$$

$$0,5 \theta V_c = 0,5 \times 45479 = 22739 \text{ N}$$

$$\theta V_c = 45479 \text{ N} > V_u = 22959 \text{ N} > 0,5 \theta V_c = 22739 \text{ N}$$

kondisi diatas cukup dipasang tulangan geser minimum.

Di coba jarak 2 kaki  $\emptyset 10 - 200$  mm ( $A_s=157$  mm<sup>2</sup>) dengan mutu baja ( $f_y = 240$  mm)

Cek syarat minimum tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.3

$$A_s \text{ min} = \frac{0,062 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w s = \frac{0,25 \sqrt{35}}{240} 300 \times 200 = 91,7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{0,35}{F_y} b_w s = \frac{0,35}{240} 300 \cdot 200 = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 157 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi di pakai jarak  $\emptyset 10 - 200$  mm

## 2. Penulangan Balok Anak Saat Pengangkatan

### • Tulangan Lentur Lapangan

$$d = 270 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (10) = 205 \text{ mm}$$

$$M_u = 382 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\emptyset b d^2} = \frac{382 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 205^2} = 0,379 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,379}{390}} \right) = 0,0009$$

$$\text{Syarat : } \rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$$

$$0,0036 > 0,0009 < 0,0277 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% , \rho = 0,0009 \times 1,3 = 0,0012$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0012 \times 300 \times 205$$

$$= 78,14 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{78,14}{0,25 \pi 10^2} = 0,9 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Aspakai} = 2 \times (0,25\pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = 157,08 \text{ mm}^2 > \text{Asperlu} = 78,14 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 2D10

- **Tulangan Lentur Tumpuan**

$$d = 270 - 50 - 10 - \frac{1}{2}(10) = 205 \text{ mm}$$

$$\text{Mu} = 349 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{\text{Mu}}{\phi b d^2} = \frac{349 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 205^2} = 0,346 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,346}{390}} \right)$$

$$= 0,0008$$

$$\text{Syarat : } \rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$$

$$0,0036 > 0,0009 < 0,0277 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\% , \rho = 0,0008 \times 1,3 = 0,0011$$

$$\text{As} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0011 \times 300 \times 205$$

$$= 71,35 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} = \frac{71,35}{0,25 \pi 10^2} = 0,9 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Aspakai} = 2 \times (0,25\pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$$



$$As \text{ pakai} = 157,08 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 78,14 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 2D10

### 3. Penulangan Balok Anak Sesudah Komposit

- **Tulangan Lentur Tumpuan**

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(19) = 331 \text{ mm}$$

$$Mu = 8193 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{8193 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 331^2} = 3.125 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 3,125}{390}} \right) = 0,008$$

$$\text{Syarat : } \rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$$

$$0,0036 < 0,008 < 0,0277 \text{ (Memenuhi)}$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,008 \times 300 \times 331$$

$$= 841 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{846}{0,25\pi 19^2} = 2,9 \approx 3 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 3 \times (0,25\pi \times 19^2) = 850 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 850 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 841 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$As \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{fc}}{Fy} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 331 = 376 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min} = \frac{1,4}{Fy} b_w d = 300 \times 331 = 356 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 850 \text{ mm}^2 > As \text{ min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan tarik 3D19

Untuk tulangan tekan diambil 0,5 tulangan tarik : 2D19

- **Tulangan Lentur Lapangan**

$$d = 400 - 50 - 10 - \frac{1}{2}(19) = 331 \text{ mm}$$

$$M_u = 10241 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{10241 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 331^2} = 3,907 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 3,907}{390}} \right) = 0,011$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 > 0,011 < 0,0277 \text{ (Memenuhi)}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,011 \times 300 \times 331$$

$$= 1069 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1069}{0,25 \pi 19^2} = 3,7 \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{spakai} = 4 \times (0,25 \pi \times 19^2) = 1134 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1134 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 1069 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 331 = 376 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 300 \times 331 = 356 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1140 \text{ mm}^2 > A_{s \min} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan tarik 4D19

Untuk tulangan tekan diambil 0,5 tulangan tarik : 2D19

- **Tulangan Geser**

$$V_u = 60241 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} x (\sqrt{f_c'} x b_w x d) = \frac{1}{6} x (\sqrt{35} x 300 x 331) = 97763 \text{ N}$$

$$\theta V_c = 0,75 \times 97663 \text{ N} = 73322 \text{ N}$$

$$0,5 \theta V_c = 0,5 x 73322 = 36661 \text{ N}$$

$$\theta V_c = 73322 \text{ N} > V_u = 60241 \text{ N} > 0,5 \theta V_c = 36661 \text{ N}$$

kondisi diatas cukup dipasang tulangan geser minimum. Batas spasi tulangan geser menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1:

$$S_{maks} = d/2 = 439/2 = 219 \text{ mm atau}$$

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

Di coba jarak  $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$  dengan mutu baja ( $f_y = 240 \text{ mm}$ )

Cek syarat minimum tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.3

$$A_s \text{ min} = \frac{0,062 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w S = \frac{0,25 \sqrt{35}}{240} 300 x 200 = 91,7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{0,35}{F_y} b_w S = \frac{0,35}{240} 300 . 200 = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 157 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi di pakai jarak  $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

#### 4.2.3.5 Penulangan Balok Anak Terpasang

Penulangan balok induk yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari beberapa keadaan diatas yaitu sebagai berikut :

**Tabel 11** Penulangan Tumpuan Balok Anak

Tipe Balok	L	B	H	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi	Tulangan Angkat
	(mm)	(mm)	(mm)	Atas	Bawah			
B1	8400	400	600	3D19	2D19	2D13-100	4D13	2Ø10
B2	3600	400	600	3D19	4D19	2D13-100	4D13	2Ø10
B3	6000	400	600	3D19	2D19	2D13-100	4D13	2Ø10
B4	7200	400	600	3D19	2D19	2D13-100	4D13	2Ø10

**Tabel 12** Penulangan Lapangan Balok Anak

Tipe Balok	L	B	H	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi	Tulangan Angkat
	(mm)	(mm)	(mm)	Atas	Bawah			
B1	8400	400	600	2D19	4D19	2D13-200	4D13	2Ø10
B2	3600	400	600	3D19	4D19	2D13-200	4D13	2Ø10
B3	6000	400	600	2D19	4D19	2D13-200	4D13	2Ø10
B4	7200	400	600	2D19	4D19	2D13-200	4D13	2Ø10

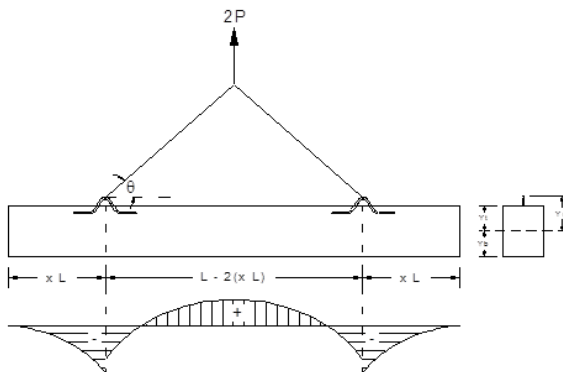
#### 4.2.3.6 Kontrol Tegangan Saat Pangkatan

Balok anak dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Tempat pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.

Pangkatan pelat pracetak dilakukan dengan 2 titik angkat pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

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

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa}$$



$$M_{+(lap)} = 389 \text{ kgm}$$

$$M_{-(tump)} = 349 \text{ kgm}$$

- Menghitung momen tahanan

$$W_t = \frac{1}{6} \times b \times h^2 = \frac{1}{6} \times 300 \times 270^2 = 3,645 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

- Kontrol Tegangan

$$\phi_+ = \frac{Mx.total}{Wx} = \frac{588,95 \times 10^4}{3,645 \times 10^6} = 1,048 \text{ MPa} < fr = 2,8 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\phi_- = \frac{My.total}{Wy} = \frac{527,98 \times 10^4}{3,645 \times 10^6} = 0,956 \text{ MPa} < fr = 2,8 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

#### 4.2.3.7 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

Beban Mati :

- Berat balok pracetak =  $0,3 \times 0,27 \times 6,95 \times 2400 = 1621 \text{ kg}$   
 $Q_d = 1621 \text{ kg}$

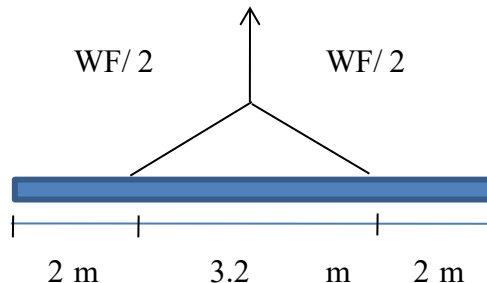
Beban Hidup :

- P pekerja = 200 kg

- Menghitung tulangan angkat

Beban Ultimate =  $1,2 Q_d + 1,6 P$  pekerja  
 $= 1,2 (1621) + 1,6 (200) = 1941 \text{ kg}$

Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4 Terdapat 2 titik Angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar  $45^\circ$  sehingga harus dikalikan faktor  $F = 1,41$



Beban yang diterima 1 titik angkat :

$$P = Nn = \frac{W.F}{2} = \frac{1941 \text{ kg}}{2} \times 1,41 = 1368 \text{ kg}$$

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

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

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P}{f_s} = \frac{1368 \text{ kg}}{2600 \text{ kg/cm}^2} = 0,52 \text{ cm}^2$$

Dicoba tulangan angkat  $D13 \text{ mm}$

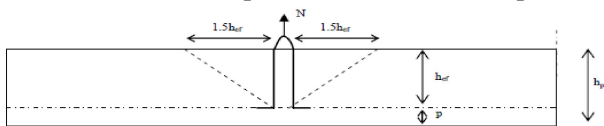
As.pakai =  $132,66 \text{ mm}^2 = 1,326 \text{ cm}^2 > 0,52 \text{ cm}^2$  (Memenuhi)

Jadi dipakai tulangan angkat  $D13 \text{ mm}$

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

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{k_c \sqrt{f'c}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{19410}{10 \sqrt{35}}\right)^2} = 47,56 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 50 mm dari permukaan balok anak pracetak.



**Gambar 35** Pengangkatan Tulangan Angkat Balok Anak

Menurut PCI precast and prestressed concrete 7th figure 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (breakout) yang terbesar dari,

$$de = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{50}{\tan 35^\circ} = 71,4 \text{ mm}$$

$$de = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 50 = 75 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $de = 75 \text{ mm}$

- Menghitung kebutuhan strand

$$P = 1368 \text{ kg ( beban 1 titik angkat)}$$

Berdasarkan *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete* tabel design aid 15.3.1 material properties prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= \frac{1}{4} \text{ in} &&= 6,35 \text{ mm} \\ F_{pu} &= 250 \text{ ksi} &&= 1724 \text{ Mpa} \\ A &= 0,036 \text{ in} &&= 23,36 \text{ mm}^2 \\ F_{strand} &= 1724 \times 23,23 &&= 4003,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka gaya yang dipikul 1 strand =  $4003,8 / 2 = 2001,9 \text{ kg}$

Kontrol :  $P < F_{strand}$

$$1368 \text{ kg} < 2001,9 \text{ kg (Memenuhi)}$$

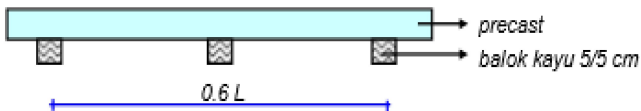
Jadi dipakai seven wire strand diameter  $\frac{1}{4} \text{ in}$  ( $f_{pu}=250\text{ksi}$ )

#### 4.2.3.8 Kontrol Tegangan Saat Penumpukan

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

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

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa}$$



Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban =1,2 sehingga berat sendiri pelat

$$Q_d = 1,2 (0,30 \times 0,27 \times 2400) = 233,28 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 100 \text{ kg} = 160 \text{ kg}$$



$$\begin{aligned}
 W &= 1/6 \times b \times h^2 \\
 &= 1/6 \times 300 \times 270^2 = 3,645 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\
 0,6 L &= 0,6 \times 6,95 \text{ m} = 4,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M. lap &= \left( \frac{1}{10} \times Qd \times 0,5L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times 0,5L) \\
 &= \left( \frac{1}{10} \times 233 \times 3,47^2 \right) + (0,25 \times 160 \times 3,47) = 421 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. lap = 4221 \times 1,5 = 631 \text{ kgm} = 631 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M. tump &= \left( \frac{1}{8} \times Qd \times 0,6 L^2 \right) \\
 &= \left( \frac{1}{8} \times 233 \times 4,2^2 \right) = 507,06 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. tump = 507,06 \times 1,5 = 760,59 \text{ kgm} = 760,59 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\begin{aligned}
 \phi_{lap} &= \frac{M. lap}{W} = \frac{760,59 \times 10^4}{3,645 \times 10^6} = 1,7 \text{ MPa} < fr = 2,8 \text{ MPa} \\
 & \hspace{15em} \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_{tump} &= \frac{M. tump}{W} = \frac{1118 \times 10^4}{3,645 \times 10^6} = 2,0 \text{ MPa} < fr = 2,8 \text{ MPa} \\
 & \hspace{15em} \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Jumlah Penumpukan

Digunakan penyangga dari kayu 5/10

Luas bidang kontak,  $A = 0,05 \times 3 = 0,15 \text{ m}^2$

$$= 150000 \text{ mm}^2$$

$P = 1,2 (0,3\text{m} \times 0,27\text{m} \times 6,95\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3) + 1,6 (200 \text{ kg})$

$$= 1941 \text{ kg} = 19410 \text{ N}$$

$$f = \frac{P}{A} = \frac{19410}{150000} = 0,129 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jumlah penumpukan} = \frac{fr}{f \times SF} = \frac{2,8}{0,129 \times 3} = 5 \text{ tumpukan}$$

#### 4.2.3.9 Kontrol Tegangan Saat Pemasangan

Pemasangan pelat pracetak dilakukan dengan 3 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,70 \times 35 \text{ Mpa} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

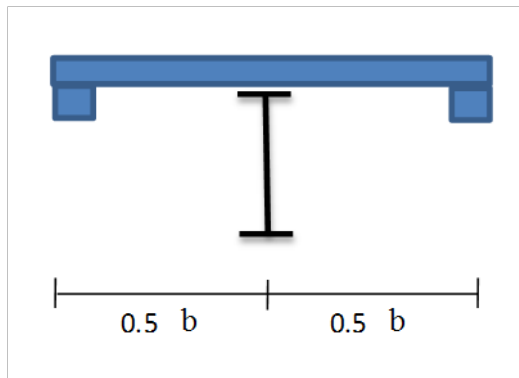
$$Q_d = 1,2 (0,30 \times 0,27 \times 2400) = 233 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 100 \text{ kg} = 160 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2$$

$$= 1/6 \times 300 \times 270^2 = 3,645 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$0,5 L = 0,5 \times 6,95 \text{ m} = 3,47 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$M.lap = \left(\frac{1}{8} \times Qd \times 0,5L^2\right) + (0,25 \times Pu \times 0,5L)$$

$$= \left(\frac{1}{8} \times 233 \times 3,47^2\right) + (0,25 \times 160 \times 3,47) = 491 \text{ kgm}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M.lap = 491 \times 1,5 = 737 \text{ kgm} = 737 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\phi_{lap} = \frac{M.lap}{W} = \frac{737 \times 10^4}{3,645 \times 10^6} = 2,02 \text{ MPa} < fr = 3,5 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

#### 4.2.3.10 Kontrol Tegangan Saat Pengecoran

Pengecoran pelat pracetak dilakukan dengan 3 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,70 \times 35 \text{ Mpa} = 25 \text{ Mpa}$$

$$fr = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban =1,2 sehingga berat sendiri pelat

$$\text{Berat Balok} = 1,2 (0,30 \times 0,4 \times 2400) = 346 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Pelat} = 1,2 (0,13 \times 2,8 \times 2400) = 1048 \text{ kg/m} +$$

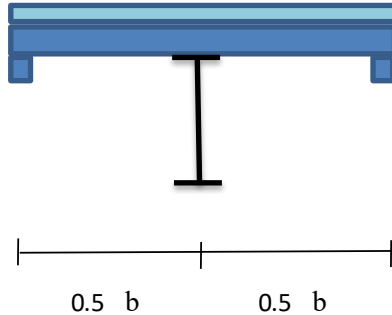
$$Qd = 1394 \text{ kg/m}$$

$$Pu = 1,6 \times 100 \text{ kg} = 160 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2$$

$$= 1/6 \times 300 \times 400^2 = 8 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$0,5 L = 0,5 \times 6,95 \text{ m} = 3,47 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$\begin{aligned}
 M. lap &= \left( \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times L) \\
 &= \left( \frac{1}{10} \times 1394 \times 3,47^2 \right) + (0,25 \times 160 \times 3,47) = 1822 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. lap = 1822 \times 1,5 = 2733 \text{ kgm} = 2733 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M. tump &= \left( \frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \right) \\
 &= \left( \frac{1}{8} \times 1394 \times 3,47^2 \right) = 303 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. tump = 303 \times 1,5 = 454 \text{ kgm} = 454 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{M. lap}{W} = \frac{2733 \times 10^4}{8 \times 10^6} = 3,41 \text{ MPa} < f_r = 3,5 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M. tump}{W} = \frac{454 \times 10^4}{8 \times 10^6} = 0,5 \text{ MPa} < f_r = 3,5 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

#### 4.2.4 Perencanaan Balok Lift

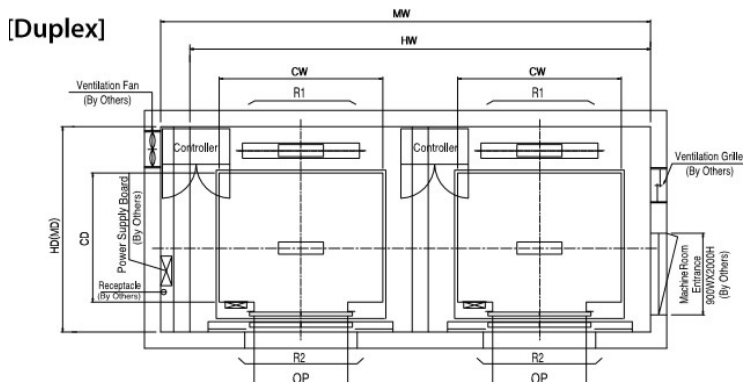
Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balokbalok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh SIGMA Elevator Company dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift	: IRIS NV
Standard Kapasitas	: 1350 Kg
Kecepatan	: 1.0 m/s
Motor	: 18.5 KW
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 kg
R2	: 6000 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 13** Spesifikasi IRIS NV Elevator

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300					

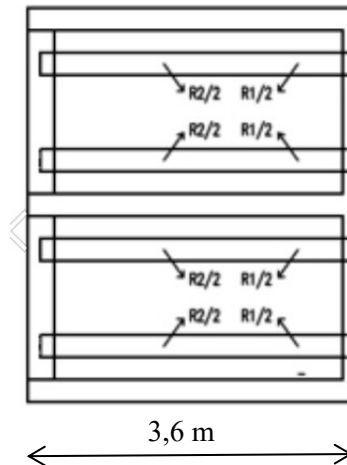


**Gambar 36** Denah Lift

#### 4.2.4.1 Data Perencanaan

Dimensi Balok Lift	= 30 x 40 cm
Tebal decking	= 40 mm
Tulangan Lentur	= D16 mm
Mutu Baja ( $f_y$ )	= 390 Mpa
Mutu Beton ( $f_c'$ )	= 350 Mpa
Tulangan Geser	= $\emptyset 10$

#### 4.2.4.2 Pembebanan Balok Lift



**Gambar 37** Denah Pembebanan Balok Lift

Beban Mati (DL)

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

$$\text{Pelat 8 cm} = 0,08 \times 1,8 \times 2400 = 345 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban terpusat R1/2} = 8900 \text{ kg/2} = 4450 \text{ kg}$$

$$\text{Beban terpusat R2/2} = 6000 \text{ kg/2} = 3000 \text{ kg}$$

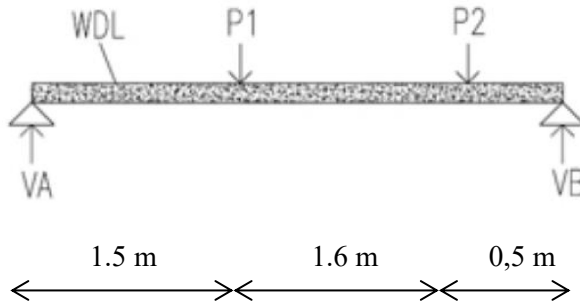
Beban Ultimate

$$W_u = 1,2 \text{ DL}$$

$$= 1,2 \times (288 + 345) \text{ kg/m} = 760 \text{ kg/m}$$

#### 4.2.4.3 Penulangan Balok Lift

Beban terpusat (brosur) pada perhitungan gaya dalam balok lift dibagi menjadi dua, dengan pembagian sebagai berikut :



**Gambar 38** Pembebanan Balok Lift

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot L - P1 \cdot L - P2 \cdot L = 0$$

$$V_A \cdot 3,6\text{m} - 4450 \cdot 2,1\text{m} - 3000 \cdot 0,5\text{ m} = 0$$

$$V_A = 4400\text{ kg} \quad \uparrow$$

$$V_b = 4400 - 4450 - 3000 - (760\text{ kg/m} \cdot 3,6\text{ m})$$

$$= 5800\text{ kg} \quad \downarrow$$

Distribusi beban terpusat P pada setiap perletakan :

$$V_{Ap1} = 4450 \times \frac{2,1\text{ m}}{3,6\text{ m}} = 2600\text{ kg}$$

$$V_{Bp1} = 4450 - 2600 = 1850\text{ kg}$$

$$V_{Ap2} = 3000 \times \frac{0,5\text{ m}}{3,6\text{ m}} = 420\text{ kg}$$

$$V_{Bp2} = 3000 - 420 = 2580\text{ kg}$$

$$D_{AB} = 0$$

$$4450 - 760 \times L_1 - 2600 - 420 = 0$$

$$L_1 = 1,8\text{ m dari titik A}$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times Qu \times L^2 + V_{AP1} \times L + V_{AP2} \times L$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times 760 \times 3,6 + 2600 \times 1,8 + 420 \times 1,8 = 6654\text{ kgm}$$



$$Vu = \frac{1}{2} \times Qu \times L + V_{AP1} + V_{AP2}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times 760 \times 3,6 + 2600 + 420 = 5806 \text{ kg}$$

Untuk mutu beton  $f'c = 35$  MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c - 28) \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) \geq 0,65 = 0,80$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

#### • Penulangan Lentur

$$d = 4000 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (16) = 342 \text{ mm}$$

$$Mu = 6544 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{6554 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 342^2} = 2,335 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,335}{390}} \right)$$

$$= 0,00624$$

Syarat :  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$

$$0,0036 < 0,00624 < 0,0277 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00624 \times 300 \times 342$$

$$= 640,42 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{640,42}{0,25 \pi 16^2} = 3,1 \approx 4 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 4 \times (0,25 \pi \times 22^2) = 804,248 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 804,24 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 640,42 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$As \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 300 \times 342 = 389,09 \text{ mm}^2$$

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

$$As \text{ pakai} = 804,24 \text{ mm}^2 > As \text{ min} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 4D16

Untuk tulangan tekan diambil 0,5 tulangan tarik : 2D16

- **Tulangan Geser**

$$V_u = 58060 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times (\sqrt{f_c'} \times b_w \times d) = \frac{1}{6} \times (\sqrt{35} \times 300 \times 309) = 101165 \text{ N}$$

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

$$0,5 \theta V_c = 0,5 \times 75873 = 37936 \text{ N}$$

$$\theta V_c = 75873N > V_u = 58060 N > 0,5 \theta V_c = 37936N$$

kondisi diatas cukup dipasang tulangan geser minimum. Batas spasi tulangan geser menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1:

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

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

Di coba jarak  $\emptyset 10 - 200$  mm dengan mutu baja ( $f_y = 240$  mm)

Cek syarat minimum tulangan

Syarat tulangan geser minimum ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.3

$$A_s \text{ min} = \frac{0,062 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w s = \frac{0,25 \sqrt{35}}{240} 300 \times 200 = 91,7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{0,35}{F_y} b_w s = \frac{0,35}{240} 300 \cdot 200 = 87,5 \text{ mm}^2$$

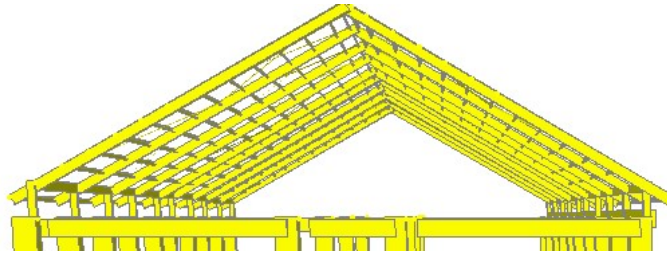
$$A_s \text{ pakai} = 157 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Memenuhi)}$$

Jadi di pakai jarak  $\emptyset 10 - 200$  mm

#### 4.2.5 Perencanaan Atap Baja

Konstruksi atap direncanakan berfungsi sebagai pelindung komponen yang berada di bawahnya dalam hal ini melindungi mesin elevator. Atap direncanakan hanya sebagai beban bagi konstruksi utama tanpa memikul gaya yang diterima struktur utama sehingga dalam perhitungan dilakukan secara terpisah.

Atap direncanakan dengan menggunakan rangka baja solid beam dengan penutup genteng. Perancangannya diasumsikan sendi sendi dengan menggunakan base plate yang disambung pada beton. Perhitungan dan analisa struktur atap dilakukan dengan program bantu SAP 2000 untuk mengitung gaya dalamnya. Sebelum melakukan analisa dilakukan perhitungan beban gording untuk menentukan profil yang hendak digunakan.



**Gambar 39** Tampak Depan Atap

- Data perencanaan :

Penutup Atap	: Genteng
Jarak antar Kuda-kuda	: 720 cm
Jarak antar Gording	: 100 cm
Sudut kemiringan atap	: 30
Penggantung gording	: 2 buah

Atap direncanakan dengan menggunakan ikatan angin atap pada beberapa sisi bentang kuda kuda dan terdapat penggantung gording sebanyak 2 buah pada tiap bentang kuda kuda.

#### 4.2.5.1 Perencanaan Gording

Gording merupakan salah satu komponen pada konstruksi atap yang berfungsi sebagai tempat menumpunya penutup atap, dalam perancangan ini berupa genteng. Data perancangan untuk perhitungan gording adalah sebagai berikut :

Profil yang digunakan : LLC 150 x 50 x 20 x 3,2

A	: 150 mm	ry	: 1,81 cm
B	: 50 mm	rx	: 5,71 cm
C	: 20 mm	Iy	: 28.3 cm <sup>4</sup>
t	: 3,2 mm	Ix	: 280 cm <sup>4</sup>
Sy	: 8.190 mm <sup>3</sup>	W	: 6,76 kg/m

$S_x$	: 37.400 mm <sup>3</sup>	$A$	: 8,607 cm <sup>2</sup>
$Z_x$	: 46.802 mm <sup>3</sup>	$J$	: 2.938 cm <sup>4</sup>
$Z_y$	: 14.479 mm <sup>3</sup>	$h$	: 143,6 mm

Mutu Baja	: BJ 41
$F_y$	: 250 Mpa
$F_u$	: 410 Mpa
$F_r$	: 180 Mpa
$E$	: 200000 Mpa

- Pembebanan Gording

Beban Mati :

Gording		= 0,066 KN/m
Atap	= 0,37 KN/m <sup>2</sup> x 1 m	= 0,37 KN/m
Lain-lain (10%)		= <u>0,037 KN/m</u> +
	QD	= 0,473 KN/m

Beban Hidup :

Pekerja terpusat = 0,89 KN

Beban Angin

Pada perhitungan sub bab pembebanan, dimana angin mendarangi atap (angin tekan).

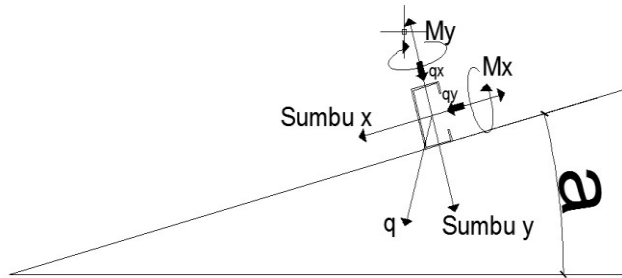
$$p_{\text{atap}} = 0,143 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Dipakai } Q_w = 0,143 \text{ KN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,143 \text{ KN/m}$$

- Analisa Gaya dalam

Setelah didapatkan nilai beban yang bekerja pada gording maka dihitung nilai gaya dalam (momen) yang terjadi pada gording sepanjang kuda kuda (L). Untuk mencari momen akibat beban mati dan beban hidup nilai beban yang bekerja searah gravitasi dikalikan

nilai cos (pada arah X) dan sin (pada arah Y) agar beban yang bekerja menjadi tegak lurus dan sejajar dengan gording.



Beban mati

$$QD = 0,473 \text{ KN/m}$$

$$Qx = QD \times \cos \alpha = 0,409 \text{ KN/m}$$

$$Qy = QD \times \sin \alpha = 0,236 \text{ KN/m}$$

$$MDx = 1/8 Qx Lx^2 = 1/8 \cdot 0,409 \text{ KN/m} \times (7,2 \text{ m})^2 = 2,65 \text{ KNm}$$

$$MDy = 1/8 Qy (Ly)^2 = 1/8 \cdot 0,236 \text{ KN/m} \times (2,4 \text{ m})^2 = 0,169 \text{ KNm}$$

Beban Hidup

$$MLx = 1/4 P \cos \alpha Lx = 1/4 \cdot 0,89 \text{ KN} \times \cos \alpha \times (7,2 \text{ m}) \\ = 1,38 \text{ KNm}$$

$$MLy = 1/4 P \sin \alpha Ly = 1/4 \cdot 0,89 \text{ KN} \times \sin \alpha \times (2,4 \text{ m}) \\ = 0,26 \text{ KNm}$$

Beban Angin

$$MWx = 1/8 Qw Lx^2 = 1/8 (0,143 \text{ KN/m}) \times (7,2 \text{ m})^2 = 0,92 \text{ KNm}$$

**Tabel 14** Nilai Momen Ultimate

Kombinasi Beban	Arah x (KNm)	Arah y (KNm)
U = 1,4 D	3,71	0,236
U = 1,2 D + 1,6 L	5,388	0,61
U = 1,2 D + 1W + 1 L	5,48	-

Dari tabel tersebut diambil nilai yang menentukan :

$$M_{ux} = 5,38 \text{ KNm}$$

$$M_{uy} = 0,61 \text{ KNm}$$

- Kontrol Profil Baja

Gaya yang digunakan dalam kontrol profil didapat dari jumlah momen momen akibat beban beban yang telah dihitung pada subbab sebelumnya. Didapatkan nilai :

1. Kontrol Local Buckling (SNI 1729-2013 pasal B4.1)

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{bf}{2tf} \leq 0,38 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{50}{2 \times 3,2} \leq 0,38 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$7,813 < 10,75$$

(Memenuhi)

Penampang sayap kompak

Pelat Badan

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{h}{tw} \leq 3,6 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{143,6}{3,2} \leq 3,6 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$44,875 < 101,82$$

(Memenuhi)

Penampang badan kompak

2. Kontrol Kuat Lentur Akibat Leleh  
SNI 1729:2015 Pasal F.2

Karena penampang kompak maka,

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \cdot Z_x \cdot f_y = 0,9 \times 46.802 \times 250 = 10.530.450 \text{ Nmm} \\ &= 10,53 \text{ KNm} \end{aligned}$$

3. Kontrol Tekuk Torsi Lateral (SNI 1729-2015 pasal F2)

Direncanakan :

$$L_b = 2400 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 1,76 \times 18,3 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$L_p = 911 \text{ mm} \quad (\text{Bentang Menengah atau Panjang})$$

$$h_o = 150 - 3,2 = 146,8 \text{ mm}$$

Konstanta Warping

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} = \frac{283000 \times 146,8^2}{4} = 1.524.679.480 \text{ mm}^6$$

$$c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} = \frac{146,8}{2} \sqrt{\frac{283.000}{1.524.679.480}} = 1$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{283.000 \times 1.524.679.480}}{37.400} = 555,41 \text{ mm}^2$$

$$r_{ts} = \sqrt{543,3} = 23,57 \text{ mm}$$

Modulus Geser

$$G = 77.200 \text{ Mpa}$$

$$J_c = 2.938 \times 1 = 2.938 \text{ cm}^4 = 29.380.000 \text{ mm}^3$$

$$S_x h_o = 37.400 \times 146,3 = 5.370.640 \text{ mm}^2$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}}$$

A

B

$$A = 1,95 \times 23,57 \frac{200000}{0,7 \times 250} = 52.627,43$$

$$B = \sqrt{\frac{29.380.000}{88.736.000} + \sqrt{\left(\frac{29.380.000}{88.736.000}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times 250}{200000}\right)^2}}$$

$$= 3,3$$

$$L_r = 3,3 \times 52.627,43 = 173670 \text{ mm}$$

$$L_r = 173670 \text{ mm} > L_b = 2400 \text{ mm} > L_p = 911 \text{ mm}$$



Maka termasuk Bentang Menengah

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5M_{max}+3MA+4MB+3MC} \leq 2,3$$

Dimana,

Qu diambil dari kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$Q_u = 1,2 Q_D = 1,2 \times 0,409 \text{ KN/m} = 0,490 \text{ KN/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 0,89 \text{ KN} = 1,424 \text{ KN}$$

$$L = 7,2 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{1}{2} Q_u \times L + \frac{1}{2} P_u \\ = \frac{1}{2} 0,490 \times 7,2 + \frac{1}{2} 1,424 = 2,476 \text{ KN}$$

$$R_B = R_A = 2,476 \text{ kN}$$

$$M_A = M_C = R_A \times \frac{1}{4} L - \frac{1}{2} Q_u \times \left(\frac{1}{4} L\right)^2 \\ = 2,476 \times \frac{1}{4} 7,2 - \frac{1}{2} 0,490 \times \left(\frac{1}{4} \times 7,2\right)^2 \\ = 3,663 \text{ KNm}$$

$$M_B = M_{max} = \frac{Q_u \times L^2}{8} + \frac{1 \times P_u \times L}{4} \\ = \frac{0,490 \times 7,2^2}{8} + \frac{1 \times 1,424 \times 7,2}{4} = 7,68 \text{ KNm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 7,68}{(2,5 \times 7,68) + (3 \times 3,66) + (4 \times 7,68) + (3 \times 3,66)} = 1,33$$

Maka,

$$C_b = 1,33 < 2,3$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 46.802 \times 250 = 11.700.500 \text{ Nmm} = 11,7 \text{ KNm}$$

$$0,7 \cdot f_y \cdot S_x = 0,7 \times 250 \times 37.400 = 6.545.000 \text{ Nmm} \\ = 6,545 \text{ KNm}$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 f_y \cdot S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1,33 \left[ 11,7 - (11,7 - 6,545) \left( \frac{2,4 - 0,911}{173,670 - 0,911} \right) \right] \\ = 15,55 \text{ KNm}$$

$$M_n > M_p \quad \text{Maka, } M_p = M_n$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nx} &= \phi Z_x \cdot f_y = 0,9 \times 46.802 \times 250 = 10.530.450 \text{ Nmm} \\ &= 10.53 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{ny} &= \phi Z_y \cdot f_y = 0,9 \times 14.479 \times 250 = 3.257.775 \text{ Nmm} \\ &= 3,258 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Untuk mengantisipasi masalah puntir, maka  $M_{ny}$  dibagi dua sehingga :

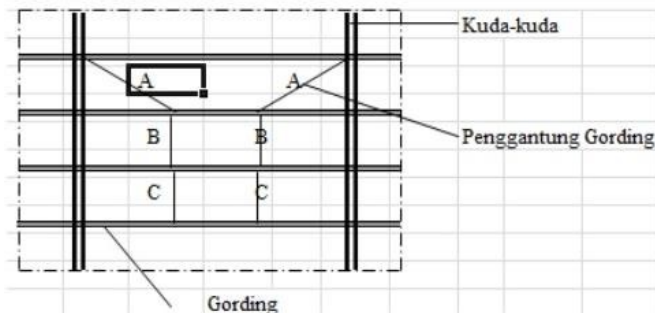
$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny} \cdot 0,5} \leq 1$$

$$\frac{5,38 \text{ KNm}}{10,53} + \frac{0,61 \text{ KNm}}{3,258 \text{ KNm} \times 0,5} \leq 1$$

$$0,88 < 1 \quad (\text{OK})$$

#### 4.2.5.2 Penggantungan Gording (Trackstang)

Penggantung gording direncanakan sebanyak 2 lajur pada masing masing bentang kuda kuda dengan jarak antar penggantung adalah 240 cm. Jumlah penggantung gording tiap lajur direncanakan sebanyak 13 buah. Beban yang bekerja pada penggantung gording merupakan beban yang bekerja pada tiap tiap gording



Beban mati sebesar  $0,403 \text{ kN/m}^2$  sedangkan beban hidup terpusat berdasarkan SNI 1727-2013 sebesar  $0,89 \text{ kN}$  diletakkan di

tengah bentang gording ( $L = 7,2$  m). Untuk beban angin sesuai perhitungan pada sub bab pembebanan yaitu  $0,157$  kg/m.

- **Pembebanan Penggantung Gording**

Beban beban yang berlaku pada gording tersebut dikalikan dengan jarak antar penggantung gording untuk mendapatkan beban yang dipikul oleh masing masing penggantung gording pada tiap lajur. Nilai beban tersebut didapat sebagai berikut :

Akibat Beban Mati

$$D = q_D \times L \sin \alpha = 0,403 \times 2,4 \text{ m} \times \sin 30 = 0,40 = 0,483 \text{ kN}$$

Akibat Beban Pekerja (Terpusat)

$$L_2 = P \sin \alpha = 0,89 \times \sin 30 = 0,445 \text{ kN}$$

Akibat Beban Angin

$$W = q_W \times L \sin \alpha = 0,157 \times 2,4 \text{ m} \sin 30 = 0,188 \text{ kN}$$

Jumlah gording 13 buah, akan tetapi diasumsi beban pekerja hanya pada 2 buah gording, sehingga :

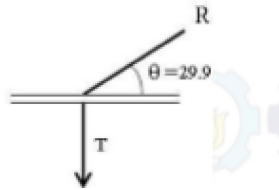
$$\begin{aligned} W_1 &= 2 (1,2 D + 1,6 L + 0,5 W) \\ &= 2 (1,2 \cdot 0,483 + 1,6 \cdot 0,445 + 0,5 \cdot 0,188) = 2,77 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dan beban pada 11 gording lainnya :

$$\begin{aligned} W_2 &= 11 (1,2 D + 0,5 W) \\ &= 11 (1,2 \cdot 0,483 + 0,5 \cdot 0,188) = 7,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W_{\text{tot}} = 2,77 + 7,40 = 10,17$$

Penggantung gording yang mendapat beban terbesar adalah penggantung gording miring paling atas karena memikul beban penggantung penggantung gording yang ada di bawahnya. Sehingga beban  $W_{\text{tot}}$  yang bekerja dikalikan dengan jumlah gording ( $T$ ) lalu dibagi dengan  $\sin \theta$  dimana  $\theta$  adalah sudut kemiringan penggantung gording terhadap arah horizontal.



$$\phi = \text{arc tan} \frac{\text{jarak antar gording}}{\text{jarak penggantung}} = 22,61^\circ$$

$$\phi = \text{arc tan} \frac{1\text{m}}{2,4\text{ m}} = 22,61^\circ$$

Sehingga nilai beban penggantung gording paling atas sebesar :

$$T = \frac{10,17}{\sin 22,61^\circ} = 26,45\text{ kN}$$

- Penentuan Dimensi

Batang penggantung gording menerima gaya tarik akibat beban yang bekerja terhadapnya sebesar T dan batang direncanakan sebagai baja silinder biasa berdiameter tertentu dengan mutu baja BJ41, maka kontrol kekuatan penggantung gording direncanakan dengan dasar kontrol kekuatan batang tarik baja terhadap leleh dan keruntuhan sesuai SNI 1729 -2015 pasal D2

$$A_g = \frac{T}{\phi \times f_y} = \frac{26,45 \times 10^3\text{ N}}{0,9 \times 250\text{ MPa}} = 117,5\text{ mm}^2$$

$$A_g = 0,25 \pi d^2$$

$$117,5 = 0,25 \pi d^2$$

$$d = 12,23\text{ mm} , \text{ maka digunakan } d = 13\text{ mm } (A_g = 132,73\text{ mm}^2)$$

Cek syarat batang tarik :

Untuk leleh tarik penampang bruto :

$$P_n = \phi f_y \cdot A_g = 0,9 \cdot 250 \cdot 132,73 = 29,8\text{ kN} > T = 20,9\text{ kN } (OK)$$

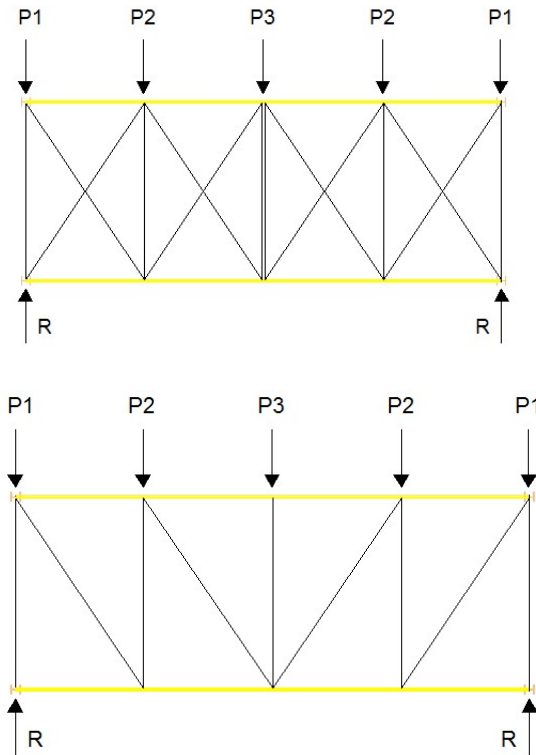
Untuk keruntuhan tarik penampang neto :

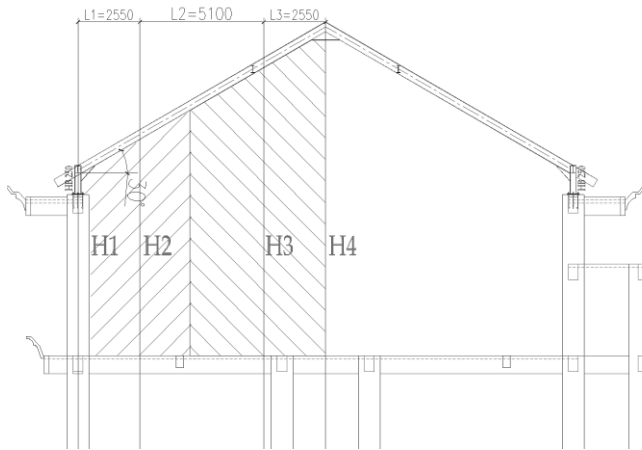
$$A_e = 13 + 2 = 15\text{ mm } (A_e = 176,71\text{ mm}^2)$$

$$P_n = \phi f_u \cdot A_e = 0,75 \cdot 410 \cdot 176,71 = 54,33 \text{ kN} > T = 20,9 \text{ kN (OK)}$$

#### 4.2.5.3 Perhitungan Ikatan Angin

Ikatan angin hanya bekerja menahan gaya normal (axial) tarik saja. Adapun cara kerjanya adalah apabila salah satu ikatan angin bekerja sebagai batang tarik, maka yang lainnya tidak menahan apa-apa. Berikut ilustrasi datangnya arah angin :





Pada subbab pembebanan di peroleh tekanan angin ( $W$ ) atap adalah  $0,157 \text{ kN/m}^2$ .

Data perencanaan :

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| $H1 = 7,8 \text{ m}$   | $L1 = 2,55 \text{ m}$ |
| $H2 = 9,27 \text{ m}$  | $L2 = 5,10 \text{ m}$ |
| $H3 = 12,20 \text{ m}$ | $L3 = 2,55 \text{ m}$ |
| $H4 = 13,68 \text{ M}$ |                       |

Perhitungan area :

$$A_1 = \frac{(H1 + H2)}{2} \times L1 = \frac{(7,8 + 9,27)}{2} \times 2,55 = 21,76 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{(H2 + H3)}{2} \times L2 = \frac{(9,27 + 12,20)}{2} \times 5,10 = 54,74 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \frac{(H3 + H4)}{2} \times L3 = \frac{(12,20 + 13,68)}{2} \times 2,55 = 32,99 \text{ m}^2$$

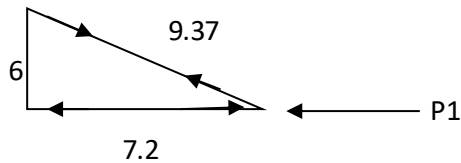
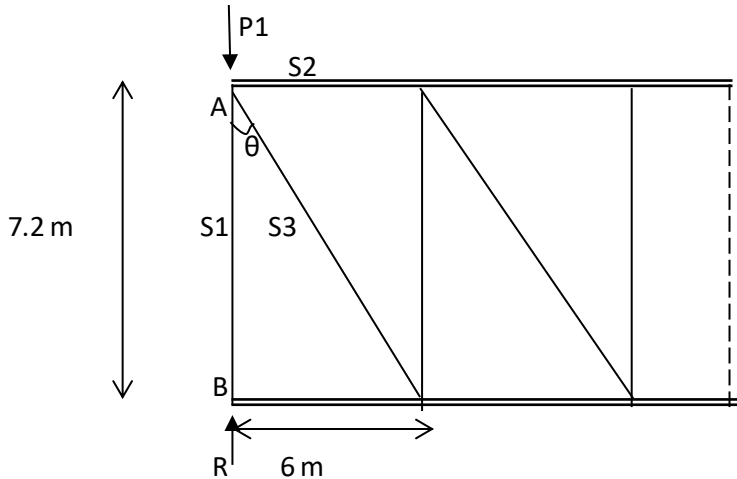
Perhitungan Beban

$$P1 = W \times A_1 = 0,157 \times 21,76 = 3,41 \text{ kN}$$

$$P2 = W \times A_2 = 0,157 \times 54,74 = 8,59 \text{ kN}$$

$$P3 = W \times A_3 = 0,157 \times 32,99 = 5,17 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot}} = R = P1 + P2 + P3 = 17,17 \text{ kN}$$



$$\theta = \arctan^{-1} \frac{6}{7,2} = 39,8^\circ$$

Pada titik buhul B :

$$\Sigma V = 0$$

$$0 = R - S1$$

$$S1 = 17,17 \text{ kN kg (tekan)}$$

Pada titik simpul A :

$$\Sigma Hb = 0$$

$$0 = P1 - S1 + S3 \cos \Phi$$

$$S2 \cos \Phi = 17,17 \text{ kN} - 3,41 \text{ kN} / \cos \Phi$$

$$S2 = 17,91 \text{ kN (tarik)}$$

Maka gaya aksial ( $P_u$ ) = 17,91 kN

- Penentuan Dimensi

Batang ikatan angin menerima gaya tarik akibat beban angin yang bekerja terhadapnya sebesar 17,9 kN dan batang direncanakan sebagai baja silinder biasa berdiameter tertentu dengan baja BJ 41, maka kontrol kekuatan batang ikatan angin direncanakan dengan dasar kontrol kekuatan batang tarik baja terhadap leleh dan keruntuhan sesuai SNI 1729 -2015 pasal D2

$$A_g = \frac{P_u}{\phi \times f_y} = \frac{17,91 \times 10^3 \text{ N}}{0,9 \times 250 \text{ MPa}} = 79,6 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 0,25 \pi d^2$$

$$79,6 = 0,25 \pi d^2$$

$$d = 10,6 \text{ mm} , \text{ maka digunakan } d = 11 \text{ mm } (A_g = 95,03 \text{ mm}^2)$$

Cek syarat batang tarik :

Untuk leleh tarik penampang bruto :

$$P_n = \phi f_y \cdot A_g = 0,9 \cdot 250 \cdot 95,03 = 21,38 \text{ kN} > T = 20,9 \text{ kN (OK)}$$

Untuk keruntuhan tarik penampang neto :

$$A_e = 11 + 2 = 13 \text{ mm } (A_e = 133,73 \text{ mm}^2)$$

$$P_n = \phi f_u \cdot A_e = 0,75 \cdot 410 \cdot 132,7 = 40,8 \text{ kN} > T = 20,9 \text{ kN (OK)}$$

#### 4.2.5.4 Perencanaan Kuda-Kuda

- Data Perencanaan

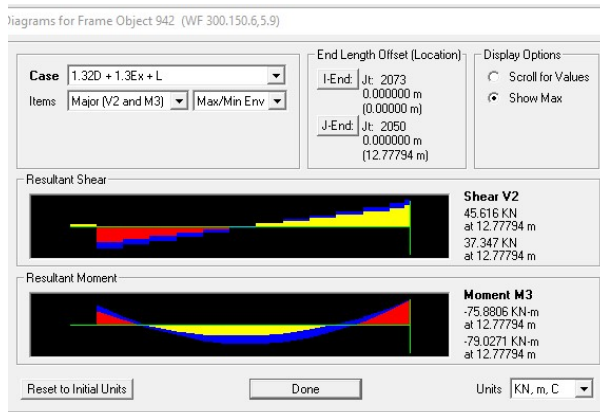


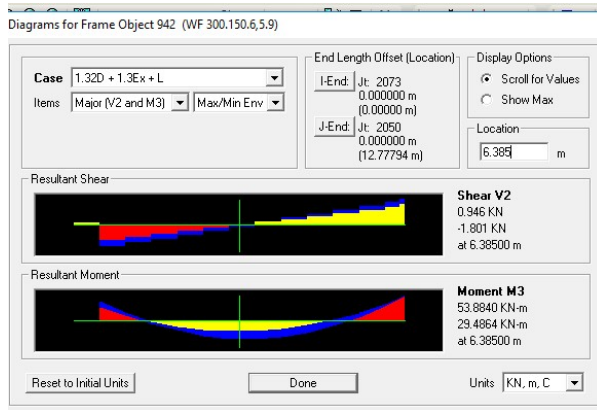
Kemiringan atap ( $\alpha$ ) =  $30^\circ$   
 Lebar bangunan = 20,4 m  
 Panjang Kuda-kuda =  $0,5 \times 20,4 \text{ m} / \cos 30^\circ = 11,77 \text{ m}$   
 Mutu Baja : BJ 41  
 $F_y$  : 250 Mpa  
 $F_u$  : 410 Mpa  
 $F_r$  : 180 Mpa  
 $E$  : 200000 Mpa

- Perhitungan Penampang dan gaya dalam

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan terbesar yang dipakai pada perencanaan balok Kuda-kuda adalah kombinasi 1,32D + 1,3 Ex + 1L



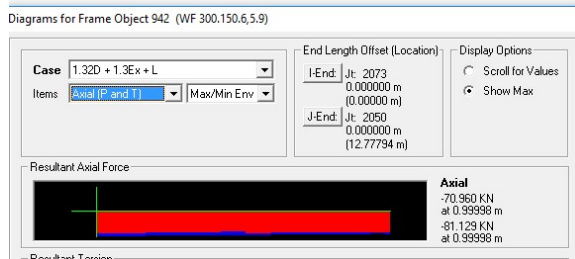


Kombinasi  $1,32D + 1,3E_x + 1L$

$\mu$ u tumpuan = 79,02 kNm

$\mu$ u lapangan = 53,88 kNm

$V_u = 45,61$  KN



Kombinasi  $1,4D + 1,3E_x + 1L$

$P_u = 81,12$  KN

Dalam perencanaan profil berdasarkan momen di lapangan. Sedangkan pada daerah tumpuan penampang akan diperbesar.

Kuda-Kuda direncanakan menggunakan profil WF300×150×6,5×9

d	: 300	mm	$r_y$	: 32,9	mm
bf	: 150	mm	$r_x$	: 124	mm
tw	: 6,5	mm	$I_x$	: 72100000	mm <sup>4</sup>
tf	: 9	mm	$I_y$	: 5080000	mm <sup>4</sup>
Sy	: 67700	mm <sup>3</sup>	W	: 36,7	kg/m

$S_x$	: 481000	$\text{mm}^3$	$A$	: 4678	$\text{mm}^2$
$h_f$	: 291	$\text{mm}$	$h_w$	: 282	$\text{mm}$
$Z_x$	: 522077	$\text{mm}^3$			
$Z_y$	: 104229	$\text{mm}^3$			

- Kontrol Profil

1. Perhitungan Kuat Tekan Rencana

- a. Menentukan Klasifikasi Penampang

SNI 1729-2015 pasal B.4

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{b}{2.t_f} \leq 0,56 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{200}{2 \times 12} \leq 0,56 \sqrt{\left(\frac{200.000}{250}\right)}$$

$$8,33 < 15,84 \quad \text{Penampang sayap Nonlangsing}$$

Karena komponen termasuk penampang langsing, maka perhitungan kekuatan tekan nominal ( $\phi P_n$ ) mengikuti SNI 1729-2013 pasal E.3 dan pasal E.4

- b. Perhitungan Kapasitas Tekan Nominal

SNI 1729-2013 pasal E.3 dan pasal E.4

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$ , dimana nilai  $F_{cr}$  dipilih yang menentukan dari kondisi berikut.

- c. Akibat tekuk-lentur

Kekakuan elemen portal. Portal kuda-kuda termasuk rangka kaku dimana pada sambungannya diasumsikan jepit.

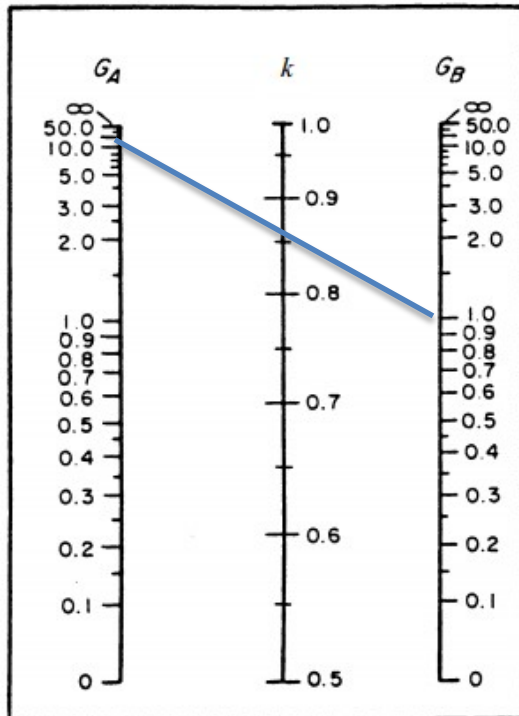
$$Kuda\ kuda = \frac{I_x}{L} = \frac{72100000\text{ mm}^4}{11,77 \times 10^3\text{ mm}} = 6126\text{ mm}^3$$

$$Kolom\ pedestal = \frac{Ix}{L} = \frac{108000000\ mm^4}{1,2 \times 10^3\ mm} = 90000\ mm^3$$

$$GA = \frac{\frac{Ix}{L} (kolom.ped.)}{Ix/L(kudakuda)} = \frac{90000}{6126} = 14,69$$

$$GB = \frac{\frac{Ix}{L} (kudakuda)}{Ix/L(kudakuda)} = \frac{6126}{6126} = 1$$

Dari perhitungan didapatkan nilai  $GA = 14,69$  dan  $GB = 1$ , maka faktor tekuk kolom dari alignment portal tidak bergoyang adalah



Nilai  $K = 0,85$

Ditinjau sumbu lemah penampang yaitu sumbu y

Faktor Tekuk (  $K$  )

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,85 \times 11770}{32,9} = 277$$

$$4,71 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 4,71 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)} = 133,22$$

Karena nilai,  $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$

Maka  $F_{cr} = 0,877 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(277)^2} = 26 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e = 0,877 \times 26 = 22 \text{ Mpa}$$

#### d. Akibat tekuk-puntir

Konstanta Torsi

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{3} \left( (2 \times t_f^3 \times bf) + (t_w^3 \times hf) \right) \\ &= \frac{1}{3} \left( (2 \times 9^3 \times 150) + (6,5^3 \times 291) \right) = 152816 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Konstanta Warping

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} = \frac{5080000 \times 291^2}{4} = 8,6 \times 10^{10} \text{ mm}^6$$

$$G = 77200 \text{ Mpa}$$

$$GJ = 77200 \text{ Mpa} \times 152816 \text{ mm}^4 = 1,2 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

Karena pada sambungan diasumsikan jepit-jepit, maka  $K_z.L = KL$

$$\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z.L)^2} = \frac{\pi^2 200.000 \times 8,6 \times 10^{10}}{(277)^2} = 1,67 \times 10^{13} \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} F_e &= \left( \frac{\pi^2 EC_w}{(K_z.L)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \\ &= (1,67 \times 10^{13} + 1,2 \times 10^{10}) \frac{1}{72000000 + 5080000} \\ &= 28709 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{28709} = 0,008 < 2,225$$

Maka termasuk kondisi tekuk inelastic, sehingga

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y = (0,658^{0,008}) \cdot 250$$

$$= 249 \text{ Mpa}$$

Karena kondisi akibat tekuk-lentur lebih kecil dari tekuk puntir, maka digunakan  $F_{cr}$  akibat tekuk-lentur

$$\phi P_n = \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g = 0,9 \times 22 \times 4678$$

$$= 95000 \text{ N} = 95 \text{ KN} > P_u = 81,12 \text{ kN (memenuhi)}$$

## 2. Perhitungan Kuat Lentur Rencana

### a. Kontrol Local Buckling (SNI 1729-2015 Pasal B4.1)

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{200}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{200}{2 \times 9} \leq 0,38 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$11,11 < 11,7$$

Memenuhi

Penampang sayap kompak

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{hw}{tw} \leq 3,6 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{282}{6,5} \leq 3,6 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$43 < 101,82$$

Memenuhi

Penampang badan kompak

### b. Kontrol Kuat Lentur Akibat Leleh SNI 1729:2015 Pasal F.2

Karena penampang kompak maka,

$$Z_x = \left(\frac{tw \cdot hw^2}{4}\right) + t_f \cdot b_f \cdot h_f$$

$$= 522077 \text{ mm}^4$$

$$M_n = \phi Z_x \cdot f_y = 0,9 \times 522077 \times 250 = 117000000 \text{ Nmm}$$

$$= 117 \text{ KNm} > 53,88 \text{ kNm (memenuhi)}$$

c. Kontrol Tekuk Torsi Lateral (SNI 1729-2015 pasal F2)

Direncanakan :

$$L_b = 1000 \text{ m}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 1,76 \times 32,9 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$L_p = 1600 \text{ mm} > L_b = 1000 \text{ mm}$$

(termasuk bentang pendek)

Maka  $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} \phi M_p &= 0,9 \times 522077 \times 250 = 117000000 \text{ Nmm} \\ &= 117 \text{ KNm} > 53,88 \text{ kNm (memenuhi)} \end{aligned}$$

3. Menghitung Interaksi gaya aksial dan Momen Lentur

$$P_c = \phi P_n = 95 \text{ KN}$$

$$P_r = P_u = 81,12 \text{ KN}$$

$$M_r = 53,88 \text{ KNm}$$

$$M_c = 117 \text{ KNm}$$

$$\text{Jika } \frac{P_r}{P_c} = \frac{81,12 \text{ KN}}{95 \text{ KN}} = 0,9 > 0,2, \text{ maka :}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1$$

$$0,9 + \frac{8}{9} \left( \frac{53,88}{117} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,97 < 1 \text{ (memenuhi)}$$

4. Kontrol penampang profil terhadap gaya geser

( SNI 1729-2015 Pasal G2 )

$$A = h \cdot t_w = 300 \times 6,5 = 1950 \text{ mm}^2$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\left(\frac{E k_v}{f_y}\right)}$$

$$\frac{282}{6,5} \leq 1,1 \sqrt{\left(\frac{200000 \times 5}{250}\right)}$$

$$43,38 < 69,57$$

Maka,  $C_v = 1$ . Sehingga

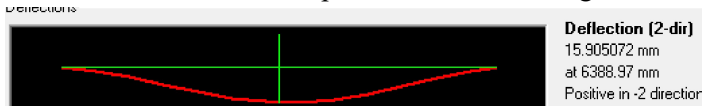
$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times 0,6 \cdot F_y A_w C_v \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times 1950 \times 1 \\ &= 263,25 \text{ KN} > V_u = 45,61 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### 5. Kontrol lendutan

$$L = 11.77 \text{ mm}$$

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{11770}{360} = 33 \text{ mm}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapatkan lendutan batang sebesar



$$\Delta = 15,9 \text{ mm}$$

$$\Delta < \Delta_{ijin} \dots \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.2.5.5 Perencanaan Balok Baja

- Data Perencanaan

Panjang bentang: 7200 mm

Mutu Baja : BJ 41

$F_y$  : 250 Mpa

$F_u$  : 410 Mpa

$F_r$  : 180 Mpa

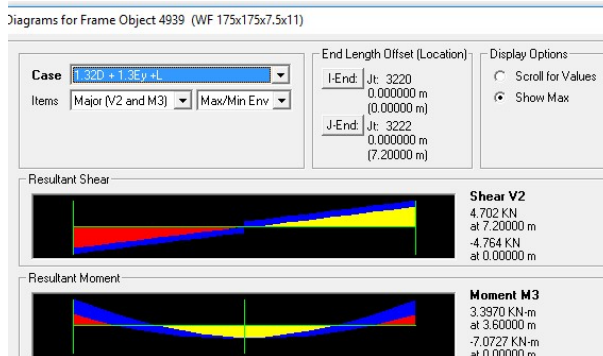
$E$  : 200000 Mpa

- Perhitungan Penampang dan gaya dalam



Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan terbesar yang dipakai pada perencanaan balok baja adalah kombinasi 1,4D + 1,3 EY + 1L



Kombinasi 1,4D + 1,3EY + 1L

$M_u = 7,07 \text{ KNm}$

$V_u = 4,76 \text{ KN}$

Balok direncanakan menggunakan profil WF 175×175×7,5×11

d	: 175 mm	ry	: 43,8 mm
bf	: 175 mm	rx	: 75 mm
tw	: 7,5 mm	Ix	: 28.800.000 mm <sup>4</sup>
tf	: 11 mm	Iy	: 9.840.000 mm <sup>4</sup>
Sy	: 112.000 mm <sup>3</sup>	W	: 40,2 kg/m
Sx	: 330.000 mm <sup>3</sup>	A	: 5.121 mm <sup>2</sup>
hw	: 153 mm	hf	: 164 mm

## 1. Perhitungan Kuat Lentur Rencana

### a. Kontrol Local Buckling (SNI 1729-2015 Pasal B4.1)

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{200}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{200}{2 \times 12} \leq 0,38 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$3,6 < 11,7$$

Memenuhi

Penampang sayap kompak

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,6 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{176}{8} \leq 3,6 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$22 < 101,82$$

Memenuhi

Penampang badan kompak

### b. Kontrol Kuat Lentur Akibat Leleh SNI 1729:2015 Pasal F.2

Karena penampang kompak maka,

$$Z_x = \left(\frac{t_w \cdot h_w^2}{4}\right) + t_f \cdot b_f \cdot h_f$$

$$= \left(\frac{7,5 \cdot 153^2}{4}\right) + 11 \cdot 175 \cdot 164 = 359.591,9 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi Z_x \cdot f_y = 0,9 \times 359.591,9 \times 250 = 80.908.177,5 \text{ Nmm} \\ &= 80,91 \text{ KNm} \end{aligned}$$

### c. Kontrol Tekuk Torsi Lateral (SNI 1729-2015 pasal F2)

Direncanakan :

$$L_b = 7,2 \text{ m}$$

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 1,76 \times 43,8 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)}$$

$$L_p = 2,18 \text{ m} = 2,18 \text{ m} \quad (\text{Bentang Menengah atau Panjang})$$

Perhitungan Geometri Properti Penampang

Lebar sayap = b = bf = 175 mm

ho = hw = h - tf = 175 mm - 11 mm = 164 mm

Konstanta Torsi

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{1}{3} \left( (2 \times t_f^3 \times bf) + (t_w^3 \times hw) \right) \\
 &= \frac{1}{3} \left( (2 \times 11^3 \times 175) + (7,5^3 \times 164) \right) = 178.345,83 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Konstanta Warping

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} = \frac{9.840.000 \times 164^2}{4} = 6,62 \times 10^{10} \text{ mm}^6$$

$$c = 1$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{9.840.000 \times 6,62 \times 10^{10}}}{330.000} = 2.445,8 \text{ mm}^2$$

$$r_{ts} = \sqrt{2.445,8} = 49,6 \text{ mm}$$

$$J_c = 178.345,83 \times 1 = 178.345,83 \text{ mm}^3$$

$$S_{xho} = 330.000 \times 164 = 54.120.000 \text{ mm}^2$$

$$L_r = \underbrace{1,95 \cdot r_{ts} \frac{E}{0,7f_y}}_A \sqrt{\underbrace{\frac{J_c}{S_{xho}} + \left( \frac{J_c}{S_{xho}} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7f_y}{E} \right)^2}_B}$$

$$A = 1,95 \times 49,6 \frac{200000}{0,7 \times 250} = 110.537,143$$

$$\begin{aligned}
 B &= \sqrt{\frac{178.345,83}{54.120.000} + \left( \frac{178.345,83}{54.120.000} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7 \times 250}{200000} \right)^2} \\
 &= 0,08544
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 0,08544 \times 110.537,143 = 9.444,3 \text{ mm} \\
 &= 9.444,3 \text{ mm} > 7.200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lr > Lb ..... Bentang Menengah

Berdasarkan hasil analisis SAP2000, nilai faktor modifikasi tekuk lateral akibat kombinasi terbesar  $1,4D + 1,3Ey + 1L$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5M_{max}+3MA+4MB+3MC} \leq 2,3$$

$$M_{Max} = 7,072 \text{ KNm}$$

$$MA = 1,806 \text{ KNm}$$

$$MB = 3,397 \text{ KNm}$$

$$MC = 1,832 \text{ KNm}$$

Maka,

$$C_b = \frac{12,5 \times 7,072}{(2,5 \times 7,072) + (3 \times 1,806) + (4 \times 3,397) + (3 \times 1,832)} = 2,095$$

$C_b = 2,095 > 2,3$ , maka nilai  $C_b$  digunakan adalah 2,3

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 359.591,9 \times 250 = 89.897.975 \text{ Nmm} = 89,9 \text{ KNm}$$

$$0,7 \cdot f_y \cdot S_x = 0,7 \times 250 \times 330.000 = 57.750.000 \text{ Nmm} = 57,75 \text{ KNm}$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 f_y \cdot S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 2,3 \cdot \left[ 89,9 - (89,9 - 57,75) \left( \frac{7,2 - 2,18}{9,44 - 2,18} \right) \right] = 155,64 \text{ KNm}$$

$M_n > M_p$  Maka,  $M_p = M_n$

$$\emptyset M_n = \emptyset Z_x \cdot f_y = 0,9 \times 359.591,9 \times 250 = 80.908.177,5 \text{ Nmm} = 80,91 \text{ KNm}$$

$$\emptyset M_n \geq M_u = 9,5658 \text{ KNm}$$

2. Kontrol penampang profil terhadap gaya geser

( SNI 1729-2015 Pasal G2 )

$$A_w = d \cdot t_w = 175 \times 7,5 = 1.312,5 \text{ mm}^2$$

$$h = d - 2t_f = 175 - 2 \times 11 = 153 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\left(\frac{Ek_v}{f_y}\right)}$$

$$\frac{153}{7,5} \leq 1,1 \sqrt{\left(\frac{200000 \times 5}{250}\right)}$$

$$20,4 < 69,57$$

Maka,  $C_v = 1$ . Sehingga

$$V_n = 0,6 \cdot F_y A_w C_v$$

$$= 0,6 \times 250 \times 1.312,5 = 196.875 \text{ N}$$

$$\emptyset V_n = 0,9 \times 196.875$$

$$= 177.187,5 \text{ N} = 177,5 \text{ KN}$$

$$\emptyset V_n \geq V_u$$

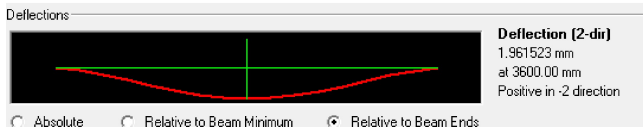
$$177,5 \text{ KN} > 3,915 \text{ KN} \quad \dots \text{ OK}$$

### 3. Kontrol lendutan

$$L = 7.200 \text{ mm}$$

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{7.200}{360} = 20 \text{ mm}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapatkan lendutan batang sebesar



$$\Delta = 1,9 \text{ mm}$$

$$\Delta < \Delta_{ijin} \dots (\text{memenuhi})$$

### 4.2.5.6 Perencanaan Kolom Baja

- Data Perencanaan

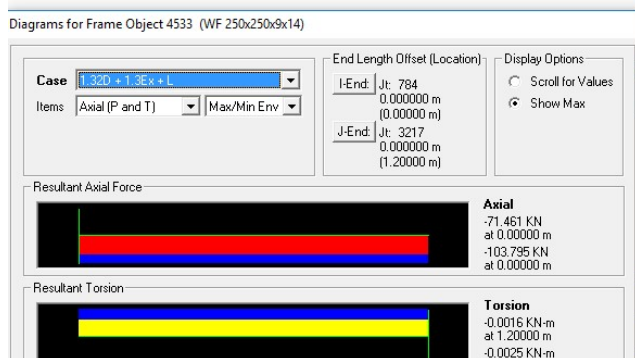
Panjang bentang : 1.200 mm

Mutu Baja : BJ 41  
 Fy : 250 Mpa  
 Fu : 410 Mpa  
 Fr : 180 Mpa  
 E : 200000 Mpa

- Perhitungan Penampang dan gaya dalam

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan terbesar yang dipakai pada perencanaan balok baja adalah kombinasi 1,4D + 1,3 EY + 1L



Kombinasi 1,4D + 1,3Ex + 1L

$P_u = 103,795 \text{ KN}$

Kolom direncanakan menggunakan profil WF 250×250×9×14

d	: 250	mm	ry	: 62,9	mm
bf	: 250	mm	rx	: 108	mm
tw	: 9	mm	Ix	: 108.000.000	mm <sup>4</sup>

tf	: 14	mm	Iy	: 36.500.000	mm <sup>4</sup>
Sy	: 292.000	mm <sup>3</sup>	W	: 72,4	kg/m
Sx	: 867.000	mm <sup>3</sup>	A	: 9.218	mm <sup>2</sup>
hf	: 236	mm	hw	: 222	mm

## 1. Perhitungan Kuat Tekan Rencana

### a. Menentukan Klasifikasi Penampang

SNI 1729-2015 pasal B.4

Pelat Sayap

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} \leq 0,56 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$$

$$\frac{250}{2 \times 14} \leq 0,56 \sqrt{\left(\frac{200.000}{250}\right)}$$

$$8,93 < 15,84 \quad \text{Penampang sayap Nonlangsing}$$

Karena komponen termasuk penampang langsing, maka perhitungan kekuatan tekan nominal ( $\phi P_n$ ) mengikuti SNI 1729-2013 pasal E.3 dan pasal E.4

### b. Perhitungan Kapasitas Tekan Nominal

SNI 1729-2013 pasal E.3 dan pasal E.4

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$ , dimana nilai  $F_{cr}$  dipilih yang menentukan dari kondisi berikut.

### c. Akibat tekuk-lentur

Faktor Tekuk ( $K$ ) = 0,775

Ditinjau sumbu lemah penampang yaitu sumbu y

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,775 \times 1.200}{62,9} = 14,78$$

$$4,71 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 4,71 \sqrt{\left(\frac{200000}{250}\right)} = 133,22$$

Karena nilai,  $\frac{KL}{r} < 4,71 \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)}$

Maka  $F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y$

Maka termasuk kondisi tekuk inelastic, sehingga

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(19,1)^2} = 5410 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y/F_e = 250 / 5410 = 0,046$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y = (0,658^{0,046}) \cdot 250$$

$$= 245,23 \text{ Mpa}$$

$$\emptyset P_n = \emptyset \cdot F_{cr} \cdot A_g = 0,9 \times 245,23 \times 9.218$$

$$= 2034477 \text{ N} = 2034 \text{ KN}$$

$$\emptyset P_n > P_u = 103,795 \text{ KN} \dots \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.2.5.7 Perhitungan Pelat Landas

Perencanaan *base plate* digunakan untuk menghubungkan kolom baja dengan kolom beton. Dari hasil analisis SAP 2000 didapat gaya yang bekerja pada kolom baja adalah :

$$P_u = 103,75 \text{ KN} \quad (\text{dari gaya aksial Kolom})$$

$$V_u = 105,114 \text{ KN} \quad (\text{dari gaya geser Kolom})$$

$$M_u = 66,501 \text{ KNm} \quad (\text{dari momen Kolom})$$



## 1. Perencanaan Dimensi Pelat Landas

Direncanakan :

Diameter baut = M20 (db=20mm)

Mutu Baut = A325 ( $f_u = 830 \text{ Mpa}$  ;  $f_y = 585 \text{ Mpa}$  )

Dimensi Baseplate 35 x 35 cm

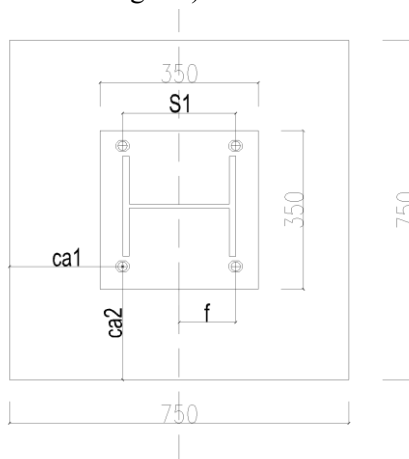
$$f_p \text{ max} = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f_c = 0,65 \times 0,85 \times 35 \\ = 19,3 \text{ Mpa}$$

$$q_{\text{max}} = 19,3 \times 350 = 6.755 \text{ N/mm}$$

$$e \text{ kritis} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{\text{max}}} \\ = \frac{350}{2} - \frac{103,75}{2 \cdot 6755} \\ = 174,99 \text{ mm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{66,501}{103,75} = 0,64 \text{ m} = 640 \text{ mm}$$

$e > e \text{ kritis}$  ( Perlu baut angkur )



**Gambar 40** Denah Base Plate

Jika  $f = 125 \text{ mm}$  adalah jarak baut angkur ke as kolom, maka penyelesaian untuk mencari  $Y$  adalah :

$$Y = \left( \frac{N}{2} + f \right) \pm \sqrt{\left( \frac{N}{2} + f \right)^2 - \frac{2Pu(e+f)}{q \max}}$$

$$Y = \left( \frac{350}{2} + 125 \right) \pm \sqrt{\left( \frac{350}{2} + 125 \right)^2 - \frac{2 \times 103750(640+125)}{6755}}$$

$$Y = 42,12 \text{ mm}$$

Gaya pada angkur adalah :

$$\begin{aligned} T_u &= Q_y \cdot y - P_u = 6.755 \times 42,12 - 103750 = 180770 \text{ N} \\ &= 180,77 \text{ KN} \end{aligned}$$

Digunakan baut mutu tinggi A325 Ø20 mm ( $f_y = 585 \text{ Mpa}$ )

$$\begin{aligned} \phi T_n &= \phi \cdot A_b \cdot F_y = 0,75 \times \frac{\pi}{4} \times 20^2 \times 585 = 137830 \text{ N} \\ &= 137,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jumlah baut yang digunakan,

$$\frac{T_u}{\phi T_n} = \frac{180,77}{137,83} = 1,34 \approx 4 \text{ buah}$$

Maka direncanakan 4 buah baut angkur diameter 20 mm.

**Sisi desak** : pelat kantilever  $m = 75 \text{ mm} > Y = 58,6 \text{ mm}$ , maka tebal pelat landasan untuk memikul gaya reaksi beton adalah :

$$f_p = \frac{P_u}{B \cdot Y} = \frac{127.000}{350 \times 58,6} = 6,2 \text{ MPa}$$

$$t_p \geq 2,11 \sqrt{\frac{f_p Y \left( m - \frac{Y}{2} \right)}{f_y}}$$

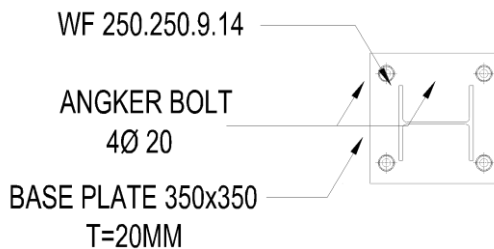
$$t_p \geq 2,11 \sqrt{\frac{6,2 \times 58,6 \left( 75 - \frac{58,6}{2} \right)}{250}} = 17,2 \text{ mm}$$

Sisi Tarik

$$t_p \geq 1,5 \sqrt{\frac{Tu}{n \times Fy}}$$

$$t_p \geq 1,5 \sqrt{\frac{268.840}{4 \times 585}} = 0,51 \text{ mm}$$

Sisi desak lebih menentukan, maka tebal pelat landasan yang dipakai 20 mm.



## 2. Perhitungan Kuat angkur baut ke beton

Direncanakan :

$$Heff = 600 \text{ mm}$$

$$Ca = 250 \text{ mm}$$

$$S1 = 250 \text{ mm} ; S2 = 250 \text{ mm}$$

### a. Kuat baut angkur terhadap gaya Tarik

Menurut SNI 2847:2013 Ps. D.5.1.2 dijelaskan gaya tarik pada angkur harus lebih kecil dari kekuatan nominal angkur. Baut angkur,  $\emptyset$ baut = 20 mm  $\approx 3/4 \text{ in}$ ,  $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$  (Wiryanto 2016)

$$N_{sa} = A_{SE,N} \times F_u = 314,159 \text{ mm}^2 \times 830 \text{ Mpa} = 260752 \text{ N}$$

$$= 260,752 \text{ kN}$$

$$\emptyset N_{sa} = 0,75 \times 260,752 = 195,563 \text{ KN} \quad \dots \text{ Angkur tunggal}$$

$$4 \times \emptyset N_{sa} = 4 \times 195,563 \text{ KN} = 782,225 \text{ KN} \quad \dots \text{ Angkur kelompok}$$

## b. Kuat jebol (breakout) beton terhadap tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.2.2 kekuatan nominal kuat jebol beton terhadap tarik yaitu :

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton ( $c_{a1}$ ) = 250 mm < 1,5 x hef = 900 mm maka pengaruh jebol perlu dievaluasi.

$$A_{NCO} = 9h_{ef}^2 = 9 \times 600^2 = 3240000 \text{ mm}^2$$

Angkur kelompok  $c_{a1} < 3 h_{ef}$ ,  $s1 < 3 h_{ef}$  dan  $s2 < 3 h_{ef}$  maka

$$\begin{aligned}ANC &= (2 \times 1,5 \text{ hef} + s2) \times (c_{a1} + s1 + 1,5\text{hef}) \\ &= (2 \times 1,5 \times 600 + 250) \times (250 + 250 + 1,5 \times 600) \\ &= 2870000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\frac{A_{NC}}{A_{NCO}} = 0.88$$

Untuk  $c_{a1} < 1,5 \text{ hef}$  maka

$$\Psi_{ed,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c_{a1}}{1,5h_{ef}} = 0,7 + 0,3 \frac{250}{1,5 \times 600} = 0,76$$

$$\Psi_{c,N} = 1$$

$$\Psi_{cp,N} = 1$$

$Kc = 10$  (untuk angkur cor didalam)

$$\lambda a = \lambda = 1$$

$$\begin{aligned}Nb &= kc \lambda a \sqrt{f_c} h_{ef}^{1,5} = 10 \cdot 1 \sqrt{35} 600^{1,5} = 869483 \text{ N} \\ &= 869 \text{ kN}\end{aligned}$$

Baut angkur tunggal

$$\begin{aligned}N_{cb} &= \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times Nb \\ &= 0,88 \times 0,76 \times 1 \times 1 \times 869 = 581 \text{ KN}\end{aligned}$$

$$\Psi_{ec,N} = 1$$

$$\emptyset = 0,75 \text{ (Beton bertulang)}$$

Baut angkur kelompok

$$\emptyset N_{cbg} = \emptyset \Psi_{ec,N} N_{cb} = 0,75 \times 1 \times 581 = 436 \text{ KN}$$

### c. Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

Menurut SNI 2847:2013 D.5.3.4 kekuatan nominal cabut dalam kondisi tarik dari baut berkait tunggal seperti berikut,

$$\Psi_{c,p} = 1$$

Baut angkur,  $\emptyset_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx 3/4 \text{ in}$ ,  $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$  (Wiryanto 2016)

$$N_p = 8 A_{brg,fc} = 8 \times 314,159 \times 35 = 87964 \text{ N} = 87,96 \text{ KN}$$

$$\emptyset N_{pn} = \emptyset \Psi_{c,p} \cdot N_p = 0,75 \times 1 \times 87,96$$

$$= 65,97 \text{ KN} \quad \dots\dots\dots \text{Baut angkur tunggal}$$

$$4 \times \emptyset N_{pn} = 4 \times 65,97 = 263,88 \text{ KN} \quad \dots\dots\dots \text{Baut angkur kelompok}$$

### d. Kuat ambrol muka tepi (sideface blowout) beton dari tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.4.1 kekuatan nominal ambrol beton dari tepi terdekat terhadap tarik yaitu,

Posisi angkur dipinggir  $heff = 750 \text{ mm} > 2,5 c_{a1} = 625 \text{ mm}$

Baut angkur,  $\emptyset_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx 3/4 \text{ in}$ ,  $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$  (Wiryanto 2016)

$$\begin{aligned} N_{sb} &= (13 \cdot c_{a1} \sqrt{A_{brg}}) \lambda a \sqrt{f_c} \\ &= (13 \times 250 \sqrt{314,159}) 1 \sqrt{35} \\ &= 340794 \text{ N} = 340,794 \text{ KN} \end{aligned}$$

$S = 250 \text{ mm} < 6 \times c_{a1} = 1500 \text{ mm}$ , maka

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6 \cdot c_{a1}}\right) N_{sb} = \left(1 + \frac{250}{6 \times 250}\right) 340,794 = 397 \text{ KN}$$

$$\emptyset N_{sbg} = 0,75 \times 397 \text{ KN} = 298 \text{ KN}$$

### e. Rangkuman kuat batas baut terhadap tarik :

$$\text{Kuat tarik baut angkur} = 782,2 \text{ KN}$$

$$\text{Kuat jebol beton} = 436 \text{ KN}$$

$$\text{Kuat cabut beton} = 263,8 \text{ KN ( Menentukan )}$$

$$\text{Kuat ambrol muka tepi beton} = 298 \text{ KN}$$

### f. Kuat baut angkur kelompok terhadap geser

Menurut SNI 2847:2013 D.6.1.1 kekuatan nominal angkur dalam kondisi geser untuk jenis angkur berkepala dan baut berkait dicor didalam.

$$A_{se,n} = A_{se,v} = 314,159 \text{ mm}^2$$

$$V_{sa} = 0,6 \cdot A_{se,v} \cdot F_u = 0,6 \cdot 314,159 \cdot 825 = 155508 \text{ N}$$

$$V_{sa} = 155,508 \text{ KN} \quad \dots\dots\dots \text{ Angkur Tunggal}$$

$$4 \times V_{sa} = 4 \times 155,508 \text{ KN} = 622,032 \text{ KN} \dots \text{ Angkur kelompok}$$

**g. Kuat jebol ( breakout ) beton terhadap geser**

Menurut SNI 2847:2013 D.6.2.1 kekuatan nominal angkur dalam kondisi geser untuk jenis angkur berkepala dan baut berkait dicor didalam.

Karena  $s = 250 \text{ mm} \geq c_{a1,1} = 250 \text{ mm}$ . Dianggap  $\frac{1}{2}$  gaya geser dipikul ke-2 baut angkur paling depan pada luas bidang proyeksinya. Parameter kuat jebol beton terhadap geser diambil  $c_{a1,1} = c_{a1}$ .

$$A_{vc} = ( 2 \times 1,5 \cdot c_{a1,1} + s^2 ) 1,5 c_{a1,1}$$

$$= ( 2 \times 1,5 \times 250 + 250 ) \times 1,5 \times 250 = 375000 \text{ mm}^2$$

$$A_{vco} = 4,5 c_{a1}^2 = 4,5 \times 250^2 = 281250 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{vc}}{A_{vco}} = \frac{375000}{281250} = 1,33$$

Untuk  $c_{a2} > 1,5 c_{a1}$  , maka  $\Psi_{ed,v} = 1$

$$\Psi_{c,v} = 1,4$$

$$\Psi_{ec,v} = 1$$

$$\Psi_{h,v} = 1$$

$$h_{eff} > 8 d_a , l_e = 8 \times 20 = 160 \text{ mm}$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

$$V_b = k_c \lambda_a \sqrt{f_c} h_{ef}^{1,5} = 10 \cdot 1 \sqrt{35} 600^{1,5} = 869483 \text{ N}$$

$$= 869 \text{ kN}$$

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \times \psi_{ed,v} \times \psi_{c,v} \times \psi_{cp,v} \times V_b$$

$$V_{cbg} = 1,33 \times 1 \times 1 \times 1,4 \times 869 \text{ KN} = 1618 \text{ KN}$$

$$\emptyset = 0,75$$

$$\emptyset V_{cbg} = 0,75 \times 1618 \text{KN} = 1213 \text{ KN}$$

Karena baut angkur terdepan diasumsikan menerima  $\frac{1}{2}$  gaya geser.

$$2 \times \emptyset V_{cbg} = 2 \times 1213 = 2427 \text{ kN}$$

#### **h. Kuat rompal beton ( pryout ) beton terhadap geser**

$$K_{cp} = 2$$

$$V_{cp} = K_{cp} \times N_{cp}$$

$$N_{cp} = N_{cb} = 581 \text{ KN}$$

$$\emptyset = 0,75$$

$$\emptyset V_{cp} = 0,75 \times 2 \times 581 \text{ KN} = 871 \text{ KN}$$

#### **i. Rangkuman kuat batas baut terhadap geser :**

Kuat geser baut angkur = 622,032 KN (Menentukan )

Kuat jebol beton = 2427 KN

Kuat rompal = 871 KN

#### **j. Interaksi gaya tarik dan gaya geser yang terjadi bersamaan**

$$\frac{Nu}{\emptyset Nn} + \frac{Vu}{\emptyset Vn} \leq 1,2$$

$$\frac{103,75}{262,8} + \frac{105,114}{622,032} = 0,56 < 1,2 \quad OK$$

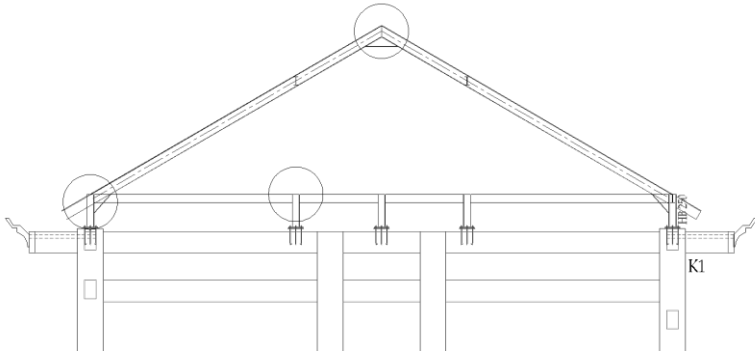
Base plate dengan dimensi 350 mm x 350 mm x 20 mm dan angkur baut M20 mutu A325cukup kuat untuk menahan beban yang terjadi.

#### **4.2.5.8 Sambungan**

Perencanaan Sambungan digunakan untuk menghubungkan kedua profil yang bertemu. Dalam hal ini, sambungan yang direncanakan adalah sambungan antara kuda-kuda dan kolom pedestal,

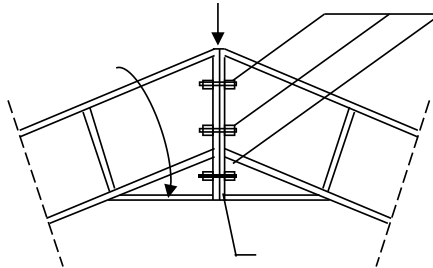
sambungan antara kuda-kuda dan kuda-kuda dan sambungan antara balok baja dan kolom pedestal.

Output yang dipakai dalam analisa sambungan adalah gaya dalam yang berasal program bantu SAP 2000.



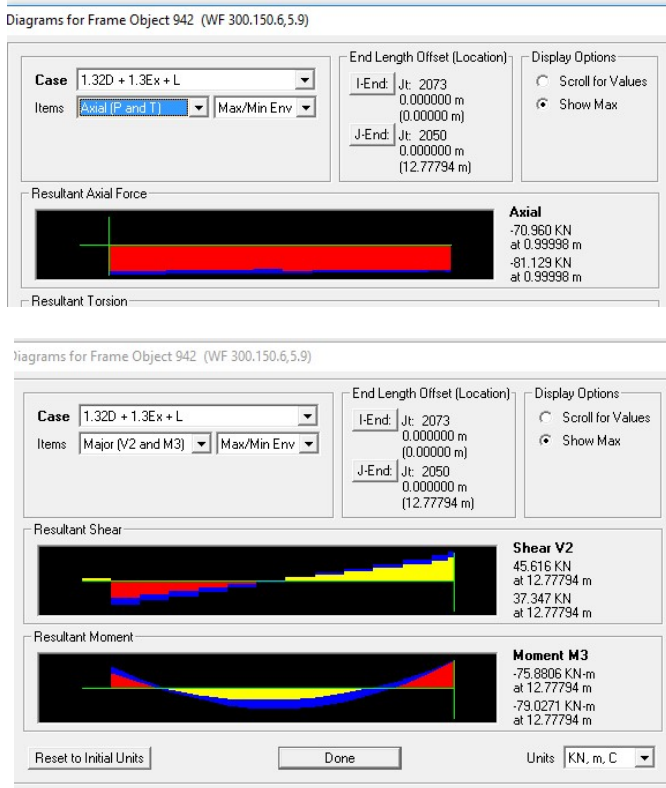
**Gambar 41** Titik Titik Sambungan

1. Sambungan Antar Kuda Kuda



**Gambar 42** Sambungan Antar Kuda Kuda





Dari perhitungan SAP diperoleh gaya gaya dalam terbesar akibat kombinasi 1,32D + 1,3Ex + L yaitu :

$$P_u = 81,12 \text{ kN}$$

$$V_u = 45,16 \text{ kN}$$

$$M_u = 79,02 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2 Direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut :

$$\begin{aligned} d_b &= 20 \text{ mm} & T_p &= 10 \text{ mm} \\ A_b &= 314,15 \text{ m}^2 & n.\text{baut} &= 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$F_u$	= 410 Mpa (BJ41)	$F_{nt}$	= 620 Mpa (A325)
$F_y$	= 250 Mpa (BJ41)	$F_{ub}$	= 830 Mpa (A325)
		$F_{nv}$	= 372 Mpa

- Perhitungan jarak baut

SNI 1729-2015 J3.5 mengharuskan jarak antar baut (S) maksimum adalah 12 tp tetapi tidak boleh melebihi 150 mm.

Pada pasal J3.3 direkomendasikan pada jarak 3db.

$$3db < s < 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$3 \times 20 < s < 12 \times 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} < s < 120 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 140 \text{ mm}$

Untuk jarak baut ke tepi (S1) :

$$1,25db < s < 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,25 \times 20 < s < 12 \times 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < s < 120 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 80 \text{ mm}$

- Perhitungan tahanan baut

- a. Kuat geser baut :

$$R_{nv} = F_{nv} \cdot A_b$$

Berdasarkan SNI 1729-2015 nilai  $F_{nv}$  adalah tegangan tarik nominal dari tabel J3.2 yaitu  $F_n = 372 \text{ Mpa}$

$$R_{nv} = 372 \times 314,15 = 116,86 \text{ kN}$$

- k. Kuat tumpu baut :

Berdasarkan SNI 1729-2015 persamaan J3.6a, untuk baut dalam sambungan standar, maka dapat dipakai rumusan berikut dengan mengambil nilai terkecil :

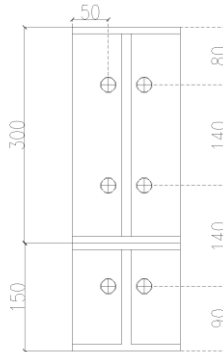
$$1,2lc = 1,2 \times (134 - 20) = 136,8 \text{ mm}$$

$$2,4db = 2,4 \times 20 = 48 \text{ mm}$$

Maka kuat tumpu didasarkan pada deformasi terkecil :

$$2,4. db. t. f_{ub} = 48 \times 10 \times 830 = 398,4 \text{ kN}$$

### 1. Kuat geser block



Kuat nominal sambungan terhadap keruntuhan geser blok ( $R_n$ ) sesuai SNI 1729-2015 persamaan J4-5 adalah :

$$0,6. F_u. A_{nv} + U_{bs}. F_u. A_{nt} \leq 0,6. F_y. A_{gv} + U_{bs}. F_u. A_{nt}$$

Baut  $\Phi 22$ mm, maka lubang aktual baut standar  $\Phi 24$ mm (SNI 1729-2015 tabel J3.3M), untuk perhitungan dipakai lubang imajiner  $\Phi 26$ mm yang diambil karena dianggap terjadi pelemahan selama pembuatan lubang.

$$A_{nv} = (80+140+140) \times 10 - (26 \times 2,5) \times 10 = 2950 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 50 \times 10 = 500 \text{ mm}^2 \quad ; \quad U_{bs} = 1$$

$$A_{gv} = (80+140+140) \times 10 = 3600 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} 0,6. F_u. A_{nv} + U_{bs}. F_u. A_{nt} &= 0,6. 410. 2950 + 1. 410. 500 \\ &= 930 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,6. F_y. A_{gv} + U_{bs}. F_u. A_{nt} &= 0,6. 250. 3600 + 1. 410. 500 \\ &= 745 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $R_n$  terkecil = 745 kN

Ada tiga kondisi batas untuk menghitung kuat sambungan :

1. Kuat tumpu baut = 398,4 kN
2. Kuat geser baut = 116,86 kN (menentukan)
3. Kuat geser blok = 745 kN

Jadi  $\Phi R_n = 0,75 \times 116,86 = 87,6 \text{ kN} > V_u = 47,13 \text{ kN}$  (OK)

- Kapasitas momen pelat sambungan

Perhitungan dibawah ini mengacu pada desain sambungan end plate tipe MBMA untuk mendapatkan sambungan sekuat profil yang dipakai.

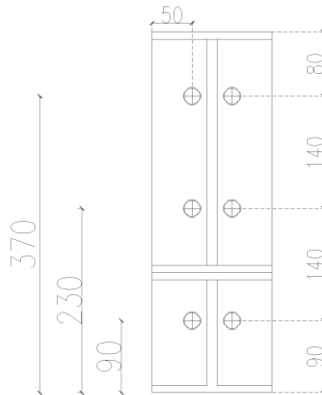
$$\Phi M_{np} \geq M_u$$

$$\Phi M_{np} = 0,75 \cdot 2 \cdot P_t \sum h_i$$

$$P_t = \frac{1}{4} \pi \cdot d_b^2 \cdot F_{nt}$$

Data perencanaan sambungan :

$f_{py} = 250 \text{ Mpa}$	$h_1 = 370 \text{ mm}$
$F_{nt} = 620 \text{ Mpa}$	$h_2 = 230 \text{ mm}$
$\Phi b = 0,9$	$h_3 = 90 \text{ mm}$
$t_p = 10 \text{ mm}$	
$b_p = 150 \text{ mm}$	



$$P_t = \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2 \cdot \frac{620}{1000} = 194,778 \text{ kN}$$

$$\phi M_{np} = 0,75 \times 2 \times 194,778 \times \frac{(370 + 230 + 190)}{1000} = 202 \text{ kN}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \phi M_{n. \text{ sambungan}} &> \phi M_{n. \text{ profil}} > \phi M_u \\ 202 \text{ kN} &> 117 \text{ kN} > 79,02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas momen sambungan sekuat profil dan lebih besar dari momen yang terjadi.

- Kontrol sambungan las

Pengelasan dilakukan sepanjang kedua sisi dari plat sambung dengan  $t = 10 \text{ mm}$ , mengacu saran Blodgett (1996) tinggi las direncanakan 75% tebal pelat sambung, diambil tinggi las = 8 mm. Nilai tersebut telah melebihi dari tinggi las minimum yang dipersyaratkan SNI 1729-2015 tabel J2.4.

Sesuai SNI 1729-2015 pasal J2.4, kuat las desain per mm panjang adalah :

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Panjang las (L) = 320 mm

Mutu kawat las : E60XX

$$F_{EXX} = 430 \text{ MPa}$$

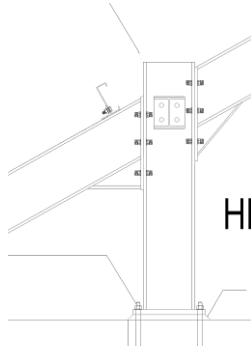
$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} = 258 \text{ MPa}$$

$$A_{we} = t \times L = 8 \text{ mm} \times 320 \text{ mm} = 2560 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we} = 0,75 \times 258 \times 0,707 \times 2560 = 350,219 \text{ kN}$$

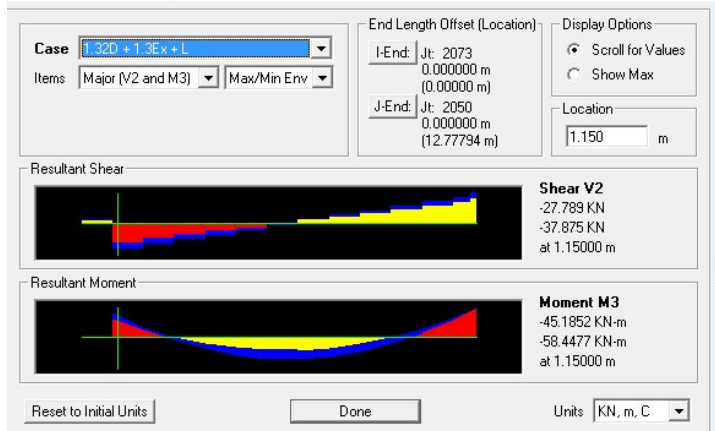
$$\phi R_n = 350,219 \text{ kN} > V_u = 45,61 \text{ kN} \text{ (memenuhi)}$$

## 2. Sambungan Kuda Kuda dan Kolom

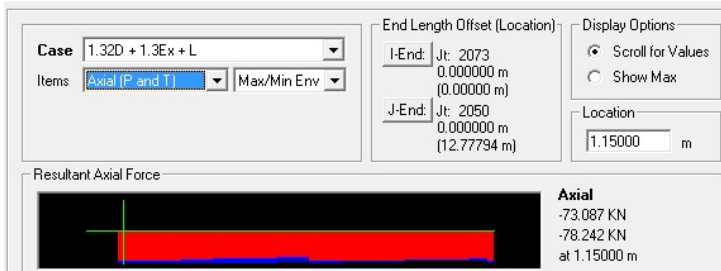


**Gambar 43 Sambungan Kuda Kuda dan Kolom**

Diagrams for Frame Object 942 (WF 350.175.7.11)



Diagrams for Frame Object 942 (WF 350.175.7.11)



Dari perhitungan SAP diperoleh gaya gaya dalam terbesar akibat kombinasi 1,32D + 1,3Ex + L yaitu :

$$P_u = 78,24 \text{ kN}$$

$$V_u = 37,87 \text{ kN}$$

$$M_u = 58,44 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2 Direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut :

db	= 20 mm	Tp	= 10 mm
Ab	= 314,15 m <sup>2</sup>	n.baut	= 6 buah
Fu	= 410 Mpa (BJ41)	Fnt	= 620 Mpa (A325)
Fy	= 250 Mpa (BJ41)	Fub	= 830 Mpa (A325)
		Fnv	= 372 Mpa

- Perhitungan jarak baut

SNI 1729-2015 J3.5 mengharuskan jarak antar baut (S) maksimum adalah 12 tp tetapi tidak boleh melebihi 150 mm.

Pada pasal J3.3 direkomendasikan pada jarak 3db.

$$3db < s < 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$3 \times 20 < s < 12 \times 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} < s < 120 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 140 \text{ mm}$

Untuk jarak baut ke tepi (S1) :

$$1,25db < s < 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,25 \times 20 < s < 12 \times 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < s < 120 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 80 \text{ mm}$

- Perhitungan tahanan baut

a. Kuat geser baut :

$$R_{nv} = F_{nv} \cdot A_b$$

Berdasarkan SNI 1729-2015 nilai  $F_{nv}$  adalah tegangan tarik nominal dari tabel J3.2 yaitu  $F_n = 372 \text{ Mpa}$

$$R_{nv} = 372 \times 314,15 = 116,86 \text{ kN}$$

b. Kuat tumpu baut :

Berdasarkan SNI 1729-2015 persamaan J3.6a, untuk baut dalam sambungan standar, maka dapat dipakai rumusan berikut dengan mengambil nilai terkecil :

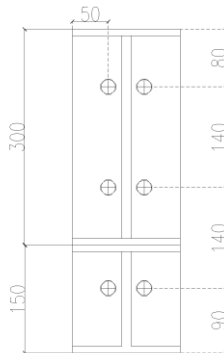
$$1,2 l_c = 1,2 \times (80 - 20) = 72 \text{ mm}$$

$$2,4 d_b = 2,4 \times 20 = 48 \text{ mm}$$

Maka kuat tumpu didasarkan pada deformasi terkecil :

$$2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_{ub} = 48 \times 10 \times 830 = 398,4 \text{ kN}$$

c. Kuat geser block



Kuat nominal sambungan terhadap keruntuhan geser blok ( $R_n$ ) sesuai SNI 1729-2015 persamaan J4-5 adalah :

$$0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

Baut  $\Phi 22 \text{ mm}$ , maka lubang aktual baut standar  $\Phi 24 \text{ mm}$  (SNI 1729-2015 tabel J3.3M), untuk perhitungan dipakai lubang



imajiner  $\Phi 26\text{mm}$  yang diambil karena dianggap terjadi pelemahan selama pembuatan lubang.

$$A_{nv} = (80+140+140) \times 10 - (26 \times 2,5) \times 10 = 2950 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 50 \times 10 = 500 \text{ mm}^2 \quad ; \quad U_{bs} = 1$$

$$A_{gv} = (80+140+140) \times 10 = 3600 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

$$0,6.F_u.A_{nv} + U_{bs}.F_u.A_{nt} = 0,6.410.2950 + 1.410.500 \\ = 930 \text{ kN}$$

$$0,6.F_y.A_{gv} + U_{bs}.F_u.A_{nt} = 0,6.250.3600 + 1.410.500 \\ = 745 \text{ kN}$$

Maka digunakan  $R_n$  terkecil = 745 kN

Ada tiga kondisi batas untuk menghitung kuat sambungan :

1. Kuat tumpu baut = 398,4 kN
2. Kuat geser baut = 116,86 kN (menentukan)
3. Kuat geser blok = 745 kN

$$\text{Jadi } \Phi R_n = 0,75 \times 116,86 = 87,6 \text{ kN} > V_u = 37,87 \text{ kN (OK)}$$

- Kapasitas momen pelat sambungan

Perhitungan dibawah ini mengacu pada desain sambungan end plate tipe MBMA untuk mendapatkan sambungan sekuat profil yang dipakai.

$$\Phi M_{np} \geq M_u$$

$$\Phi M_{np} = 0,75 \cdot 2 \cdot P_t \Sigma h_i$$

$$P_t = \frac{1}{4} \pi \cdot d_b^2 \cdot F_{nt}$$

Data perencanaan sambungan :

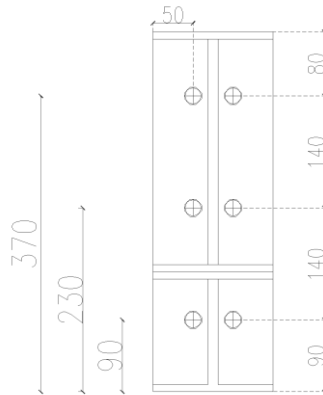
$$f_{py} = 250 \text{ Mpa} \quad h_1 = 370 \text{ mm}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ Mpa} \quad h_2 = 230 \text{ mm}$$

$$\phi b = 0,9 \quad h_3 = 90 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

$$b_p = 150 \text{ mm}$$



$$Pt = \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2 \cdot \frac{620}{1000} = 194,778 \text{ kN}$$

$$\phi M_{np} = 0,75 \times 2 \times 194,778 \times \frac{(370 + 230 + 190)}{1000} = 202 \text{ kN}$$

Maka,

$$\phi M_{n. \text{ sambungan}} > \phi M_{n. \text{ profil}} > \phi Mu$$

$$202 \text{ kN} > 117 \text{ kN} > 58,44 \text{ kNm}$$

Sehingga kapasitas momen sambungan sekuat profil dan lebih besar dari momen yang terjadi.

- Kontrol sambungan las

Pengelasan dilakukan sepanjang kedua sisi dari plat sambung dengan  $t = 10$  mm, mengacu saran Blodgett (1996) tinggi las direncanakan 75% tebal pelat sambung, diambil tinggi las = 8 mm. Nilai tersebut telah melebihi dari tinggi las minimum yang dipersyaratkan SNI 1729-2015 tabel J2.4.

Sesuai SNI 1729-2015 pasal J2.4, kuat las desain per mm panjang adalah :

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Panjang las (L) = 320 mm

Mutu kawat las : E60XX

$$F_{EXX} = 430 \text{ MPa}$$

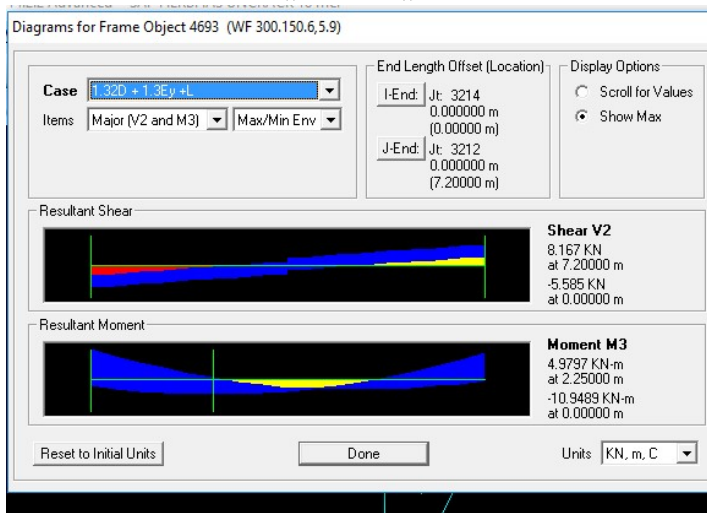
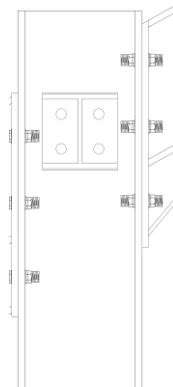
$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} = 258 \text{ MPa}$$

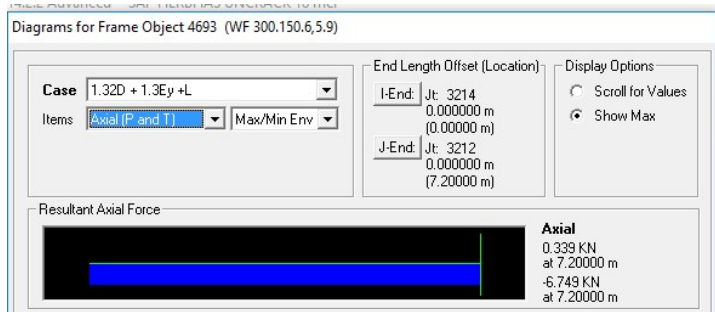
$$A_{we} = t \times L = 8 \text{ mm} \times 320 \text{ mm} = 2560 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we} = 0,75 \times 258 \times 0,707 \times 2560 = 350,219 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 350,219 \text{ kN} > V_u = 37,87 \text{ kN} \text{ (memenuhi)}$$

### 3. Sambungan Balok dan Kolom





Dari perhitungan SAP diperoleh gaya gaya dalam terbesar akibat kombinasi 1,32D + 1,3Ey + L yaitu :

$$P_u = 6,75 \text{ kN}$$

$$V_u = 8,16 \text{ kN}$$

$$M_u = 10,94 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2 Direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut :

$d_b$	= 20 mm	$T_p$	= 10 mm
$A_b$	= 314,15 m <sup>2</sup>	n.baut	= 4 buah
$F_u$	= 410 Mpa (BJ41)	$F_{nt}$	= 620 Mpa (A325)
$F_y$	= 250 Mpa (BJ41)	$F_{ub}$	= 830 Mpa (A325)
		$F_{nv}$	= 372 Mpa

- Perhitungan jarak baut

SNI 1729-2015 J3.5 mengharuskan jarak antar baut (S) maksimum adalah 12 tp tetapi tidak boleh melebihi 150 mm.

Pada pasal J3.3 direkomendasikan pada jarak 3db.

$$3db < s < 12 tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$3 \times 20 < s < 12 \times 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} < s < 120 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 95 \text{ mm}$

Untuk jarak baut ke tepi (S1) :

$$1,25db < s < 12 tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,25 \times 20 < s < 12 \times 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < s < 120 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka diambil  $s = 40 \text{ mm}$

- Perhitungan tahanan baut

d. Kuat geser baut :

$$Rnv = Fnv \cdot Ab$$

Berdasarkan SNI 1729-2015 nilai  $Fnv$  adalah tegangan tarik nominal dari tabel J3.2 yaitu  $F_n = 372 \text{ Mpa}$

$$Rnv = 372 \times 314,15 = 116,86 \text{ kN}$$

e. Kuat tumpu baut :

Berdasarkan SNI 1729-2015 persamaan J3.6a, untuk baut dalam sambungan standar, maka dapat dipakai rumusan berikut dengan mengambil nilai terkecil :

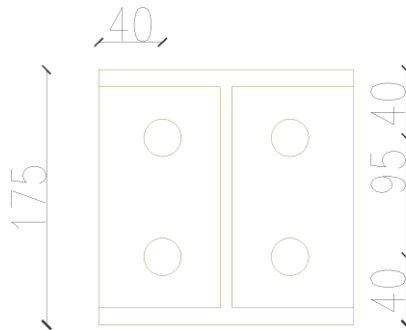
$$1,2 lc = 1,2 \times (95 - 20) = 75 \text{ mm}$$

$$2,4db = 2,4 \times 20 = 48 \text{ mm}$$

Maka kuat tumpu didasarkan pada deformasi terkecil :

$$2,4 \cdot db \cdot t \cdot fub = 48 \times 10 \times 830 = 398,4 \text{ kN}$$

f. Kuat geser block



Kuat nominal sambungan terhadap keruntuhan geser blok ( $R_n$ ) sesuai SNI 1729-2015 persamaan J4-5 adalah :

$$0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

Baut  $\Phi 22\text{mm}$ , maka lubang aktual baut standar  $\Phi 24\text{mm}$  (SNI 1729-2015 tabel J3.3M), untuk perhitungan dipakai lubang imajiner  $\Phi 26\text{mm}$  yang diambil karena dianggap terjadi pelemahan selama pembuatan lubang.

$$A_{nv} = (40+95) \times 10 - (26 \times 2,5) \times 10 = 635 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 40 \times 10 = 400 \text{ mm}^2 \quad ; \quad U_{bs} = 1$$

$$A_{gv} = (40+95) \times 10 = 1350 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} &= 0,6 \cdot 410 \cdot 635 + 1 \cdot 410 \cdot 400 \\ &= 318 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} &= 0,6 \cdot 250 \cdot 1350 + 1 \cdot 410 \cdot 400 \\ &= 366 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $R_n$  terkecil = 318 kN

Ada tiga kondisi batas untuk menghitung kuat sambungan :

1. Kuat tumpu baut = 398,4 kN
2. Kuat geser baut = 116,86 kN (menentukan)
3. Kuat geser blok = 318 kN

Jadi  $\Phi R_n = 0,75 \times 116,86 = 87,6 \text{ kN} > V_u = 8,16 \text{ kN}$  (OK)

- Kapasitas momen pelat sambungan

Perhitungan dibawah ini mengacu pada desain sambungan end plate tipe MBMA untuk mendapatkan sambungan sekuat profil yang dipakai.

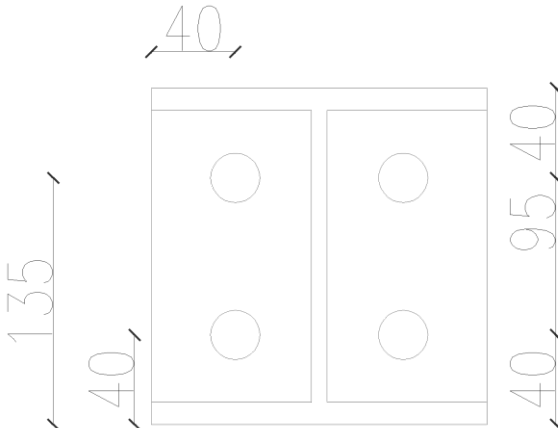
$$\Phi M_{np} \geq M_u$$

$$\Phi M_{np} = 0,75 \cdot 2 \cdot P_t \Sigma d_i$$

$$P_t = \frac{1}{4} \pi \cdot d_b^2 \cdot F_{nt}$$

Data perencanaan sambungan :

$f_{py}$	= 250 Mpa	$h_1$	= 135 mm
$F_{nt}$	= 620 Mpa	$h_2$	= 40 mm
$\phi b$	= 0,9	$p_b$	= 80 mm
$t_p$	= 10 mm		
$b_p$	= 175 mm		



$$P_t = \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2 \cdot \frac{620}{1000} = 194,778 \text{ kN}$$

$$\Phi M_{np} = 0,75 \times 2 \times 194,778 \times \frac{(135 + 40)}{1000} = 51,12 \text{ kN}$$

Maka,

$$\begin{aligned}\phi M_n \text{ sambungan} &> \phi M_u \\ 51,12 \text{ kN} &> 10,94 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Sehingga kapasitas momen sambungan lebih besar dari momen yang terjadi.

- Kontrol sambungan las

Pengelasan dilakukan sepanjang kedua sisi dari plat sambung dengan  $t = 10 \text{ mm}$ , mengacu saran Blodgett (1996) tinggi las direncanakan 75% tebal pelat sambung, diambil tinggi las = 8 mm. Nilai tersebut telah melebihi dari tinggi las minimum yang dipersyaratkan SNI 1729-2015 tabel J2.4.

Sesuai SNI 1729-2015 pasal J2.4, kuat las desain per mm panjang adalah :

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Panjang las (L) = 320 mm

Mutu kawat las : E60XX

$$F_{EXX} = 430 \text{ MPa}$$

$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} = 258 \text{ MPa}$$

$$A_{we} = t \times L = 8 \text{ mm} \times 320 \text{ mm} = 2560 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we} = 0,75 \times 258 \times 0,707 \times 2560 = 350,219 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 350,219 \text{ kN} > V_u = 8,16 \text{ kN} \text{ (memenuhi)}$$

### 4.3 Permodelan Struktur

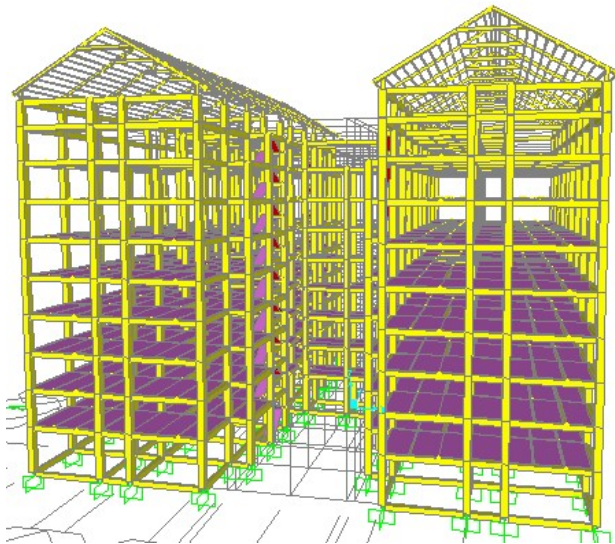
Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa



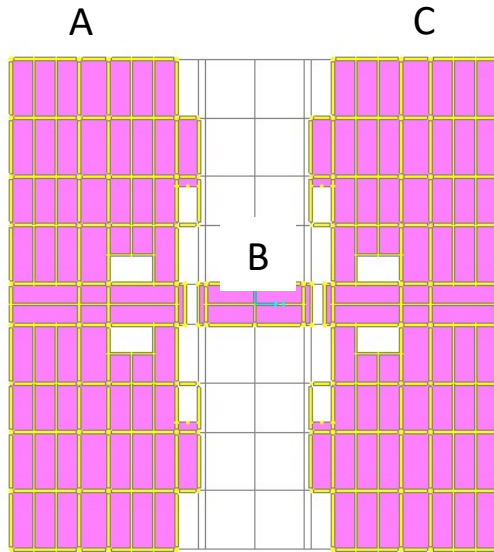
#### 4.3.5 Data Perencanaan

Data-data perancangan gedung Rumah Sakit Dental Nano Malang adalah sebagai berikut:

Mutu beton ( $f_c'$ )	: 35 Mpa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	: 390 Mpa
Fungsi bangunan	: Rumah Sakit
Jumlah tingkat	: 10 Lantai
Tinggi tiap tingkat	: 4,2 meter
Tinggi bangunan	: + 48 meter
Dimensi balok induk	: 40/60 cm <sup>2</sup>
Dimensi balok anak	: 30/50 cm <sup>2</sup>
Dimensi kolom	: 70/70 cm <sup>2</sup>
Kategori Desain Seismik	: D



**Gambar 44** Permodelan Struktur 3D Struktur Utama



**Gambar 45** Denah Permodelan Struktur Utama

#### 4.3.6 Pembebanan

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh rangka. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

##### 4.3.6.1 Beban Mati (DL)

- **Pembebanan gravitasi pada pelat lantai 1 - 9**

Penggantung + Plafond	= 6,5 kg/m <sup>2</sup>
Keramik	= 20,5 kg/m <sup>2</sup>
Ducting + mekanikal	= 19 kg/m <sup>2</sup>
Spesi	= <u>5 kg/m<sup>2</sup></u> +
DL	= 51 kg/m <sup>2</sup>

- **Pembebanan gravitasi pada pelat lantai atap**

Penggantung + Plafond	= 6,5 kg/m <sup>2</sup>
Ducting + mekanikal	= 19 kg/m <sup>2</sup>
Lapisan waterproofing	= <u>5 kg/m<sup>2</sup></u> +

$$DL = 30,5 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Atap Genting =  $2,62 \text{ kg/m}^2$
- Beban Hebel ( $t=15\text{cm}$ ) =  $86,25 \text{ kg/m}^2$ 
  - Tinggi bersih =  $4,2 \text{ m} - 0,6 \text{ m} = 3,6 \text{ m}$
  - Beban merata hebel =  $86,25 \text{ kg/m}^2 \times 3,6 \text{ m} = 310,5 \text{ kg/m}$
- Beban Elevator
  - R1 = 8900 kg ; R2 = 6000 kg

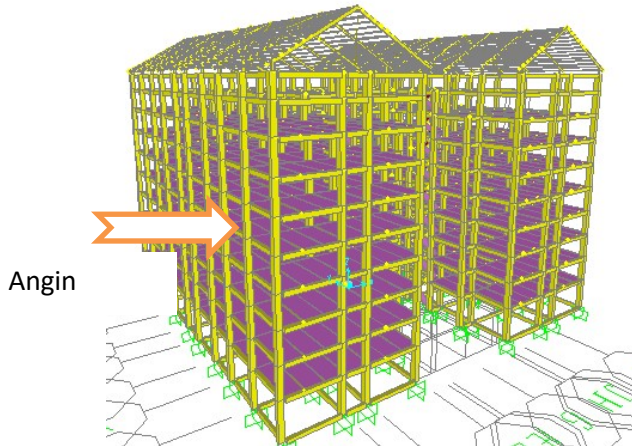
#### 4.3.6.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup pada rumah sakit dental nano ini menggunakan SNI 1727-2013 tabel 4.1

Beban Ruang Operasi	= $287 \text{ kg/m}^2$
Beban Partisi	= $72 \text{ kg/m}^2$
Beban Koridor	= $383 \text{ kg/m}^2$
Beban Kantor	= $240 \text{ kg/m}^2$
Beban Hidup Lantai atap	= $96 \text{ kg/m}^2$

#### 4.3.6.3 Beban Angin (W)

Pada pembebanan angin diambil salah satu contoh kasus dimana angin berhembus ke salah satu sisi gedung. seperti pada gambar berikut :



Pembebanan angin pada gedung menggunakan SNI 1727-2013 pasal 27 bagian 1 dimana langkah-langkah perencanaan disesuaikan berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 27.2-1 seperti berikut :

1. Menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain berdasarkan tabel 1 SNI 1726-2012. Berdasarkan catatan dari tabel tersebut, dimana bangunan adalah rumah sakit dan dikategorikan sebagai kategori risiko IV.
2. Menentukan kecepatan angin dasar



**Gambar 46** Kecepatan Angin Wilayah Kota Malang  
(sumber : [www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id))

Kecepatan angin dasar,  $V$ , yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori resiko bangunan gedung dan struktur

Berdasarkan data dari [www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id) yang diambil pada tanggal 20 Mei 2017, kecepatan angin yang terjadi di serui adalah 4 km/jam. Namun BMKG pernah melaporkan cuaca yang ekstrim di serui pada tanggal 7 Februari 2017 dimana kecepatan angin saat itu mencapai 40 km/jam. Maka untuk perencanaan, digunakan kecepatan angin saat kondisi ekstrim yaitu 40 km/jam.

$$V = 40 \text{ km/jam} = 11,1 \text{ m/s}$$

### 3. Menentukan parameter beban angin

#### a. Faktor arah angin ( $K_d$ )

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.6 faktor arah angin ditentukan dari tabel 26.6-1 SNI 1727-2013.

**Tabel 15** Faktor Arah Angin, K<sub>d</sub>

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K <sub>d</sub> <sup>a</sup>
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Nilai faktor arah angin (K<sub>d</sub>) yang diambil adalah 0,85.

**b. Kategori Eksposur**

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur lawan angin didasarkan pada kekasaran tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas dibangun. Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.7, gedung direncanakan untuk kategori eksposur B karena berada pada daerah perkotaan dan untuk bangunan dengan tinggi atap lebih dari 9,1 m,

**c. Faktor Topografi (K<sub>zt</sub>)**

Faktor Topografi diperlukan untuk memperhitungkan peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memnjang dan tebing yang curang dimana nilai dari faktor topografi :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Dimana :

K1 = Faktor untuk memperhitungkan bentuk fitur topografis dan pengaruh peningkatan kecepatan maksimum

K2 = Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau ke sisi angin pergi dari puncak

K3 = Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam

peningkatan kecepatan sehubungan dengan ketinggian di atas elevasi kawasan setempat

Gedung dental FKG ini tidak didesain di bukit ataupun ditebingoleh karena itu berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.8.2. Nilai  $K_{zt}$  diambil = 1.

#### d. Faktor Efek Tiupan Angin, (G)

Faktor efek tiupan angin diambil dengan memperhitungkan frekuensi alami dari gedung yang ditinjau untuk mengklasifikasikan apakah gedung tersebut kaku atau fleksibel. Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 Gedung dianggap kaku bila frekuensinya lebih dari 1 Hz. Berdasarkan analisis program bantu SAP2000 didapatkan frekuensi ( $n_1$ ) dari gedung yang ditinjau adalah 0,703 Hz. Untuk itu perhitungan Faktor Efek Tiupan Angin mengikuti SNI 1727-2013 pasal 26.9.5 dimana nilai G adalah :

$$G = 0,925 \left( \frac{1 + 1,7I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R}}{1 + 1,7g_v I_z} \right)$$

Dimana,

$$I_z = c \left( \frac{10}{z} \right)^{1/6} = 0,3 \left( \frac{10}{9,14} \right)^{1/6} = 0,3$$

$$\begin{aligned} g_R &= \sqrt{2 \ln(3600 \cdot n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600 \cdot n_1)}} \\ &= \sqrt{2 \ln(3600 \cdot 0,703)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600 \cdot 0,703)}} \\ &= 4,10 \end{aligned}$$

$$g_Q = g_v = 3,4$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)}$$

$$R_n = \frac{7,47 N_1}{(1 + 10,3 \cdot N_1)^{5/3}}$$

$$N1 = \frac{n_1 L_z}{V_z}$$

Dimana konstanta eksposur yang diambil berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 26.9-1

**Tabel 16** Konstanta Eksposur Daratan

<i>Dalam metrik</i>										
Eksposur	$\alpha$	$Z_0$ (ft)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	$\ell$ (ft)	$\bar{\epsilon}$	$Z_{min}$ (m)*
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/8,5	0,85	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

\*  $Z_{min}$  = tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekuivalen  $\bar{Z}$  yang lebih besar dari 0,8h atau  $Z_{min}$ .

Untuk bangunan gedung dengan  $h \leq Z_{min}$ ,  $\bar{Z}$  harus diambil sebesar  $Z_{min}$ .

$$L_z = l \left( \frac{\bar{Z}}{10} \right) \bar{\epsilon} = 97,54 \left( \frac{9,14}{10} \right)^{1/3} = 94,66 \text{ m}$$

$$V = 40 \text{ km/jam} = 24,85 \text{ mil/jam}$$

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left( \frac{\bar{Z}}{10} \right) \bar{\alpha} V = 0,45 \left( \frac{9,14}{10} \right)^{1/4} 24,85$$

$$= 10,93 \text{ mil/jam}$$

$$N1 = \frac{0,703 \cdot 94,66}{10,93} = 6,08 \text{ Hz}$$

$$R_n = \frac{7,47 \cdot 1,62}{(1+10,3 \cdot 1,62)^{5/3}} = 3,38$$

$$R_v = R_h = \text{atur } \eta = 4,6 \cdot n_1 \cdot h / \bar{V}_z = 4,6 \cdot 0,703 \cdot 42,3 / 10,93$$

$$= 12,51 > 0 \text{ Maka,}$$

$$R_v = R_h = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{12,51} - \frac{1}{2 \cdot 12,51^2} (1 - e^{-2 \cdot 12,51})$$

$$= 0,039$$

$$R_v = R_B = \text{atur } \eta = 4,6 \cdot n_1 \cdot B / \bar{V}_z = 4,6 \cdot 0,703 \cdot 60,2 / 10,93$$

$$= 17,81 > 0 \text{ Maka,}$$

$$R_v = R_B = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{17,81} - \frac{1}{2 \cdot 17,81^2} (1 - e^{-2 \cdot 17,81})$$

$$= 0,054$$



$$R_r = R_L = \text{atur } \eta = 4,6 \cdot n_1 L / \sqrt{V_z} = 4,6 \cdot 0,703 \cdot 20,4 / 10,93$$

$$= 6,035 > 0 \text{ Maka,}$$

$$R_r = R_L = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2}(1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{6,035} - \frac{1}{2 \cdot 6,035^2}(1 - e^{-2 \cdot 6,035})$$

$$= 0,179$$

Maka nilai faktor respons resonan adalah

$$R = \sqrt{\frac{1}{0,02} \cdot 3,38 \cdot 0,039 \cdot 0,054 \cdot (0,53 + 0,47 \cdot 0,179)}$$

$$= 0,467$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{B+h}{L_z}\right)^{0,63}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{60,2+42,3}{94,66}\right)^{0,63}}} = 0,77$$

Faktor efek tiupan angin (G) adalah :

$$G = 0,925 \left( \frac{1 + 1,7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R}}{1 + 1,7 g_v I_z} \right)$$

$$= 0,925 \left( \frac{1 + 1,7 \cdot 0,3 \sqrt{3,4^2 \cdot 0,77^2 + 4,10^2 \cdot 0,467}}{1 + 1,7 \cdot 3,4 \cdot 0,3} \right)$$

$$= 0,99$$

f. Klasifikasi ketertutupan

Bangunan diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup.

g. Koefisien tekanan internal (GC<sub>pi</sub>)

Koefisien tekanan internal harus ditentukan berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 26.11-1 seperti berikut.

**Tabel 17** Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	(GC <sub>pi</sub> )
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Dari tabel diatas didapatkan untuk bangunan tertutup adalah 0,18 dimana tanda negatif dan positif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal.

4. Menentukan Koefisien eksposur tekanan velositas, K<sub>z</sub> atau K<sub>h</sub>

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.3, nilai Koefisien eksposur tekanan velositas adalah :

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha}$$

Dimana nilai z<sub>g</sub> = 365,76 m dan α = 7 yang diambil berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 26.9-1

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha} = 2,01(42,3/365,76)^{2/7} \\ = 1,08$$

5. Menentukan Tekanan Velositas ( q atau q<sub>h</sub> )

Nilai tekanan velositas berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.3.2 adalah :

$$q_h = q_z = 0,613.K_z.K_zt.K_d.V \\ = 0,613.1,08 . 1. 0,85.11,1 \\ = 6,24 \text{ N/m}^2$$

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.1.5, beban angin pada dinding tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh lebih kecil dari 0,77 KN/m<sup>2</sup> dikalikan luas dinding bangunan gedung dan 0,38 KN/m<sup>2</sup> dikalikan luas

atap bangunan gedung yang terproyeksi pada bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang diasumsikan.

$$q = 6,24 \text{ N/m}^2 = 0,00624 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Pada Dinding : } q &> 0,77 \text{ kN/m}^2 \\ 0,00624 \text{ KN/m}^2 &< 0,77 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

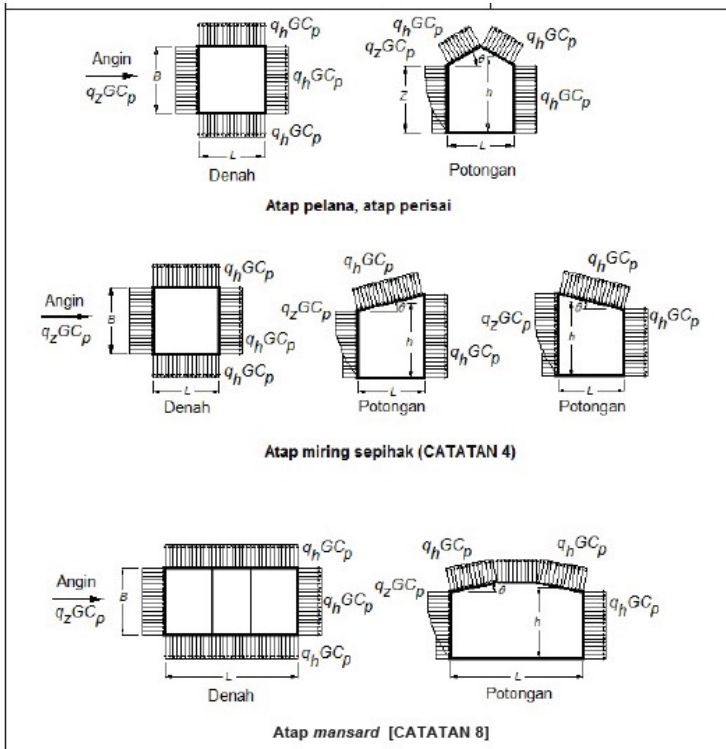
Pada dinding digunakan beban  $0,77 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Pada Atap : } q &> 0,38 \text{ kN/m}^2 \\ 0,0624 \text{ KN/m}^2 &< 0,38 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Pada atap digunakan beban  $0,38 \text{ kN/m}^2$

#### 6. Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal ( $C_p$ )

karena gedung diklasifikasikan sebagai gedung tertutup dan atap berbentuk perisai. Maka nilai koefisien tekanan eksternal diambil berdasarkan SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1 dan tabel berikut :



**Tabel 18 Koefisien Tekanan Dinding**

Permukaan	Koefisien tekanan dinding, $C_p$		
	L/B	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	$q_z$
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	- 0,5	
	2	- 0,3	
	$\geq 4$	- 0,2	$q_h$
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	

B = 60,2 m

L = 20,4 m

Nilai L/B = 0,34 ( kategori 0-1)

Maka untuk dinding sisi angin datang, nilai  $C_p$  diambil 0,8

Dinding sisi angin pergi ,  $C_p = -0,5$

Dinding Tepi  $C_p = -0,7$

Tabel 19 Koefisien Tekanan Atap

Koefisien tekanan atap, $C_p$ , untuk digunakan dengan $q_s$													
Arah angin	Di sisi angin datang										Di sisi angin pergi		
	$h/L$	Sudut, $\theta$ (derajat)										Sudut, $\theta$ (derajat)	
		10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	$\geq 20$	
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,3	-0,2 0,3	0,0*	0,4	0,4	0,01 $\theta$	-0,3	-0,5	-0,6
	0,5	-0,9 -0,18	-0,7 -0,18	-0,4 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,2	-0,2 0,3	0,0	0,4	0,01 $\theta$	-0,5	-0,5	-0,6
	$\geq 1,0$	-1,3** -0,18	-1,0 -0,18	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,2	0,0	0,4	0,01 $\theta$	-0,7	-0,6	-0,6
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta < 10^\circ$ sejajar bubungan untuk semua $\theta$	$\leq 0,5$	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang			$C_p$			* Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.					
		0 sampai dengan $h/2$			-0,9, -0,18			** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai berikut ini:					
		$h/2$ sampai dengan $h$			-0,9, -0,18								
		$h$ sampai dengan $2h$			-0,5, -0,18								
	$> 2h$			-0,3, -0,18									
	$\geq 1,0$	0 sampai dengan $h/2$			-1,3**, -0,18			Luas (ft <sup>2</sup> )		Faktor reduksi			
$> h/2$			-0,7, -0,18			$\leq 100$ (9,3 m <sup>2</sup> )		1,0					
						250 (23,2 m <sup>2</sup> )		0,9					
						$\geq 1000$ (92,9 m <sup>2</sup> )		0,8					

$$h = 63,8 \text{ m}$$

$$L = 20,4 \text{ m}$$

Nilai  $h/L = 3,13 > 1$ , sudut kemiringan atap =  $30^\circ > 10^\circ$

Maka untuk atap sisi angin datang, nilai  $C_p$  diambil 0,2 dan -0,3

Atap sisi angin pergi,  $C_p = -0,6$

## 7. Tekanan angin (p) pada permukaan gedung

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2 Gedung dianggap kaku bila frekuensinya lebih dari 1 Hz. Berdasarkan analisis program bantu SAP2000 didapatkan frekuensi ( $n_1$ ) dari gedung yang ditinjau adalah  $0,703 \text{ Hz} < 1 \text{ Hz}$ . Untuk itu tekanan angin dihitung berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.4.2 yaitu :

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi})$$

Pada dinding, diambil satu kasus dimana angin mendekati dinding (sisi angin datang) dengan nilai  $C_p = 0,8$  dan nilai  $GC_{pi} = -0,18$

$$\begin{aligned} p_{\text{dinding}} &= 0,77 \times 0,99 \times 0,8 - 0,77 \times (-0,18) \\ &= 0,748 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

Pada atap, diambil satu kasus dimana angin menjauhi atap (angin hisap)

$C_p = -0,6$  dan nilai  $GC_{pi} = -0,18$

$$\begin{aligned} p_{\text{atap}} &= 0,38 \times 0,99 \times (-0,6) - 0,38 \times (-0,18) \\ &= -0,157 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

Dan untuk kasus angin (tekan) mendatangi atap dengan  $C_p = 0,2$  dan nilai  $GC_{pi} = -0,18$

$$\begin{aligned} p_{\text{atap}} &= 0,38 \times 0,99 \times 0,2 - 0,38 \times (-0,18) \\ &= 0,143 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 4.3.6.4 Kombinasi Pembebanan

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

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 03-1726-2012 pasal 4.2.2 bangunan tahan gempa sebagai berikut:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (Lr)
3. 1,2 DL + 1,6 Lr + 0,5 W
4. 1,2 DL + 1,0 W + 0.5 Lr
5. 1,2 DL + 1,0 E + 1 L
6. 0,9 DL + 1,0 W
7. 0,9 DL + 1,0 E

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

Ex : beban gempa arah x

$E_y$  : beban gempa arah y

$L_r$  : beban hidup atap

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.4.2 pengaruh beban gempa  $E$  harus ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5

$$E = E_H + E_V$$

Keterangan :

$$E_H = \rho \cdot Q_E \text{ dan } E_V = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$$

$$\text{Sehingga } E = \rho \cdot Q_E + 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5

$$E = E_H - E_V$$

Keterangan :

$$E_H = \rho \cdot Q_E \text{ dan } E_V = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$$

$$\text{Sehingga } E = \rho \cdot Q_E - 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$$

Keterangan :

$E$  = pengaruh beban gempa

$E_H$  = pengaruh beban gempa horisontal

$E_V$  = pengaruh beban gempa vertikal

$\rho$  = faktor redudansi

$Q_E$  = pengaruh gaya gempa

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek yang diperoleh

$D$  = pengaruh beban mati

Berdasarkan ketentuan SNI 1726-2012 pasal 7.3.4.2 pada pengaruh beban gempa horizontal digunakan faktor redudansi  $\rho$  sebesar 1,3 (kategori desain seismik D) dan  $S_{DS} = 0,6$  sehingga :

- Pengaruh beban gempa untuk kombinasi 5

$$E = 1,3Q_E + 0,2 \cdot 0,6 D = 1,3 Q_E + 0,12 D$$

- Pengaruh beban gempa untuk kombinasi 7

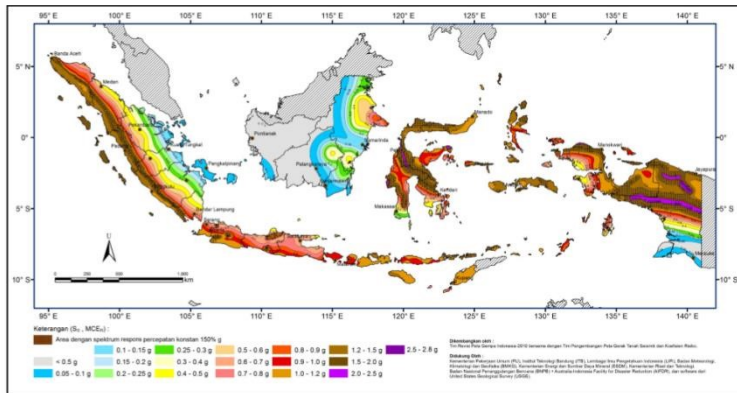
$$E = 1,3Q_E - 0,2 \cdot 0,6 D = 1,3 Q_E - 0,12 D$$

Berdasarkan ketentuan ini, kombinasi pembebanan yan digunakan adalah :

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (Lr)
3. 1,2 DL + 1,6 Lr + 0,5 W
4. 1,2 DL + 1,0 W + 0.5 Lr
5. a. 1,32 DL + 1,3 Ex + 1 L  
b. 1,32 DL + 1,3 Ey + 1 L
6. 0,9 DL + 1,0 W
7. a. 0,78 DL + 1,3 Ex  
g. 0,78 DL + 1,3 Ey

#### 4.3.6.5 Analisa Beban Gempa

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI 1726 -2012

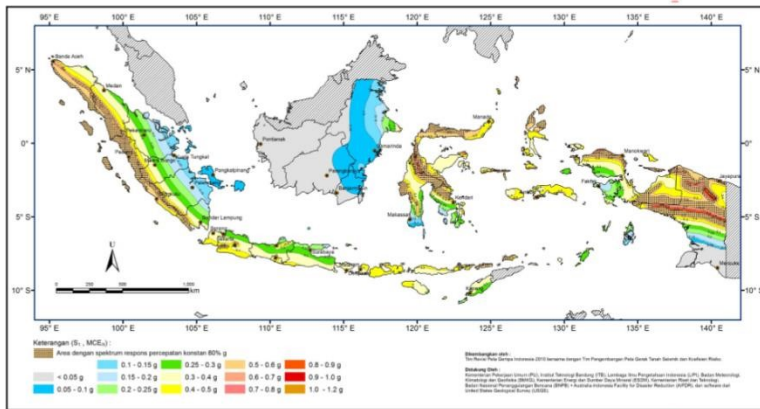


Gambar 9 - S<sub>s</sub>, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(MCE<sub>g</sub>), kelas situs SB

#### Gambar 47 Peta untuk menentukan harga S<sub>s</sub>

Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SD. Dari gambar diatas untuk daerah Malang didapatkan nilai S<sub>s</sub> = 0,75 g.





Gambar 10 - S. Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(MCE<sub>r</sub>), kelas situs SB

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SD. Dari gambar diatas untuk wilayah Malang  $S_1 = 0,25$  g.

Untuk nilai  $F_a$  (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan  $F_v$  (koefisien situs untuk periode 1 detik) yang didapat dari Tabel 4 dan Tabel 5 pada SNI 1726-2012

**Tabel 20** Koefisien Situs  $F_a$

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

**Tabel 21** Koefisien Situs Fv

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

Dari data diatas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,75$$

$$S_1 = 0,35$$

$$F_a = 1,2$$

$$F_v = 1,7$$

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times SS \text{ (SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-1)} \\ &= 1,2 \times 0,75 = 0,9 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \text{ (SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-2)} \\ &= 1,7 \times 0,35 = 0,595 \text{ g} \end{aligned}$$

Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,9 = 0,6 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,595 = 0,396 \text{ g}$$



**Gambar 48** Grafik Respon Spectrum Daerah Malang  
 Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah kota Surabaya yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada

periode 1 detik, redaman 5 persen sebesar  $S_{DS} = 0,6$  dan parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh situs  $S_{D1} = 0,396$ . Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726 2012 maka didapat kategori kota Malang mempunyai kategori resiko D.

**Tabel 22** 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 23** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

#### 4.3.6.6 Arah Pembebanan

Menurut SNI 1726-2012 Ps.12.6 Untuk analisa dinamis, beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X : 100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
  - Gempa Respon Spektrum Y : 100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X.
- Faktor Keutamaan (I)
 

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan Ie. Gedung ini direncanakan sebagai bangunan Rumah sakit. Pada tabel 1 SNI 03-1726-2012 bangunan ini termasuk kategori IV sehingga didapat nilai  $I = 1.5$
  - Faktor Reduksi Gempa (R)
 

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka beton pracetak pemikul momen khusus. Berdasarkan tabel 9 SNI 031726-2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) = 5.5 nilai koefisien modifikasi respon ( $R$ ) = 8 dan nilai faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) = 3

#### 4.3.7 Kontrol Analisa Struktur

Kontrol Desain Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol gaya geser dasar (*base shear*)
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

#### 4.3.7.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada tabel berikut:

Output Case	Stepnum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	1,537	0,3916	$4.082 \times 10^{-7}$
MODAL	2	1,531	0,7816	$2,53 \times 10^{-5}$
MODAL	3	1,496	0,7817	0.36274
MODAL	4	1,488	0,7817	0.48902
MODAL	5	1,433	0,7817	0.62183
MODAL	6	1,430	0,7817	0.72147
MODAL	7	1,323	0,8142	0.72147
MODAL	8	1,300	0,8142	0.80183
MODAL	9	1,231	0,8142	0.8366
MODAL	10	0,500	0,9194	0.8366
MODAL	11	0,471	0,9194	0.92949
MODAL	12	0,403	0,9298	0.92952
MODAL	13	0,336	0,9299	0.94695
MODAL	14	0,281	0,9631	0.94703
MODAL	15	0,203	0,9632	0.9916
MODAL	16	0,164	0,9947	0.99164

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 analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

#### 4.3.7.2 Kontrol Periode Getar Struktur

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari:

$$T_a = C_t \times h_n.^x$$

$h_n$  adalah ketinggian struktur dalam (m). Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 15 SNI 03-1726-2012.

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

**Gambar 49** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

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

**Gambar 50** Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung

- Batas bawah periode getar struktur :

$$T_a = 0,0466 \times 41,10.^{0,9} = 1,32 \text{ s}$$

- Batas atas periode getar struktur :

$$S_{D1} = 0,396 \text{ maka } C_u = 1,4$$

$$T = T_a \times C_u = 1,32 \times 1,4 = 1,84 \text{ s}$$

**Tabel 24** Modal Periode dan Frekuensi Struktur

<b>Output Case</b>	<b>Stepnum</b>	<b>Period</b>
Text	Unitless	Sec
MODAL	1	1,537
MODAL	2	1,531
MODAL	3	1,496
MODAL	4	1,488
MODAL	5	1,433
MODAL	6	1,430
MODAL	7	1,323
MODAL	8	1,300
MODAL	9	1,231
MODAL	10	0,500
MODAL	11	0,471
MODAL	12	0,403
MODAL	13	0,336
MODAL	14	0,281
MODAL	15	0,203
MODAL	16	0,164

T terbesar yang didapat dari hasil analisis SAP = 1,537 s. Dari tabel memenuhi persyaratan getar alami fundamental karena periode frekuensi struktur yaitu,  $T_a=1,32 < 1,537s < T=1,84 s$

#### **4.3.7.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum.**

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah:

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana :

$C_s$  = Koefisien respon seismik

$W$  = Berat seismik efektif

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1125$$

Dan nilai  $C_s$  tidak perlu melebihi dari :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,396}{1,537\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,138$$

Dan nilai  $C_s$  tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e > 0,01$$

$$C_s = 0,044 \cdot 0,6 \cdot 1,5 > 0,01$$

$$C_s = 0,0396 > 0,01$$

maka digunakan  $C_s = 0,0396$

Dari analisis yang sudah dilakukan menggunakan kombinasi 1D + 1L, didapatkan nilai berat total struktur gedung rumah sakit dental nano malang adalah :

**Tabel 25** Reaksi Dasar Struktur

<b>Output Case</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>	<b>GlobalFZ</b>
Text	kN	kN	kN
1D + 1L	$-1,05 \times 10^{-9}$	$-1,22 \times 10^{-10}$	271390,098

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah 17798672,64 kg. Maka:

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \times W \\ &= 0,0396 \times 271390,098 \\ &= 10747,047 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut:

**Tabel 26** Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

<b>Beban Gempa</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>
Text	kN	kN



GEMPA X	15480,809	4584,11
GEMPA Y	4648,968	15264,629

Kontrol :

- Untuk gempa arah X  
 $V_{dinamik} > 85\% V_{statik}$   
 $15480,809 > 85\% \cdot 10747,047$   
 $15480,809 > 9134,98$  (Memenuhi)
- Untuk gempa arah Y  
 $15264,629 > 85\%$   
 $15264,629 > 85\% \cdot 10747,047$   
 $15264,629 > 9134,98$  (Memenuhi)

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung rumah sakit dental nano malang sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4

#### 4.3.7.4 Kontrol Batas Simpangan

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus:

$$\Delta_i \leq \frac{\Delta_a}{\rho}$$

Dimana :

$\Delta_i$  = simpangan yang terjadi

$\Delta_a$  = simpangan ijin antar lantai

$\rho$  = faktor redudansi (1)

Perhitungan  $\Delta_i$  untuk tingkat 1 :

$$\Delta_i = \frac{Cd \times \delta_{xe1}}{Ie}$$

Perhitungan  $\Delta_i$  untuk tingkat 2 :

$$\Delta_i = (\delta_{xe1} - \delta_{xe1}) \frac{Cd}{Ie}$$

Menurut SNI 1726:2012 Pasal. 7.8.6 kontrol drift harus ditentukan berdasarkan persamaan (34) yaitu :

$$\delta_x = \frac{Cd \times \delta_{xe}}{Ie}$$

Dimana :

$Cd$  = faktor pembesaran defleksi (5,5)

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

$Ie$  = faktor keutamaan (1,5)

Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan sesuai tabel 16 SNI 03-1726-2012. untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya ( $\Delta_a$ ) adalah :  $0,010 \cdot h_{sx}$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi akibat kombinasi beban 1,32D + 1,3Ex + 1L pada struktur yaitu sebagai berikut:

**Tabel 27** Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi pada Gedung A

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
		Hi	Simpangan		Simpangan
	(mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Dak Atap	2750	55,178	11,885	19,667	39,380
Atap	3750	53,209	11,666	18,768	38,681
9	4200	50,056	11,278	17,317	37,454
8	4200	45,860	10,614	15,619	35,277
7	4200	40,785	9,690	13,683	32,191
6	4200	34,899	8,512	11,534	28,257
5	4200	28,343	7,107	9,226	23,565
4	4200	21,291	5,497	6,817	18,197
3	4200	13,967	3,718	4,392	12,263

2	4200	6,672	1,861	2,055	6,067
1	5200	0	0	0	0

**Tabel 28** Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi pada Gedung B

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Hi	Simpangan		Simpangan	
	(mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Atap	3750	42,492	14,299	12,804	47,512
9	4200	40,377	13,367	12,158	44,468
8	4200	37,566	12,139	11,275	40,368
7	4200	33,943	10,687	10,190	35,517
6	4200	29,477	9,043	8,848	30,030
5	4200	24,262	7,256	7,283	24,068
4	4200	18,407	5,372	5,526	17,782
3	4200	12,101	3,446	3,632	11,362
2	4200	5,710	1,589	1,714	5,185
1	5200	0	0	0	0

**Tabel 29** Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi pada Gedung C

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Hi	Simpangan		Simpangan	
	(mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Dak Atap	2750	55,455	12,345	19,836	41,109
Atap	3750	53,380	12,178	18,867	40,526
9	4200	50,167	11,797	17,387	39,238
8	4200	45,925	11,112	15,668	36,924
7	4200	40,818	10,139	13,714	33,663
6	4200	34,918	8,898	11,557	29,522
5	4200	28,364	7,422	9,244	24,595
4	4200	21,317	5,738	6,832	18,975
3	4200	13,994	3,877	4,404	12,775
2	4200	6,697	1,939	2,061	6,315

1	5200	0	0	0	0
---	------	---	---	---	---

Setelah didapat nilai simpangan masing masing gedung, maka kontrol simpangan antar lantai portal gempa seperti pada tabel berikut :

- Gempa Arah X

**Tabel 30** Kontrol Simpangan Gempa Arah X Pada Gedung A

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah X				Ket.
	Hi	Simpangan Arah X				
	(mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	
Dak Atap	2750	55,178	202,32	7,22	27,5	OK
Atap	3750	53,209	195,10	11,6	37,5	OK
9	4200	50,056	183,54	15,4	42,0	OK
8	4200	45,860	168,15	18,6	42,0	OK
7	4200	40,785	149,55	21,6	42,0	OK
6	4200	34,899	127,96	24,0	42,0	OK
5	4200	28,343	103,92	25,9	42,0	OK
4	4200	21,291	78,067	26,9	42,0	OK
3	4200	13,967	51,21	26,7	42,0	OK
2	4200	6,672	24,46	24,5	42,0	OK
1	5200	0	0	0	0	OK

**Tabel 31** Kontrol Simpangan Gempa Arah X Pada Gedung B

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah X				Ket.
	Hi	Simpangan Arah X				
	(mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	
Atap	3750	42,492	155,80	7,7	37,5	OK
9	4200	40,377	148,05	10,3	42,0	OK
8	4200	37,566	137,74	13,3	42,0	OK

7	4200	33,943	124,46	16,4	42,0	OK
6	4200	29,477	108,08	19,1	42,0	OK
5	4200	24,262	88,961	21,5	42,0	OK
4	4200	18,407	67,492	23,1	42,0	OK
3	4200	12,101	44,37	23,4	42,0	OK
2	4200	5,710	20,937	20,9	42,0	OK
1	5200	0	0	0	0	OK

**Tabel 32** Kontrol Simpangan Gempa Arah X Pada Gedung C

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah X				Ket.
	Hi	Simpangan Arah X				
	(mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	
Dak Atap	2750	55,455	203,34	7,60	27,5	OK
Atap	3750	53,380	195,73	11,78	37,5	OK
9	4200	50,167	183,95	15,55	42,0	OK
8	4200	45,925	168,39	18,73	42,0	OK
7	4200	40,818	149,67	21,63	42,0	OK
6	4200	34,918	128,03	24,03	42,0	OK
5	4200	28,364	104,00	25,84	42,0	OK
4	4200	21,317	78,162	26,85	42,0	OK
3	4200	13,994	51,311	26,76	42,0	OK
2	4200	6,697	24,556	24,56	42,0	OK
1	5200	0	0	0	0	OK

- Gempa Arah Y

**Tabel 33** Kontrol Simpangan Gempa Arah Y Pada Gedung A

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah Y				Ket.
	Hi	Simpangan Arah Y				
	(mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	
Dak Atap	2750	39,380	144,39	2,56	27,5	OK

Atap	3750	38,681	141,83	4,49	37,5	OK
9	4200	37,454	137,33	7,98	42,0	OK
8	4200	35,277	129,35	11,32	42,0	OK
7	4200	32,191	118,03	14,42	42,0	OK
6	4200	28,257	103,61	17,2	42,0	OK
5	4200	23,565	86,405	19,68	42,0	OK
4	4200	18,197	66,722	21,76	42,0	OK
3	4200	12,263	44,964	22,72	42,0	OK
2	4200	6,067	22,246	22,25	42,0	OK
1	5200	0	0	0	0	OK

**Tabel 34** Kontrol Simpangan Gempa Arah Y Pada Gedung B

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah Y				Ket.
	Hi	Simpangan Arah Y				
	(mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	
Atap	3750	47,512	174,21	11,16	37,5	OK
9	4200	44,468	163,05	15,03	42,0	OK
8	4200	40,368	148,02	17,79	42,0	OK
7	4200	35,517	130,23	20,12	42,0	OK
6	4200	30,030	110,11	21,86	42,0	OK
5	4200	24,068	88,249	23,05	42,0	OK
4	4200	17,782	65,201	23,54	42,0	OK
3	4200	11,362	41,661	22,65	42,0	OK
2	4200	5,185	19,021	19,01	42,0	OK
1	5200	0	0	0	0	OK

**Tabel 35** Kontrol Simpangan Gempa Arah Y Pada Gedung C

Lantai	Tinggi lantai	Gempa Arah Y				Ket.
	Hi	Simpangan Arah Y				
	(mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta_i$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	

Dak Atap	2750	41,109	150,73	2,13	27,5	OK
Atap	3750	40,526	148,6	4,72	37,5	OK
9	4200	39,238	143,87	8,48	42,0	OK
8	4200	36,924	135,39	11,96	42,0	OK
7	4200	33,663	123,43	15,18	42,0	OK
6	4200	29,522	108,25	18,07	42,0	OK
5	4200	24,595	90,18	20,61	42,0	OK
4	4200	18,975	69,57	22,73	42,0	OK
3	4200	12,775	46,84	23,69	42,0	OK
2	4200	6,315	23,15	23,16	42,0	OK
1	5200	0	0	0	0	OK

#### 4.3.7.5 Kontrol Pemisahan Struktur

Semua bagian struktur harus didesain dan dibangun untuk bekerja satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya gempa kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari benturan yang merusak. Pemisahan harus dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum ( $\delta_M$ ). Perpindahan elastik maksimum dihitung berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.12.3 sebagai berikut :

$$\delta_M = \frac{C_d \times \delta_{max}}{I_e}$$

Dimana :

$\delta_{max}$  : perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis

Struktur-struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar  $\delta_{MT}$  :

$$\delta_{MT} = \sqrt{\delta_{M1}^2 + \delta_{M2}^2}$$

$\delta_{M1}$  dan  $\delta_{M2}$  adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan.

Berikut perhitungan pemisahan struktur antara gedung A dan B pada Rumah Sakit Dental Nano Malang :

$$\begin{aligned}\delta_{M1} &= \frac{C_d \times \delta_{max1}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 55,17}{1,5}\end{aligned}$$

$$= 202 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\delta_{M2} &= \frac{C_d \times \delta_{max2}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 42,49}{1,5}\end{aligned}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\delta_{MT} &= \sqrt{\delta_{M1}^2 + \delta_{M2}^2} \\ &= \sqrt{202^2 + 156^2} \\ &= 255 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka Pada perencanaan dilakukan pemisahan antara gedung A dan gedung B sejarak 260 mm. Jadi pemisahan jarak tersebut memnuhi SNI 1726:2012 pasal 7.12.3.

**Tabel 36** Dilatasi Gedung

LANTAI	Hi mm	GEDUNG A		GEDUNG B		$\delta_{MT}$ mm
		$\delta_{xe}$ mm	$\delta_x$ mm	$\delta_{xe}$ mm	$\delta_x$ mm	
Dak atap	2750	55.178	202	42.492	156	255
Pelat Atap	3750	53.209	195	40.377	148	245
9	4200	50.056	184	37.566	138	229
8	4200	45.86	168	33.943	124	209
7	4200	40.785	150	29.477	108	185
6	4200	34.899	128	24.262	89	156
5	4200	28.343	104	18.407	67	124
4	4200	21.291	78	12.101	44	90
3	4200	13.967	51	5.71	21	55
2	4200	6.672	24	0	0	24
1	5200	0	0	0	0	0



## **4.4 Perencanaan Struktur Utama**

### **4.4.5 Umum**

Struktur utama merupakan suatu komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk dan kolom. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

### **4.4.6 Perencanaan Balok Induk**

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Didalam preliminary desain gedung rumah sakit dental nano Malang direncanakan dimensi balok induk dengan menggunakan sistem pracetak.

Maka dari itu, penulangan lentur balok induk dihitung dalam tiga kondisi, yaitu sebelum komposit, saat pengangkatan, dan setelah komposit. Dengan adanya beberapa kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk.

Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

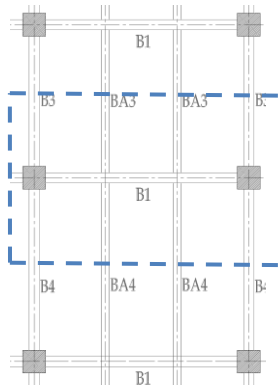
- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Dimensi balok = 40/60 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

#### **4.4.6.1 Penulangan Lentur Balok Induk Sebelum Komposit**

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit konsepnya sama dengan pembebanan balok

anak sesudah komposit yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk menggunakan konsep menggunakan konsep tributari area. Pada penulangan balok induk melintang perhitungan balok induk dengan panjang bentang 8,4 m dijadikan sebagai contoh perhitungan. Dimensi balok induk sebelum komposit = 40/47

Pada kondisi sebelum komposit, beban paling kritis adalah pada saat terdapat overtopping. Berikut ini merupakan beban merata (q) yang terjadi pada balok Gambar 51



**Gambar 51** Luas Tributary Balok Induk

Pembebanan :

- Beban mati
  - Berat pelat pracetak =  $0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$
  - Overtopping pelat =  $0,05 \times 2400 = \underline{120 \text{ kg/m}^2} +$   
=  $312 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup
  - Beban pekerja =  $200 \text{ kg/m}^2$

**1. Beban pada balok anak**

panjang bentang = 7,2 m

dimensi balok induk pracetak = 30/37

- Beban mati

$$\begin{aligned}\text{Berat balok pracetak} &= 0,3 \times 0,37 \times 2400 = 266 \text{ kg/m} \\ \text{Berat total pelat} &= 312 \times 2,8 \text{ m} = \underline{873 \text{ kg/m}} + \\ &= 1139 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= (1,2 \times 1139) + (1,6 \times 200) = 1686,8 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat ( $P_u$ ) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 1686,8 \times \frac{7,2 \text{ m}}{2} = 6072,48 \text{ kg}$$

## 2. Beban pada balok induk

panjang bentang = 8,4 m

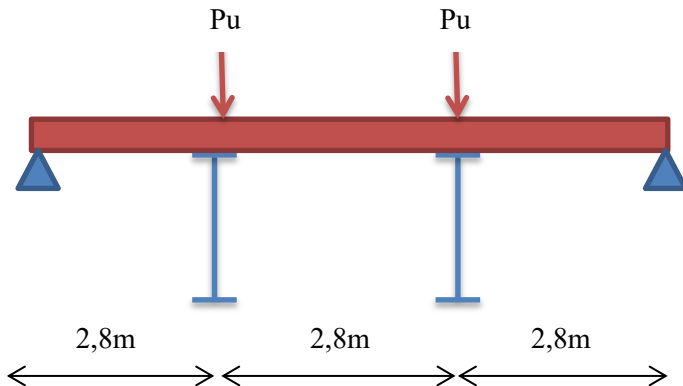
dimensi balok induk pracetak = 40/47

- Beban mati

$$\text{Berat balok pracetak} = 0,4 \times 0,47 \times 2400 = 451,2 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat overtopping} &= 0,13 \times 0,40 \times 2400 = \underline{124,8 \text{ kg/m}} + \\ &= 576 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2 D \\ &= 1,2 \times 576 \text{ kg/m} = 692,2 \text{ kg/m}\end{aligned}$$



**Gambar 52** Pembebanan balok induk sebelum komposit

## 3. Perhitungan Momen

$$ML = \left( \frac{1}{14} \times Qd \times L^2 \right)$$

$$ML = \left( \frac{1}{14} \times 692 \times 2,8^2 \right) = 387,52 \text{ kgm}$$

$$MT = \left( \frac{1}{10} \times Qd \times L^2 \right)$$

$$MT = \left( \frac{1}{10} \times 692 \times 2,8^2 \right) = 542,52 \text{ kgm}$$

#### 4. Perhitungan Tulangan lentur

Untuk mutu beton  $f'c = 35$  MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c - 28) \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) \geq 0,65 = 0,800$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

- **Tulangan Lentur Lapangan**

$$d = 470 - 50 - 13 - \frac{1}{2} (22) = 396 \text{ mm}$$

$$Mu = 387,52 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{387,52 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 396^2} = 0,077 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,077}{390}} \right) = 0,00019$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0036 < 0,00019 < 0,0277 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,00019 \times 1,3 = 0,00025$

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00025 \times 400 \times 396 \\ &= 40,82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{40,82}{0,25 \pi 10^2} = 0,5 \approx 2 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 2 \times (0,25 \pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 157,08 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 40,82 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 2D10

- **Tulangan Lentur Tumpuan**

$$d = 470 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (22) = 399 \text{ mm}$$

$$Mu = 542,52 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{542,52 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 399^2} = 0,142 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,142}{390}} \right) = 0,000365$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0036 > 0,000365 < 0,0277 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai *SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)* sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,000365 \times 1,3 = 0,000474$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,000474 \times 300 \times 399 \\ &= 75,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{75,72}{0,25 \pi 10^2} = 0,9 \approx 2 \text{ buah}$$

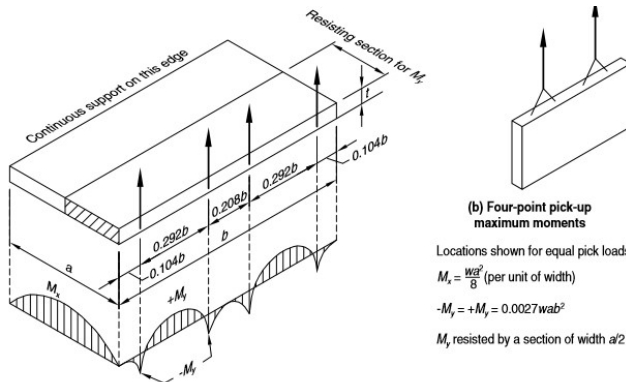
$$A_{\text{pakai}} = 2 \times (0,25\pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{pakai}} = 157,08 \text{ mm}^2 > A_{\text{perlu}} = 75,72 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi dipakai tulangan tumpuan 2D10

#### 4.4.6.2 Penulangan Lentur Balok Induk Saat Pengangkatan

Perhitungan momen dibawah ini diperuntukkan untuk pelat namun bisa juga diaplikasikan pada balok induk.



**Gambar 53** Momen Saat Pengangkatan Balok Induk

Beban yang bekerja pada balok anak pada waktu pengangkatan :

$$\text{Berat sendiri (w)} = 0,47 \times 8,4 \times 2400 = 9475,2 \text{ kg/m}$$

Perhitungan momen sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.1. Terdapat 4 titik Angkat Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat *handling and erection* sebesar 1.2 :

$$M_y = M_{+(lap)} = M_{-(tump)} = (0,0027 w \times a \times b^2) \times 1,2$$

$$M_y = (0,0027 \times 9475,2 \times 0,4 \times 8,4^2) \times 1,2$$

$$M_y = 866,46 \text{ kgm}$$

### 1. Perhitungan Tulangan lentur

Untuk mutu beton  $f'c = 35$  MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c - 28) / 7 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) / 7 = 0,65 = 0,800$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

Dicoba diameter 10mm

$$d = 470 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (10) = 405 \text{ mm}$$

$$Mu = 866,46 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{866,46 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 405^2} = 0,22 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,22}{390}} \right) \\ = 0,000566$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 > 0,000566 < 0,0277 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka  $\rho$  diperbesar 30% ,  $\rho = 0,000566 \times 1,3 = 0,000736$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,000736 \times 400 \times 405$$

$$= 119,299 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{119,29}{0,25 \pi 10^2} = 1,5 \approx 2 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 2 \times (0,25 \pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 157,08 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 119,29 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi dipakai tulangan lapangan 2D10

#### 4.4.6.3 Penulangan Lentur Balok Induk Setelah Komposit

##### 1. Data Perencanaan

Tipe balok	: B1 (40/60)
As balok	: B (1-2)
Bentang balok (L balok)	: 8400 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 8400 mm



Dimensi kolom	: 700/700 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 35 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 390 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 390 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 13 mm

## 2. Hasil output SAP 2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa:

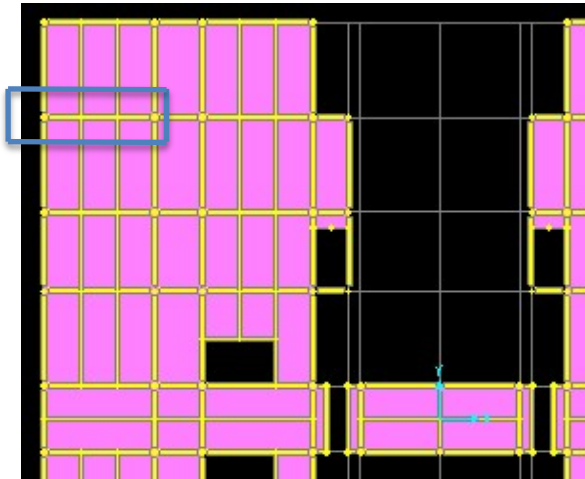
1.  $U = 1,4 D$
2.  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r$
3.  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 W$
4.  $U = 1,2 D + 1,0 W + 0,5 L_r$
5.  $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebanan gempa:

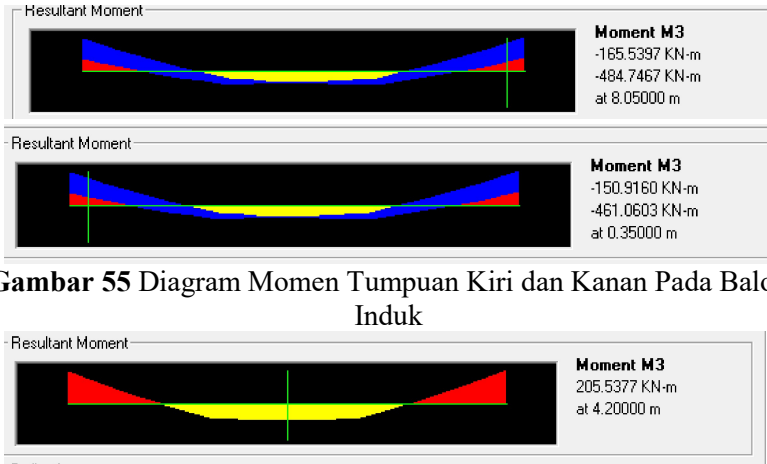
1.  $U = 1,32 DL + 1,3 Ex + 1 L$
2.  $U = 1,32 DL + 1,3 Ey + 1 L$
3.  $U = 0,78 DL + 1,3 Ex$
4.  $U = 0,78 DL + 1,3 Ey$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi  $1,32 DL + 1,3 Ex + 1 L$  adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

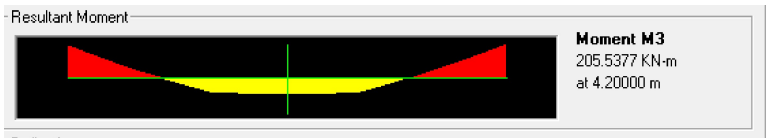
Balok yang ditinjau adalah Balok B1 (40/70) As B (1-2) pada elevasi 13,6 m (lantai 3)



**Gambar 54** Balok Induk yang ditinjau Untuk Penulangan



**Gambar 55** Diagram Momen Tumpuan Kiri dan Kanan Pada Balok Induk

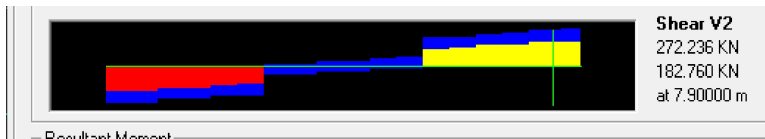


**Gambar 56** Diagram Momen Lapangan Pada Balok Induk

- Kombinasi  $1,32 D + 1,3 Ex + 1 L$   
 Momen tumpuan kanan = 484,746 kNm

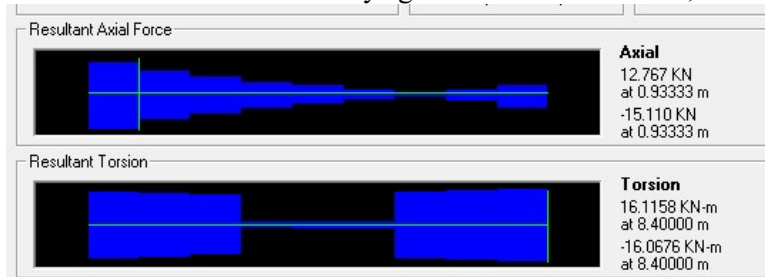
Momen tumpuan kiri = 461,060 kNm

- Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr  
Momen lapangan = 205,537 kNm



**Gambar 57** Diagram Geser Pada Balok Induk

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.5.3.2,  $V_u$  diambil tidak lebih dari 50 cm dari as kolom Gaya geser terfaktor  $V_u = 272,236$  kN



**Gambar 58** Diagram Axial dan Torsi Pada Balok Induk

Gaya aksial terjadi = 15,11 kN

Gaya torsi terjadi = 16,115 kNm

### 3. Cek syarat komponen struktur lentur SRPMK

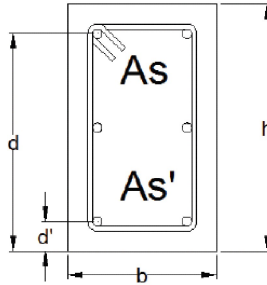
Untuk sistem rangka struktur rangka pemikul momen khusus ( SRPMK ) berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 ps 21.5.1 mensyaratkan komponen lentur harus memenuhi hal hal berikut :

- Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur lentur harus kurang dari  $0,1 A_g f_c'$ . Berdasarkan hasil analisa SAP 2000, gaya aksial tekan = 15,11 kN  
 $15,11 \text{ kN} < 0,1 A_g f_c'$

$$15,11 \text{ kN} < 0,1 (400 \times 600) \times 35$$

$$15,11 \text{ kN} < 840 \text{ kN (memenuhi)}$$

- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.



Maka, tinggi efektif balok :

$$d = h - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur}$$

$$= 600 - 50 - 13 - (\frac{1}{2} \cdot 22)$$

$$= 526 \text{ mm}$$

$$L_n/d = 7700/526 = 14,6 > 4 \text{ (memenuhi)}$$

- Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0.3  
 $b/h = 400/600 = 0,67 > 0,3 \text{ (memenuhi)}$
- Lebar komponen tidak boleh,  
 Kurang dari 250 mm (memenuhi)  
 Melebihi komponen struktur pendukung' ( diukur pada bidang tegak lurus).  
 Lebar balok = 400 mm < lebar kolom = 700 mm (memenuhi)

#### 4. Gaya yang terjadi pada struktur

Analisa gaya dalam dimana yang ditinjau pada portal tepi balok lantai 3. Momen envelope balok B1 yang ditinjau as B (1-2).

**Tabel 37** Momen Envelope Pada Balok Akibat Beban Gravitasi dan Beban Gempa

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	Mu (kNm)
---------	--------	---------------	----------

1	Ujung interior kanan (negatif)	Kanan	484,746
2	Ujung interior kanan (positif)	Kiri	165,539
3	Ujung eksterior kiri (negatif)	Kiri	461,060
4	Ujung eksterior kiri (positif)	Kanan	150,916
5	Tengah bentang (positif)	Kanan dan kiri	205,537

### 5. Penulangan lentur

Untuk mutu beton  $f'c = 35$  MPa berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c - 28) / 7 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (35 - 28) / 7 \geq 0,65 = 0,800$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

- **Kondisi 1, kolom interior kanan momen negatif tumpuan, goyangan ke kanan.**

$$Mu = 484,746 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{484,746 \times 10^3}{0,8 \times 400 \times 526^2} = 5,475 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 5,475}{390}} \right) = 0,0156$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0036 < 0,0156 < 0,0277$  (Memenuhi)

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0156 \times 400 \times 526$$

$$= 3291 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{3291}{0,25 \pi 22^2} = 8,7 \approx 9 \text{ buah}$$

$$As \text{ pakai} = 9 \times (0,25 \pi \times 22^2) = 3421 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai} = 3421 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 3291 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

Dipasang 2 lapis ( 5D22 + 4D22)

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{3421 \times 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 112,12 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot fy \cdot As \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 390 \times 3421 \cdot \left( 526 - \frac{112,12}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 532,97 \text{ kNm} > Mu = 484,74 \text{ kNm (memenuhi)}$$

Cek syarat minimum tulangan

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

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 525 = 797,912 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 400 \times 525 = 755,282 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 3421 \text{ mm}^2 > As_{min} \text{ (Memenuhi)}$$

Cek penampang tension controlled

$$\frac{a}{d_t} = \frac{112,12}{526} = 0,213$$

$$\frac{c}{d_t} = 0,375 \cdot \beta_1 = 0,375 \times 0,8 = 0,3$$

$a/d_t < c/d_t$  (memenuhi untuk desain tulangan under reinforced)

- **Kondisi 2, kolom interior kanan momen positif tumpuan, goyangan ke kanan.**

$$Mu = 165,539 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 03-3847-2013 pasal 21.5.2.2 bahwa kekuatan momen positif yang disediakan pada muka joint tidak kurang dari  $\frac{1}{2}$  kekuatan momen negatif.

$$Mu_{kondisi\ 2} > \frac{1}{2} Mu_{negatif\ kondisi\ 1}$$

$$165,539 \text{ kNm} > \frac{1}{2} \times 532,97 \text{ kNm}$$

$$165,539 \text{ kNm} < 266,38 \text{ kNm}$$

Maka dipakai  $Mu_{kondisi\ 2} = 266,38 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{266,38 \times 10^3}{0,8 \times 400 \times 526^2} = 3,009 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 3,009}{390}} \right) = 0,00815$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0036 < 0,00815 < 0,0277 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00815 \times 400 \times 526$$

$$= 1714,76 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1714,76}{0,25 \pi 22^2} = 4,5 \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{spakai} = 5 \times (0,25\pi \times 22^2) = 1900 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1900 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 1714 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

Dipasang 1 lapis 5D22

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1900 \times 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 62,291 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot f_y \cdot A_s \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 390 \times 1900 \cdot \left(526 - \frac{62,291}{2}\right)$$

$$\phi Mn = 311,79 \text{ kNm} > Mu = 266,38 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

#### Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 526 = 797,912 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 400 \times 526 = 755,282 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1900 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \quad (\text{Memenuhi})$$

#### Cek penampang tension controlled

$$\frac{a}{d} = \frac{62,291}{526} = 0,11$$

$$\frac{c}{d} = 0,375 \cdot \beta_1 = 0,375 \times 0,8 = 0,3$$



$a/dt < c/dt$  (memenuhi untuk desain tulangan under reinforced)

- **Kondisi 3, kolom eksterior kiri, momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri.**

$$M_u = 461,060 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{484,746 \times 10^3}{0,8 \times 400 \times 526^2} = 5,208 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 5,208}{390}} \right) = 0,0147$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0036 < 0,0147 < 0,0277 \text{ (Memenuhi)}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0147 \times 400 \times 526$$

$$= 3110,96 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{3110,96}{0,25 \pi 22^2} = 8,1 \approx 9 \text{ buah}$$

$$A_{spakai} = 9 \times (0,25\pi \times 22^2) = 3421 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 3421 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 3110 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Dipasang 2 lapis ( 5D22 + 4D22)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{3421 \times 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 112,12 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot f_y \cdot A_s \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 390 \times 3421 \cdot \left( 526 - \frac{112,12}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 532,97 \text{ kNm} > M_u = 461,060 \text{ kNm (memenuhi)}$$

### Cek syarat minimum tulangan

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

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 525 = 797,912 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 400 \times 525 = 755,282 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 3421 \text{ mm}^2 > As_{min} \text{ (Memenuhi)}$$

### Cek penampang tension controlled

$$\frac{a}{d_t} = \frac{112,12}{526} = 0,213$$

$$\frac{c}{d_t} = 0,375 \cdot \beta_1 = 0,375 \times 0,8 = 0,3$$

$a/d_t < c/d_t$  (memenuhi untuk desain tulangan under reinforced)

- **Kondisi 4, kolom eksterior kiri, momen positif tumpuan, goyangan ke kiri.**

$$Mu = 150,916 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 03-3847-2013 pasal 21.5.2.2 bahwa kekuatan momen positif yang disediakan pada muka joint tidak kurang dari  $\frac{1}{2}$  kekuatan momen negatif.

$$Mu_{kondisi 2} > \frac{1}{2} Mu_{negatif \text{ kondisi 1}}$$

$$150,916 \text{ kNm} > \frac{1}{2} \times 532,97 \text{ kNm}$$

$$150,916 \text{ kNm} < 266,38 \text{ kNm}$$

$$\text{Maka dipakai } Mu_{kondisi 4} = 266,38 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{266,38 \times 10^3}{0,8 \times 400 \times 526^2} = 3,009 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 3,009}{390}} \right)$$

$$= 0,00815$$

Syarat :  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ max}$

$$0,0036 < 0,00815 < 0,0277 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00815 \times 400 \times 526$$

$$= 1714,76 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{1714,76}{0,25 \pi 22^2} = 4,5 \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{spakai} = 5 \times (0,25\pi \times 22^2) = 1900 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1900 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 1714 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

Dipasang 1 lapis 5D22

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1900 \times 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 62,291 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot f_y \cdot A_s \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 390 \times 1900 \cdot \left(526 - \frac{62,291}{2}\right)$$

$$\phi Mn = 311,79 \text{ kNm} > Mu = 266,38 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

#### Cek syarat minimum tulangan

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

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{F_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 526 = 797,912 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{F_y} b_w d = 400 \times 526 = 755,282 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1900 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min} \quad (\text{Memenuhi})$$

#### Cek penampang tension controlled

$$\frac{a}{dt} = \frac{62,291}{526} = 0,11$$

$$\frac{c}{dt} = 0,375 \cdot \beta_1 = 0,375 \times 0,8 = 0,3$$

$a/dt < c/dt$  (memenuhi untuk desain tulangan under reinforced)

- **Kondisi 5, tengah bentang, momen positif, goyangan kanan dan kiri.**

$$Mu = 205,537 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 03-3847-2013 pasal 21.5.2.2 baik kekuatan momen negatif maupun positif sepanjang komponen struktur tidak kurang dari  $\frac{1}{4}$  kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$Mu \text{ kondisi } 2 > \frac{1}{4} Mu \text{ negatif kondisi } 1$$

$$205,537 \text{ kNm} > \frac{1}{4} \times 532,97 \text{ kNm}$$

$$205,537 \text{ kNm} > 133,24 \text{ kNm}$$

Maka dipakai  $Mu \text{ kondisi } 5 = 205,537 \text{ kNm}$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{205,537 \times 10^3}{0,8 \times 400 \times 526^2} = 2,321 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,321}{390}} \right) = 0,0062$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0036 < 0,0062 < 0,0277 \quad (\text{Memenuhi})$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0062 \times 400 \times 526$$

$$= 1305 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{1305}{0,25 \pi 22^2} = 3,43 \approx 5 \text{ buah}$$

$$As_{pakai} = 4 \times (0,25\pi \times 22^2) = 1520 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 1520 \text{ mm}^2 > As_{perlu} = 1305 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

Dipasang 1 lapis 5D22 untuk momen positif tengah bentang

Dan 1 lapis 3D22 untuk momen negatif tengah bentang

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1520 \times 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 49,83 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot fy \cdot As \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 390 \times 1900 \cdot \left(526 - \frac{49,83}{2}\right)$$

$$\phi Mn = 252,57 \text{ kNm} > Mu = 205,53 \text{ kNm (memenuhi)}$$

#### Cek syarat minimum tulangan

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

$$As_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{fc'}}{Fy} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} 400 \times 526 = 797,912 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{1,4}{Fy} b_w d = 400 \times 526 = 755,282 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 1520 \text{ mm}^2 > As_{\min} \text{ (Memenuhi)}$$

#### Cek penampang tension controlled

$$\frac{a}{dt} = \frac{49,83}{526} = 0,094$$

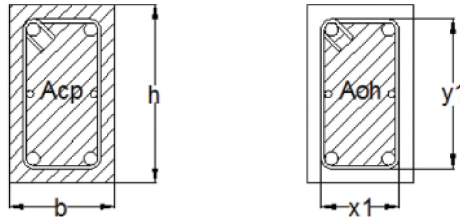
$$\frac{c}{dt} = 0,375 \cdot \beta_1 = 0,375 \times 0,8 = 0,3$$

$a/dt < c/dt$  (memenuhi untuk desain tulangan under reinforced)

## 6. Penulangan puntir akibat torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/60



**Gambar 60** Luasan Acp dan Pcp

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 240.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Perimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) \times (600 \text{ mm} - 2 \times 50 \\ &\quad \text{mm} - 13 \text{ mm}) \\ &= 139769 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \\ &\quad \times [(400 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm}) + (600 \text{ mm} - 2 \times 50 \text{ mm} \\ &\quad - 13 \text{ mm})] \\ &= 1548 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,32 D + 1,3 Ex + 1,0 L

$$T_u = 16,115 \text{ kNm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{16,115 \text{ kNm}}{0,75}$$

$$= 21,48 \text{ kNm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pada : (SNI 03-2847-2013 ps11.5.1)

$$T_{u \min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1\sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$= 10,60 \text{ kNm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar : (SNI 03-2847-2013 ps11.5.2.2)

$$T_{u \max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,33 \times 1\sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$= 42,16 \text{ kNm}$$

- Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u < T_{u \max}$

$10,60 \text{ kNm} < 21,48 \text{ kNm} < 42,16 \text{ kNm}$

( memerlukan tulangan puntir )

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir  
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{Bw \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 Aoh^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{Bw \cdot d} + 0,66\sqrt{fc'}\right)$$
$$\sqrt{\left(\frac{272236}{390 \times 686}\right)^2 + \left(\frac{16,115 \times 10^6 \times 1548}{1,7 \times 139769^2}\right)^2}$$
$$\leq \phi \left(\frac{211600}{390 \times 686} + 0,66\sqrt{35}\right)$$
$$1,26 \leq 3,52 \text{ (memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

- 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 :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times Fyt}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang  $\phi = 45^\circ$

$$\text{Dimana, } Ao = 0,85 \times A_{oh}$$
$$= 0,85 \times 139769$$



$$= 118803,65 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset} \\ &= \frac{21,48 \times 10^6}{2 \times 139769 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 0,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi  $\frac{At}{s}$  tidak boleh kurang dari :

$$\frac{At}{s} = \frac{0,175 \cdot bw}{f_{yt}} = \frac{0,175 \cdot 400}{240} = 0,291 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} Al &= \frac{At}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset \\ Al &= 0,32 \times 1548 \left( \frac{240}{390} \right) \cot^2 45 = 304,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi Al tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} Al_{min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f_c} \cdot A_{cp}}{f_{yt}} - \left( \frac{At}{s} \times P_h \times \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \\ Al_{min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{35} \cdot 240000}{390} - \left( 0,32 \times 1538 \times \frac{240}{390} \right) \\ &= 1224,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Al_{min} = 1224,24 \text{ mm}^2 > Al = 304,83 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai  $Al_{min} = 1224,24 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir perlu sebesar  $1224,24 \text{ mm}^2$  . Untuk arah memanjang dibagi rata keempat sisi penampang balok.

$$\frac{Al}{4} = \frac{1224,24}{4} = 306,06 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan longitudinal :

Pada sisi atas - disalurkan  $\frac{1}{2}$  pada tulangan tarik balok  
pada sisi bawah - disalurkan  $\frac{1}{2}$  pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $306,06 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{306,06}{0,25 \pi 13^2}$$

$$= 2,30 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D13

$$A_s = n \times \text{Luasan } D \text{ puntir}$$

$$= 4 \times 0,25 \pi 13^2$$

$$= 530,92 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang  $\geq$  As perlu

$$530,92 \text{ mm}^2 \geq 306,06 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

## 7. Hitung momen probable capacities (Mpr)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.1 mengisyaratkan bahwa geser rencana akibat gempa pada balok dhitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai  $1,25 F_y$  serta koefisien lentur 1.

**Tabel 38** Kapasitas Momen Nominal Balok B1 (1-2)

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	As Pakai ( $\text{mm}^2$ )	Mn (kNm)
1	Ujung interior kanan (negatif)	Kanan	3421	532,97
2	Ujung interior kanan (positif)	Kiri	1900	311,79
3	Ujung eksterior kiri (negatif)	Kiri	3421	532,97
4	Ujung eksterior	Kanan	1900	311,79

	kiri (positif)			
5	Tengah bentang (positif)	Kanan dan kiri	1520	252,57

- Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kanan.

Kondisi 1 :

$$a_{pr-1} = \frac{1,25 As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1,25 \times 3421 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 140,14 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 1,25 \times 3421 \times 390 \cdot \left( 526 - \frac{140,14}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 760,37 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom interior)

Kondisi 2 :

$$a_{pr-1} = \frac{1,25 As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1,25 \times 1900 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 77,83 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 1,25 \times 1900 \times 390 \cdot \left( 526 - \frac{77,83}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 451,162 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom eksterior)

- Kapasitas momen ujung-ujung balok bila struktur bergoyang ke kiri.

Kondisi 3 :

$$a_{pr-1} = \frac{1,25 As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1,25 \times 3421 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 140,14 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 1,25 \times 3421 \times 390 \cdot \left( 526 - \frac{140,14}{2} \right)$$

$$\emptyset Mn = 760,37 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom interior)

Kondisi 4 :

$$a_{pr-1} = \frac{1,25 \cdot As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1,25 \times 1900 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} = 77,83 \text{ mm}$$

$$\emptyset Mn = 1,25 \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_{pr-1}}{2} \right)$$

$$\emptyset Mn = 1,25 \times 1900 \times 390 \cdot \left( 526 - \frac{77,83}{2} \right)$$

$$\emptyset Mn = 451,162 \text{ kNm}$$

(searah jarum jam di muka kolom eksterior)



#### 8. Diagram gaya geser



Reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur diambil dari hasil output SAP2000 dengan kombinasi 1 D + 1 L :

$$Vg = \frac{Wu \cdot Ln}{2} = 272,23 \text{ kN}$$

$$Wu = 70,70 \text{ kN/m}$$

**Tabel 39** Konfigurasi Penulangan dan Kapasitas Momen Nominal

Kondisi	Lokasi	Arah Goyangan	As Pakai (mm <sup>2</sup> )	Mn (kNm)	Mpr (kNm)
1	Ujung interior kanan (negatif)	Kanan	3421	532,97	760,37 
2	Ujung interior kanan	Kiri	1900	311,79	451,162 

	(positif)				
3	Ujung eksterior kiri (negatif)	Kiri	3421	532,97	760,37 
4	Ujung eksterior kiri (positif)	Kanan	1900	311,79	451,162 

- Struktur bergoyang ke kanan

$$V_{sway-ka} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{ln} = \frac{760,37 + 451,162}{7,7} = 157,34$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung interior balok :} \\ = V_{sway-ka} + V_g \\ = 157,34 + 272,23 = 429,57 \text{ kN} \uparrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung eksterior balok :} \\ = V_{sway-ka} - V_g \\ = 157,34 - 272,23 = 114,89 \text{ kN} \downarrow \end{aligned}$$

- Struktur bergoyang ke kiri

$$V_{sway-ka} = \frac{M_{pr-3} + M_{pr-4}}{ln} = \frac{760,37 + 451,162}{7,7} = 157,34$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung interior balok :} \\ = V_{sway-ka} + V_g \\ = 157,34 + 272,23 = 429,57 \text{ kN} \uparrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total reaksi geser di ujung eksterior balok :} \\ = V_{sway-ka} - V_g \\ = 157,34 - 272,23 = 114,89 \text{ kN} \downarrow \end{aligned}$$

## 9. Senggang untuk gaya geser

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 ;  
Kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu  $V_c$  harus diambil = 0 pada perencanaan geser di daerah sendi plastis apabila :

- $V_{sway} > \frac{1}{2} V_u$  terjadi  
 $157,34 \text{ kN} > \frac{1}{2} 272,23 \text{ kN}$   
 $157,34 \text{ kN} > 136,115 \text{ kN}$
- Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa kurang dari  $A_g \cdot f_c' / 20$

$$P < \frac{A_g \cdot f_c'}{20}$$

$$15,11 < \frac{(400 \times 600) \cdot 35}{20}$$

$15,11 \text{ kN} < 420 \text{ kN}$  Dengan demikian,  $V_c = 0$  disepanjang zona sendi plastis.

Gaya geser maksimum ( $V_u$ ) = 429,57 kN

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{429,57}{0,75} - 0 = 572,76 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.9

$$V_{smax} = 0,66 \sqrt{f_c'} b_w \cdot d = 0,66 \sqrt{35} \cdot 390 \cdot 526 = 821,53 \text{ kN}$$

$V_s = 572,76 \text{ kN} < V_{smax} = 821,53 \text{ kN}$  (memenuhi)

Nilai tulangan : (SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.2)

Dicoba sengkang 2 kaki D13 ( $A_v = 265,465 \text{ mm}^2$ )

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,465 \times 390 \times 526}{572,76 \times 1000} = 105,07 \approx 100 \text{ mm}$$

Maka dipasang 2 kaki D13 – 100 mm

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{265,465 \times 390 \times 526}{100}$$

$s = 579,86 > 572,76 \text{ kN}$  (memenuhi)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1 Diperlukan hoops (seengkang tertutup) di sepanjang jarak dari sisi (muka) kolom tersebut pada daerah sendi plastis

$$2 \times h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2. Hook pertama dipasang ada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat, dan berikutnya dipasang dengan spasi yang terkecil diantara :

- $d/4 = 526/4 = 131,5 \text{ mm}$
- $6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Tetapi tidak boleh kurang dari 100 mm, sehingga tulangan hoop didaerah sendi plastis sepanjang 1200 mm dipasang seengkang tertutup 2 kaki D13 – 100 mm

Luar zona sendi plastis

Gaya geser maksimum,  $V_u$  di luar zona sendi plastis 2 h (1200 mm).adalah :

$$V_u = 429,57 \text{ kN} - (70,70 \text{ kN/m} \times 1,2 \text{ m}) = 344,73 \text{ kN}$$

Pada zona ini, kontribusi  $V_c$  dipertimbangkan.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1, nilai  $V_c$  adalah :

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

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 390 \cdot 526 = 211,60 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{344,73}{0,75} - 211,60 = 248,04 \text{ kN}$$

Dicoba seengkang 2 kaki D13 ( $A_v = 265,465 \text{ mm}^2$ )

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,465 \times 390 \times 526}{248,04 \times 1000} = 219 \approx 200 \text{ mm}$$

Maka dipasang 2 kaki D13 – 200 mm

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4, spasi maks tulangan geser adalah  $d/2 = 526/2 = 263 \text{ mm}$

Dari perhitungan diatas, bentang diluar zona sendi plastis digunakan sengkang 2 kaki D13 – 200 mm.

## 10. Lap splice untuk bentang menerus

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 sedikitnya harus ada 2 tulangan atas dan bawah yang dibuat secara menerus . Sesuai perhitungan tulangan lentur terpasang adalah lebih dari 2D22. Maka sudah terpenuhi syarat ini.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 7.10.4.5 nilai sambungan lewatan kelas A untuk baja ulir :

$$L_d = 48 db = 48 \times 22 = 1056 \text{ mm}$$

Tetapi berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1 panjang penyaluran tidak kurang dari nilai berikut :

- $ldh = \frac{fy db}{5,4 \sqrt{fc'}} = \frac{390 \times 22}{5,4 \sqrt{35}} = 268,57 \text{ mm}$
- $8 db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka sambungan lewatan diambil 1100 mm

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.3, baja tulangan yang disalurkan harus diikat dengan hoops yang dipasang dengan spasi maksimum, yaitu yang terkecil antara  $d/4$  dan 100 mm.

$$d/4 = 526/4 = 131,5 \text{ mm}$$

maka spasi hoops didaerah penyambungan lewatan tulangan = 100mm

## 11. Cut off point



Jumlah tulangan terpasang adalah 2 lapis ( 5D22 + 4D22). 2 buah tulangan lapis atas akan dibuat menerus disepanjang balok. Sehingga As sisa = 760,265 mm<sup>2</sup>.

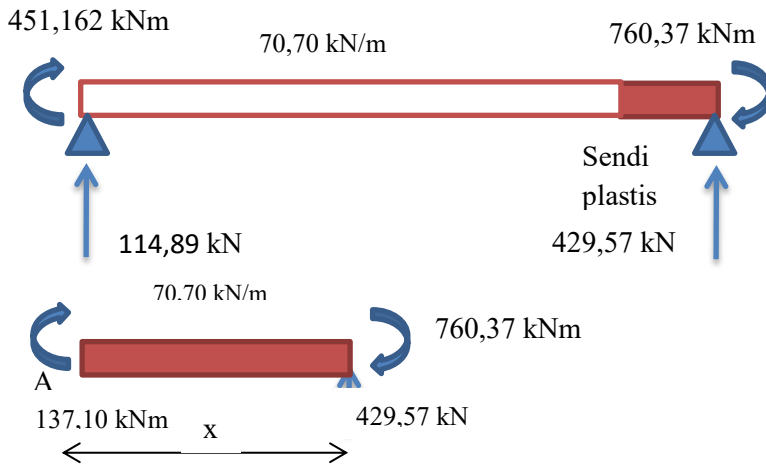
$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{760,625 \times 390}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 24,92 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot fy \cdot As \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 390 \times 760,625 \cdot \left( 526 - \frac{24,92}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 137,10 \text{ kNm}$$

Untuk mengetahui lokasi momen 137,10 kNm pada penampang balok, dibuat sketsa sebagai berikut :



**Gambar 61** Gambar Sketsa Lokasi Penampang Momen yang ditinjau

Diambil penjumlahan momen dititik A untuk menentukan nilai x :

$$70,70 \times (1/2 \times x) - 429,57x + (760,37 - 137,10) = 0$$

$$35,25 \times x^2 - 429,57x + 623,27 = 0$$

$$X = 1,69 \text{ m} \quad ; \quad X = 10,46 \text{ m}$$

Maka diambil cut off point sejarak 1,7 m baik dari muka kolom interior ataupun eksterior.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 12.2.2, Untuk D22 panjang penyaluran adalah :

$$l_{d-22} = \frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \cdot db = \frac{390 \cdot 1,3 \cdot 1}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \cdot 22 = 1713,97 \text{ mm}$$

Maka diambil 1800 mm.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 12.12.3, mengharuskan setidaknya 1/3 tulangan tarik momen negatif pada tumpuan hazrus ditanam melewati titik balok tidak kurang dari d, 12db, ln/16.

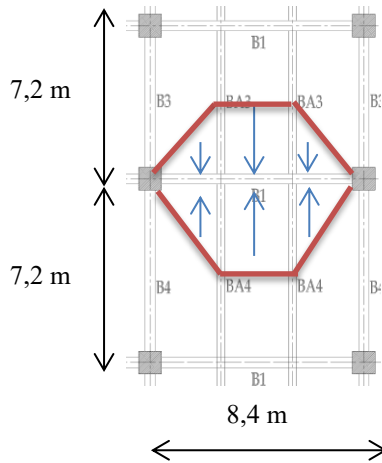
Jadi 7D22 harus ditanam sepanjang yang terbesar diantara :

- $2000 + d = 2000 + 526 = 2526 \text{ mm}$
- $2000 + (12 \times 22) = 2264 \text{ mm}$
- $l_{d-22} = 1800 \text{ mm}$
- $2000 + \frac{7700}{16} = 2481 \text{ mm}$

Maka tulangan 7D22 ditanamkan sejauh 2600 mm dari muka kolom interior dan eksterior.

## 12. Cek lendutan

Pengaruh defleksi lateral akibat beban layan akan diperhitungkan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.8 dan 9.5.2.3



**Gambar 62** Luas Tributary Area untuk Menghitung Pembebanan Balok

$$\begin{aligned} \text{Luas Trapesium} &= \frac{1}{2} \times (8,4 \text{ m} + (8,4 - (3,6 + 3,6))) \times 3,6 \\ &= 17,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tributary area balok B (1-2)} &= 17,28 + 17,28 \\ &= 34,56 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pembebanan :

- **Beban mati**

Berat pelat (13cm)	= 0,13 x 2400	= 312 kg/m <sup>2</sup>
Keramik		= 20,5 kg/m <sup>2</sup>
Spesi		= 5 kg/m <sup>2</sup>
Plafond + penggantung		= 6,5 kg/m <sup>2</sup>
Mekanikal + ducting		= <u>19 kg/m<sup>2</sup></u> +
	qD	= 363 kg/m <sup>2</sup>
Berat sendiri balok = 0,4 x 0,6 x 2400		= 576 kg/m
WD = (363 x 34,56 / 8,4 m) + 576		= 2069,48 kg/m
Beban terpusat balok anak :		
P = 0,3 x 0,5 x 2400 x 7,2		= 2592 kg

- Beban hidup

$$\text{Beban hidup lantai} = 287 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup partisi} = \frac{72 \text{ kg/m}^2}{8,4}$$

$$qL = 359 \text{ kg/m}^2$$

$$WL = 359 \times 34,56 / 8,4 = 1477 \text{ kg/m}$$

- Kombinasi beban layan 1D + 1L

$$W.\text{layan} = 1 \text{ WD} + 1 \text{ WL} = 2069,48 \text{ kg/m} + 1477 \text{ kg/m}$$

$$= 3546,48 \text{ kg/m}$$

$$P.\text{layan} = 2592 \text{ kg}$$

- Perhitungan momen

$$L_n = 7700 \text{ mm}$$

$$Muq = \frac{1}{16} \times 3546,48 \times 7700^2 = 131419249 \text{ Nmm}$$

$$Mup = \frac{1}{4} \times 2592 \times 7700 = 49896000 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.4 dimana akibat retak pada struktur, momen inersia penampang struktur lentur balok dapat direduksi sebesar 0,35  $I_g$

$$0,35 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 \right) = 2,52 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700 \cdot \sqrt{fc} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$$

- Lendutan terjadi

$$\Delta = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Muq \cdot l_n^2}{EI} \right) + \left( \frac{1}{12} \times \frac{Mup \cdot l_n^2}{EI} \right)$$

$$\Delta = \left( \frac{5}{384} \times \frac{131419249 \cdot 7700^2}{27805,6 \times 2,52 \times 10^9} \right) + \left( \frac{1}{12} \times \frac{49896000 \cdot 7700^2}{27805,6 \times 2,52 \times 10^9} \right)$$

$$\Delta = 1,44 + 3,51 = 4,95 \text{ mm}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut

Faktor rangkai dan susut beton :

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50 p'}$$

Dimana :

$\xi = 2$  (faktor waktu pada gedung lebih dari 5 tahun)

$$p' = \frac{As \text{ tekan}}{b \times d} = \frac{1900}{400 \times 600} = 0,0079$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,0079} = 1,43$$

Lendutan terjadi akibat rangkai susut :

$$\Delta' = \Delta \times \lambda_{\Delta} = 4,95 \text{ mm} \times 1,43 = 7,07 \text{ mm}$$

Lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi lendutan izin yang disyaratkan SNI 03 2847 2013 pasal 9,5 (b)

$$\Delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{8400}{360} = 23,2 \text{ mm}$$

$$\Delta' < \Delta_{ijin}$$

$$7,07 < 23,2 \text{ mm (memenuhi)}$$

#### 4.4.6.4 Penulangan Balok Induk Terpasang

Penulangan balok induk yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari beberapa keadaan diatas yaitu sebagai berikut :

**Tabel 40** Penulangan Tumpuan Balok Induk

Tipe Balok	L	B	H	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi	Tulangan Angkat
	(mm)	(mm)	(mm)	Atas	Bawah			
B1	8400	400	600	9D22	5D22	2D13-100	4D13	2Ø10
B2	3600	400	600	9D22	8D22	2D13-100	4D13	2Ø10
B3	6000	400	600	8D22	5D22	2D13-100	4D13	2Ø10
B4	7200	400	600	8D22	4D22	2D13-100	4D13	2Ø10
B5	5000	400	600	9D22	7D22	2D13-100	4D13	2Ø10

**Tabel 41** Penulangan Lapangan Balok Induk

Tipe Balok	L	B	H	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi	Tulangan Angkat
	(mm)	(mm)	(mm)	Atas	Bawah			
B1	8400	400	600	3D22	5D22	2D13-200	4D13	2Ø10
B2	3600	400	600	9D22	8D22	2D13-100	4D13	2Ø10
B3	6000	400	600	3D22	5D22	2D13-200	4D13	2Ø10
B4	7200	400	600	2D22	4D22	2D13-200	4D13	2Ø10
B5	6000	400	600	3D22	5D22	2D13-200	4D13	2Ø10

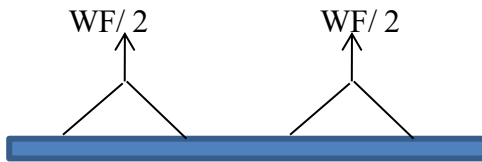
#### 4.4.6.5 Kontrol Tegangan Saat Pengangkatan

Balok anak dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Tempat pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.

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

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

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa}$$



Beban yang bekerja pada balok anak pada waktu pengangkatan :

$$\text{Berat sendiri (w)} = 0,47 \times 8,4 \times 2400 = 9475,2 \text{ kg/m}$$

Perhitungan momen sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.1 Terdapat 4 titik Angkat Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat *handling and erection* sebesar 1.2 :

$$M_y = M_{+(lap)} = M_{-(tump)} = (0,0027 w \times a \times b^2) \times 1,2$$

$$M_y = (0,0027 \times 9475,2 \times 0,4 \times 8,4^2) \times 1,2$$

$$M_y = 866,46 \text{ kgm}$$

- Menghitung momen tahanan

$$Wt = \frac{1}{6} \times b \times h^2 = \frac{1}{6} \times 300 \times 470^2 = 1,47 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

- Kontrol Tegangan

$$\phi_+ = \frac{Mx.\text{total}}{Wx} = \frac{866,46 \times 10^4}{1,47 \times 10^7} = 0,588 \text{ MPa} < fr = 2,8 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

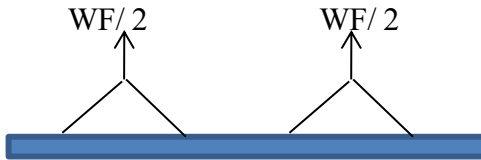
#### 4.4.6.6 Perhitungan Tulangan Angkat dan Strand

Beban Mati :

1. Berat balok pracetak =  $0,4 \times 0,47 \times 8,4 \times 2400 = 4548,1 \text{ kg}$

Beban Ultimate = 1,2 Qd

$$= 1,2 (4548) = 5458 \text{ kg}$$



Sesuai *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, fig. 8.3.4 Terdapat 4 titik Angkat dan terdapat sudut pengangkatan sebesar  $45^\circ$  sehingga harus dikalikan faktor  $F = 1,41$

Beban yang diterima 1 titik angkat :

$$P = T = \frac{W.F}{2} = \frac{5458 \text{ kg}}{4} \times 1,41 = 1924 \text{ kg}$$

Menurut SNI 2847 -2013 pasal 10.6.4 untuk tegangan ijin dasar pada baja (fs) diambil sebesar  $2/3 f_y$ .

$$fs = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 390 = 260 \text{ MPa} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Asperlu} = \frac{P}{fs} = \frac{1924 \text{ kg}}{2600 \text{ kg/cm}^2} = 0,74 \text{ cm}^2$$



Dicoba tulangan angkat  $D13\text{ mm}$

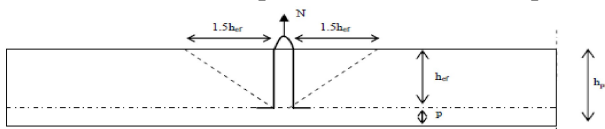
As.pakai =  $132,66\text{ mm}^2 = 1,326\text{ cm}^2 > 0,74\text{ cm}^2$  (Memenuhi)

Jadi dipakai tulangan angkat  $D13\text{ mm}$

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

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{k_c\sqrt{f'c}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{54580}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 94,76\text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 100 mm dari permukaan balok anak pracetak.



**Gambar 63** Pengangkuran Tulangan Angkat Balok Anak

Menurut PCI precast and prestressed concrete 7th figure 6.5.1 panjang tulangan angkur setidaknya mencapai garis retak yang terjadi saat beton terjadi jebol (breakout) yang terbesar dari,

$$de = \frac{h_{ef}}{\tan 35^\circ} = \frac{100}{\tan 35^\circ} = 142\text{ mm}$$

$$de = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 100 = 150\text{ mm}$$

Maka digunakan  $de = 150\text{ mm}$

- Menghitung kebutuhan strand  
 $P = 1924\text{ kg}$  ( beban 1 titik angkat)

Berdasarkan *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete* tabel design aid 15.3.1 material properties prestressing strand and wire, maka digunakan seven wire strand dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

$$\text{Diameter} = \frac{1}{4}\text{ in} = 6,35\text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 F_{pu} &= 250 \text{ ksi} &= 1724 \text{ Mpa} \\
 A &= 0,036 \text{ in} &= 23,36 \text{ mm}^2 \\
 F_{strand} &= 1724 \times 23,23 &= 4003,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka gaya yang dipikul 1 strand =  $4003,8 / 2 = 2001,9 \text{ kg}$

Kontrol :  $P < F_{strand}$

$$1924 \text{ kg} < 2001,9 \text{ kg} \text{ (Memenuhi)}$$

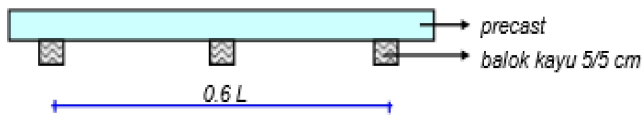
Jadi dipakai seven wire strand diameter  $\frac{1}{4} \text{ in}$  ( $f_{pu}=250\text{ksi}$ )

#### 4.4.6.7 Kontrol Tegangan Saat Penumpukan

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

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

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa}$$



Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

$$Q_d = 1,2 (0,40 \times 0,47 \times 2400) = 541,4 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 100 \text{ kg} = 160 \text{ kg}$$

$$W = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 400 \times 470^2 = 1,47 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$0,6 L = 0,6 \times 8,4 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

$$M_{lap} = \left( \frac{1}{10} \times Q_d \times 0,5L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times 0,5L)$$

$$= \left( \frac{1}{10} \times 541,4 \times 4,2^2 \right) + (0,25 \times 160 \times 4,2) = 1123 \text{ kgm}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. lap = 1123 \times 1,5 = 1684,7 \text{ kgm} = 1684,7 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M. tump &= \left( \frac{1}{8} \times Qd \times 0,6 L^2 \right) \\ &= \left( \frac{1}{8} \times 415,2 \times 5^2 \right) = 1719 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M. tump = 1719 \times 1,5 = 2579 \text{ kgm} = 2579 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\begin{aligned} \sigma_{lap} &= \frac{M. lap}{W} = \frac{1684,7 \times 10^4}{1,47 \times 10^7} = 1,14 \text{ MPa} < f_r = 2,8 \text{ MPa} \\ & \hspace{15em} \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{tump} &= \frac{M. tump}{W} = \frac{2579 \times 10^4}{1,47 \times 10^7} = 1,75 \text{ MPa} < f_r = 2,8 \text{ MPa} \\ & \hspace{15em} \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kontrol Jumlah Penumpukan

Digunakan penyangga dari kayu 5/10

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang kontak, } A &= 0,05 \times 3 = 0,15 \text{ m}^2 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 1,2 (0,4\text{m} \times 0,47\text{m} \times 8,4\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3) + 1,6 (200 \text{ kg}) \\ &= 4868 \text{ kg} = 48680 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f = \frac{P}{A} = \frac{48680}{150000} = 0,32 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jumlah penumpukan} = \frac{f_r}{f \times SF} = \frac{2,8}{0,32 \times 3} = 2,91 \approx 3 \text{ tumpukan}$$

#### 4.4.6.8 Kontrol Tegangan Saat Pemasangan (Sebelum Komposit)

Pemasangan pelat pracetak dilakukan dengan 4 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,70 \times 35 \text{ Mpa} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

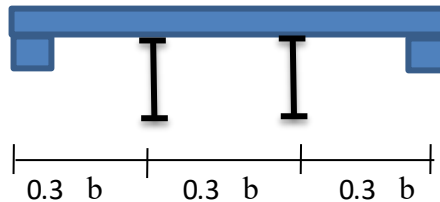
$$Q_d = 1,2 (0,40 \times 0,47 \times 2400) = 541,4 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 100 \text{ kg} = 160 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2$$

$$= 1/6 \times 400 \times 470^2 = 1,47 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$1/3 L = 1/3 \times 8,4 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$M_{lap} = \left( \frac{1}{8} \times Q_d \times 1/3 L^2 \right) + (0,25 \times P_u \times 1/3 L)$$

$$= \left( \frac{1}{10} \times 541,4 \times 2,8^2 \right) + (0,25 \times 160 \times 2,8) = 530,6 \text{ kgm}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M_{lap} = 530,6 \times 1,5 = 795,9 \text{ kgm} = 795,9 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\phi_{lap} = \frac{M. lap}{W} = \frac{795,9 \times 10^4}{1,47 \times 10^7} = 0,54 \text{ MPa} < f_r = 3,5 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

#### 4.4.6.9 Kontrol Tegangan Saat Pengecoran (Sesudah Komposit)

Pengecoran pelat pracetak dilakukan dengan 4 tumpuan pada saat umur 7 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0,70 \times 35 \text{ Mpa} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

Pada saat pemasangan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

$$\text{Berat Balok} = 1,2 (0,40 \times 0,6 \times 2400) = 691,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Pelat} = 1,2 (0,13 \times 2,8 \times 2400) = 1048 \text{ kg/m} +$$

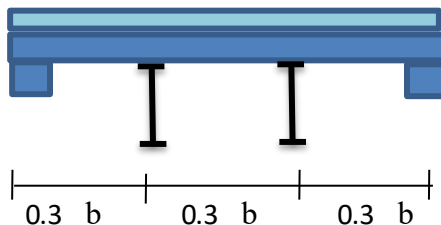
$$Q_d = 1739,2 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 100 \text{ kg} = 160 \text{ kg}$$

$$W = 1/6 \times b \times h^2$$

$$= 1/6 \times 400 \times 470^2 = 1,47 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$1/3 L = 1/3 \times 8,4 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$$



Asumsi saat pemasangan pelat pracetak menggunakan scaffolding ditengah bentang, sehingga perhitungan momen :

$$M.lap = \left( \frac{1}{10} x Qd x 1/3L^2 \right) + (0,25 x Pu x 1/3L)$$

$$= \left( \frac{1}{10} x 1739,2 x 2,8^2 \right) + (0,25 x 160 x 2,8) = 760,87 \text{ kgm}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M.lap = 760,87 x 1,5 = 1141,3 \text{ kgm} = 1141,3 x 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M.tump = \left( \frac{1}{8} x Qd x L^2 \right)$$

$$= \left( \frac{1}{8} x 1739,2 x 2,8^2 \right) = 811,3 \text{ kgm}$$

Faktor Kejut = 1,5

$$M.tump = 811,3 x 1,5 = 1216,8 \text{ kgm} = 1216,8 x 10^4 \text{ Nmm}$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma_x = \frac{M.lap}{W} = \frac{1141,3 x 10^4}{1,47 x 10^7} = 0,775 \text{ MPa} < fr = 3,5 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

$$\sigma_y = \frac{M.tump}{W} = \frac{1216,8 x 10^4}{1,47 x 10^7} = 0,826 \text{ MPa} < fr = 3,5 \text{ MPa}$$

(memenuhi)

#### 4.4.7 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk. Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan Pu ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As G-10 pada lantai 2. Berikut data yang akan digunakan dalam perencanaan :

##### 4.4.7.1 Data Perencanaan

Tipe kolom

: K1 (75/75)

As kolom	: G-10
Bentang balok (L balok)	: 8400 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 8400 mm
Dimensi kolom	: 700/700 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 35 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 390 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 390 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 13 mm

Maka, tinggi efektif balok :

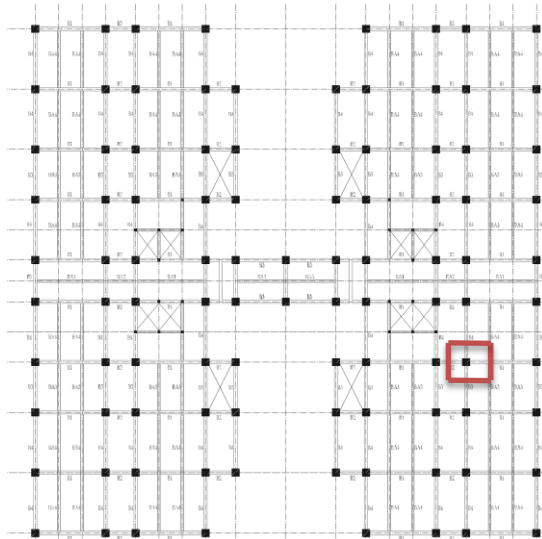
$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\
 &= 750 - 40 - 13 - (\frac{1}{2} \cdot 22) \\
 &= 686 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.7.2 Hasil output SAP 2000

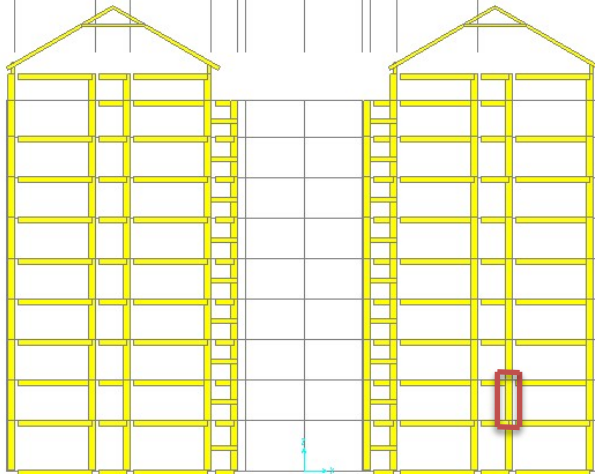
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan kolom.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Untuk perhitungan tulangan kolom, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi  $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$  ;  $1,32 D + 1,3 Ex + 1 L$  :  $1,32 DL + 1,3 Ey + 1 L$  adalah kombinasi yang dipakai dalam perhitungan tulangan kolom. Kolom yang ditinjau adalah kolom K1 (40/70) As B (1-2) pada elevasi 13,6 m (lantai 2)



**Gambar 64** Denah Posisi Kolom K-1 (75/75) Pada As G – 10



**Gambar 65** Lokasi Kolom yang di tinjau

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 1507 didapatkan :



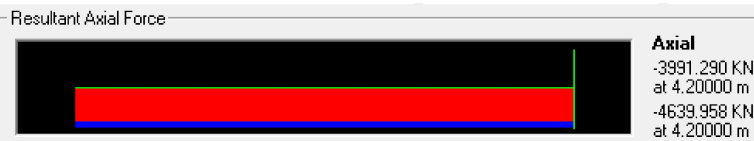
- Gaya aksial kolom



$$1,2D + 1,6L + 0,5Lr = 4550,588 \text{ kN}$$

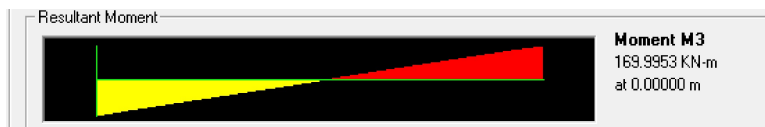


$$1,32 D + 1,3 E_x + 1 L = 5052,600 \text{ kN}$$

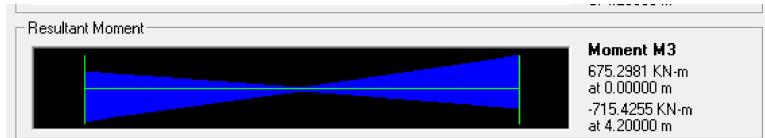


$$1,32 D + 1,3 E_y + 1 L = 4639,958 \text{ kN}$$

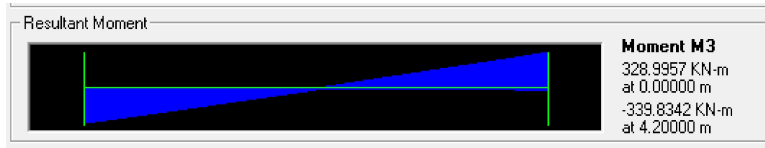
- Momen arah sumbu x



$$1,2D + 1,6L + 0,5Lr = 168,995 \text{ kN}$$



$$1,32 D + 1,3 E_x + 1 L = 715,425 \text{ kN}$$

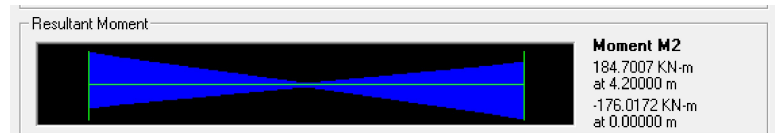


$$1,32 D + 1,3 E_y + 1 L = 339,834 \text{ kN}$$

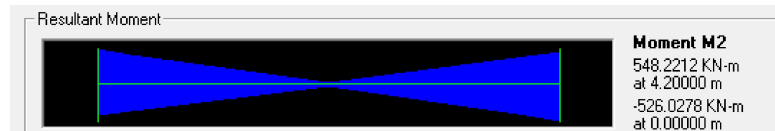
- Momen arah sumbu y



$$1,2D + 1,6L + 0,5Lr = 33,323 \text{ kN}$$



$$1,32 D + 1,3 E_x + 1 L = 184,7 \text{ kN}$$



$$1,32 D + 1,3 E_y + 1 L = 548,221 \text{ kN}$$

#### 4.4.7.3 Cek Persyaratan Kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.1 persyaratan yang harus dipenuhi adalah :

1. Gaya aksial terfaktor maksimum  $> A_g f_c' / 10$

Dari hasil analisa SAP 2000 gaya aksial terbesar yaitu berdasarkan kombinasi  $1,32 D + 1,3 E_x + 1 L = 5052,600$  kN.

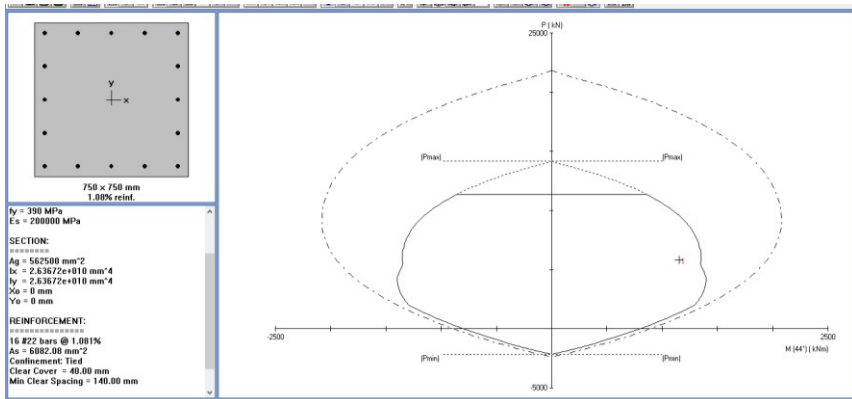
$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{750 \times 750 \times 35}{10} = 1968,75 \text{ kN} < 5052,6 \text{ kN}$$

(memenuhi)

2. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm  
Sisi terpendek kolom 750 mm  $> 300$  mm (memenuhi)
3. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4  
Rasio antara b dan h =  $750/750 = 1 > 0,4$  (memenuhi)

#### 4.4.7.4 Penulangan Lentur

Berdasarkan SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal penahan lentur tidak kurang dari 0,01  $A_g$  atau lebih dari 0,06  $A_g$ . Berikut analisa dari spcolumn yang menunjukkan konfigurasi tulangan longitudinal 16D22 dengan  $\rho = 1,08\%$  seperti pada gambar :



Gambar 66 Diagram Interaksi P-M PCACOL

#### 4.4.7.5 Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

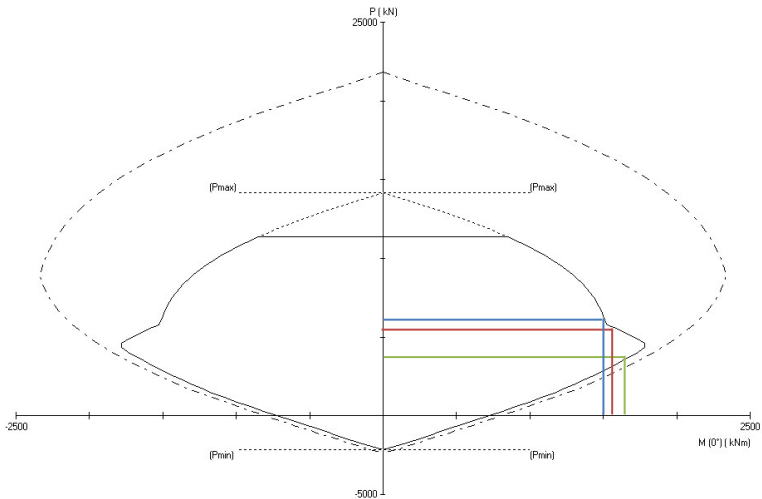
Berdasarkan SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.2.2, kuat kolom harus memenuhi  $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$ .

$\Sigma M_{nc}$  = Jumlah  $M_n$  dua kolom yang bertemu dijoin

$\Sigma M_{nb}$  = jumlah  $M_n$  dua balok yang bertemu dijoin termasuk sumbangan tulangan pelat di selebar efektif pelat lantai bila penampang balok adalah balok T.

$$1,2 \Sigma M_{nb} = 1,2 \times (532,97 + 311,79) = 1002,912 \text{ kN}$$

Menentukan nilai  $M_{nc}$  didapat dari diagram interaksi P-M dengan spcolumn seperti pada gambar berikut :



**Gambar 67** Penentuan  $M_{nc}$  dengan diagram P-M spcolumn

Keterangan :

- : kolom lantai dasar (bawah)
- : kolom lantai 1 (yang ditinjau)
- : kolom lantai 2 (atas)

Berdasarkan gambar diatas didapat :

- Kolom lantai dasar (lantai bawah)
  - $\phi P_n$  (gaya aksial terfaktor kolom) = 5852,34 kN
  - Dari diagram interaksi kolom,  $\phi P_n$  ditarik tegak lurus ke sumbu
  - $\phi M_n$  adalah = 1499 kNm
- Kolom lantai yang ditinjau (lantai 1)
  - $\phi P_n$  (gaya aksial terfaktor kolom) = 5052,60 kN
  - Dari diagram interaksi kolom,  $\phi P_n$  ditarik tegak lurus ke sumbu
  - $\phi M_n$  adalah = 1573 kNm
- Kolom lantai atas (lantai 2)
  - $\phi P_n$  (gaya aksial terfaktor kolom) = 4278,45 kN
  - Dari diagram interaksi kolom,  $\phi P_n$  ditarik tegak lurus ke sumbu
  - $\phi M_n$  adalah = 1731 kN

$$\begin{aligned}\Sigma Mnc &\geq 1,2 \Sigma Mnb \\ (\emptyset Mn \text{ atas} + \emptyset Mn \text{ desain}) &\geq 1,2 \Sigma Mnb \\ (1731 + 1573) &\geq 1002,912 \\ 3304 &\geq 1002,912 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma Mnc &\geq 1,2 \Sigma Mnb \\ (\emptyset Mn \text{ bawah} + \emptyset Mn \text{ desain}) &\geq 1,2 \Sigma Mnb \\ (1499 + 1573) &\geq 1002,912 \\ 3072 &\geq 1002,912 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Maka persyaratan *strong column weak beam* terpenuhi.

#### 4.4.7.6 Tulangan transversal sebagai confinement

Berdasarkan SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.4.4, total luas penampang hoops tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara :

$$A_{sh} = 0,3 \left( \frac{sbc \cdot fc'}{fyt} \right) \left( \frac{Ag}{Ach} - 1 \right)$$

$$A_{sh} = \frac{0,09 sbc fc'}{fyt}$$

$$\begin{aligned}Bc &= \text{lebar penampang inti beton (yang terkekang)} \\ &= bw - 2(40 + 1/2 db) = 750 - 2(40 + 13/2) = 657 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ach &= \text{luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar} \\ &\quad \text{hoop ke serat terluar hoop di sisi lainnya.} \\ &= (750 - 2 \times 40)^2 = 448900 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \left( \frac{bc \cdot fc'}{fyt} \right) \left( \frac{Ag}{Ach} - 1 \right)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \left( \frac{657 \times 35}{390} \right) \left( \frac{750^2}{448900} - 1 \right) = 4,47 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,09 bc f'c'}{f_{yt}} = \frac{0,09 \times 657 \times 35}{390} = 5,306 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi diambil nilai terbesar yaitu 5,306 mm<sup>2</sup>/mm

SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.4.3

Spasi maksimum hoop,  $S_{max}$  pada daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung ujung kolom. Nilai  $S_{max}$  merupakan nilai terkecil dari :

- $b/4 = 750/4 = 187,5 \text{ mm}$
- $6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- So menurut persamaan :

$$S_o \leq 100 + \frac{350 - hx}{3}$$

Hx = spasi horizontal antar tulangan  
= 140 mm

$$S_o = 100 + \frac{350 - 140}{3}$$

$$S_o = 170 \text{ mm}$$

Namun  $S_o$  tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

Dicoba spasi 100 mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 5,306 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 100 \text{ mm} = 530,6 \text{ mm}^2$$

Jadi digunakan tulangan 5 kaki D13 ( $A_{sh} = 663,32 \text{ mm}^2 > 530,6 \text{ mm}^2$ )  
Kebutuhan Ash memenuhi .

SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.4.1

Tulangan hoop tersebut diperlukan sepanjang  $l_o$  di masing masing ujung kolom,  $l_o$  dipilih terbesar antara :

1. Tinggi elemen kolom (h) = 750 mm
2. 1/6 tinggi bersih kolom =  $1/6 \times (4200-600) = 600 \text{ mm}$
3. 450 mm

Maka  $l_o$  diambil = 750 mm

SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.4.5

Sepanjang sisa tinggi bersih kolom (tinggi kolom total dikurangi  $l_o$  di masing masing ujung kolom) diberi hoops dengan spasi minimum 150 mm atau  $6 \times db = 6 \times 22 = 132$  mm. Maka dipasang 150 mm.

#### 4.4.7.7 Gaya Geser Design

- $V_e$  tidak perlu lebih besar dari  $V_{sway}$  yang dihitung berdasarkan  $M_{pr}$  balok :

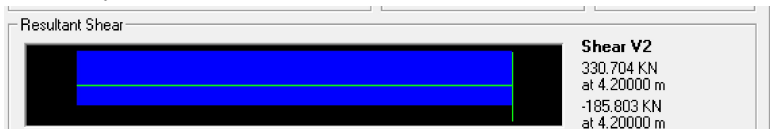
$$V_{sway} = \frac{M_{pr \text{ atas}} \cdot DF_{atas} + M_{pr \text{ bawah}} \cdot DF_{bawah}}{l_u}$$

DF = faktor distribusi momen dibagian atas dan bawah kolom yang didesain.

Karena kolom lantai atas dan bawah mempunyai kekakuan yang sama maka,  $DF_{atas} = DF_{bawah} = 0,5$

$$V_{sway} = \frac{(760,37 + 451,162) \cdot 0,5 + (760,37 + 451,162) \cdot 0,5}{3,6} = 336,53 \text{ kN}$$

- Tapi  $V_e$  tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur yaitu :



$V_u = 330,704 \text{ kN} > V_e = 336,53 \text{ kN}$  (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 03 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  $A_g \cdot f_c' / 10$ . Kolom yang didesain

mempunyai nilai  $P_u = 5052,60 \text{ kN} > A_g \cdot f_c' / 10$ . Maka  $V_c$  boleh diperhitungkan.

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w \cdot d = 0,17 \cdot 1 \sqrt{35} \cdot 750 \cdot 686 = 517,44 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 517,44 \text{ kN} = 388,08 \text{ kN}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 517,44 \text{ kN} = 194,04 \text{ kN}$$

$$V_u = 336,53 \text{ kN}$$

Cek kebutuhan tulangan geser :

$$0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \text{ (maka perlu tulangan geser minimum)}$$

Maka direncanakan tulangan minimum pada penampang kolom :

Dipasang 5 kaki D13 dengan jarak (S) = 100 mm

$$A_{vmin} = 0,0062 \sqrt{f_c} \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} = 0,062 \sqrt{35} \frac{750 \cdot 100}{390} = 70,53 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 663,66 \text{ mm}^2 > A_{vmin} = 70,52 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Untuk bentang diluar  $l_o$

SNI 03 2847 2013 pasal 11.2 memberikan harga  $V_c$  bila ada gaya aksial yang bekerja :

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w \cdot d$$

Dimana,

$N_u$  = gaya tekan aksial terkecil dari ke 9 kombinasi pembebanan

$N_u = 2106,819 \text{ kN}$  ( kombinasi 0,78 D + 1,3 E<sub>y</sub> )



$$\phi V_c = 0,75 \cdot 0,17 \left( 1 + \frac{2106,819 \times 10^3}{14 \times 750^2} \right) 1 \sqrt{35} \cdot 750 \cdot 686 = 491,9 \text{ kN}$$

$$V_{s.min} = 0,33 \times b \times d = 0,33 \cdot 750 \cdot 686 = 169,78 \text{ kN}$$

$$\phi V_c + V_{s.min} = 661,68 \text{ kN} > \frac{V_u}{\phi} = 448,7 \text{ kN}$$



$$\frac{Vu}{\phi} = \frac{336,53}{0,75} = 448,70 \text{ kN}$$

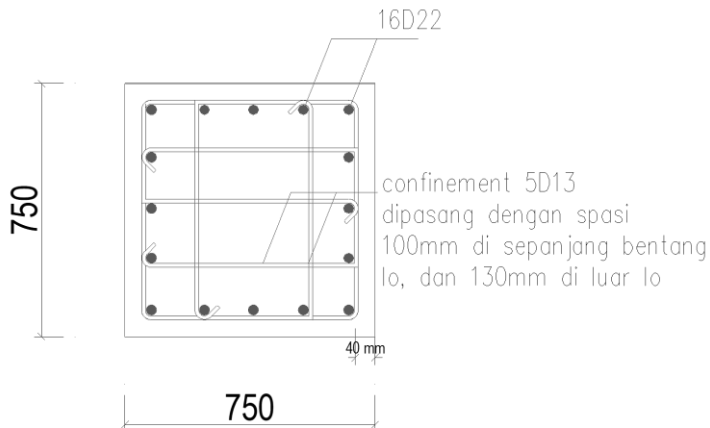
Kondisi diatas menunjukkan  $\phi V_c + V_{smin}$  melebihi  $Vu/\phi$  untuk bentang kolom diluar  $l_o$  , maka dibutuhkan tulangan sengkang minimum.

SNI 03 2847 2013 pasal 21.6.4.5

Untuk tulangan transversal penahan geser untuk daerah sepanjang sisa tinggi bersih kolom (tinggi kolom total dikurangi  $l_o$  di masing masing ujung kolom) diberi tulangan dengan spasi minimum 150 mm atau  $6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$ . Maka dipasang 5 kaki D13 - 130 mm.

#### 4.4.7.8 Lap Splices

*Lap splices* (sambungan lewatan) dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus diikat dengan tulangan sengkang. Sepanjang *lap splice*, spasi tulangan transversal dipasang sesuai perhitungan confinement sebelumnya yaitu 100 mm.



**Gambar 68** Sketsa Penampang Desain Kolom K1 As G-10

SNI 03 2847 2013 pasal 12.17.2.2

Digunakan *class B lap splice* jika semua tulangan disalurkan di lokasi yang sama. Panjang lewatan kelas B =  $1,31 l_d$  (pasal 12.15.1). besarnya  $l_d$  berdasarkan persamaan sesuai pasal 12.2.3 dengan menggunakan nilai  $ktr = 0$  untuk penyederhanaan desain.

Untuk tulangan D22 maka panjang penyaluran adalah :

$$l_d = \left( \frac{f_y \psi_t \psi_e \psi_s}{1,1 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{cb + ktr}{db} \right)} \right) db$$
$$1,3 l_d = 1,3 \times \left( \frac{390 \times 1,3 \times 1 \times 1}{1,1 \times 1 \sqrt{35} \left( \frac{64 + 0}{22} \right)} \right) 22 = 765,93 \text{ mm}$$

Maka digunakan sambungan lewatan sepanjang 1000 mm.

#### 4.4.8 Desain Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom didesain dengan metode SRPMK, yang merupakan tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom yang telah didesain pada perhitungan sebelumnya.

- Dimensi join

SNI 03 2847 2013 pasal 21.7.4.1

Luas efektif hubungan kolom :

$$A_j = 750 \times 750 = 562500 \text{ mm}^2$$

SNI 03 2847 2013 pasal 21.7.2.3

Panjang join yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser dijoin sedikitnya 20 db.

$$\text{Panjang join} : 20 \times 22 = 440 \text{ mm}$$

- Penulangan transversal untuk confinement

SNI 03 2847 2013 pasal 21.7.3.1

Harus ada tulangan confinement dalam join

SNI 03 2847 2013 pasal 21.7.3.2

Untuk joint interior dibutuhkan setidaknya  $\frac{1}{2}$  tulangan confinement yang dibutuhkan diujung ujung kolom. Dari perhitungan desain kolom sebelumnya diperoleh :

$$0,5 \frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times 5,306 \frac{mm^2}{mm} = 2,653 \frac{mm^2}{mm}$$

Spasi vertikal hoop diizinkan untuk diperbesar hingga 150 mm. Jarak bersih antar tulangan tekan dan tarik balok adalah :  $600 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (22 \times 2) - 25 - 22 = 403$  mm.

Coba pasang 4 hoop. Yang pertama dipasang pada jarak 50 mm di bawah tulangan atas.

Area tulangan hoop yang dibutuhkan =  $150 \text{ mm} \times 2,653 \text{ mm}^2/\text{mm} = 397,95 \text{ mm}^2$ .

Dicoba baja tulangan 4 kaki D13

$$A_{sh} = 530,93 \text{ mm}^2 > = 397,95 \text{ mm}^2.$$

- Perhitungan geser di joint dan cek kuat geser

Balok yang memasuki joint memiliki  $M_{pr} = -760,37 \text{ kNm}$  dan  $451,162 \text{ kNm}$ . Pada joint, kekakuan kolom atas dan kekakuan kolom bawah sama, sehingga  $DF = 0,5$  untuk setiap kolom. Sehingga :

$$M_e = 0,5 \times (760,37 + 451,162) = 605,766 \text{ kNm}$$

Geser pada kolom atas :

$$V_{sway} = (605,766 + 605,766) / 3,6 \text{ m} = 336,53 \text{ kN}$$

Dibagian lapis atas balok, baja tulangan yang dipakai 9D22 ( $A_s = 3421,19 \text{ mm}^2$ ).

Gaya tarik pada balok bagian kiri :

$$T_1 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 3421,19 \times 390 = 1667,83 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada balok kiri :

$$T_1 = C_1 = 1667,83 \text{ kN}$$

Gaya tarik pada balok bagian kanan :

$$T_2 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 3421,19 \times 390 = 1667,83 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada balok kanan :

$$T_2 = C_2 = 1667,83 \text{ kN}$$

$$V_u = V_j = V_{\text{sway}} - T_1 - C_2$$

$$= 336,53 - 1667,83 - 1667,83 = 2999,13 \text{ kN}$$

Arah T1 ke kiri

SNI 03 2847 2013 pasal 21.7.4.1

Kuat geser nominal joint yang dikekang di empat sisinya adalah :

$$V_n = 1,7\sqrt{f_c} \cdot A_j$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 1,7\sqrt{35} \cdot 562500 = 4242 \text{ kN} > 2999 \text{ kN}$$

## 4.5 Perencanaan Sambungan

### 4.5.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

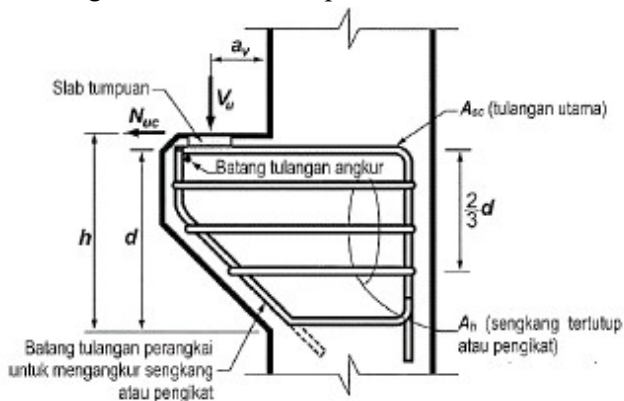
Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (non topping) seperti mechanical connection dan welding connection yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah joint, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewat. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton topping. Di dalam

pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (shear connector) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat topping agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Dalam pelaksanaan kontruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau serviceability, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Bebanbeban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

#### 4.5.2 Sambungan Balok dan Kolom

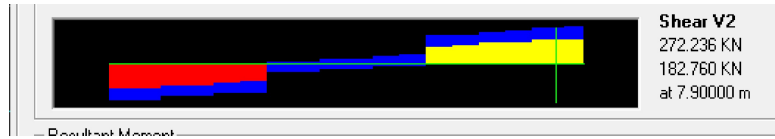
Pada perencanaan sambungan antara kolom dan balok induk dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom disesuaikan dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8



**Gambar 69** Geometrik Konsol Pendek

#### 4.5.2.1 Penulangan Konsol pada Kolom

- **Data Perencanaan**



$V_u$  output analisis dengan software SAP2000 = 272,236 kN

Dimensi Balok Induk = 40/60

Dimensi konsol:

$b_w = 400$  mm

$h = 400$  mm

$\Phi$ .tulangan lentur = 22 mm

$d = 400 - 50 - \frac{1}{2} \times 22 = 339$  mm

$f_c' = 35$  MPa

$f_y = 390$  MPa

$a_v = 150$  mm

Geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi harus sesuai dengan persyaratan SNI 03-28472013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$A_v/d = 150/339 = 0,44 < 1 \text{ (memenuhi)}$$

$$N_{uc} \geq 0,2 V_u$$

$$N_{uc} \geq 0,2 \times 272,236 \text{ kN} = 54,44 \text{ kN}$$

- **Cek Kecukupan Penampang**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$0,2 f_c' b_w \cdot d = 0,2 \times 35 \times 400 \times 238 = 666,4 \text{ kN} > V_n \text{ (OK)}$$

$$(3,3 + 0,08 \cdot f_c') \times b_w \times d = (3,3 + 0,08 \cdot 35) \times 400 \times 238$$

$$= 580,72 \text{ kN} > V_n \text{ (OK)}$$

$$11 b_w \cdot d = 11 \times 400 \times 238 = 1047 \text{ kN} > V_n \text{ (OK)}$$

Maka, dimensi konsol mampu menahan geser yang terjadi

- **Penentuan Tulangan Konsol**

Dari perhitungan sebelumnya di dapatkan  $V_e$  pada balok yaitu,

$$V_e (-) = -114,89 \text{ kN}$$

$$V_e (+) = 429,57 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.6.4.2 Untuk menentukan  $V_n$  pada konsol akibat geser friksi dengan tulangan miring, yaitu :

$$V_n = A_{vf} \times f_y (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)$$

$$\text{Dicoba tulangan 5D22, } (A_s = A_{vf} = 1899 \text{ mm}^2)$$

$$\mu = 1,4 (\text{koefisien friksi})$$

$$V_n = 1899 \times 390 (1,4 \sin 0 + \cos 0)$$

$$V_n = 1037 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.8.2 untuk join pada metode pracetak sebagai penahan gempa harus memenuhi persyaratan berikut dan semua persyaratan pada cor ditempat.

$$V_n > 2 \times V_e$$

$$1037 > 2 \times 429,57 \text{ kN}$$

$$1037 > 859,14 \text{ kN (memenuhi)}$$

- **Luas Tulangan Lentur**

Perletakkan yang akan digunakan dalam konsol pendek adalah sendi-rol yang mengijinkan deformasi arah lateral ataupun horizontal. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4 akan digunakan  $N_{uc}$  minimum ( $N_{uc}$  = gaya tarik horizontal terfaktor yang diterapkan diatas korbel yang bekerja serentak dengan  $V_u$ )

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \cdot a_v + N_{uc}(h - d) \\ &= 272,236 \times 150 + 54,44(300 - 238) \\ &= 44210680 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

$$M_u = 44210680 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{44210680}{0,8 \times 400 \times 238^2} = 2,43 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,43}{390}} \right) = 0,0065$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0036 > 0,0065 < 0,0277$  (Memenuhi)

Tulangan untuk menahan momen :

$$A_{f1} = \frac{M_u}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} = \frac{44210680}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 238} = 747,14 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d = 0,0065 \times 400 \times 238 = 618,8 \text{ mm}^2$$

Diambil terkecil  $A_{f2} = 618,8 \text{ mm}^2$

Tulangan untuk menahan Nuc :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{54,44 \times 1000}{0,75 \times 390} = 186,11 \text{ mm}^2$$

- **Pemilihan Tulangan yang digunakan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5



$$Asc = Af + An = 618,8 + 186,11 = 804,9 \text{ mm}^2$$

$$Asc = \left( \frac{2xAvf}{3} + An \right) = \left( \frac{2x1899}{3} + 186,11 \right) = 1452,11 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diambil terbesar } Asc = 1452,11 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$\frac{A_{sc.min}}{b \times d} \geq 0,04 \frac{f_c'}{f_y}$$

$$\frac{1452,11}{400 \times 339} \geq 0,04 \frac{35}{390}$$

$$0,0064 \geq 0,0035 \text{ (memenuhi)}$$

Kebutuhan tulangan lentur :

$$n = \frac{Asc}{As \cdot D22} = \frac{1452,11}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 3,89 \approx 4 \text{ buah}$$

$$Avf = 1899 \text{ mm}^2 > Asc = 1452, \text{mm}^2$$

Sehingga dipakai 5D22 (  $As = 1899 \text{ mm}^2$  )

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$Ah = 0,5 (Asc - An) = 0,5 (804,9 - 186,11) = 309,395 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser :

$$n = \frac{Ah}{As \cdot D13} = \frac{309,395}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 2,33 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka dipakai tulangan sengkang 3D13 ( $Av = 398 \text{ mm}^2$ ) dan dipasang sepanjang  $(2/3) d = 226 = 250 \text{ mm}$

- **Luas Pelat Landas**

$$Vu = \emptyset \times 0,85 f_c \times Al$$

$$Al = \frac{272,236 \times 1000}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 12201,05 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan  $300 \times 300 \text{ mm}^2 = 90000 \text{ mm}^2$  (tebal 15 mm)

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 22.5.5 kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi,

$$Bn = \phi \times 0,85 \times f'c' (\text{umur 7hari}) \times A$$

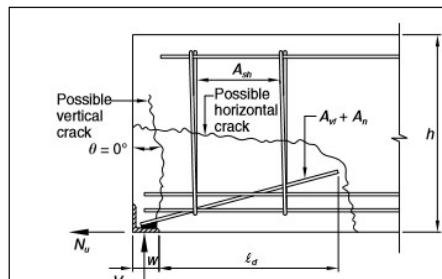
$$Bn = 0,65 \times 0,85 \times 25 \times 90000 = 1243 \text{ kN} > Vu = 272,236$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan, ( $f'c'$  umur 7hari) :

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Vu}{A} = \frac{272236}{90000} = 3,02 < Fr = 3,5 \text{ Mpa (memenuhi)}$$

#### 4.5.2.2 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 4. 1 Rencana tulangan pada balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (7<sup>th</sup> Edition)* section 5.6.2 yaitu tentang concrete brackets or cobel. Penulangan end bearing berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak vertikal  $\Theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{Vu}{\phi \cdot f_y \cdot \mu_e} + \frac{Nu}{\phi \cdot f_y}$$

3. Sudut penanaman adalah  $15^\circ$
4. Nilai  $\mu = 1,4$   $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$
5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}}$$

Dimana,

$$\mu e = \frac{\emptyset 1000 \lambda \cdot Acr \cdot \mu}{Vu}$$

Acr = ld. b

b = lebar balok

ld = panjang penyaluran

fys = mutu baja sengkang

Penentuan Ld dari *design aids 15.4.4 PCI DESIGN HANDBOOK (7<sup>th</sup> Edition)* seperti pada tabel berikut :

**Tabel 42** Required Development Lengths

Bar size, #	$f_c = 3000 \text{ psi}$				$f_c = 4000 \text{ psi}$				$f_c = 5000 \text{ psi}$				$f_c = 6000 \text{ psi}$				Min. comp. splice
	Tension		Com-pression		Tension		Com-pression		Tension		Com-pression		Tension		Com-pression		
	$\ell_d$	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	$\ell_d$	$\ell_d$	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	$\ell_d$	$\ell_d$	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	$\ell_d$	$\ell_d$	$1.3\ell_d$	$1.5\ell_d$	$\ell_d$	
3	16	21	25	8	14	18	21	8	13	17	19	8	12	15	17	8	12
4	22	28	33	11	19	25	28	9	17	22	25	9	15	20	23	9	15
5	27	36	41	14	24	31	36	12	21	28	32	11	19	25	29	11	19
6	33	43	49	16	28	37	43	14	25	33	38	14	23	30	35	14	23
7	48	62	72	19	42	54	62	17	37	48	56	16	34	44	51	16	26
8	55	71	82	22	47	62	71	19	42	55	64	18	39	50	58	18	30
9	62	80	93	25	54	70	80	21	48	62	72	20	44	57	66	20	34
10	70	90	104	28	60	78	90	24	54	70	81	23	49	64	74	23	38
11	77	100	116	31	67	87	100	27	60	78	90	25	55	71	82	25	42

Digunakan tulangan D13 (#4)

$f_c' = 5000 \text{ psi} = 35 \text{ Mpa}$

Ld = 17 in = 432 mm

B = 400 mm = 15,74 in

Acr = ld. b

$$= 17 \text{ in. } 15,74 \text{ in} = 330 \text{ in}^2$$

$\lambda = 1$

$\mu = 1,4$

$f_{ys} = 390 \text{ Mpa} = 58065 \text{ lb/in}^2$

$V_u = 272,23 \text{ kN} = 61,14 \text{ kip}$

$$\mu e = \frac{\emptyset 1000 \lambda \cdot Acr \cdot \mu}{Vu} = \frac{0,75 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 330 \cdot 1,4}{61140} = 5,66$$

$5,66 > 3,4$  maka dipakai  $\mu_e = 3,4$  (table 5.3.1 PCI 7<sup>th</sup> Edition)

Perhitungan Tulangan horizontal ( $A_t$ )

$$A_t = A_{vf} + A_n$$

$$At = \frac{Vu}{\emptyset \cdot fy \cdot \mu} + \frac{Nu}{\emptyset \cdot fy}$$

$$= \frac{Vu}{\phi \cdot fy \cdot \mu} + \frac{Nu}{\phi \cdot fy} = \frac{272,23 \times 10^3}{0,75 \cdot 390 \cdot 3,4} + \frac{54,44 \times 10^3}{0,75 \cdot 390}$$

$$= 459 \text{ mm}^2$$

Dipakai 4D13 dengan  $A_s = 530 \text{ mm}^2$

Perhitungan sengkang  $A_{sh}$

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot fy}{\mu \cdot f_{ys}}$$

$$= \frac{459,390}{3,4 \cdot 390}$$

$$= 135 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2D13 dengan  $A_s = 265 \text{ mm}^2$

#### 4.5.2.3 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 juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

- **Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tekan**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$l_{dc} \geq \frac{0,24 \times fy}{\lambda \sqrt{fc}} \times db$$

$$l_{dc} \geq \frac{0,24 \times 390}{1 \sqrt{35}} \cdot 19$$

$$l_{dc} \geq 300,6 \text{ mm}$$

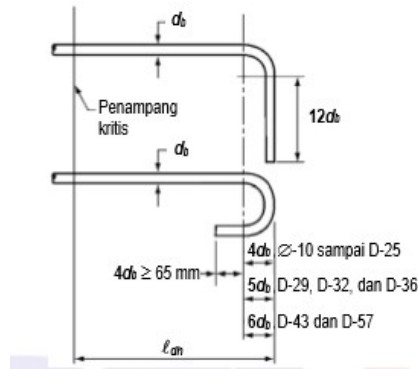
$$l_{dc} \geq 0,043 \times fy \times db$$

$$l_{dc} \geq 0,043 \times 390 \times 19$$

$$l_{dc} \geq 318,6 \text{ mm} , \text{ maa dipakai } l_d = 318,63 \approx 320 \text{ mm}$$

- **Panjang Penyaluran Kait Standar dalam Tarik**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



**Gambar 70** Detail batang tulangan dengan kait standar

$$l_{dh} \geq 8 \times d_b = 152 \text{ mm}$$

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

$$l_{dh} \geq \frac{0,24\psi_e f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \times d_b = \frac{0,24 \times 1 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \times 19 = 300,60 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $l_{dh} = 320 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam balok induk dengan panjang kait standar sebesar  $90^\circ$  sebesar :

$$12 d_b = 12 \times 19 = 228 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

#### 4.5.2.4 Perhitungan Kuat angkur baut ke beton

Dalam sambungan konsol kolom dengan balok induk dipasang angkur baut untuk menghindari hal hal yang tidak diinginkan pada saat pemasangan elemen balok precast. Desain sambungan harus mampu menahan gaya aksial yang terjadi dibalok

Dari pembahasan struktur balok induk sebelumnya, didapat gaya aksial dan geser dari analisa SAP 2000 sebesar :

$$N_u = 12,75 \text{ kN}$$

- Data Perencanaan :

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel J3.1M dan J3.2 Direncanakan baut A325 dengan ukuran M20. Berikut data perencanaan sambungan baut :

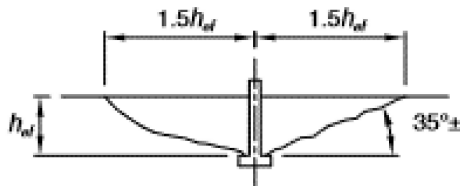
$d_b$	$= 20 \text{ mm}$	$F_{ub}$	$= 830 \text{ Mpa}$
$A_b$	$= 314,15 \text{ mm}^2$	$F_{yb}$	$= 620 \text{ Mpa}$

Mutu baja :  $f_y = 390 \text{ Mpa}$   
 $F_u = 560 \text{ Mpa}$

Mutu Beton ( $f_c$ ) = 35 Mpa

Kedalaman ( $h_{ef}$ ) = 160 mm

- Menentukan jarak angkur :



**Gambar 71** Jarak Angkur Pada Konsol Kolom

$$C_{a1} = 1,5 h_{ef} = 1,5 \times 160 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$C_{a2} = 200 \text{ mm}$$

**a. Kuat baut angkur terhadap gaya Tarik**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. D.5.1.2 dijelaskan gaya tarik pada angkur harus lebih kecil dari kekuatan nominal angkur.

Baut angkur,  $\varnothing_{\text{baut}} = 20 \text{ mm} \approx 3/4 \text{ in}$ ,  $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$  (Wiryanto 2016)

$$N_{sa} = A_{SE,N} \times F_u = 314,159 \text{ mm}^2 \times 830 \text{ Mpa} = 260752 \text{ N}$$

$$= 260,752 \text{ kN}$$

$$\phi N_{sa} = 0,75 \times 260,752 = 195,563 \text{ KN}$$

### b. Kuat jebol (breakout) beton terhadap tarik

Menurut SNI 2847:2013 D.5.2.2 kekuatan nominal kuat jebol beton terhadap tarik yaitu :

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times N_b$$

Dimana :

$$\Psi_{ed,N} = 1 \text{ (Untuk } c_{a1} \geq 1,5 \text{ hef)}$$

$$\Psi_{c,N} = 1,25 \text{ (untuk angkur cor didalam)}$$

$$\Psi_{cp,N} = 1$$

$$K_c = 10 \text{ (untuk angkur cor didalam)}$$

$$\lambda_a = \lambda = 1$$

Posisi angkur dari ujung tepi kolom beton ( $c_{a1}$ ) = 240 mm

$$A_{NCO} = 9h_{ef}^2 = 9 \times 160^2 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$A_{NC} = c_{a1} \times c_{a2} = 240 \times 200 = 48000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{NC}}{A_{NCO}} = 0,2$$

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f_c} h_{ef}^{1,5} = 10 \cdot 1 \sqrt{35} 160^{1,5} = 119733 \text{ N}$$

$$= 119,733 \text{ KN}$$

Baut angkur tunggal

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times N_b$$

$$= 0,2 \times 1 \times 1,25 \times 1 \times 119,733 = 29,93 \text{ KN}$$

### c. Kuat cabut (pullout) baut angkur dari beton

Menurut SNI 2847:2013 D.5.3.4 kekuatan nominal cabut dalam kondisi tarik dari baut berkait tunggal seperti berikut,

$$\Psi_{c,p} = 1$$

Baut angkur,  $\text{Øbaut} = 20 \text{ mm} \approx 3/4 \text{ in}$ ,  $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$  (*Wiryanto 2016*)

$$N_p = 8 A_{brg} \cdot f_c = 8 \times 314,159 \times 35 = 87964 \text{ N} = 87,96 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \text{Ø}N_{pn} &= \text{Ø}\Psi_{c,p} \cdot N_p = 0,75 \times 1 \times 87,96 \\ &= 65,97 \text{ KN} \end{aligned}$$

#### **d. Kuat ambrol muka tepi (sideface blowout) beton dari tarik**

Menurut SNI 2847:2013 D.5.4.1 kekuatan nominal ambrol beton dari tepi terdekat terhadap tarik yaitu,

$$N_{sb} = 13 \cdot ca1 \sqrt{A_{brg}} \lambda_a \sqrt{f_c}$$

Baut angkur,  $\text{Øbaut} = 20 \text{ mm} \approx 3/4 \text{ in}$ ,  $A_{SE,N} = 0,441 \text{ in}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$  (*Wiryanto 2016*)

$$\begin{aligned} N_{sb} &= (13 \cdot ca1 \sqrt{A_{brg}}) \lambda_a \sqrt{f_c} = (13 \times 240 \sqrt{314,159}) 1 \sqrt{35} \\ &= 327,162 \text{ N} = 327,1162 \text{ KN} \end{aligned}$$

#### **e. Rangkuman kuat batas baut terhadap tarik :**

$$\text{Kuat tarik baut angkur} = 195,563 \text{ KN}$$

$$\text{Kuat jebol beton} = 29,93 \text{ KN (Menentukan)}$$

$$\text{Kuat cabut angkur} = 65,97 \text{ KN}$$

$$\text{Kuat ambrol muka tepi beton} = 327,1162 \text{ KN}$$

$$\text{Ø}N_n \geq N_n$$

$$29,93 \text{ kN} \geq 12,75 \text{ kN (memenuhi)}$$

Jadi digunakan angkur baut tunggal M20 mutu A325

#### **4.5.2.5 Kontrol Tarik sambungan Coupler**

Menurut SNI 12.14.3.2 Sambungan mekanis penuh harus mengembangkan tarik atau tekan seperti disyaratkan, paling sedikit 1,25  $F_y$  batang tulangan.

Berdasarkan brosur didapat informasi seperti berikut :

$$F_y \text{ Coupler} = 600 \text{ Mpa}$$

$$F_y \text{ tulangan} = 390 \text{ Mpa}$$



Sehingga,  $1,25 F_y < F_y \text{ Coupler}$

$1,25 \times 390 < 600$

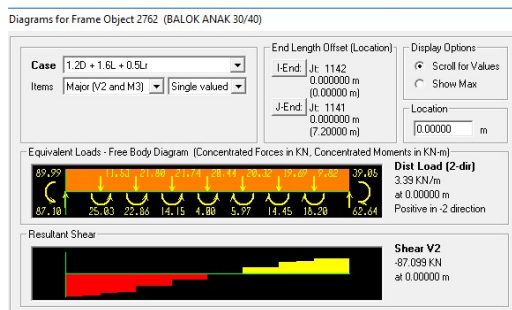
$487,5 \text{ Mpa} < 600 \text{ Mpa ( OK )}$

#### 4.2.2 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom disesuaikan dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8

##### 4.2.2.2 Penulangan Konsol pada Balok Induk

- **Data Perencanaan**



$V_u$  output analisis dengan software SAP2000 = 87,09 kN

Dimensi Balok anak = 30/40

Dimensi konsol:

$b_w = 200 \text{ mm}$

$h = 200 \text{ mm}$

$\Phi$ .tulangan lentur = 13 mm

$d = 200 - 50 - (1/2 \times 13) = 144 \text{ mm}$

$f_c' = 35 \text{ MPa}$

$f_y = 390 \text{ MPa}$

$a_v = 100 \text{ mm}$

Geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi harus sesuai dengan persyaratan SNI 03-2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$Av/d = 100/143 = 0,7 < 1 \text{ (memenuhi)}$$

$$Nuc \geq 0,2 Vu$$

$$Nuc \geq 0,2 \times 87,09 \text{ kN} = 17,41 \text{ kN}$$

- **Luas Tulangan Geser Friksi**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $Vn$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$0,2 f'c' bw \cdot d = 0,2 \times 35 \times 200 \times 144 = 201,305 \text{ kN} > Vn \text{ (OK)}$$

$$(3,3 + 0,08 \cdot f'c') \times bw \times d = (3,3 + 0,08 \cdot 35) \times 200 \times 144 \\ = 183,610 \text{ kN} > Vn \text{ (OK)}$$

$$11 bw \cdot d = 11 \times 200 \times 144 = 331,1 \text{ kN} > Vn \text{ (OK)}$$

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.6.5 Dimensi digunakan pada korbekel harus melebihi gaya geser terfaktor yang bekerja.

$$Vn = \frac{Vu}{\phi} = \frac{87,09}{0,65} = 134 \text{ kN}$$

$$Avf = \frac{Vn}{fy \times \mu} = \frac{134 \times 10^3 \text{ N}}{390 \times 1,4} = 245 \text{ mm}^2$$

- **Luas Tulangan Lentur**

Perletakkan yang akan digunakan dalam konsol pendek adalah sendi-rol yang mengijinkan deformasi arah lateral ataupun horizontal. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4 akan digunakan  $Nuc$  minimum ( $Nuc$  = gaya tarik horizontal terfaktor yang diterapkan diatas korbekel yang bekerja serentak dengan  $Vu$ )

$$Mu = Vu \cdot av + Nuc(h - d) \\ = 87,09 \times 100 + 17,41(200 - 144) \\ = 9571191 \text{ Nmm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

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

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

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109 \text{ Mpa}$$

$$Mu = 9571191 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{9571191}{0,8 \times 200 \times 151^2} = 2,64 \text{ Mpa}$$

$$p = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 2,64}{390}} \right) = 0,0071$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0036 > 0,0071 < 0,0277$  (Memenuhi)

Tulangan untuk menahan momen :

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \phi f_y x d} = \frac{9571191}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 151} = 255,79 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d = 0,0071 \times 200 \times 151 = 213,79 \text{ mm}^2$$

Diambil terkecil  $A_{f2} = 213,79 \text{ mm}^2$

Tulangan untuk menahan Nuc :

$$A_n = \frac{Nuc}{\phi x f_y} = \frac{17,41 \times 1000}{0,75 \times 390} = 59,54 \text{ mm}^2$$

- **Pemilihan Tulangan yang digunakan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 213,79 + 59,54 = 273,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left( \frac{2xAvf}{3} + A_n \right) = \left( \frac{2x245}{3} + 59,54 \right) = 201,33 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diambil terbesar } A_{sc} = 273,339 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$\frac{A_{sc.min}}{b \times d} \geq 0,04 \frac{f_c'}{f_y}$$

$$\frac{273,33}{200 \times 151} \geq 0,04 \frac{35}{390}$$

$$0,009 \geq 0,0035 \text{ (memenuhi)}$$

Kebutuhan tulangan lentur :

$$n = \frac{A_{sc}}{A_s \cdot D_{13}} = \frac{273,33}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 2,05 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka dipakai 3D13

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (273,33 - 59,54) = 106,89 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser :

$$n = \frac{A_h}{A_s \cdot D_{13}} = \frac{106,89}{0,25 \times \pi \times 10^2} = 1,36 \approx 2 \text{ buah}$$

Maka dipakai 2D10

Maka dipakai tulangan sengkang 2D13 ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ ) dan dipasang sepanjang  $(2/3) d = 100,6 = 150 \text{ mm}$

- **Luas Pelat Landas**

$$V_u = \phi \times 0,85 f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{87,09 \times 1000}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 3903,19 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan  $150 \times 150 \text{ mm}^2 = 22500 \text{ mm}^2$  (tebal 15 mm)

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 22.5.5 kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi,

$$B_n = \phi \times 0,85 \times f_c' (7 \text{ hari}) \times A$$

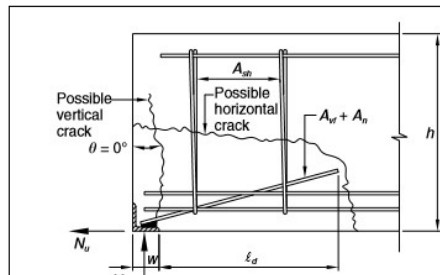
$$B_n = 0,65 \times 0,85 \times 25 \times 22500 = 310,78 > V_u = 87,09 \text{ kN}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan,

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{f_c} = 0,7 \times \sqrt{25} = 3,5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{V_u}{A} = \frac{87,09}{22500} = 3,08 < F_r = 3,5 \text{ Mpa (memenuhi)}$$

## • Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 4. 2 Rencana tulangan pada balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada buku *PCI DESIGN HANDBOOK (7<sup>th</sup> Edition)* section 5.6.2 yaitu tentang concrete brackets or cobel. Penulangan end bearing berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak vertikal  $\Theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu_e} + \frac{N_u}{\phi \cdot f_y}$$

3. Sudut penanaman adalah  $15^\circ$  seperti yang disarankan pada referensi

4. Nilai  $\mu = 1,4$   $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$

5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(A_v f + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}}$$

Dimana,

$$\mu_e = \frac{\emptyset 1000 \lambda \cdot Acr \cdot \mu}{V_u}$$

$Acr = ld \cdot b$

$b =$  lebar balok

$ld =$  panjang penyaluran

$f_{ys} =$  mutu baja sengkang

Penentuan  $L_d$  dari *design aids 15.4.4 PCI DESIGN HANDBOOK (7<sup>th</sup> Edition)*

Digunakan tulangan D13 (#4)

$f_c' = 5000 \text{ psi} = 35 \text{ Mpa}$

$L_d = 17 \text{ in} = 432 \text{ mm}$

$B = 300 \text{ mm} = 11,81 \text{ in}$

$Acr = ld \cdot b$

$$= 17 \text{ in} \cdot 11,81 \text{ in} = 248 \text{ in}^2$$

$\lambda = 1$

$\mu = 1,4$

$f_{ys} = 390 \text{ Mpa} = 58065 \text{ lb/in}^2$

$V_u = 134 \text{ kN} = 30,12 \text{ kip}$

$$\mu_e = \frac{\emptyset 1000 \lambda \cdot Acr \cdot \mu}{V_u} = \frac{0,75 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 248 \cdot 1,4}{30120} = 8,64$$

$8,64 > 3,4$  maka dipakai  $\mu_e = 3,4$  (table 5.3.1 PCI 7<sup>th</sup> Edition)

Perhitungan Tulangan horizontal ( $A_t$ )

$A_t = A_{vf} + A_n$

$$A_t = \frac{V_u}{\emptyset \cdot f_y \cdot \mu} + \frac{N_u}{\emptyset \cdot f_y}$$

$$= \frac{V_u}{\emptyset \cdot f_y \cdot \mu} + \frac{N_u}{\emptyset \cdot f_y} = \frac{87,09 \times 10^3}{0,75 \cdot 390 \cdot 3,4} + \frac{17,41 \times 10^3}{0,75 \cdot 390}$$
$$= 147,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai 2D13 dengan  $A_s = 265,46 \text{ mm}^2$

Perhitungan sengkang  $A_{sh}$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}} \\
 &= \frac{147,09}{3,4 \cdot 390} \\
 &= 43,26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 2D10 dengan  $A_s = 157 \text{ mm}^2$

#### 4.2.2.3 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 juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

- **Panjang Penyaluran Tulangan Kondisi Tekan**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$l_{dc} \geq \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \times db$$

$$l_{dc} \geq \frac{0,24 \times 390}{1 \sqrt{35}} \cdot 16$$

$$l_{dc} \geq 253,14 \text{ mm}$$

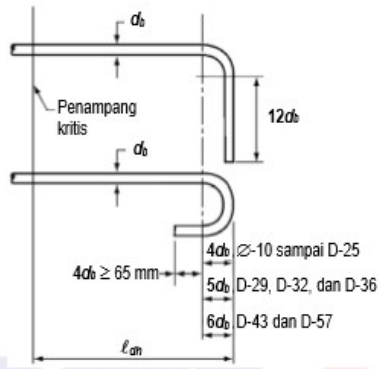
$$l_{dc} \geq 0,043 \times f_y \times db$$

$$l_{dc} \geq 0,043 \times 390 \times 16$$

$$l_{dc} \geq 268,32 \text{ mm} , \text{ maka dipakai } l_d = 268,32 \approx 280 \text{ mm}$$

- **Panjang Penyaluran Kait Standar dalam Tarik**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



**Gambar 72** Detail batang tulangan dengan kait standar

$$l_{sh} \geq 8 \times db = 128 \text{ mm}$$

$$l_{sh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$l_{sh} \geq \frac{0,24\psi_e f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \times db = \frac{0,24 \times 1 \times 390}{1 \times \sqrt{35}} \times 16 = 253,14 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $l_{sh} = 280 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam balok induk dengan panjang kait standar sebesar  $90^\circ$  sebesar :

$$12 db = 12 \times 16 = 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

### 4.2.3 Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat).

- **Panjang Penyaluran Tulangan Pelat S2**

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type S2 sebagai berikut :

$$db = 10 \text{ mm}$$

Arah X :

$$A_s \text{ perlu} = 392 \text{ mm}^2$$



As terpasang = 471 mm<sup>2</sup>

Arah Y :

As perlu : 171 mm<sup>2</sup>

As terpasang : 392 mm<sup>2</sup>

#### a. Penyaluran Arah X

Kondisi tarik :

SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.4

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12 \cdot f_y \cdot \alpha \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{f_c'}} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{35}} = 316,426 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $l_d = 350 \text{ mm}$

Kondisi tekan :

SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

$$l_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \sqrt{f_c}} = \frac{10 \times 390}{4 \sqrt{35}} = 165 \text{ mm}$$

$$l_d = l_{db} \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} = 165 \times \frac{392}{471} = 137,16 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 0,043 \cdot d_b \cdot f_y = 167 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $l_d = 200 \text{ mm}$

#### b. Penyaluran arah Y

Kondisi tarik :

SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.4

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12 \cdot f_y \cdot \alpha \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{f_c'}} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{35}} = 316,426 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $l_d = 350 \text{ mm}$

Kondisi tekan :

SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

$$l_{db} = \frac{db \times f_y}{4\sqrt{f_c}} = \frac{10 \times 390}{4\sqrt{35}} = 165 \text{ mm}$$

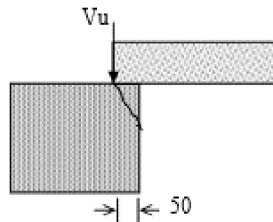
$$l_d = l_{db} \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{pasang}}} = 165 \times \frac{171}{392} = 71,89 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 0,043 \cdot db \cdot f_y = 167 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $l_d = 200 \text{ mm}$

- Kontrol Tegangan di Tumpuan



**Gambar 73** Tumpuan Pelat Pada Balok

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 4.6.2.2 Jarak tumpuan pada komponen pracetak untuk beton polos paling sedikit yaitu 50mm untuk slab dan 75mm untuk balok.

Berikut data perencanaan untuk perhitungan kekuatan tumpu dan kontrol tumpuan pada pelat - balok anak.

$$f_{ci} \text{ (7hari)} = 0,7 \times 35 = 25 \text{ Mpa}$$

$$A = 50 \times 1000 = 50000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times Q_u \times L = \frac{1}{2} \times (0,13 \times 3,3 \times 2400) \times 1,2 \\ &= 617 \text{ kg} = 6170 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 22.5.5 kekuatan tumpu desain beton pada pracetak tidak boleh melebihi,

$$B_n = \phi \times 0,85 \times f_c' \text{ (7hari)} \times A$$

$$B_n = 0,65 \times 0,85 \times 25 \times 50000 = 690625 > V_u = 6170 \text{ kN}$$

Kontrol tegangan beton pada tumpuan,

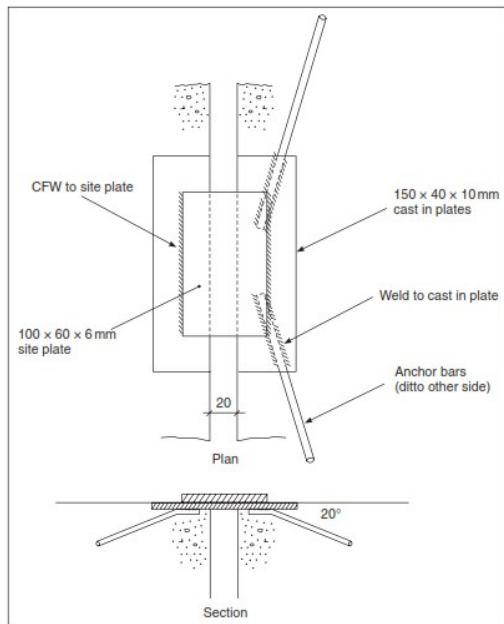
$$Fr = 0,6 \times \sqrt{f_c} = 0,6 \times \sqrt{25} = 3 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Vu}{A} = \frac{6170}{50000} = 0,12 < Fr = 3 \text{ Mpa (memenuhi)}$$

#### 4.2.4 Sambungan Pelat dan Pelat

Pelat precast perlu direncanakan sambungan untuk memikul geser yang terjadi antar komponen. Sambungan direncanakan menggunakan *plate and bar diaphragm shear connection* seperti pada gambar berikut.

- Sambungan pada sisi atas pelat



**Gambar 74** Sambungan Pelat Pelat

Direncanakan sambungan las :

Mutu kawat las : E60XX

$$F_{EXX} = pw = 430 \text{ MPa}$$

Dimensi pelat sambung = 100 x 60 x 10 mm

Dimensi pelat yg ditanam = 150 x 40 x 10 mm

Pengelasan dilakukan sepanjang kedua sisi dari pelat sambung dengan  $t = 10$  mm, mengacu saran Blodgett (1996) tinggi las direncanakan 75% tebal pelat sambung, diambil tinggi las = 8 mm. Nilai tersebut telah melebihi dari tinggi las minimum yang dipersyaratkan SNI 1729-2015 tabel J2.4.

$$\begin{aligned} t_w (\text{tebal las}) &= 8 \text{ mm} \\ l_w &= 100 \text{ mm} \\ \text{diameter tul.} &= 13 \text{ mm} \quad (A_s = 133 \text{ mm}^2) \\ \text{sudut} &= 20^\circ \\ f_y &= 390 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Dalam sistem sambungan ini ada 3 kapasitas geser yang harus diperhatikan (Kim Elliot, 2002) :

1. Tahanan tarik dari pelat yang tertanam

$$V = n \cdot 0,95 \cdot A_s \cdot 0,5 \cdot f_y \cdot \cos\beta \cdot \cos\gamma$$

$$V = 2 \times 0,95 \times 133 \times 0,5 \times 390 \times \cos 20^\circ \times \cos 20^\circ = 43512 \text{ N}$$

2. Kapasitas las dari tulangan yang tertanam

$$V = n \cdot pw \cdot l_w \cdot t_w$$

$$V = 2 \times 430 \times 100 \times 8 = 688000 \text{ N}$$

3. Kapasitas geser dari pelat sambung

$$V = \frac{pw \cdot l_w \cdot t_w}{1 + \frac{4e}{lw}} = \frac{430 \cdot 100 \cdot 8}{1 + \frac{4 \times 60}{100}} = 101176 \text{ N}$$

Maka, diambil paling kritis  $V_n = 43512 \text{ N} = 43,5 \text{ kN}$

- Sambungan pada sisi bawah pelat

Pengelasan dilakukan sepanjang kedua sisi dari plat siku dengan  $t = 10$  mm, mengacu saran Blodgett (1996) tinggi las direncanakan 75% tebal pelat sambung, diambil tinggi las = 8 mm. Nilai tersebut telah melebihi dari tinggi las minimum yang dipersyaratkan SNI 1729-2015 tabel J2.4.

Direncanakan sambungan las :

Mutu kawat las : E60XX

$F_{EXX} = pw = 430 \text{ MPa}$

pelat siku = L 100x100x6

Sesuai SNI 1729-2015 pasal J2.4, kuat las desain per mm panjang adalah :

$$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Panjang las (L) = 100 mm

Mutu kawat las : E60XX

$F_{EXX} = 430 \text{ MPa}$

$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} = 258 \text{ MPa}$

$A_{we} = t \times L = 8 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$

$\phi R_n = F_{nw} \cdot A_{we} = 0,75 \times 258 \times 0,707 \times 800 = 109443 \text{ N}$

$\phi R_n = 109443 \text{ N} = 109,443 \text{ kN}$

Dari geser nominal ( $V_n$ ) sisi atas dan bawah pelat, diambil paling kritis yaitu  $V_n = 43,5 \text{ kN}$

- Cek Diafragma Pelat

Menurut SNI 21.11.6 tebal slab diafragma (topping) pada komposit tidak boleh kurang dari 50 mm. Tebal plat topping perencanaan sebesar 50 mm maka persyaratan ini memenuhi. Dari SNI 21.11.7.1 Rasio tulangan minimum untuk diafragma struktur memenuhi 7.12, Sehingga penulangan komposit disamakan dengan tulangan pracetak yaitu D10-150 (Lentur) & D10-200 (Susut).

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

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \left( 0,17 \lambda \sqrt{f'c'} + \rho t \cdot f_y \right) \\ &= 50 \times 3600 \left( 0,17 \cdot 1 \sqrt{35} + \left[ \left( \frac{1}{4} \pi \times 10^2 \right) / (50 \times 3600) \right] \cdot 390 \right) \\ &= 211662 \text{ N} = 211,66 \text{ kN} > V_n = 43,5 \text{ kN} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_n &= 0,66 A_{cv} \left( \sqrt{f'c'} \right) \\ &= 0,66 \times 50 \times 3600 \left( \sqrt{35} \right) \\ &= 702830 \text{ N} = 702,83 \text{ kN} > V_n = 43,5 \text{ kN} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_n &= A_{vf} \times \mu \times f_y \\ &= (1695) \times 1,4 \times 390 \\ &= 925,797 \text{ N} = 925,79 \text{ kN} > V_n = 43,5 \text{ kN} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

### **4.3 Metode Pelaksanaan**

#### **4.3.2 Umum**

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item-item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material-material beton pracetak. Proses pekerjaan yang dilakukan meliputi :

- a. Fabrikasi
- b. Proses transportasi

- c. Proses penyimpanan
- d. Proses pengangkatan
- e. Proses pengecoran
- f. Proses perawatan

### 4.3.3 Fabrikasi

Proses fabrikasi yaitu proses pembuatan komponen pracetak, dalam hal ini ada beberapa yang harus diperhatikan demi efisiensi biaya dan menjaga komponen agar tidak rusak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikan adalah :

- Perlunya standart khusus sehingga hasil pracetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
- Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama.
- Lokasi fabrikasi memiliki lahan yang cukup luas dan lingkungan yang bersih dari material non-struktur.
- Bekisting pada saat pengecoran komponen pracetak harus disediakan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

### 4.3.4 Transportasi

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikan ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Sistem transportasi disini meliputi:

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke storage area proyek.

Diketahui komponen pracetak pada tugas akhir terapan ini memiliki panjang bentang maksimal 8,4 meter (balok induk 40/60) dengan beban 3,79 ton. Oleh karena itu, penulis mengambil contoh alat transportasi yaitu produk Truck HINO model FL260TI dengan spesifikasi sebagai berikut :

Dimensi (mm)
Jarak Sumbu Roda : 5.760 + 1.300
Cabin to End : -
Total Panjang : 11.275
Total Lebar : 2.460
Total Tinggi : 2.695
Lebar Jejak Depan : 1.925
Lebar Jejak Belakang : 1.855
Julur Depan : 1.255
Julur Belakang : 2.960
Berat Chassis (kg)
Depan : 2.928
Belakang : 3.818
Berat Kosong : 6.746
GVWR / GCWR : 26000

**Gambar 75** Spesifikasi Truck HINO

Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 11,27 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 26 ton. Di area lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane dan area penyimpanan (storage) untuk menyimpan elemen pracetak sebelum dilaksanakan pemasangan (erection)

#### 4.3.5 Penyimpanan

Lokasi penyimpanan pada lokasi proyek perlu diperhatikan untuk menjaga komponen agar tidak rusak dan tidak mengganggu pekerjaan lainnya dengan jumlah penumpukan yang telah ditentukan.

Dalam hal ini maka penulis meletakkan komponen pracetak di depan lokasi proyek sehingga memudahkan mobilitas.





**Gambar 76** Lokasi Storage Area

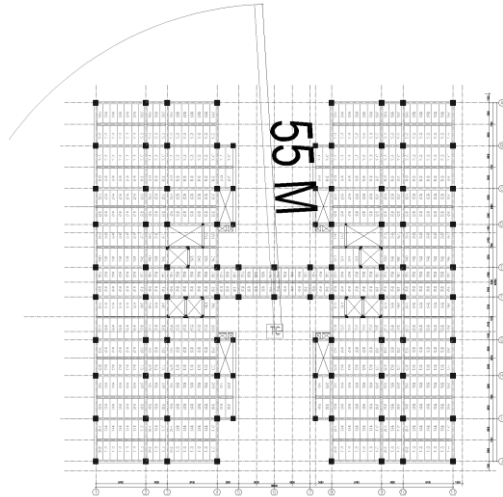
#### 4.3.6 Pengangkatan

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain:

1. Kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. Metode pengangkatan
3. Letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

Hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan titik angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

Diketahui komponen pracetak pada tugas akhir terapan ini memiliki beban terbesar yaitu 3,79 ton (balok induk). Oleh karena itu, penulis menggunakan 1 buah tower crane model PEINER SK 575 Hammerhead Tower Crane dengan jarak jangkauan maksimum 55 m dan beban maksimum 10 ton di ujung.



**Gambar 77** Jarak Jangkauan Tower Crane (Jib L4 - 55 m)

- Kontrol Kapasitas Tower Crane
  1. Balok induk pracetak 40/47 ( L = 8,4 m )  
 $W = 0,47 \times 0,4 \times 8,4 \times 2,4 = 3,97 \text{ T}$   
 $W.\text{balok} < W.\text{kapasitas TC}$   
 $3,97 \text{ T} < 10 \text{ T}$  (memenuhi)
  2. Balok anak 30/27 ( L = 8,4 m )  
 $W = 0,27 \times 0,3 \times 8,4 \times 2,4 = 1,63 \text{ T}$   
 $W.\text{balok} < W.\text{kapasitas TC}$   
 $1,63 \text{ T} < 10 \text{ T}$  (memenuhi)
  3. Pelat  
 $W = 0,27 \times 0,3 \times 8,4 \times 2,4 = 1,63 \text{ T}$   
 $W.\text{balok} < W.\text{kapasitas TC}$   
 $1,63 \text{ T} < 10 \text{ T}$  (memenuhi)

#### 4.3.7 Pemasangan

Pemasangan balok pracetak jika pengecoran kolom sudah dilakukan dan perancah/scaffolding ditempatkan sesuai dengan

perencanaan yang telah ditentukan untuk membantu menunjang balok induk pracetak pada pemasangan di kolom.

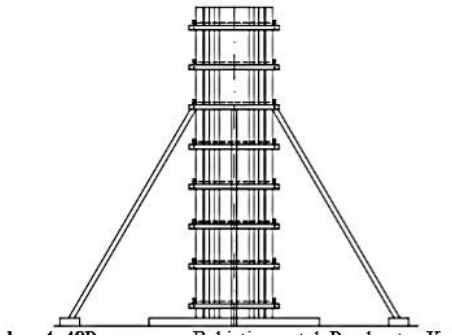
#### 4.3.8 Pengecoran

Setelah pemasangan balok induk pada kolom, selanjutnya balok anak lalu pelat dipasang pada tempat yang sudah ditentukan. setelah itu pemasangan tulangan setelah komposit diberikan pada komponen pracetak.

Evaluasi atau pengecekan komponen pracetak secara menyeluruh seperti detail penulangan dan sterilisasi lokasi pengecoran untuk mencegah kesalahan sebelum pengecoran dilakukan.

- **Pekerjaan elemen kolom**

Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.

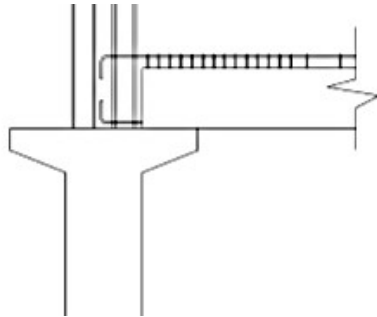


**Gambar 78** Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

- **Pekerjaan elemen balok induk**

Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu di atas konsol kolom

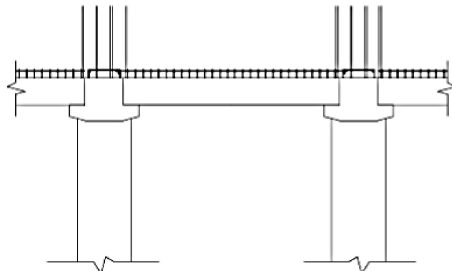
kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Lalu setelah itu baru dilakukan pengecoran.



**Gambar 79** Pemasangan Balok Induk Pracetak

- **Pekerjaan elemen balok anak**

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak yang terdapat pada balok induk.



**Gambar 80** Pemasangan Balok Anak Pracetak

- **Pekerjaan elemen pelat**

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan pemasangan tulangan bagian atas yaitu tulangan tumpuan untuk pelat.

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian

atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 6 cm.

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

#### **4.3.9 Perawatan**

Curing atau Perawatan Beton dilakukan saat beton sudah mulai mengeras yang bertujuan untuk menjaga beton tidak cepat kehilangan air dan menjaga kelembaban/suhu beton. sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan.

Metode yang dilakukan untuk proses perawatan pada komponen pracetak dilakukan saat pengecoran selesai dilakukan yaitu dengan membasahi permukaan beton secara berkala.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perancangan tugas akhir terapan dengan judul “Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Dental Nano Malang Dengan Metode Beton Pracetak (Precast) “, ada beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Dasar perancangan struktur secara umum mengacu kepada 2 peraturan yaitu SNI-2847-2013 “ Persyaratan Beton Struktural Pada Bangunan Gedung “ & SNI-7833-2012 “ Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Prategang Untuk Bangunan “. Adapun hasil modifikasi elemen struktur sebagai berikut :
  - a. Struktur Sekunder
    - Dimensi Balok Anak = 30/40 cm
    - Dimensi Balok Bordes = 30/40 cm
    - Dimensi Balok Lift = 30/50 cm
    - Tebal Plat = 130 mm
    - Atap Baja :
      - Gording = LLC 150x50x3,2x20
      - Ikatan angin = 11 mm
      - Trackstang = 13 mm
      - Kuda Kuda = WF 300x150x6,5x9
      - Balok = WF 150x150x7x10
      - Kolom = WF 200x200x8x12
  - b. Struktur Primer
    - Dimensi Balok Induk = 40/60 cm
    - Dimensi Kolom = 75/75 cm
2. Penyambungan tiap elemen struktur disambung menggunakan sambungan basah dan konsol pendek pada sambungan balok dan

kolom. Untuk elemen plat-plat menggunakan sambungan *lap splices*, sedangkan sambungan balok anak – balok induk menggunakan ankur.

3. Analisis gaya yang digunakan dalam perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan SAP 2000. Sedangkan pada perhitungan kolom menggunakan software tambahan lain yaitu PCACOL, lalu untuk penggambaran hasil perhitungan menggunakan software Autocad.
4. Dalam metode pelaksanaan pracetak di mulai dari proses fabrikasi, pada umur 3 hari beton beton pracetak siap dikirim ke lokasi proyek dan ditempatkan di stockyard yang tersedia. Di lokasi proyek telah terpasang kolom (cor insitu) dan siap di lakukan pemasangan elemen balok dan pelat pracetak Lalu dilanjutkan dengan pengecoran overtopping beton yang sebelumnya telah dipasang scaffolding untuk mereduksi tegangan yang terjadi

## 5.2 Saran

Dari hasil analisa selama proses pengerjaan tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat disampaikan antara lain :

1. Proses pengerjaan bangunan menggunakan metode pracetak memerlukan pengawasan secara khusus terlebih lagi pada saat penyambungan pada elemen struktur sekunder maupun utamanya. Hal ini dikarenakan penggunaan metode pracetak sangat rawan pada bagian sambungan.
2. Perlu penelitian lebih lanjut perihal penggunaan metode pracetak pada gedung tinggi, terutama pada pemilihan sambungan yang dapat menjamin struktur yang disambung telah monolit. Terutama didaerah gempa tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847 - 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
2. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 1727:2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
4. Badan Standarisasi Nasional. 2012. **SNI 7833 : 2012. Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
5. Badan Standarisasi Nasional. 2015. **SNI 1729 : 2015. Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
6. Wulfram I. Ervianto. 2006. **Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting.** Yogyakarta : Andi Yogyakarta.
7. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. **Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang.** Bandung : ITB.
8. PCI. 2010. **PCI Design Handbook Edition 7<sup>th</sup> Precast and Prestress Concrete.** Chicago : PCI Industry Handbook Committee.
9. Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure.** India: Butterwoth Heinemann.
10. Dewobroto Wiryanto. 2016. **Struktur Baja Edisi ke -2,** Universitas Pelita Harapan.
11. ASCE, 2002 **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structure Second Edition,** Reston Virginia.



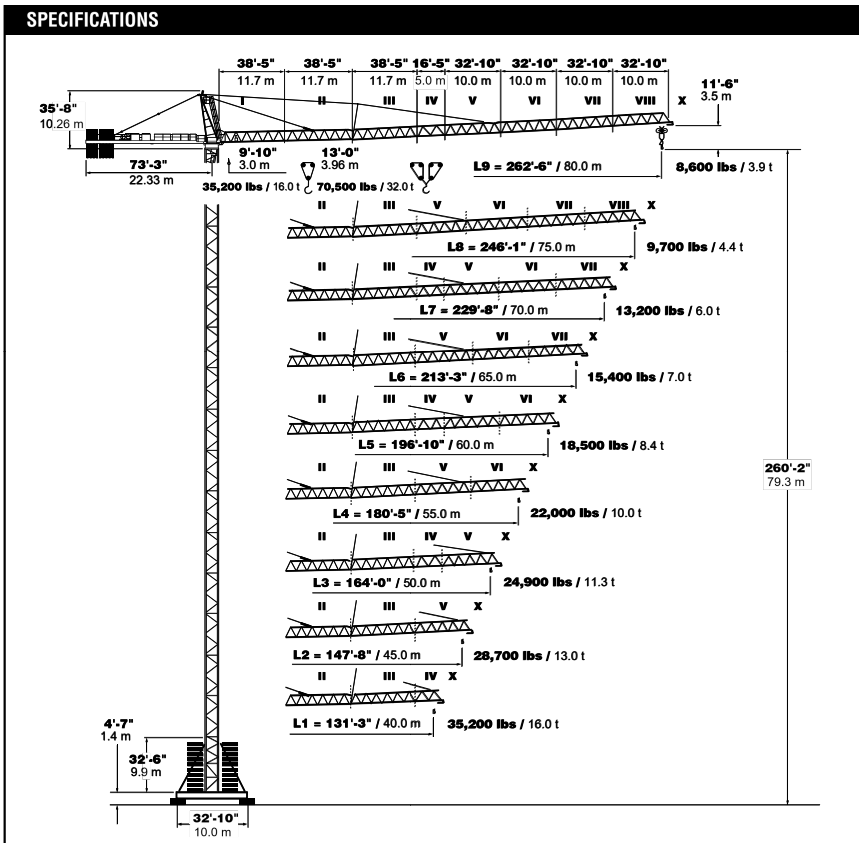
## **LAMPIRAN**





## PEINER SK 575

Hammerhead Tower Crane  
 35,200-70,500 lbs. (16-32 t)  
 Lifting Capacity



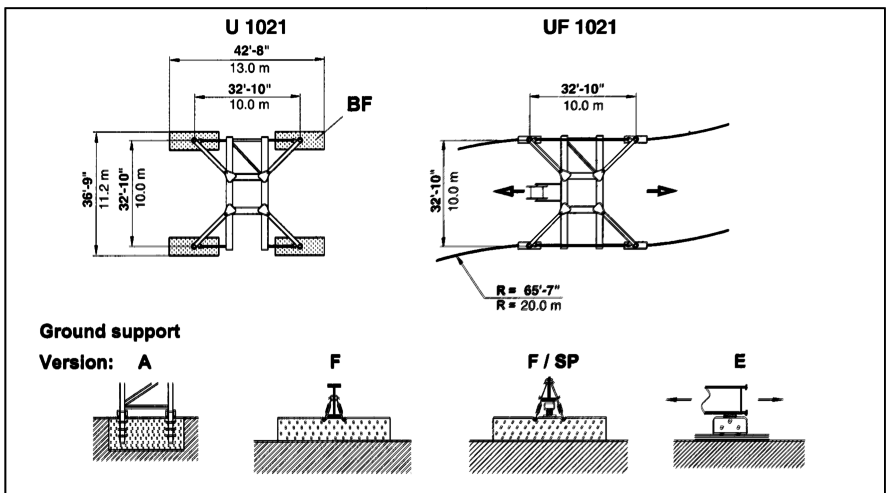
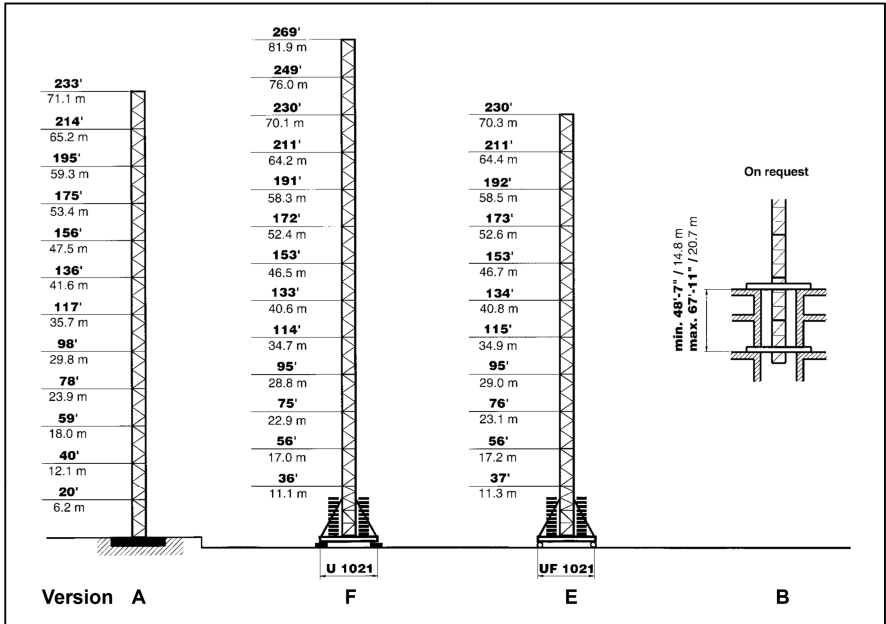
simple, available and  
 cost effective™

Machines shown may have optional equipment.



### PEINER SK 575

Combinations of tower section, tower heights, base ballast



### PEINER SK 575 Radius and Capacity

Jib	Max Capacity from		Radius ft/m		4-Part line		2-Part line		Radius - 3'-4" / 1.0 m													
			Capacity lbs./t	Capacity lbs./t	max. 70,000 lbs. max 32.0 t	max. 70,000 lbs. max 32.0 t	max. 35,200 lbs. max. 16.0 t	max. 35,200 lbs. max. 16.0 t	Capacity - 3086 kips/1.41 t													
	ft	m	9'-10" to 3.0 m to	13'-0" to 3.96 m to	45'-11" 14.0	52'-6" 16.0	59'-1" 18.0	65'-7" 20.0	76'-0" 24.0	91'-10" 28.0	98'-5" 30.0	114'-10" 35.0	131'-3" 40.0	147'-8" 45.0	164'-0" 50.0	180'-5" 55.0	196'-10" 60.0	213'-3" 65.0	229'-8" 70.0	246'-1" 76.0	262'-6" 80.0	
L9	262'-6" 80.0	86'-1" 26.25 m	45'-3" 13.79 m	69224 31.4	58862 26.7	50882 23.1	44533 20.2	35494 16.1	32760 14.9	30247 13.7	25243 11.4	21495 9.75	18607 8.44	16314 7.40	14440 6.55	12875 5.84	11552 5.24	10428 4.73	9458 4.29	8598 3.90		
L8	246'-1" 75.0	87'-8" 26.72 m	46'-7" 14.20 m	70547 32.0	61067 27.7	52822 24.0	46296 21.0	36817 16.7	33422 15.2	30864 14.0	25772 11.7	21980 9.97	19026 8.63	16689 7.57	14771 6.70	13163 5.98	11839 5.37	10692 4.85	9700 4.40			
L7	229'-10" 70.0	102'-4" 31.18 m	53'-0" 16.15 m	70547 32.0	70547 32.0	61883 28.1	54453 24.7	43851 19.8	35979 16.3	35273 16.0	30886 14.0	26423 11.99	22994 10.43	20260 9.19	18011 8.17	16138 7.32	14572 6.61	13228 6.00				
L6	213'-3" 65.0	106'-11" 32.58 m	56'-3" 17.15 m	70547 32.0	70547 32.0	66578 30.2	58542 26.6	46958 21.3	38911 17.7	35714 16.2	32498 14.7	27844 12.63	24250 11.00	21362 9.69	19026 8.63	17086 7.75	15432 7.00					
L5	196'-10" 60.0	114'-1/2" 34.76 m	60'-1" 18.31 m	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	63492 28.8	50926 23.1	42306 19.2	38867 17.6	34987 15.9	30026 13.62	26168 11.87	23104 10.48	20591 9.34	18519 8.40						
L4	180'-5" 55.0	120'-7" 36.75 m	63'-0" 19.20 m	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	67240 30.5	54012 24.5	44907 20.4	41292 18.7	35273 16.0	32011 14.52	27954 12.68	24691 11.20	22046 10.00							
L3	164'-1" 50.0	121'-5/2" 37.02 m	64'-0" 19.01 m	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	68563 31.1	55115 25.0	45833 20.8	42152 19.1	35273 16.0	32287 14.65	28175 12.78	24912 11.30								
L2	147'-8" 15.0	123'-3" 37.56 m	65'-7" 20.00m	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	58878 25.8	47266 21.4	43496 19.7	35935 16.3	32826 14.89	28660 13.00									
L1	131'-3" 40.0	124'-0" 37.80 m	86'-10" 20.37 m	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	70547 32.0	57981 26.3	48347 21.9	44489 20.2	36816 16.7	35273 16.00										

### PEINER SK 575 Speeds and Counterweight

#### Speeds

FU 9-320/4		v = 0 → ~260 fpm (80 m / min.)		1 x 12.2 HP 1 x 9.0 kW
SR 10-190/4		v = 0 → ~120 fpm (36 m / min.)		4 x 12.2 HP 4 x 9.0 kW
K WB 120/4		v = 0 → 0.9 min <sup>-1</sup> (rpm)	L1 - L4 L5 - L9	2 x 11.4 HP 2 x 8.4 kW 3 x 11.4 HP 3 x 8.4 kW

HK max. = 720' / 220 m **5-Layers**

Type		2-Part Line	4-Part Line	Total motor output without SR 10-190/4	Connected power	
SR WB 102-160/4F ~160 HP (120.0 kW)		490 fpm 150 m/min	7700 lbs 3500 kg	245 fpm 75 m/min	15,400 lbs 7000 kg	~ 200 HP ~ 150 kW
		315 fpm 96 m/min	13,200 lbs 6000 kg	158 fpm 48 m/min	26,400 lbs 12 000 kg	
		195 fpm 60 m/min	22,000 lbs 10 000 kg	98 fpm 30 m/min	44,000 lbs 20 000 kg	
		125 fpm 38 m/min	35,300 lbs 16 000 kg	63 fpm 19 m/min	70,600 lbs 32 000 kg	

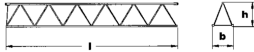
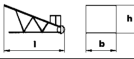
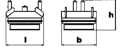



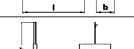

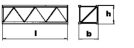

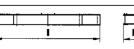




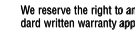


#### Counterweight

Jib	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Counterweight BG	50,800 lbs 23 150 kg	54,400 lbs 24 800 kg	57,600 lbs 26 250 kg	61,200 lbs 27 900 kg	68,000 lbs 31 000 kg	64,400 lbs 29 350 kg	68,000 lbs 31 000 kg	64,400 lbs 29 350 kg	68,000 lbs 31 000 kg
	1 x 3200 lbs 1 x 1450 kg		1 x 3200 lbs 1 x 1450 kg			1 x 3200 lbs 1 x 1450 kg		1 x 3200 lbs 1 x 1450 kg	
	7 x 6800 lbs 7 x 3100 kg	8 x 6800 lbs 8 x 3100 kg	8 x 6800 lbs 8 x 3100 kg	9 x 6800 lbs 9 x 3100 kg	10 x 6800 lbs 10 x 3100 kg	9 x 6800 lbs 9 x 3100 kg	10 x 6800 lbs 10 x 3100 kg	9 x 6800 lbs 9 x 3100 kg	10 x 6800 lbs 10 x 3100 kg



**PEINER SK 575 Dimensions and transport weights**

See operating manual for mounting weights

	Designation		Dimensions (ft / m)			Weight lbs / t	
			l	b	h		
1	Jib		39'-0" 11.89	6'-6" 1.97	6'-11" 2.12	7490 3.40	
	Section II		40'-6" 12.34	6'-6" 1.97	7'-3" 2.21	8860 4.02	
	Section III		38'-10" 11.84	6'-6" 1.97	7'-7" 2.30	5420 2.46	
	Section IV		18'-8" 5.69	6'-6" 1.97	6'-10" 2.09	5360 2.43	
	Section V			35'-0" 10.68	6'-6" 1.97	6'-11" 2.11	5200 2.36
	Section VI		35'-5" 10.79	6'-6" 1.97	6'-4" 1.93	4280 1.94	
	Section VII		33'-6" 10.20	6'-6" 1.97	6'-3" 1.90	2760 1.25	
	Section VIII		33'-5" 10.19	6'-6" 1.97	6'-2" 1.88	1700 0.77	
	Jib Tip		6'-8" 2.02	4'-6" 1.37	2'-11" .88	660 0.30	
	2	Tower Top cpl.		27'-1" 8.26	6'-5" 1.96	6'-6" 3.1	9590 4.35
	3	Turntable cpl.		11'-9" 3.58	7'-1" 2.17	7'-5" 2.27	24,100 10.93
4	Cab		5'-5" 1.65	3'-7" 1.10	7'-2" 2.18	1040 0.47	
4	Support, railing, electrical panel		11'-8" 3.55	6'-7" 2.00	6'-5" 1.95	2050 0.93	
5	Counterjib	G 2 G 1	 	38'-10" 11.85	7'-5" 2.25	5'-11" 1.80	7500 3.40
5	Counterjib	G 1		31'-1" 9.48	6'-8" 2.03	5'-8" 1.72	6030 2.74
6	Counterjib ballast	BG		5'-11" 1.81	0'-8" 0.19	10'-4" 3.14	3200 1.45
6	Counterjib ballast	BG		5'-11" 1.81	0'-8" 0.19	15'-4" 4.68	6800 3.10
7	Tower section	TS 213.1 TSV 213	 	19'-6" 5.95	7'-10" 2.39	7'-10" 2.38	9790 4.44
7	Tower section	TSV 213		39'-4" 12.00	10'-4" 3.15	10'-4" 3.15	31,090 14.10
8	Rail mounted undercarriage with electrical panel			44'-0" 13.40	9'-6" 2.90	3'-9" 1.15	38,440 17.10
8	Rail mounted undercarriage with electrical panel			8'-2" 2.50	2'-8" 0.82	2'-11" 0.89	
9	Central ballast block	BZ		13'-5" 4.50	6'-1" 2.05	1'-2" 0.40	14,550 6.60
10	Foundation block	BF		9'-0" 3.00	3'-7" 1.20	2'-6" 0.75	14,550 6.60
11	Accessories						

For more information, product demonstration, or details on lease and rental plans, please contact your local Terex Towers Distributor.

**Bigge Crane and Rigging Co.**  
 10700 Bigge Avenue  
 San Leandro, CA 94577  
 Phone: (888) 337-BIGGE or (510) 638-8100  
 Fax: (510) 639-4053  
 Email: towers@bigge.com  
 Web site: www.biggetowercrane.com

We reserve the right to amend these specifications at any time without notice. The only warranty applicable is our standard written warranty applicable to the particular product and sale. We make no other warranty, expressed or implied.

**TEREX TOWERS**

202 Raleigh Street  
 Wilmington, NC 28412 USA  
 (910) 395-8500 • FAX: (910) 395-8547  
 E-mail: wilmingnton@terexlifting.com

www.terexlift.com

TF-111

©Terex Cranes, Inc. 2000

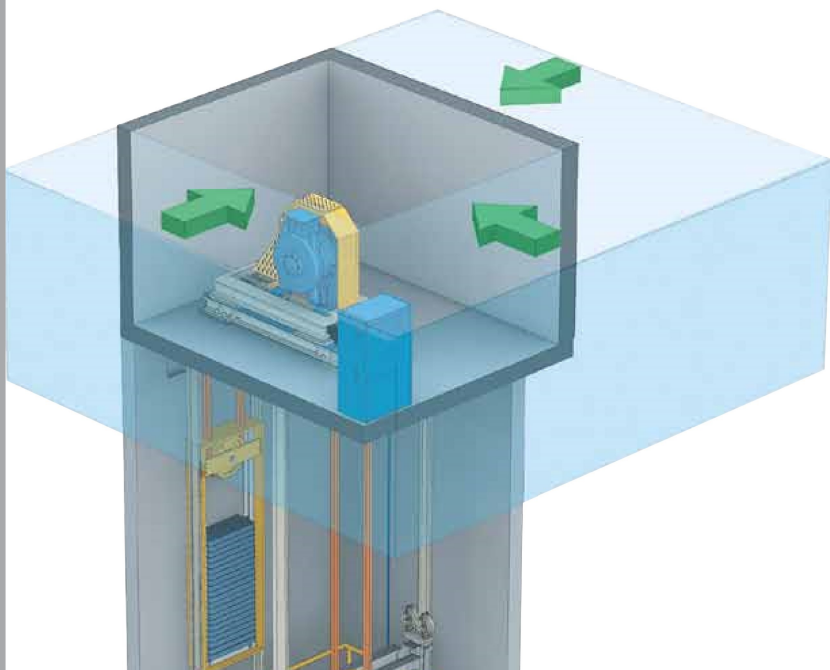
Litho in U.S.A.

5K500J90



# iris<sup>TM</sup> NV

PM Gearless Elevator

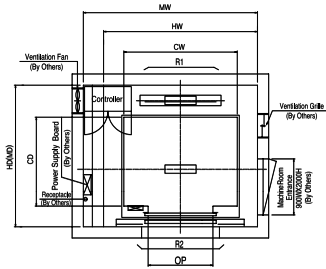


Your Elevator Partner... SIGMA

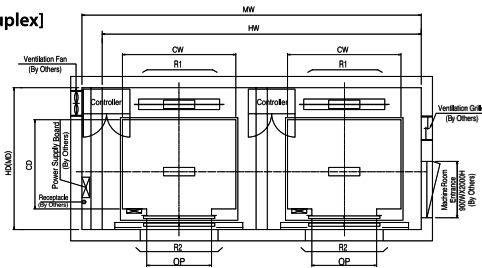
# Technical Data

## I Hoistway & Machine Room Plan

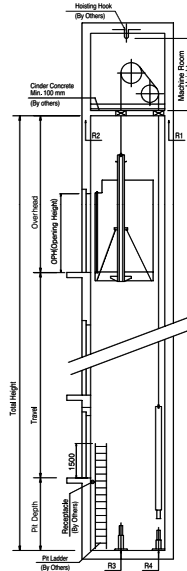
[Simplex]



[Duplex]



## I Hoistway Section



## I Overhead, Pit & Machine Room Height

Application Regulation [CODE]	Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (mm)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room HT	Required Hook Strength (kg)
Standard / EN	1	450~1000	Travels<100	4200	1400	2300	3000
		1350	Travels<100	4300			4500
		1150/1600	Travels<80	4300			4500
	1.5	450~1000	80<Travels<100	4650	1450		3000
		1350	Travels<100	4400			4500
		1150/1600	Travels<80	4400			4500
1.75	450~1000	80<Travels<100	4750	1600	3000		
	1350	Travels<100	4500		4500		
	1150/1600	Travels<80	4500		4500		
MS2021	1	410~1025	Travels<100	4200	1400	2550	3000
		1365	Travels<100	4300		2400	4500
		1160/1365	Travels<80	4300		2550	3000
		80<Travels<100	4650	2400		4500	
	1.5	410~1025	Travels<100	4400	1450	2550	3000
		1365	Travels<100	4400		2400	4500
		1160/1365	Travels<80	4400		2550	3000
		80<Travels<100	4750	2400		4500	
	1.75	410~1025	Travels<100	4500	1600	2550	3000
		1365	Travels<100	4500		2400	4500
		1160/1365	Travels<80	4500		2550	3000
		80<Travels<100	4850	2400		4500	
Standard / EN	2	800~1600	Travels<130	5100	1900	2300	4500
	2.5			5300	2200		



# Technical Data

| Layout Dimensions | Speed : 1.0 m/s

[Standard]

(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
	1100		2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200					
24	1600	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700		
		2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300						

[EN Code]

1.0	6	450	700	1150	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	3600	2000	3800	3150
	7	525	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	8	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	9	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	10	800	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	12	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	13	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	16	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	18	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	21	1600	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700	
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300					

[Malaysia]

1.0	6	410	800	1400	830	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	545	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	615	800	1400	1150	1800	1800	3750	1800	1800	1800	3750	1800	4100	2500	4700	3450
	10	685	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	885	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1025	900	1600	1550	2000	2200	4150	2200	2000	2200	4150	2200	5450	4300	6600	4700
	17	1160	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
	20	1365	1000	1800	1750	2350	2450	4850	2450	2350	2450	4850	2450	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1550	2550	2250	5250	2250	2550	2250	5250	2250				
	24	1635	1100	2000	1800	2550	2500	5250	2500	2550	2500	5250	2500	10200	7000	10950	8700

## Perekat Keramik MU-420



### Semen instan untuk pekerjaan pemasangan keramik standar (*ceramic tile*) pada dinding dan lantai.

#### Keunggulan:

- Daya rekat tinggi dan mudah diaplikasikan.
- Keramik dinding tidak merosot saat dipasang.
- Mencegah terangkatnya pasangan keramik lantai (*popping*).
- Dapat diaplikasikan dengan menggunakan sendok semen atau trowel bergerigi (*notch trowel*).
- Tahan terhadap muai-susut.
- Adukan tidak cepat mengering pada saat diapikasi.

#### Isi Kemasan:

25 Kg

#### Kebutuhan Air:

5,5 - 6,0 liter / sak 25 Kg

#### Daya Sebar:

$\pm 5 \text{ m}^2$  / sak 25 Kg / tebal aplikasi 3 mm

$\pm 8 \text{ m}^2$  / sak 40 Kg / tebal aplikasi 3 mm





## CS-20

## Sistem Plafon EasyFrame

### Primary Frame

Top Cross Rail PN 250

### Secondary Frame

Ceiling Batten PN 251

### 1 Lapis Papan Gypsum

Jayaboard Sheetrock 9mm  
(Staggered)

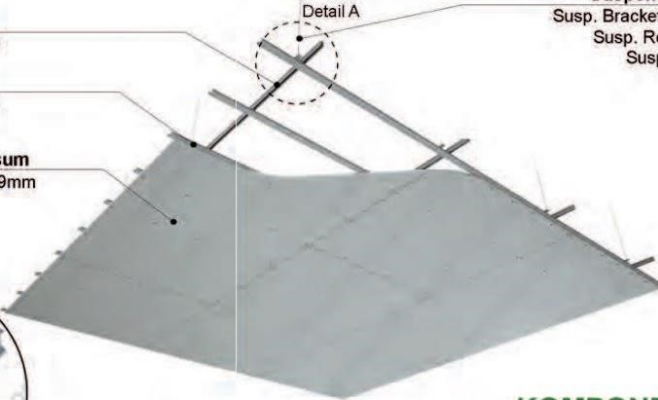
### Suspension System

Susp. Bracket PN 220 / 221

Susp. Rod PN 227 M4

Susp. Clip PN 222

Detail A



Detail A

### Primary Section (3000mm)

PM 250 30mm  
EF TCR 0.35 (BMT)

### Secondary Section (3000mm)

PM 251 10mm  
EF Batten 0.35 (BMT)

### Primary & Secondary Connectors

PN 209 Ceiling Batten to Top Cross Rail

### Perimeter Sections (3000mm)

PN 252 16mm  
EF Wall Angle 0.35mm (TCT)

### Suspension Clip

PN 222 Top Cross Rail for Threaded Rod

### Suspension Rods & Nuts

PN 227M4 3,5mm  
Rod threaded two end (1500mm)  
PN 227M4 3,5mm  
Rod threaded two end (2000mm)

### Suspension Bracket

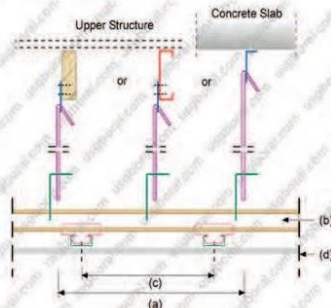
PN 220 Susp. Rod to Concrete  
PN 221 Susp. Rod to Timber

## KOMPONEN SISTEM



## DETAIL & DATA FISIK

1 Lapis papan gypsum Jayaboard Sheetrock 9mm diaplikasikan Staggered



Plasterboard (d)	Material		Max frame space (mm)
Jayaboard Sheetrock 9mm	Suspension Clip PN 222	a	1000
	Top Cross Rail PN 250	b	1000
	Ceiling Batten PN 251	c	600

### Catatan:

- Pemasangan papan gipsium saling silang
- Deflection Span L/240
- Dapat diaplikasikan dengan luas area hingga 100 m<sup>2</sup> atau bentang bebas hingga 10m
- Untuk detail produk, lihat produk brosur Jayaboard



**BERAT SISTEM**  
± 6.5 Kg/m<sup>2</sup>



## GENTENG JATIWANGI NATURAL

TYPE	: MORANDO
WARNA	: NATURAL (NON GLAZUR)
PANJANG	: 32 CM
LEBAR	: 24 CM
JARAK RENG	: 26 CM
BERAT	: 2 KG
VOL/ M2	: 19 PCS

**DAPATKAN DISCOUNT & GRATIS ONGKOS KIRIM DENGAN MINIMUM PEMBELIAN, GARANSI UNTUK GENTENG BUSAK SAAT PENGIRIMAN.**

Untuk **TRANSAKSI BAYAR DI TEMPAT** silahkan order di [TOKOGENTENGJATIWANGI.COM](http://TOKOGENTENGJATIWANGI.COM)

### PIPA HITAM SCH 40 CARBON STEEL PIPE SCHEDULE 40



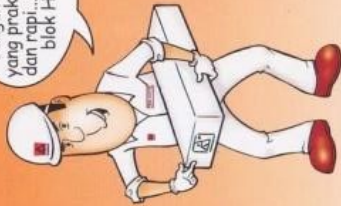
ukuran size	tebal thickness	diameter dalam ID	berat weight [kg/M]	berat weight [kg/6M]
1/2"	2.8 mm	16.1mm	1.13 kg	7.86 kg
3/4"	2.9 mm	21.4 mm	1.74 kg	10.44kg
1"	3.4 mm	27.2 mm	2.57 kg	15.42 kg
1 1/4"	3.6 mm	35.5mm	3.47 kg	20.82 kg
1 1/2"	3.7 mm	41.2 mm	4.10 kg	24.6 kg
2"	3.9 mm	52.7 mm	5.44 kg	32.64 kg
2 1/2"	5.2 mm	65.9 mm	9.12 kg	54.72 kg
3"	5.5 mm	78.1 mm	11.3 kg	67.80 kg
4"	6 mm	102.3 mm	16 kg	96 kg
5"	6.6 mm	126.6 mm	21.7kg	130.2 kg
6"	7.1 mm	151 mm	27.7 kg	166.2 kg
8"	8.2 mm	199.9 mm	42.1 kg	252.6 kg
10"	9.3 mm	248.8 mm	59.2 kg	355.2 kg
12"	10.3 mm	297.9 mm	78.3 kg	469.8 kg
14"	11.1 mm	333.4 mm	94.3 kg	565.8 kg
16"	12.7 mm	393.7 mm	123 kg	738 kg





# hebel

Bangun tembok yang praktis, cepat dan rapi.... ya pakai blok Hebel !!



## Building with common sense

Hotline Service:  
**021-6126712**

SMS Customer Care:  
**0815-9480008**

www.hebel.co.id

### AAC Hebel

Autoclaved Aerated Concrete (AAC) hebel adalah beton ringan terbuat dari bahan baku berkualitas tinggi, diproduksi dengan teknologi Jerman dan standar Deutsche Industrie Norm (DIN).

AAC hebel diproduksi oleh PT. Hebel Indonesia yang merupakan produsen beton ringan yang terbesar dan terlengkap di Indonesia.

AAC hebel memberikan kemudahan, kecepatan, serta kerapuhan dalam membangun rumah tinggal, gedung komersial, dan bangunan industri.

#### Spesifikasi Blok Hebel B-2

Panjang, l (mm) : 600  
Tinggi, h (mm) : 200  
Tebal,t : 75; 100; 125; 150; 175; 200

Berat jenis kering,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : 500  
Berat jenis normal,  $\rho_n$  (kg/m<sup>3</sup>) : 575  
Kuat tekan,  $\sigma$  (N/mm<sup>2</sup>) : 4.0  
Konduktivitas termis,  $\lambda$  (W/mK) : 0.16

Dimensi kemasan : panjang x lebar x (m) : 0,80 x 1,20

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Volume Palet	m <sup>3</sup>	1,80	1,80	1,80	1,80	1,68	1,68
Jumlah Blok / Palet	bok	200	150	120	100	80	70
Luas Dinding / m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	13,33	10,00	8,00	6,67	5,71	5,00
Berat / Palet (termasuk palet)	kg	1,059	1,059	1,059	1,059	960	990
Jumlah blok / m <sup>2</sup>	bok	111,11	83,33	66,67	55,56	47,62	41,67
Tinggi kemasan (termasuk palet)	m	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,53



#### Spesifikasi Jumbo Blok Hebel B-2

Panjang, l (mm) : 600  
Tinggi, h (mm) : 400  
Tebal,t : 75; 100; 125; 150; 175; 200

Berat jenis kering,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : 500  
Berat jenis normal,  $\rho_n$  (kg/m<sup>3</sup>) : 575  
Kuat tekan,  $\sigma$  (N/mm<sup>2</sup>) : 4.0  
Konduktivitas termis,  $\lambda$  (W/mK) : 0.16

Dimensi kemasan : panjang x lebar x (m) : 1,00 x 1,20

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Volume Palet	m <sup>3</sup>	1,44	1,44	1,44	1,34	1,34	1,34
Jumlah Blok / Palet	bok	80	60	48	40	32	28
Luas Dinding / m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	13,33	10,00	8,00	6,67	5,71	5,00
Berat / Palet (termasuk palet)	kg	852	852	852	852	796	796
Jumlah blok / m <sup>2</sup>	bok	55,56	41,67	33,33	27,78	23,81	20,83
Tinggi kemasan (termasuk palet)	m	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,53



### Pemotongan Blok



1. Buat garis dengan besi saku

### Membuat Alur Pipa

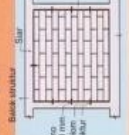


1. Buat tanjakan pada dinding dengan pensil



3. Keluarkan bagian yang tidak terpakai dengan pahat

### Pembuatan Siar



Blok praktis  
4.200 mm  
4.200 mm  
Besi 8 10mm  
Siar

Siar pada sekeliling bidang dinding diisi sediaan PM-200 dengan ketebalan ± 2 cm



Interlocking  
Alternatif engkur pengganti "interlocking"

Tebal blok minimal 100 mm, tinggi dinding maksimal 3 m dengan sistem Thin Bed Mortar PM-100



Penulis lahir pada tanggal 22 bulan September tahun 1994 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Heraldry Bhaskarawan ini merupakan lulusan dari SDN 3 Randuagung Gresik, juga pernah bersekolah di SMPN 1 Gresik, dan SMAN 1 Manyar Gresik. Selain itu, penulis juga pernah aktif dikegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun. Sempat meduduki posisi atau jabatan sebagai Kepala Departemen Syiar JMAA periode 2015 dan menjadi Sekretaris Direktur BPU JMMI ITS periode

2016-2017. Penulis juga pernah mewakili ITS dalam lomba nasional Geotechnical Engineering Competition On CIVEX ITS dan pernah mendapatkan penghargaan 2nd Runner Up dalam lomba Wiratman Bridge Challenge di PT. Wiratman Jakarta. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis sering manghabiskan waktu untuk mengikuti lomba-lomba bidang keteknisipilan di tingkat nasional.