

14354/H/02

## TUGAS AKHIR

### PERANCANGAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM PRACETAK PADA GEDUNG KANDATEL MALANG



RSS  
690525  
Kri  
P-1  
2001

Oleh :

PERPUSTAKAAN	
ITS	
Tgl. Terima	04/09/04
Judul Buku	A
No. Agenda Lsp.	2-4976

ARIE KRISDIANTO  
3194 100 047

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2001



# **TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM  
PRACETAK PADA GEDUNG KANDATEL MALANG**

Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing

( Ir. Ketut Dunia. PD. Eng D )

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2001**

*When we face the lies of life  
In your heart you must have IMAN  
Remember ALLAH SWT all the time  
Upholding The QUR'AN  
Realizing The SUNNAH  
Inviting GOOD, Forbidding EVIL  
To survive the test of life  
Successfully.....*

*The given chance is only once  
Investing in here after  
AKHIRAT is the Destiny  
Promise by The ALMIGHTY*

*Special Gift to :  
My Greatest Mum, Ny. MURTINI 'n  
My Lovely Sister, TITIS NAWANGSARI*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat ALLAH SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan kepada kami selaku penulis dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir dengan judul “ Perancangan Dengan Menggunakan Sistem Pracetak Pada Gedung Kandatel Malang ” adalah untuk memberikan alternatif perancangan struktur yang lebih efisien dan efektif dari perancangan secara konvensional

Kami menyadari sepenuhnya, bahwa apa yang tertuang dalam penulisan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, masih terdapat kesalahan maupun kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca, sangat kami hargai dan kami harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Dalam Menyelesaikan Tugas Akhir ini, tak lepas dari bantuan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka dalam kesempatan ini kami ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada

1. Bapak Ir Ketut Duma PD Eng D selaku dosen pembimbing yang telah banyak berjasa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak DR Ir EDUATNO selaku dosen wali yang selalu memberi dorongan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
3. Bapak Ir Indra Surya B Mochtar, MSc PhD selaku Kepala Jurusan Teknik Sipil dan Ibu Ir Noor Endah, MSc PhD selaku Ketua Program Bidang Studi S1 Teknik Sipil FTSP ITS.

4. Ayah, Ibu, Adik dan Kakak-Kakakku, khususnya untuk Bunda dan Adikku tersayang atas segala dukungan dan doa tulusnya.
5. Keluarga besar Mas Drs. Dwi Suhadi, MMT atas segala kesempatan dan dukungan yang telah diberikan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. All my lovely, Siska, Uying, Endah, Igek, Faikh, Ratih, Dyta atas bantuan dorongan semangat hingga selesaiya Tugas Akhir ini.
7. Teman - teman yang turut membantu selesaiya Tugas Akhir ini, Seluruh S-37, Daru, Suwi, Yanto, Olly, Evy, Noorman, Gimbal, Tony K, Whenny, Siswahono, Ucok, personel BEAST dan semua yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
8. Teman – teman Paguyuban Cak dan Ning Surabaya atas dorongan semangat dan dukungannya terutama Fammy, Zul, Dimas, Rizky, Rwin dan lainnya.
9. Keluarga besar Teknik Sipil ITS, Pak Tyo', Pak So, Pak Mo dan semua pihak yang turut membantu terselesaiya Tugas Akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Pada akhirnya kami harapkan semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua

Surabaya, Juli 2001

Penulis

# **PERANCANGAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM PRACETAK PADA GEDUNG KANDATEL MALANG**

Penyusun :  
**ARIE KRISDIANTO**  
**NRP. 3194 100 047**

Pembimbing :  
**Ir. KETUT DUNIA PD.Eng D**

## **ABSTRAK**

Metode pracetak merupakan salah satu alternatif desain konstruksi yang mulai banyak dikembangkan. Pemilihan alternatif desain konstruksi sangat tepat dilakukan terhadap gedung yang typical. Dengan penerapan metode pracetak, penghematan biaya dan waktu konstruksi dapat dilakukan.

Untuk tugas akhir ini dipilih sistem pracetak sebagai, yaitu untuk elemen-elemen balok, pelat dan tangga saja yang dibuat sebagai pracetak. Pemilihan sistem ini dilandasi pemikiran bahwa pelaksanaan pemasangan elemen horizontal pracetak (balok dan pelat) lebih mudah dari pada pemasangan elemen vertikal (kolom dan dinding). Pemasangan elemen vertikal memerlukan ketelitian yang lebih bisa dibanding dengan elemen horizontal. Selain itu elemen vertikal memerlukan sistem sambungan yang lebih rumit, seperti menggunakan sambungan mekanik atau las, sedang sambungan elemen horizontal cukup dengan sambungan basah dan panjang penyaluran saja.

Dalam perencanaan ini, sistem struktur yang digunakan adalah momen resisting frame. Sistem pembalokan utama menggunakan pracetak, sedang kolomnya dicor setempat. Sistem pelat menggunakan solid slab. Selain itu sistem portal daktail dipilih untuk penahan beban lateral yang ada akibat gempa maupun akibat beban gravitasi.

Penerapan metode pracetak pada gedung selain harus memperhitungkan faktor ekonomi dari aspek-aspek produksi, transportasi, dan ereksi juga perlu dijamin stabilitasnya selama proses konstruksi berlangsung. Kekuatan, kekakuan, daktilitas, serta pendetailan sambungan antara elemen-elemen beton pracetak adalah hal yang sangat penting, karena fungsinya tidak hanya mentransfer beban tetapi juga mengembangkan perilaku monolit pada struktur.

Akhirnya secara keseluruhan struktur bangunan ini harus mampu bersifat daktail terhadap gaya gempa rencana. Dan untuk gedung Kandatel Malang ini direncanakan dengan daktilitas terbatas.

## **DAFTAR ISI**

**HALAMAN JUDUL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

**KATA PENGANTAR**

**ABSTRAK**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR LAMPIRAN**

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Umum	1
1.2. Latar Belakang	1
1.3. Maksud dan Tujuan	3
1.4. Lingkup Permasalahan	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Metode Perencanaan	5
1.7. Metode Analisa Struktur	6

### **BAB II DASAR-DASAR PERENCANAAN**

2.1. Umum	7
2.2. Data-data Bangunan	8
2.2.1. Data Umum Bangunan	8
2.2.2. Data Tanah	8
2.2.3. Penyederhanaan Struktur	9
2.2.4. Dimensi Gedung Setelah Modifikasi	9
2.3. Peraturan-Peraturan Yang Dipakai	10
2.4. Mutu Bahan	10

2.5. Pembebaan Struktur	11
2.6. Tingkat Daktilitas	12
2.7. Perencanaan Terhadap Gempa	13

### **BAB III PENGANTAR BETON PRACETAK**

3.1. Pengertian Beton Pracetak	15
3.2. Tipe Struktur Beton Pracetak	15
3.2.1. Wall frame	
3.2.2. Portal Frame	
3.2.3. Struktur Rangka	
3.3. Material dan Metode Konstruksi Beton Pracetak	16
3.4. Keuntungan Dari beton Pracetak	17
3.5. Penyusunan Khas dari Komponen-komponen Struktur	19
3.6. Pertimbangan – pertimbangan Desain	20
3.7. Tipe – tipe elemen Pracetak	22
3.8. Beberapa Tipe Sambungan	26
3.8.1. Sambungan Daktail dengan Cor Setempat	27
3.8.2. Sambungan Daktail dengan Las	28
3.8.3. Sambungan Daktail Mekanik	31
3.8.4. Sambungan Daktail dengan Sistem Baut	32

### **BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER**

4.1. Umum	40
<b>4.2. Perencanaan Pelat Pracetak</b>	
4.2.1. Preliminary Design	
4.2.1.1. Perencanaan Dimensi Balok	41
4.2.1.2. Perencanaan Tebal Pelat	43
4.2.2. Data Perencanaan Pelat	50
4.2.3. Pembebaan Struktur Pelat	50

4.2.4. Kombinasi Pembebaan	53
<b>4.2.5. Perhitungan Pelat Pracetak</b>	
4.2.5.1. Pemodelan dan Analisa Gaya Dalam	54
4.2.5.2. Perencanaan Penulangan Pelat	55
4.2.5.3. Perhitungan Tulangan Pelat Sebelum Komposit	57
4.2.5.4. Perhitungan Tulangan Pelat Setelah Komposit	59
4.2.5.5. Perhitungan Tulangan Akhir	61
<b>4.2.6. Kontrol Lendutan dan Retak</b>	
4.2.6.1. Kontrol Lendutan	79
4.2.6.2. Kontrol Retak	79
<b>4.2.7. Panjang Penyaluran Tulangan Pelat</b>	79
<b>4.2.8. Penulangan Stud Pelat</b>	80
<b>4.2.9. Perhitungan Tulangan Angkat</b>	82
<b>4.3. Perencanaan Balok Anak Pracetak</b>	
<b>4.3.1. Data-data Perencanaan</b>	84
<b>4.3.2. Pembebaan Balok Anak</b>	
4.3.2.1. Type-type Pembebaan	85
4.3.2.2. Pola Pembebaan Balok	86
4.3.2.3. Perhitungan Pembebaan	87
<b>4.3.3. Penulangan Balok Anak</b>	
4.3.3.1. Penulangan Lentur dan Geser Balok Anak	90
4.3.3.2. Contoh Perhitungan Penulangan Balok Anak	93
<b>4.4. Perencanaan Tangga</b>	
<b>4.4.1. Umum</b>	103
<b>4.4.2. Data-data Perencanaan</b>	103

4.4.3.	Perhitungan Pelat Tangga	103
4.4.4.	Pembebaan Tangga dan Bordes	105
4.4.5.	Analisa Gaya-gaya Dalam	107
4.4.6.	Penulangan Pelat Tangga dan Bordes	
4.4.6.1.	Penulangan Lentur	107
4.4.7.	Perencanaan Balok Penumpu Tangga	112

## **BAB V ANALISA STRUKTUR UTAMA**

5.1.	Umum	128
5.2.	Model Struktur	132
5.3.	Pembebaan Struktur Utama	134
5.4.	Data Satuan dan Material	135
5.5.	Input Data	135
5.6.	Data Respon Spektrum	139
5.7.	Output Data	144

## **BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA**

### **6.1. Perencanaan Balok Induk**

6.1.1.	Data Perencanaan	148
6.1.2.	Pembebaan	149
6.1.3.	Penulangan Lentur Balok	
6.1.3.1.	Penulangan Lentur Sebelum Komposit	156
6.1.3.2.	Penulangan Lentur Setelah Komposit	160
6.1.3.3.	Penulangan Lentur Akhir	162
6.1.4.	Penulangan Geser dan Torsi	163
6.1.5.	Penulangan Stud Balok Induk	
6.1.5.1.	Transfer Gaya Horisontal	167
6.1.5.2.	Perhitungan Penulangan Stud	170

6.1.6. Panjang Penyaluran	
6.1.6.1. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik	173
6.1.6.2. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan	174
6.1.7. Kontrol Lendutan dan Retak	
6.1.7.1. Kontrol Lendutan	175
6.1.7.2. Kontrol Retak	175
<b>6.2. Perencanaan Kolom</b>	
6.2.1. Dasar Teori	177
6.2.2. Panjang Tekuk Kolom	177
6.2.3. Pembatasan Penulangan Kolom	178
6.2.4. Kolom Pendek	179
6.2.5. Kolom Panjang	180
6.2.6. Faktor Pembesaran Momen Untuk Kolom Panjang	180
6.2.7. Penulangan Lentur Kolom	182
6.2.8. Kontrol dengan Bresler Reciprocal Method	184
6.2.9. Penulangan Geser dan Torsi Kolom	186
6.2.10. Contoh Perhitungan	
6.2.10.1. Penulangan Lentur Kolom	188
6.2.10.2. Penulangan Geser Kolom	192
<b>6.3. Perencanaan Dinding Geser</b>	
6.3.1. Umum	193
6.3.2. Kuat Beban Aksial Rancang	194
6.3.3. Perencanaan Geser	195
6.3.4. Data-data Perencanaan	197
6.3.5. Dasar-dasar Perencanaan	197
6.3.6. Perhitungan Penulangan Dinding Geser	199
6.3.7. Perencanaan Pondasi Dinding Geser	205

<b>BAB VII</b>	<b>PERENCANAAN SAMBUNGAN</b>	
7.1.	Umum	211
7.2.	Kriteria Perencanaan Sambungan	
7.2.1.	Kekuatan	213
7.2.2.	Daktilitas	213
7.2.3.	Perubahan Volume	213
7.2.4.	Daya Tahan	213
7.2.5.	Ketahanan terhadap Kebakaran	214
7.2.6.	Kesederhanaan Sambungan	214
7.2.7.	Kesederhanaan Pemasangan	214
7.3.	Konsep Desain Sambungan	
7.3.1.	Mekanisme Pemindahan Beban	215
7.3.2.	Pola-pola Kehancuran	216
7.3.3.	Stabilitas dan Keseimbangan	217
7.4.	Klasifikasi Sistem Pracetak dan Sambungannya	218
7.5.	Pertimbangan-pertimbangan Rancangan	219
7.6.	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom	
7.6.1.	Perencanaan Corbel Kolom	222
7.6.2.	Perencanaan Bearing on Plain Concrete	229
7.7.	Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Induk	232
<b>BAB VIII</b>	<b>PERENCANAAN PONDASI</b>	
8.1.	Umum	238
8.2.	Data Tanah	238
8.3.	Kriteria Design	
8.3.1.	Kekuatan dan Dimensi Tiang	239
8.3.2.	Tahapan Perencanaan	239
8.4.	Perumusan Design	
8.4.1.	Koreksi terhadap Nilai SPT (N-Lapangan)	240

8.4.2. Perumusan Daya Dukung Tanah	
8.4.2.1. Daya Dukung Tiang Tunggal	240
8.4.2.2. Daya Dukung Tiang Tunggal dalam Group Tiang	241
8.4.2.3. Beban Maksimum Tiang	242
8.4.2.4. Daya Dukung Tiang akibat Gaya Horisontal	243
<b>8.5. Perhitungan Tiang Pancang</b>	
8.5.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang	244
8.5.2. Perhitungan Daya Dukung 1 Tiang	244
8.5.3. Perhitungan Jumlah Tiang dan Dimensi Poer	245
8.5.4. Beban Maksimum 1 Tiang	246
8.5.5. Kekuatan Group Tiang Pancang	246
<b>8.6. Perencanaan Poer (Pile Cap)</b>	
8.6.1. Data-data Perencanaan Poer	248
8.6.2. Kontrol Geser Pons pada Poer	249
8.6.3. Penulangan Poer	
8.6.3.1. Penulangan Lentur	251
8.6.3.2. Penulangan Geser	254
<b>8.7. Perencanaan Sloof (Tie Beam)</b>	
8.7.1. Data-data Perencanaan	256
8.7.2. Dimensi Sloof	256
8.7.3. Penulangan Sloof	
8.7.3.1. Penulangan Lentur	257
8.7.3.2. Penulangan Geser	259
<b>BAB IX PELAKSANAAN</b>	
9.1. Umum	260

9.2. Proses Produksi Elemen Beton Pracetak	261
9.3. Proses Pemasangan dan Perakitan Elemen Beton Pracetak	
9.4.1. Pekerjaan Tiang Pancang	265
9.4.2. Pekerjaan Poer	265
9.4.3. Pekerjaan Sloof	265
9.4.4. Pekerjaan Kolom	266
9.4.5. Pemasangan Elemen Balok Pracetak	266
9.4.6. Pemasangan Elemen Tangga	266
9.4.7. Pemasangan Elemen Pelat Pracetak	267

**BAB X KESIMPULAN DAN SARAN**

10.1. Kesimpulan	268
10.2. Saran	270

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### I.1. UMUM

Globalisasi informasi yang berkembang pesat saat ini, menuntut kesiapan bangsa Indonesia dalam mengantisipasinya. Memasuki millennium 3 dan pasar bebas tahun 2003, kebutuhan akan informasi tidak dapat dielakan lagi.

Pemerintah dalam hal ini terus berupaya meningkatkan pembangunan bidang pertelekomunikasian, yang selain dapat memperlancar hubungan di segala bidang baik di kalangan pemerintahan maupun masyarakat umum, juga mempercepat proses transfer informasi.

Atas dasar itulah maka mutlak diperlukan fasilitas dan sarana telekomunikasi untuk menunjang pemenuhan kebutuhan dan permintaan masyarakat atas jasa layanan telekomunikasi. PT TELKOM sebagai salah satu BUMN yang bergerak di bidang telekomunikasi berupaya memenuhi permintaan tersebut dengan membangun sarana maupun fasilitas telekomunikasi.

#### I.2. LATAR BELAKANG MASALAH

Karena tuntutan peningkatan kecepatan waktu konstruksi serta pelaksanaan konstruksi yang efektif dan efisien, maka dikembangkan berbagai metode konstruksi. Penghematan dari segi waktu dan biaya menyebabkan investasi yang ditanamkan akan lebih menguntungkan.

Dalam tugas akhir ini, penulis memakai gedung Kandatel Malang sebagai obyek, yang sebelumnya telah direncanakan dengan konstruksi beton bertulang. Gedung ini berfungsi sebagai perkantoran yang memiliki denah lantai yang typical, bentuknya relatif sederhana dan simetris, konfigurasi kolom yang teratur serta terletak di daerah gempa zone 3.

Mengingat Gedung Kandatel tersebut mempunyai komponen gedung bertipe sama dengan jumlah yang banyak, maka alternatif metode pracetak adalah alternatif yang menguntungkan. Karena dengan metode praceta, maka kualitas yang dihasilkan baik berupa ukuran dimensi material lebih akurat, kekuatan yang diencanakan, kecepatan pelaksanaan, dan penghematan tenaga kerja akan dapat dicapai. Material pracetak selain dibuat di pabrik, dapat pula dibuat di lapangan.

Seiring perkembangan perencanaan konstruksi yang semakin maju, maka metode konstruksi beton pracetak merupakan alternatif yang menjanjikan untuk diterapkan di masa mendatang. Sistem pracetak menghasilkan waktu pelaksanaan yang relatif singkat dan biaya seefesien mungkin.

### 1.3. MAKSUD DAN TUJUAN

"Perancangan Struktur Gedung Kandatel Malang dengan Metode Pracetak:" bertujuan untuk memberikan alternatif perencanaan struktur yang berbeda dengan perencanaan struktur awal, yaitu menggunakan metode pracetak.

Dalam perencanaan ini akan didapatkan suatu desain struktur yang rasional dengan memenuhi syarat-syarat keamanan struktur berdasarkan peraturan yang berlaku sehingga

didapatkan struktur gempa yang cukup kaku pada daerah gempa zone 3. Selanjutnya hasil perhitungan dituangkan dalam gambar-gambar struktur.

#### **I.4. LINGKUP PERMASALAHAN**

Penerapan metode pracetak diharapkan dapat memperoleh struktur yang cukup optimum dan sambungan yang tepat, sehingga didapatkan struktur gedung yang monolit dan dapat menahan gaya lateral yang membebani struktur. Kemudahan pelaksanaan dalam praktek juga harus diupayakan.

Perencanaan struktur meliputi :

- Perencanaan struktur sekunder yang meliputi pelat dan tangga
- Perencanaan struktur utama yang meliputi kolom, balok, dan dinding geser
- Perencanaan struktur bawah yang meliputi poer dan pondasi dalam

#### **I.5. BATASAN MASALAH**

Batasan masalah perencanaan struktur pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Komponen	Metode
Balok, Pelat, Tangga	Pracetak
Kolom, Shearwall	Cor di tempat
Overtopping	Cor di tempat

Dalam perencanaan gedung bertingkat dengan metode pracetak, sebenarnya banyak hal yang secara teknis harus diperhatikan. Pada tugas akhir ini permasalahan dibatasi pada beberapa hal yaitu :

1. Perencanaan balok hanya menggunakan metode pracetak biasa (non prestresses)
2. Tidak melakukan analisa biaya pada pelaksanaan konstruksi
3. Tidak meninjau kecepatan konstruksi tiap lantai
4. Karena keterbatasan data perubahan volume beton akibat pengaruh temperatur, creep, dan shrinkage tidak diperhitungkan
5. Perencanaan gedung hanya 10 lantai + atap

## I.6. METODE PERENCANAAN

Diawali dengan State of Art, metode perencanaan dilanjutkan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Penetapan metode perencanaan struktur
2. Penetapan pembebanan berdasarkan PPIG 1983
3. Desain awal

Penentuan dimensi elemen-elemen struktur dengan memperhatikan kemudahan dalam pelaksanaan.

4. Permodelan struktur

- Pada saat pelaksanaan (pemasangan) balok dimodelkan sebagai simple span member. Sedangkan pada saat akhir konstruksi ( setelah diberi topping ) dimodelkan sebagai continuous beam.

- Pelat lantai dimodelkan sebagai diafragma yang berfungsi sebagai pembagi beban geser kepada unsur penahan gempa

Tangga dimodelkan sebagai sistem tangga dengan tumpuan rol pada balok bordes dan sendi pada balok lantai

Secara keseluruhan struktur direncanakan dengan menggunakan tingkat daktilitas terbatas.

## 5. Analisa

Perhitungan gaya-gaya dalam

6. Penentuan sistem sambungan yang tepat yang dapat menahan beban lateral.

7. Perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada pondasi, selanjutnya mendesain dimensi pondasi.

## 1.7. METODE ANALISA STRUKTUR

Metode penyelesaian untuk analisa struktur yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Perhitungan gaya dalam pelat menggunakan koefesien momen PBI 1971
- Analisa statis pada unsur sekunder tangga menggunakan software SAP

- Analisa statis dan dinamis pada struktur utama menggunakan metode tiga dimensi dibantu dengan sofware ETABS.

## **BAB II**

## **DASAR – DASAR PERENCANAAN**

## BAB II

### DASAR DASAR PERENCANAAN

#### 2.1. DATA PERANCANAAN

##### 2.1.1. DATA UMUM BANGUNAN

Gedung Kandatel dan OPMC Malang adalah gedung berlantai 10 berlokasi di pusat kota dan berfungsi sebagai perkantoran dan ruang operasional. Data – data gedung adalah sebagai berikut :

Nama gedung : Gedung Kandatel dan OPMC Malang

Lokasi : Jalan Ahmad Yani, Kecamatan Blimbing, Malang

Fungsi : perkantoran dan operasional

Jumlah lantai : 11 lantai (termasuk lantai semibasement)

Tinggi : + 37,00 m

Struktur : Balok beton bertulang lantai basement-lantai tujuh

Balok induk pratekan pada lantai delapan dan sembilan

##### 2.1.2. DATA TANAH

Pada tugas akhir ini digunakan data tanah dari daerah jalan Ahmad Yani Malang. Dari hasil penyelidikan tanah menunjukkan tanah jenis pasir berlanau hingga kedalaman 18 m. Maka dalam hal ini dipakai pondasi dalam yaitu pondasi tiang pancang.

### 2.1.3. PENYEDERHANAAN STRUKTUR

Dalam tugas akhir ini penulis melakukan beberapa perubahan meliputi :

- a. Perencanaan disini hanya meninjau dari segi teknisnya saja tanpa meninjau segi estetis maupun segi ekonominya
- b. Melakukan perubahan dengan menghilangkan lantai semi basement dan merubah ruang serba guna dan atap sebagai ruang perkantoran, sehingga secara keseluruhan menjadi 10 lantai yang typical.
- c. Struktur beton pratekan pada lantai delapan dirubah dengan sistem pracetak pada balok utamanya.
- d. Pada perencanaan pondasi penulis menggunakan pondasi tiang pancang yang sudah ada di pasaran.

### 2.1.4. DIMENSI GEDUNG SETELAH DI MODIFIKASI

Pada tugas akhir ini, penulis melakukan perubahan / modifikasi yaitu menghilangkan lantai semi basement dan penambahan ruang pada lantai atap. Adapun dimensi gedungnya adalah sebagai berikut :

Jumlah lantai : sebelas lantai (termasuk atap)

Panjang : 30.00 m

Lebat : 30.00 m

Tinggi bangunan : +41.00 m

Tinggi per lantai : 5.00 m untuk lantai dasar, 4.00 m untuk lantai satu sampai sembilan

Struktur : Sistem struktur yang digunakan adalah Momen Resisting Frame dan Shearwall. Sistem perbalokan struktur utama dengan sistem pracetak, shearwall di cor setempat. Pada sistem lainnya menggunakan sistem solid slab untuk modul lantai yang typical dengan pracetak

#### 2.1.4. PERATURAN-PERATURAN YANG DIPAKAI

Peraturan yang digunakan sebagai standar acuan antara lain :

- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SK SNI 1991)
- Peraturan Pembebaan Indonesia Untuk Gedung 1983
- Peraturan Perencanaan Struktur Untuk Beton Bertulang dan Stuktur Tembok Bertulang Untuk Gedung 1983

Peraturan-peraturan yang dijadikan referensi antara lain

- PCI Design Handbook / fourth edition

#### 2.1.5. MUTU BAHAN

Beton :

- a. beton cor di tempat ( poer, sloof, dan kolom ),  $f_c = 30 \text{ Mpa}$
- b. beton pracetak ( pelat, balok, dan tangga ),  $f_c = 30 \text{ Mpa}$

Baja :

- a. baja Tulangan,  $f_y = 320 \text{ Mpa}$

### 2.1.6. PEMBEBANAN STRUKTUR

Jenis pembebanan yang harus diperhitungkan dalam perencanaan gedung ini adalah :

#### 1. Beban Mati (PPI'83 – 1.2.1)

- Mencakup semua beban yang disebabkan oleh berat sendiri struktur yang bersifat tetap dan bagian lain yang tak terpisahkan dari gedung.

#### 2. Beban Hidup (PPI'83 – 3.1 & 3.2)

- Mencakup semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung sesuai dengan PPI '83, termasuk barang-barang pada ruangan yang tidak permanen.

Menurut PPI '83 pasal 3.1 & 3.2, besarnya beban hidup yang bekerja tergantung dari fungsional ruang itu sendiri.

#### 3. Beban Angin

- Beban angin diatur dalam PPI '83 Bab 4

#### 4. Beban Gempa

- Beban gempa ini berdasarkan pada PPTGIUG '83 dengan zone gempa 3 untuk daerah Malang.

### I.12. PERENCANAAN TERHADAP GEMPA

Metode penyelesaian yang dipakai dalam analisa dinamis pada perencanaan gedung ini adalah metode Respon Spektrum analysis, di mana gedung akan dikenakan

spektrum percepatan respon gempa rencana yang dihitung menurut diagram koefesien gempa dasar C untuk wilayah gempa 3 dengan struktur di atas dan tanah keras.

#### L13 PERENCANAAN SAMBUNGAN

Fungsi sambungan sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur lainnya, gaya-gaya tersebut kemudian diteruskan ke pondasi. Selain itu sambungan digunakan untuk mendapatkan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Dalam konstruksi Beton pracetak sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan segi ekonomis, selain itu juga ditinjau beberapa hal yaitu dari segi praktis dan ekonomis, selain itu juga ditinjau beberapa hal yaitu ; kekuatan, serviceability dan produksi.

Dari beberapa alternatif sistem sambungan yang ada, maka sistem sambungan basah dan panjang penyaluran merupakan alternatif termudah dalam pelaksanaan di lapangan.

**BAB III**  
**PENGANTAR BETON PRACETAK**

## BAB III

### PENGANTAR BETON PRACETAK

#### 3.1. Pengertian Beton Pracetak

Definisi dari beton pracetak adalah beton yang dicor di suatu tempat tertentu ( dapat di lokasi maupun di pabrik yang memproduksi beton pracetak ), kemudian dipasang pada posisinya dengan suatu sistem sambungan sehingga dapat bekerja sebagai suatu kesatuan yang membentuk konstruksi bangunan yang utuh ( monolith )

#### 3.2. Tipe Struktur Beton Pracetak

Tiga tipe dasar dari struktur beton pracetak adalah :

##### a. Wall Frame

Terdiri dari elemen dinding vertikal solid ataupun void dan pelat – pelat horizontal, serta banyak digunakan pada struktur gedung tinggi seperti hotel, rumah sakit, perkantoran, dan lain – lain.

##### b. Portal Frame

Terdiri dari elemen kolom dan balok rafter, sering digunakan pada gedung berlantai 1 seperti gudang, fasilitas industri dan lain – lain.

### e. Struktur Rangka ( The Skeletal Frame )

Terdiri dari elemen kolom, balok, dan pelat banyak digunakan pada struktur gedung bertingkat rendah ( low rise building ) sampai bertingkat sedang ( medium rise building ), jika dikombinasikan dengan shear wall maka akan dapat digunakan untuk gedung tingkat tinggi.

### 3.3. Material dan Metode Konstruksi Beton Pracetak

Secara dasar, beton pracetak didefinisikan sebagai beton dimana dicor di tempat yang berbeda dari kedudukan akhir dalam struktur. Elemen beton pracetak dapat ditulangi dengan tulangan baja biasa atau baja pratekan.

Beton pracetak mempunyai arti ganda yaitu sebagai metode konstruksi dan sebagai material konstruksi. Beton pracetak diproduksi dibawah pengawasan yang ketat pada tempat pembuatan. Pada pracetak pratekan kekuatan beton yang digunakan antara 4000 – 6000 psi. Dengan kekuatan yang lebih tinggi tersebut dapat menjamin daya tahan dan kecepatan produksi yang tinggi. Bekisting yang dipakai terbuat dari bahan dengan kualitas yang lebih baik dari pada yang digunakan pada beton cor setempat, sehingga dapat digunakan lebih dari 50 kali pada pekerjaan ulang. Dengan beton pracetak, para arsitek diberi kebebasan yang lebih besar dalam desain, dengan harga dan bentuk akhir dan produk ulang bentuk yang ada.

Dengan menempatkan bentuk yang dicor diatas meja penggetar atau dengan penggunaan vibrator dan lain-lain yang ditempatkan diatas bentuk, didapat tingkat konsolidasi yang lebih tinggi, dengan faktor air semen yang

lebih rendah dan dengan kandungan semen yang lebih tinggi akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi serta bentuk permukaan dan sudut yang lebih tepat.

Sebagai bahan konstruksi, beton pracetak dapat digunakan baik sebagai bagian struktur maupun non struktur.

Sebagai metode konstruksi, beton pracetak dapat mengurangi total waktu pelaksanaan proyek karena bagian atau komponen dicetak dan disediakan pada fase lain dari proses pembangunan gedung, dengan cara demikian mengurangi jumlah waktu pelaksanaan konstruksi yang diperlukan.

Beton pracetak dapat dicor pada sore hari dengan metode curing yang terkontrol, temperatur yang dapat diatur (pada jam 7 – 10 malam), bentuk yang di cor dipindah dari bekisting pagi harinya dan bekisting tadi dipakai pada hari berikutnya. Dengan pemeliharaan (curing) dan panas yang terkontrol beton dapat mencapai 2/3 dari kekuatannya pada waktu 10 – 14 jam, sementara beton cor setempat bekisting dapat dilepas dalam waktu paling kurang 7 hari.

Pada penggunaan beton pracetak, pemasangan dari komponen secara terus menerus adalah hal yang mungkin, mempercepat pembentukan portal struktur dengan cara mengelilingi gedung. Beton pracetak juga memberi kemungkinan pada penggunaan metode fast track. Penghematan waktu ini memberikan pembayaran bunga pinjaman konstruksi yang lebih rendah.

Sebagai bagian dari sistem konstruksi beton pracetak dapat berupa tiang pancang, kolom pracetak untuk tingkat satu atau banyak, girder, single tee, double tee, hollow core atau solid slab, dan dinding panel.

### 3.4. Keuntungan dari Beton Pracetak

Keuntungan penggunaan beton pracetak secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Mengurangi jumlah tenaga buruh dilapangan.
- Daya dukung beban yang lebih tinggi (High Load Capacity)  
Beton pracetak memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup tinggi untuk menerima beban-beban yang berat.
- Daya tahan (Durability)  
Beton pracetak mempunyai ketahanan yang luar biasa terhadap cuaca, getaran, benturan, korosi, dan kerusakan lain yang tergantung pada waktu.
- Ongkos pemeliharaan rendah  
Karena beton pracetak dicetak dipabrik dengan cetakan baja, beton atau fiberglass yang rata sehingga menghasilkan bentuk permukaan yang halus dimana tahan terhadap penembusan uap lembab, jamur, dan korosi. density yang tinggi dari beton pracetak mengurangi ukuran dan jumlah rongga-rongga permukaan, dengan demikian menahan akumulasi dari kotoran dan debu.
- Mudah dicetak sesuai bentuk dan potongan yang diinginkan

Beton pracetak pada waktu dalam keadaan plastis (cair) dapat dicetak dalam bentuk yang kompleks

- Penampilan yang menarik

Beton pracetak dapat dengan bebas mendapatkan pengolahan arsitektur baik model maupun teksturnya.

- Pengurangan pemakaian bekisting
- Kontrol kualitas

Beton pracetak dihasilkan dari kondisi yang optimum baik dari bentuk, penempatan tulangan, pemeliharaan (curing) yang lebih baik dibanding di lapangan.

- Kecepatan pelaksanaan

Konstruksi beton pracetak mengurangi waktu pelaksanaan baik dari segi waktu pembentukan dan pengecoran beton cor di tempat.

### 3.5. Penyusunan Khas dari komponen-komponen standar

Bentuk-bentuk struktur beton pracetak diantaranya seperti yang dibuat di California. Komponen-komponen ini digunakan bersama untuk membentuk struktur dimana dibagi dalam 2 katagori:

1. Struktur portal
2. Struktur Shear wall

Hingga kini kebanyakan struktur yang telah dibangun menggunakan pracetak sebagai elemen "dengan ujung-ujung sendi" bukan sebagai elemen

penahan beban lateral, dan gaya lateral ditahan oleh komponen lain seperti shear wall tembok biasa atau cor setempat.

Konstruksi beton pracetak mempunyai potensi yang dapat digunakan sebagai bagian atau seluruh dari struktur bangunan dengan menggunakan 3 dasar desain filosofi yaitu:

1. Elemen beton pracetak berfungsi utama sebagai bentuk dan / atau elemen struktur “dengan kedua ujung sendi” untuk mengurangi kegunaan dari penyangga sementara (bekisting). Elemen beton pracetak bukan bagian dari sistem yang menahan beban lateral.
2. Elemen beton pracetak sebagai bentuk sistem struktur sendi, menahan beban vertikal dan memindahkan ke sistem penahan beban lateral untuk diteruskan ke pondasi.
3. Elemen beton pracetak digunakan dalam bermacam-macam kombinasi dari kedua konsep diatas. Sebagai contoh, shearwall beton pracetak dengan sambungan mekanis dapat dikombinasikan dengan portal daktail cor setempat untuk memberikan total damping dan penyerapan energi untuk beban berulang akibat gempa.

### 3.6. Pertimbangan-pertimbangan desain

#### *Pemilihan suatu modul*

Untuk mencapai suatu keuntungan dari industrialisasi, unit-unit yang serupa harus digunakan dalam mendesain bangunan. Modul yang dipilih harus sesuai dengan produk dan lebar tempat pengecoran, rencana

penanganan, pengangkutan kelapangan dan pemasangan. Modul harus juga dihubungkan dengan maksud kegunaan dari bangunan.

### *Pengangkutan*

Pembuatan beton pracetak selalu diliputkan dalam kontrak tidak hanya hasil, tetapi juga pengangkutan dan pemasangan elemen. Elemen biasanya diangkut dengan truk, oleh karena itu , pemilihan rute harus disesuaikan dengan peraturan angkutan, yang mempunyai pengaruh pada ukuran dan berat elemen.

Elemen beton pracetak selalu diletakkan diatas dua perletakan, untuk menghindari regangan yang timbul akibat dari kelenturan tempat penyangga pada truk dalam rute ke tempat kerja. Oleh sebab itu, elemen harus juga didesain diatas dua perletakan. Seringkali dua titik pengangkutan tersebut dipakai pada waktu penegakan dan penanganan. Bila ukuran dari beton pracetak membutuhkan lebih dari dua perletakan maka dipakai sistem rocker dalam pengangkutan.

Dalam perencanaan pengangkutan elemen pracetak dari lokasi pabrik sampai pada posisi terakhir elemen pracetak tersebut akan dipasang minimal harus dipertimbangkan :

1. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai lokasi
2. Jadwal pemasangan elemen pracetak sesuai schedule rencana
3. Alternatif jalan lain yang dilewati seandainya pada salah satu jalan alternatif terjadi hambatan

4. Daya tampung gudang diproyek dalam menerima pengiriman elemen pracetak
5. Kemampuan tower crane dalam mengangkat elemen pracetak
6. Kejelian dalam pemberian tanda lokasi dimana elemen pracetak akan ditempatkan sehingga sekecil mungkin dihindari kesalahan pengangkatan oleh tower crane yang disebabkan kesalahan pemberian tanda lokasi pada elemen pracetak dalam struktur

### *Pemasangan*

Kunci dari proyek pracetak adalah waktu pemasangan, jumlah uang yang sangat besar akan hilang pada penempatan yang tidak tepat, dengan kata lain, mengerti permasalahan dan penyelesaian pada waktu pengambilan elemen pracetak dalam waktu yang singkat dilapangan. Kecepatan pelaksanaan beton pracetak dipengaruhi oleh keputusan-keputusan pada waktu preliminary design oleh arsitek dan sipil, perhatian pada detail yang diberikan oleh pembuat beton pracetak pada waktu penawaran (kebanyakan pembuat memprioritaskan pada hasil), dan koordinasi antara pemasang dan general kontraktor adalah penting dalam menentukan suksesnya proses pemasangan.

### 3.7. Tipe-tipe elemen pracetak

Beberapa bentuk elemen beton pracetak yang telah distandardkan antara lain:

a. Pelat

Pelat dapat berupa pelat penuh (*Solid slab*) atau pelat dengan lubang arah longitudinal yang berbentuk lingkaran atau persegi pada titik berat penampang pelat (*Hollow core slab*). Pelat pracetak penuh mempunyai ketebalan yang lebih tipis dan keuntungannya tidak banyak akan tempat sewaktu penumpukan. Sementara hollow core slab lebih tebal dan biasanya menggunakan kabel pratekan. Keuntungannya adalah lebih ringan, durabilitas tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi

b. Penampang Single Tees

Single tees diproduksi dalam cetakan baja dan biasanya berupa beton pracetak prategang pretension. Keunggulan tipe balok ini adalah kemungkinannya untuk diproduksi dalam panjang yang berlainan dengan menempatkan penyekat baja dengan lubang untuk baja prategang pada jarak yang dibutuhkan dalam cetakan. Penulangan dapat diterapkan pada daerah perletakan serta pada arah melintang, pada pelat atas. Kerugian jenis ini dalam hal pabrikasinya adalah bahwa pada daerah perletakan end block tidak dapat di cor secara

bersamaan hal ini dikarenakan letak end block yang terletak diluar cetakan. Sehingga kemungkinan pengecoran end block adalah sesudah berada pada lokasi penumpukan. Akan tetapi tanpa pemberian end block ini penumpukan dan pengangkutan dapat dilakukan dengan perhatian khusus.

#### c. Double Tees

Proses produksi penampang Double tees hampir sama dengan single tees. penampang ini tidak memerlukan end block pada daerah perletakan karena elemen pracetak ini cukup stabil selama masa penumpukan dan pengangkutan dengan dua balok longitudinal. Pada akhirnya tinggi dari elemen double tees direduksi didekat daerah perletakan untuk melakukan penyambungan dua balok diatas perletakan dengan penulangan longitudinal pada sisi atas dan balok melintang cast in situ.

#### d. Balok

Beberapa tipe balok yang diproduksi diantaranya berupa pracetak prategang pretension. Tipe-tipe penampang yang sering diproduksi diantaranya: penampang persegi, I-shaped atau T-shaped. Balok dengan penampang persegi digunakan sebagai balok utama dengan beban yang besar. Kadang-kadang dengan reduksi lebar pada bagian atas sebagai dudukan pelat. Balok persegi banyak digunakan sebagai girder. Jika penampang adalah bentuk I maka akan sering memerlukan end block

pada daerah perletakan agar memberikan penyaluran kekuatan dari perletakan yang lebih baik. Bentuk penampang lain yang sering digunakan adalah bentuk penampang T. Balok dengan bentuk penampang T sering merupakan balok prategang dan banyak digunakan pada balok jembatan. Sayap bagian atas balok berguna untuk memikul beban lalu lintas. Pada umumnya pelat atas diberikan prategang dalam arah transversal untuk menjamin terbentuknya suatu sistem jaringan kerja dari balok T.

e. Balok Inverted T

Jenis balok ini digunakan pada jembatan serta viaduct. Pelat pada bagian atas merupakan pelat lantai kendaraan yang berguna untuk memikul beban lalu lintas. Pelat lantai dapat berupa pelat pracetak atau cor setempat.

f. Box Girders

Box girder banyak digunakan pada jembatan serta viaduct, pada umumnya berupa pracetak prategang pretension. Tipe lain dari box girder adalah penampang berbentuk U. Tipe ini lebih mudah dibuat dari pada balok penampang box, dimana pelat atas dari balok dapat dicor setempat.

g. Kolom

Elemen kolom pracetak dapat berupa kolom menerus atau dengan sambungan. Panjang kolom menerus dibuat monolit sampai 2 atau 3 lantai, sementara panjang kolom sambungan dibuat setinggi 1 lantai. Kolom-kolom pracetak biasanya dilengkapi dengan corbel pada sisi-sisi muka kolom yang berguna sebagai tempat tumpuan balok. Pemberian corbel tergantung pada posisi kolom tersebut dalam struktur.

h. Panel

Elemen panel banyak digunakan pada proyek-proyek perumahan di beberapa negara. Panel dapat diproduksi baik secara vertikal maupun horizontal. Pembuatan panel secara vertikal akan memungkinkan membuat panel dengan kedua permukaan yang halus, sementara dengan cara horizontal perataan sisi atas panel selalu dilakukan dengan peralatan khusus. Meskipun texture permukaan berbeda antara sisi atas dan sisi bawah panel.

i. Tangga

Untuk tangga precast ada dua jenis yang umumnya digunakan, yaitu :

1. Anak tangga dan bordes menyatu ( dicor bersamaan). Keuntungannya adalah strukturnya lebih kaku dan pemasangannya lebih mudah.

2. Anak tangga dan bordes terpisah ( masing - masing dicor terpisah ). Keuntungannya adalah sewaktu pabrikasi tidak membutuhkan bekisting yang banyak dan mudah dilakukan.

### 3.8. Beberapa type sambungan

Pada tugas akhir ini penulis akan membahas beberapa type sambungan, yaitu :

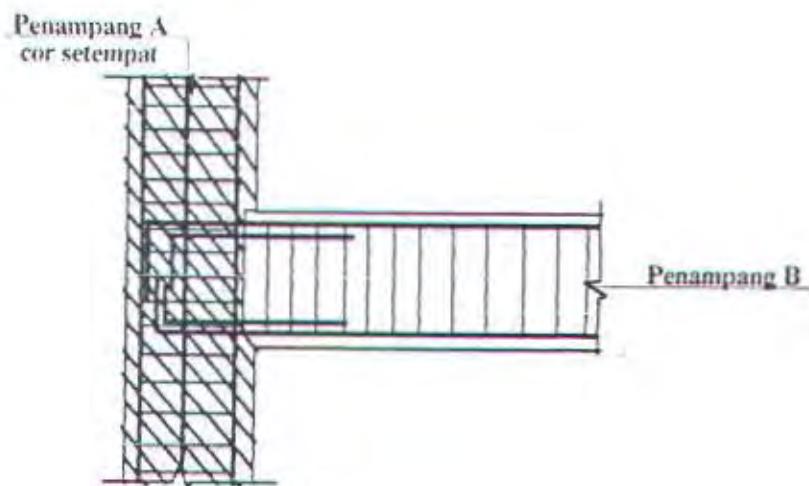
1. Sambungan daktail dengan cor setempat
2. Sambungan daktail dengan las
3. Sambungan daktail mekanik
4. Sambungan daktail menggunakan sistem baut

#### 3.8.1 Sambungan Daktail dengan Cor Setempat

Sambungan ini merupakan sambungan yang menggunakan tulangan biasa untuk menyambung antar elemen beton pracetak , kemudian dicor agar menjadi satu kesatuan yang monolit. Sambungan jenis ini dapat pula diistilahkan dengan sambungan basah.

Untuk menjamin dari kontinuitas dari elemen-elemen balok pracetak serta agar sendi plastis yang terjadi pada penampang dapat monolit maka penempatan sendi plastis direncanakan agar mapu menahan momen. Pada gambar dibawah ini dijelaskan kemampuan menahan momen pada

penampang A lebih besar daripada kemampuan menahan momen dari sendi plastis pada penampang B (Gambar 3.1.)



Gambar 3.1. Sambungan Daktail dengan Cor Setempat

### 3.8.2 Sambungan Daktail dengan Las

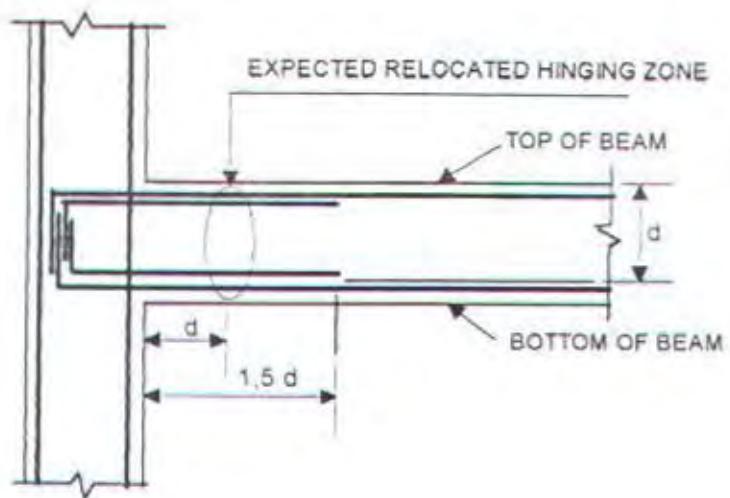
Ochs and Ehsani (1993) mengusulkan 2 (dua) sambungan las pada penempatannya dilokasi sendi plastis pada permukaan kolom sesuai dengan filosofi strong column-weak beam. Dalam hal ini gedung harus direncanakan sehingga flexure hinge terbentuk pada ujung balok didekat kolom.

Konsep terjadinya sendi platis pada balok yang terletak dekat permukaan kolom mempunyai beberapa keuntungan dari detailnya adalah

tuntutan daktilitas dan kekuatan. Pada struktur monolit hal ini terjadi reduksi pada panjang penyaluran tulangan di daerah sambungan.

Balok yang terdapat pada permukaan kolom dirancang mempunyai nominal kapasitas lentur sekitar 25 % lebih besar daripada momen maksimum yang terjadi. Gambar 3.2. menjelaskan dari konsep sambungan ini.

Rasio dan kapasitas momen nominal dari balok yang terjadi dilokasi sendi plastis diujung balok harus dipilih berdasarkan diagram momen pada ujung balok. Bila sambungan diletakan pada titik-titik dimana sendi plastis akan terjadi, maka penyambungan harus mampu berotasi bolak-balik secara plastis tanpa mengurangi kekuatan momen dan kapasitas geser dari joint tersebut.



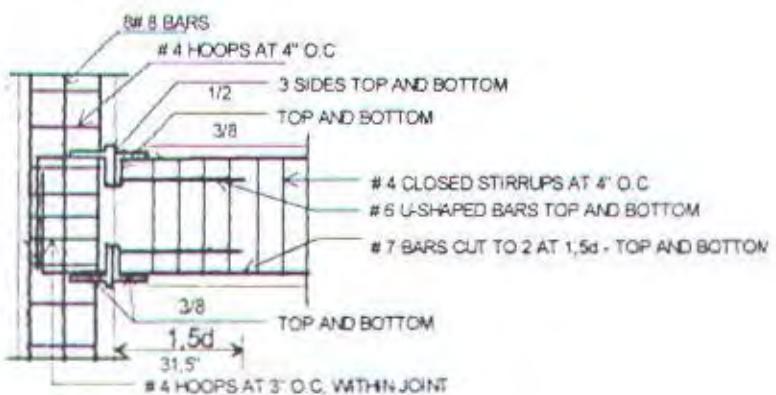
Gambar 3.2. Skematis dari detail balok dengan penempatan sendi plastis.

Keuntungan dari cara ini adalah dari segi penggerjaan dan pelaksanaannya, karena elemen-elemennya tunggal dan berbentuk lurus, pengangkutan dan pengangkatan lebih mudah sehingga lebih ekonomis.

Pada pelaksanaan sistem ini diambil contoh menggunakan kolom dan balok yang disambung dengan las. Untuk pertemuan antara balok dan kolom, pada balok serta kolom dipasang pelat baja yang ditanam masuk pada daerah tulangan kolom yang kemudian dicor pada waktu pembuatan elemen pracetak. Pada keduanya ujung balok pelat baja ditanam pada bagian atas dan bawah (Gambar 3.3). Pada perakitan komponen pracetak yang menggunakan las, untuk kolom terlebih dahulu berdiri kemudian

digunakan pengelasan pada kedua pelat tersebut untuk menyambungnya dengan balok.

Dari hasil uji coba yang telah dilakukan kedua cara penempatan sendi plastis semuanya menunjukkan hasil memuaskan sehingga tidak ada masalah apabila digunakan pada daerah gempa. Beton pracetak dengan penempatan lokasi sendi plastis adalah sebanding dengan *cast in-place* dalam hal kekuatan dan daktilitasnya, dimana sendi plastis itu ditempatkan dipermukaan kolom.



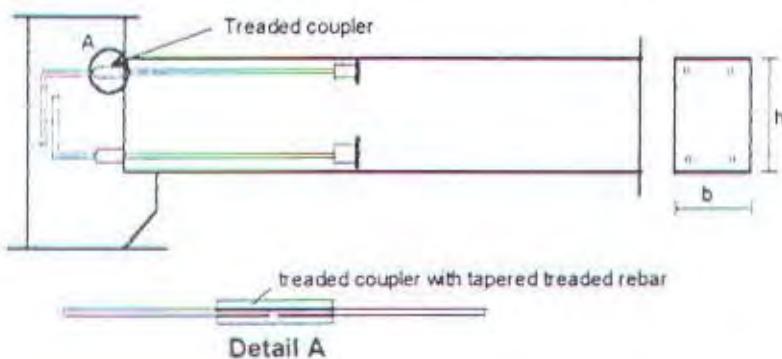
Gambar 3.3. Sambungan Daktail dengan Las

Bagian kritis pada sambungan pracetak adalah pengelasan tulangan balok dimana dapat menimbulkan kegagalan. Oleh karena itu perlu perhatian khusus pada kualitas dari pengelasan pada pelat pracetak dan tulangan perkuatan. Kelemahan dengar sistem menggunakan sambungan las

pada balok-kolom adalah biaya relatif sangat besar dan pekerjaan lebih sulit karena memerlukan ketelitian dalam pengelasan.

### 3.8.3 Sambungan Daktail Mekanik

French and Friends (1989) mengembangkan sambungan yang menggunakan post-tension untuk menghubungkan antara balok dan kolom. Pada sambungan post-tension ini dirancang peleahan terjadi pada daerah lokasi antara pertemuan balok-kolom.



Gambar 3.4. Sambungan Daktail Mekanik

Treaded coupler adalah tempat untuk sambungan pada ujung tulangan baja yang dimaksudkan pada alat tersebut. Dengan fasilitas yang tersedia pada alat tersebut sehingga ujung tulangan baja dapat dimasukkan pada lubang yang runcing. Pelaksanaan alat sambungan ini perlu sekali ketrampilan dan keahlian khusus.

### 3.8.4 Sambungan Daktail dengan Sistem Baut

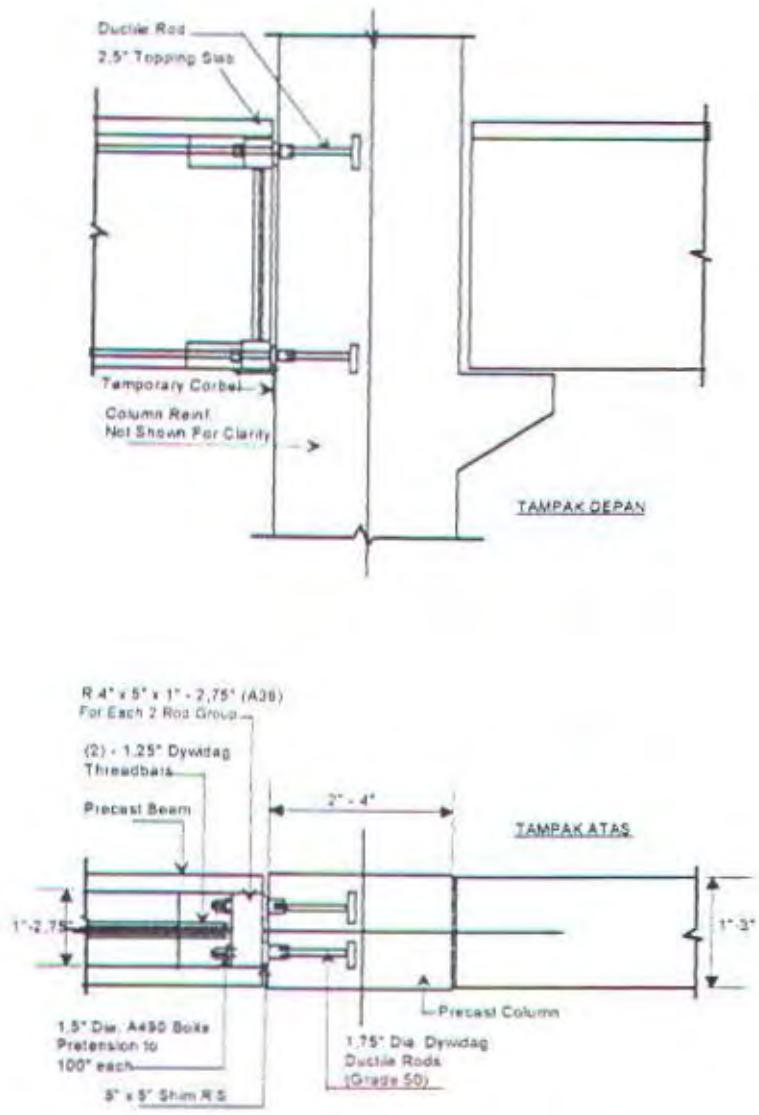
Sistem frame beton pracetak baru-baru ini memberikan keuntungan dari penyatuhan elemen beton pracetak yang terpisah-pisah dengan menggunakan daktail untuk menyambungnya. Penyambungan daktail ini berisi sebuah tongkat yang akan leleh pada kekuatan tertentu, berhasil membatasi beban yang ditransfer untuk kehilangan daktilitas dari komponen frame.

Englekirk and Nakaki, Inc. Irvine California dan Dywidag System International USA, Inc. Long Beach California telah mengembangkan sistem menggunakan penyambungan daktail yang dikenal dengan DDCF system (Ductile Precast Concrete Frame System) ditunjukkan pada Gambar 3.5.

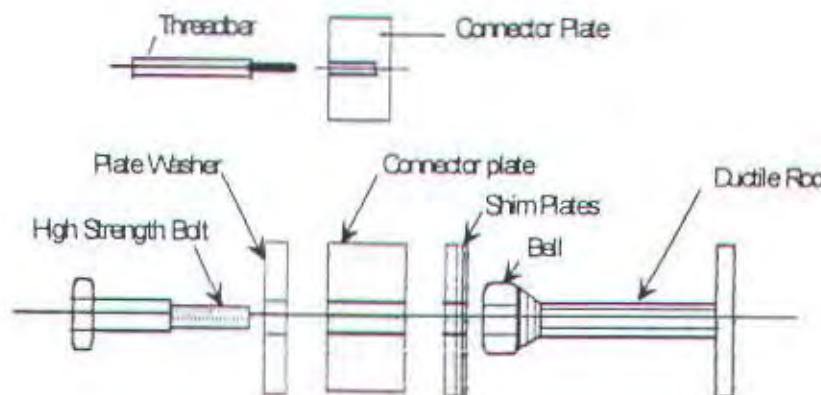
Penyambungan ini mengijinkan balok dan kolom dibuat sendiri-sendiri dan digabungkan atau disambungkan oleh baut pada permukaan kolom.

Dari hasil percobaan sistem diatas, menunjukkan bahwa DPCF ini berprilaku monolit lebih baik, khususnya momen resisting space frame, karena memberikan drift gedung 4% tanpa kehilangan kekuatan pada saat terjadi post-yield cycles.

Dywidag Ductile Connector (DDC) umumnya digunakan pada satu konfigurasi. DDC Hardware (Gambar 3.6.) telah dikembangkan untuk menjamin bahwa peleahan dari batang daktail adalah sambungan lemah dari segala sistem.



Gambar 3.5. Sambungan Frame Balok-Kolom



Property	Ductile Rod	A 706 Reinforcing
Yield Strength, Minimum	50 ksi	60 ksi
Yield Strength, Maximum	1.10 Fy	1.36 Fy
Tensile Strength	1.50 Fy	1.30 Fy
Elongation	35 percent in 2 in	10 percent in 8 in

Note : 1 in = 25.4 mm ; 1 ksi = 6 895 MPa

Gambar 3.6. Dywidag Ductile Connector (DDC) Hardware

Pada pelaksanaan sambungan ini langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Tongkat daktail dimasukkan untuk menerima baut berkekuatan tinggi, disatukan dalam kolom menggunakan sebuah template untuk menjamin kelurusannya dengan pelat sambungan balok saat dirakit. Penyambungan pelat selalu dimasukkan untuk menerima balok

kekuatan tinggi (1034 Mpa) lalu menjadi kekuatan utama pada balok tersebut.

2. Setelah kolom bawah didirikan, maka balok pracetak dapat diletakkan dengan bantuan crane pada muka kolom dengan menggunakan *temporary erections angles* untuk melakukan ereksi. Temporary korbel ini dibuat untuk menahan berat dari balok dan pelat serta untuk menahan gaya geser beban mati akibat pelat . pada dasar digunakan baut dengan cara dikencangkan.

Konstruksi DPCF menjanjikan kecepatan pelaksanaannya sehingga sama dengan konsruksi baja. Setelah baut dimasukkan dan sambungan telah lengkap tidak perlu lagi pengelasan atau *grouting struktural* . Grout setempat dilakukan pada balok dan kolom, tetapi grout ini tidak struktural melainkan hanya memberikan proteksi pada baja saja. Penyaluran gaya disalurkan oleh baja yang terdapat pada pertemuan tersebut.

**BAB IV**  
**PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER**

## BAB IV

# PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

### 4.1. UMUM

Pada suatu struktur bangunan ada bagian-bagian yang tidak berfungsi sebagai struktur yang dapat menahan kekakuan dari gedung secara keseluruhan, tetapi dapat mengalami tegangan-tegangan akibat beban-beban yang bekerja langsung padanya atau perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian dari struktur bangunan ini dinamakan struktur sekunder. Struktur sekunder yang dimaksudkan dalam hal ini adalah meliputi pelat, balok anak dan tangga.

Dalam tugas akhir ini, perencanaan struktur sekunder dari gedung TELKOM Malang ini direncanakan menggunakan metoda pracetak.

### 4.2. PERENCANAAN PELAT PRACETAK

Sistem pelat yang dipakai adalah solid slab yaitu gabungan antara pelat pracetak dengan cor setempat yang akan membentuk suatu aksi komposit.

Perencanaan pelat dari beton pracetak dikerjakan melalui 2 (dua) fase perencanaan, yaitu :

1. Metode pracetak, yaitu fase daripada perencanaan beton pracetak itu sendiri sebelum beton tersebut dipasang (pada waktu pabrikasi) dan dirakit menjadi satu kesatuan dengan elemen struktur lainnya.
2. Pengecoran overtopping dari pelat lantai setelah elemen pelat lantai pracetak tersebut dipasang (pengecoran diatas pelat pracetak) pada akhir

penempatannya. Diharapkan dengan pengecoran overtopping tersebut beberapa elemen pelat yang dirakit dapat menjadi satu kesatuan yang monolit. Pada struktur gedung TELKOM Malang ini, pelat hanya direncanakan menerima beban gravitasi. Dalam perencanaan ini perletakan pelat diasumsikan sebagai jepit elastis meskipun dalam tinjauan ketebalan pelat merupakan perbandingan kekakuan antara pelat itu sendiri dengan balok menunjukkan bahwa perletakan yang terjadi sebenarnya merupakan jepit penuh.

Dengan perencanaan elemen pelat menggunakan elemen pelat pracetak, maka dalam pelaksanaannya anggapan bahwa kekakuan antara pelat dan baloknya tidak sekaku seperti dalam perencanaan. Oleh karena itu perletakan pelat pada keempat sisinya diasumsikan sebagai jepit elastis.

#### 4.2.1. Preliminary Design

##### 4.2.1.1. Perencanaan Dimensi Balok

Dimensi balok seperti disyaratkan pada SKSNI T-15-1991-03 adalah sebagai berikut :

###### □ Balok Utama

$$h = \frac{1}{16} \times L \times \left( 0.4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (\text{SK SNI 3.2.5-(a)})$$

$$1.5 \leq \frac{h}{b} \leq 2 \quad (\text{Wang - Salmon})$$

###### □ Balok Anak

$$h = \frac{1}{21} \times L \times \left( 0.4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (\text{SK SNI 3.2.5-(a)})$$

$$1.5 \leq \frac{h}{b} \leq 2 \quad (\text{Wang - Salmon})$$

dimana :

$L$  = bentang kotor balok (cm)     $f_y$  = mutu tulangan baja (Mpa)

**Hasil perhitungan :**

#### Balok Induk

$L = 6 \text{ m}$  (dua tumpuan)

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{16} \times L \times \left( 0.4 + \sqrt{\frac{f_y}{700}} \right) && (\text{SK SNI 3.2.5 - (a)}) \\ &= \frac{1}{16} \times 600 \times \left( 0.4 + \sqrt{\frac{320}{700}} \right) \\ &= 32.14 \approx 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

dengan syarat:

$1.5 \leq \frac{h}{b} \leq 2$  maka  $b = 40 \text{ cm}$  direncanakan 40/60

#### Balok Anak

$L = 6 \text{ m}$  (menerus)

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{21} \times L \times \left( 0.4 + \sqrt{\frac{f_y}{700}} \right) && (\text{SK SNI 3.2.5 - (a)}) \\ &= \frac{1}{21} \times 600 \times \left( 0.4 + \sqrt{\frac{320}{700}} \right) \\ &= 24.49 \approx 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

dengan syarat:

$1.5 \leq \frac{h}{b} \leq 2$  maka  $b = 30 \text{ cm}$

Jadi dimensi Balok Anak direncanakan 30/45

#### 4.2.1.2. Perencanaan Tebal Pelat

Preliminary design pelat dilakukan sebagai pelat satu arah atau pelat dua arah dan didesain hanya menerima beban lentur saja. Hal ini didasarkan pada dimensi dari pelat mempunyai perbandingan bentang panjang dan pendek yang tidak melebihi atau sama dengan 2 (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6.1.2)

Untuk memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum dari pelat harus memenuhi persyaratan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.3.3. yaitu :

$$h_1 = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5\beta\left[\alpha_m - 0.12\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]} \quad (\text{SK SNI psI 3.2.-12})$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h_2 = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{SK SNI psI 3.2.-13})$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h_3 = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \quad (\text{SK SNI psI 3.2.-14})$$

Ketiga perumusan diatas menggunakan nilai  $f_y$  dengan satuan MPa.

Dalam segala hal tebal minimum dari pelat tidak boleh kurang dari harga berikut :

- Untuk  $\alpha_m < 2$  ..... 120 mm
- Untuk  $\alpha_m \geq 2$  ..... 90 mm

dimana :

$L_n$  = panjang bentang bersih arah memanjang pelat

$\beta$  = rasio panjang bentang bersih arah memanjang pelat terhadap arah memendek pelat

$\alpha_m$  = nilai rata-rata dari  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

$\alpha$  = rasio dari kekakuan lentur penampang balok

terhadap kekakuan pelat

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

dimana :

$$E_{cb} = E_{cs}$$

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

$$I_s = \frac{1}{12} \times b_s \times t^3$$

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

$b_e$  = lebar efektif, harga minimum (Wang-Salmon)

- Interior

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t), \text{ dan}$$

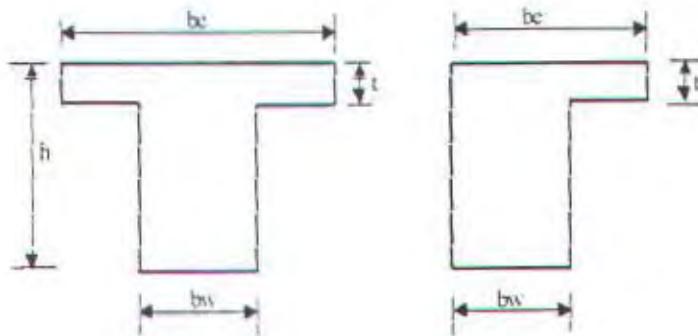
$$b_{e2} = b_w + 8t$$

- Ekterior

$$b_{e1} = b_w + (h - t), \text{ dan}$$

$$b_{e2} = b_w + 4t$$

dilambil lebar efektif ( $b_e$ ) yang terkecil.

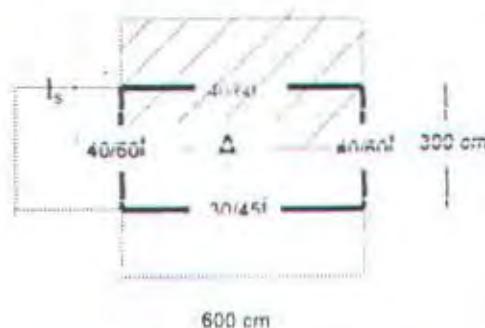


Gambar 4.1. Sket Dimensi Penampang Balok

Dari denah perencanaan, pelat atap dan pelat lantai telah ditentukan ukurannya dan jenis pelat adalah typikal serta termasuk pelat dua arah. Perhitungan dari tebal pelat ada pada lampiran.

#### Contoh Perhitungan Tebal Pelat

Pelat lantai A1



$$L_n = 600 - (40/2 + 40/2) = 560 \text{ cm}$$

$$S_n = 300 - (40/2 + 30/2) = 265 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{560}{265} = 2.11$$

Pelat dua arah.

Direncanakan tebal pelat adalah 12 cm.

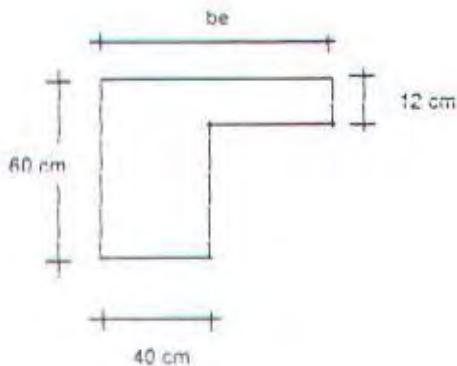
## Kontrol Tebal Pelat

Jenis Pelat : A (satu arah)

### □ Tinjauan Balok 1

Balok : 40/60

$$\begin{aligned} \text{be } 1 &= \text{bw} + (\text{h}-\text{t}) & \text{be } 2 &= \text{bw} + 4\text{t} \\ &= 40 + (60-12) & &= 40 + 4 \times 12 \\ &= 88 \text{ cm} & &= 88 \text{ cm} \end{aligned}$$



$$k = \frac{1 + \left( \frac{88-1}{40} \right) \left( \frac{12}{60} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{12}{60} \right) + 4 \left( \frac{12}{60} \right)^2 + \left( \frac{88-1}{40} \right) \left( \frac{12}{60} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{88-1}{40} \right) \left( \frac{12}{60} \right)}$$

$$= 1.304$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \times 1.304$$

$$= 938880 \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \times 300 \times 12^3$$

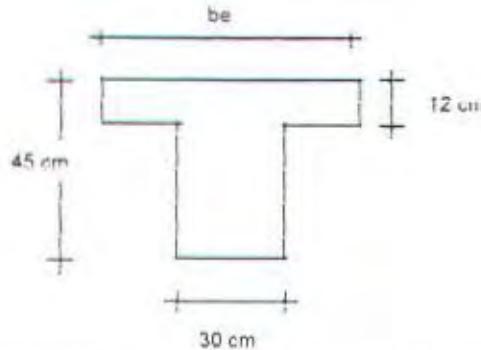
$$= 43200 \text{ cm}^4$$

$$\alpha l = \frac{I_b}{I_s} = 21.733$$

□ Tinjauan Balok 2

Balok : 30/45

$$\begin{aligned} \text{be } 1 &= \text{bw} + 2(\text{h}-\text{t}) & \text{be } 2 &= \text{bw} + 8\text{t} \\ &= 30 + 2(45-12) & &= 30 + 8 \times 12 \\ &= 96 \text{ cm} & &= 126 \text{ cm} \end{aligned}$$



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

$$= 1.64$$

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{1}{12} \times 30 \times 45^3 \times 1.64 \\ &= 373612.50 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{1}{12} \times 300 \times 12^3 \\ &= 43200 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

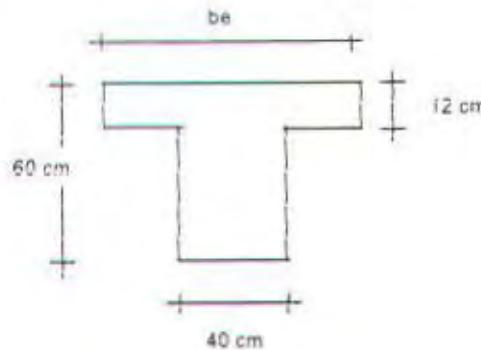
$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_s} = 8.65$$

□ Tinjauan Balok 3

Balok : 40/60

$$\begin{aligned} \text{be } 1 &= \text{bw} + 2(\text{h}-\text{t}) & \text{be } 2 &= \text{bw} + 8\text{t} \\ &= 40 + 2(60-13) & &= 40 + 8 \times 12 \end{aligned}$$

$$= 136 \text{ cm} \quad = 136 \text{ cm}$$



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

$$= 1.64$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \times 1.64$$

$$= 1180800 \text{ cm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \times 600 \times 12^3$$

$$= 86400 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_s} = 13.67$$

Untuk Balok 4 ( 40/60 )

$$I_s = 1/12 \times 300 \times 12^3$$

$$= 43200 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_4 = 27.33$$

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 : \alpha_4)$$

$$= \frac{1}{4} (21.733 + 8.65 + 13.67 + 27.33)$$

$$= 17.85$$

Untuk  $\alpha_m = 17.85 > 2$ , Maka tebal minimum pelat adalah 9 cm

Kontrol tebal pelat A berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.3.3

(SKSNI ps.3.2.-12)

$$h_1 = \frac{560 \times \left( 0.8 + \frac{320}{1500} \right)}{36 + 5 \times 2.11 \times \left[ 17.85 - 0.12 \times \left( 1 + \frac{1}{2.11} \right) \right]} \\ = 2.51 \text{ cm}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h_2 = \frac{560 \times \left( 0.8 + \frac{320}{1500} \right)}{36 + 9 \times 2.11} \quad (\text{SK SNI ps.3.2.-13}) \\ = 10.32 \text{ cm}$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h_3 = \frac{560 \times \left( 0.8 + \frac{320}{1500} \right)}{36} \quad (\text{SK SNI ps.3.2.-14}) \\ = 15.76 \text{ cm}$$

Jadi tebal pelat yang direncanakan, yaitu 12 cm telah memenuhi syarat dan bisa dipergunakan. Karena memiliki ukuran dimensi yang sama (typikal) untuk tebal pelat tipe lainnya dianggap sama dengan tebal pelat tipe A, yaitu sebesar 12 cm. Perhitungan kontrol tebal pelat untuk jenis pelat yang lainnya dicantumkan dalam tabel pada lampiran.

Karena elemen pelat merupakan elemen pelat pracetak maka dari tebal pelat yang didapat, direncanakan :

Untuk lantai 1-8 :

- Tebal pelat Pracetak : 8 cm

- Tebal overtopping : 4 cm
- Untuk atap :
  - Tebal pelat pracetak : 8 cm
  - Tebal overtopping : 3 cm

#### **4.2.2. Data Perencanaan Pelat**

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
- Tebal pelat pracetak = 8 cm
- Tebal overtopping = 4 cm (lantai), 3 cm (atap)

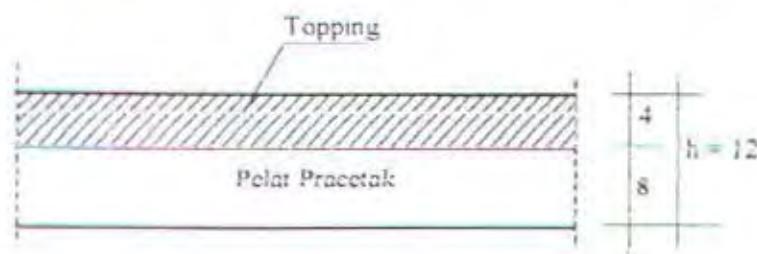
#### **4.2.3. Pembebanan Struktur Pelat**

Dalam pelaksanaannya, pelat direncanakan tidak menggunakan perancah (unproved). Untuk pembebanan dibedakan dalam dua kondisi yaitu sebelum komposit dan sesudah komposit. Beban yang bekerja sebelum komposit meliputi beban mati yang terdiri dari berat sendiri dan over topping sesaat sebelum terjadi komposit serta beban hidup berupa beban pekerjaan. Dengan perencanaan pelat tanpa perancah, maka pembebanan sesudah komposit berupa beban tambahan yang meliputi beban mati yaitu beban dari pemasangan utilitas dan tegel serta beban hidup.

Beban hidup sebelum komposit yaitu beban pekerja dianggap hilang pada saat komposit.

Pembebanan struktur pelat didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPI'83) tabel 2.1 dan tabel 3.1. beban

mati dan beban hidup yang bekerja pada pelat adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2. Sket Potongan Pelat Precast

□ Beban Mati (PPI'83 pasal 2.2.)

- Beton bertulang = 2400 kg/m<sup>2</sup>
- Tembok (1/2 bata) = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Plafond + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>
- Kusen + kaca = 40 kg/m<sup>2</sup>
- Ducting AC + pipa = 30 kg/m<sup>2</sup>
- Tegel (1 cm) = 24 kg/m<sup>2</sup>

□ Beban Hidup (PPI'83 pasal 3.1 dan pasal 3.2)

- Pelat atap gedung = 100 kg/m<sup>2</sup>
- Lantai perkantoran = 250 kg/m<sup>2</sup>

Beban-beban yang bekerja pada pelat :

1. Pembebanan Pelat lantai

- Sebelum Komposit

**Beban Mati**

- Berat sendiri pelat =  $0.08 \times 2400 = DL = 192 \text{ kg/m}^2$
- Over Topping =  $0.03 \times 2400 = DL = 72 \text{ kg/m}^2$   
 $288 \text{ kg/m}^2$

**Beban Hidup**

- Beban Pekerja LL =  $100 \text{ kg/m}^2$

- Sesudah Komposit

**Beban mati**

- Plafond + penggantung =  $18 \text{ kg/m}^2$
  - Tegel ( $t = 3 \text{ cm}$ ) =  $0.03 \times 2400 = 72 \text{ kg/m}^2$
  - Spesi ( $t = 3 \text{ cm}$ ) =  $0.03 \times 2100 = 63 \text{ kg/m}^2$
  - Ducting AC + Pipa =  $30 \text{ kg/m}^2$
- DL =  $183 \text{ kg/m}^2$

**Beban Hidup**

- PPI'83 tabel 3.1 LL =  $250 \text{ kg/m}^2$

**2. Pembebanan Pelat Atap**

- Sebelum Komposit

**Beban Mati**

- Berat sendiri pelat =  $0.08 \times 2400 = DL = 192 \text{ kg/m}^2$
- Over Topping =  $0.03 \times 2400 = DL = 72 \text{ kg/m}^2$   
 $264 \text{ kg/m}^2$

### Beban Hidup

- PPI'83 pasal 3.2  $LL = 100 \text{ kg/m}^2$

- Sesudah Komposit

### Beban mati

- Plafond + penggantung  $= 18 \text{ kg/m}^2$
- Aspal ( $t = 2 \text{ cm}$ )  $= 0.03 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$
- Spesi ( $t = 3 \text{ cm}$ )  $= 0.03 \times 2100 = 63 \text{ kg/m}^2$
- Ducting AC + Pipa  $= 30 \text{ kg/m}^2 +$   
 $DL = 139 \text{ kg/m}^2$

### Beban Hidup

- PPI'83 tabel 3.2  $= 100 \text{ kg/m}^2$
- Air Hujan  $= 40 \text{ kg/m}^2 +$   
 $140 \text{ kg/m}^2$

#### 4.2.4. Kombinasi Pembebatan

Beban ultimate yang didapat dari kombinasi pembebatan berikut ini didasarkan pada SK SN111-15-1991-03 ayat 3.2.2 butir 1.

##### A. Pelat Lantai

*Sebelum Komposit*

$$Qu = 1.2 DL + 1.6 LL$$

$$= 1.2 \times 288 + 1.6 \times 100$$

$$= 505.60 \text{ kg/m}^2$$

*Sesudah Komposit*

$$\begin{aligned}
 Qu &= 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} \\
 &= 1.2 \times 183 + 1.6 \times 250 \\
 &= 619.60 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

## B. Pelat Atap

*Sebelum Komposit*

$$\begin{aligned}
 Qu &= 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} \\
 &= 1.2 \times 264 + 1.6 \times 100 \\
 &= 476.8 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

*Sesudah Komposit*

$$\begin{aligned}
 Qu &= 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} \\
 &= 1.2 \times 139 + 1.6 \times 140 \\
 &= 390.80 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

### 4.2.5. Perhitungan Pelat Pracetak

#### 4.2.5.1. Pemodelan dan Analisa Gaya Dalam

Pada perencanaan permodelannya dan analisa pelat terbagi :

1. Pelat pracetak yaitu sebelum komposit, perletakannya bebas. Jadi pelat pracetak tersebut direncanakan menggunakan tulangan lapangan saja. Setelah pelat pracetak dipasang berikut topping (beton belum mengeras), perletakannya tetap bebas.
2. Kemudian setelah topping mengeras dan finishing terpasang yaitu setelah komposit, maka perletakannya jepit-jepit. Jadi disini perhitungan tulangan terjadi pada daerah tumpuan dan lapangan. Untuk tulangan

tumpuan dipasang pada topping, sedangkan tulangan lapangannya dijumlahkan pada tulangan lapangan sebelum komposit.

Perhitungan gaya dalam ( momen-momen ) pelat sebelum dan sesudah komposit, menggunakan tabel koefisien momen dari PBI '71 tabel 13.3.2 , dengan anggapan pelat sebelum komposit adalah sendi dan sesudah komposit adalah jepit elastis.

#### **4.2.5.2. Perencanaan Penulangan Pelat**

Untuk mempermudah pelaksanaan konstruksi dilapangan, jarak dan diameter tulangan pelat sedapat mungkin diusahakan seragam antara pelat yang satu dengan yang lain pada tiap lantainya. Untuk itu pada perhitungan tulangan pelat diambil hanya pada keadaan yang dianggap kritis, sedangkan untuk pelat yang lainnya dapat diseragamkan dengan pelat yang dianggap kritis tadi.

Perhitungan tulangan dilakukan dengan tiga tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit, tahap kedua pada saat pelaksanaan dan tahap ketiga penulangan setelah komposit..

Dalam penulangan elemen pelat ini penulis menyusun langkah-langkah dalam penulangan lentur sebagai berikut :

1. Diberikan data-data  $d$ ,  $f_y$ ,  $f_c'$  dan  $M_u$
2. Menetapkan batas-batas harga perbandingan tulangan yang dapat dipilih sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

dimana ketentuan  $\beta_1$  adalah :

$$\beta_1 = 0.85 \quad \text{untuk } 0 < f_{c'} \leq 30 \text{ MPa}$$

$$= 0.85 - 0.008 (f_{c'} - 30) \quad \text{untuk } 30 < f_{c'} < 55 \text{ MPa}$$

$$= 0.65 \quad \text{untuk } f_{c'} \geq 55 \text{ MPa}$$

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

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

### 3. Hitung harga tulangan $\rho$ yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right] \quad \text{dengan harga } m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_{c'}}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

### 4. Hitung $A_s$ dan pilih tulangan serta jarak penulangannya

$$A_s = \rho b d ; \quad A_s \text{ susut} = 0.002 b d$$

Dalam perhitungan penulangan pelat ini penulis hanya menyajikan satu contoh perhitungan, sedangkan perhitungan yang lainnya disajikan dalam bentuk tabel.

Adapun pelat yang akan disajikan perhitungannya adalah pelat lantai type A dengan ukuran  $2.85 \times 5.80 \text{ m}^2$ . Dengan data-data perencanaan sebagai berikut :

⊕ Tebal selimut beton = 20 mm

⊕  $\phi$  tulangan rencana = 10 mm

⊕ Mutu beton ( $f_{c'}$ ) = 30 MPa

⇒ Mutu baja (fy) = 320 Mpa

⇒  $\beta = 0.85$

$$\Rightarrow \rho_b = \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{320} \left[ \frac{600}{600 + 320} \right] = 0.044$$

$$\Rightarrow \rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.033$$

$$\Rightarrow \rho_{min} = \frac{1.4}{320} = 0.004375 \quad m = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.55$$

⇒

#### 4.2.5.3. Perhitungan Tulangan Pelat Sebelum Komposit

□ Data-data perencanaan :

Tebal Pelat = 80 mm

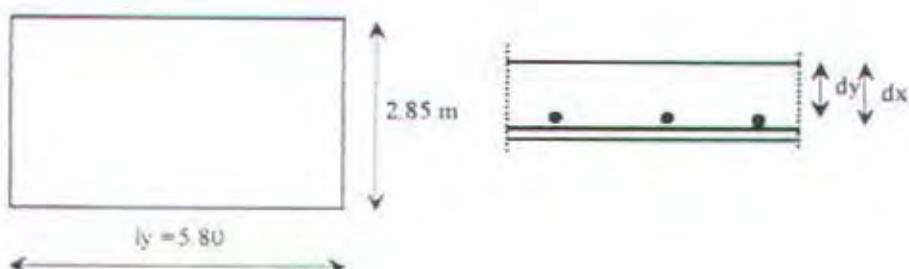
Decking = 20 mm

$dx = 80 - 20 - (1/2 \times 10) = 55$  mm

$dy = 80 - 20 - 10 - (1/2 \times 10) = 45$  mm

$Q_{ultimate} = 505.60 \text{ kg/m}^2$

Perletakan = bebas



$$Ly/Lx = 580/285 = 2.04$$

Dari tabel 13.3.1 koefisien momen PBI 1971 didapat nilai x :

$$Cx = 100 \quad Cy = 37$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_{lx} &= -M_{tx} = 0.001 \cdot q \cdot l x^2 \cdot C_x \\ &= -0.001 \times 505.6 \times 2.85^2 \times 100 \\ &= 410.674 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= -M_{ty} = 0.001 \cdot q \cdot l y^2 \cdot C_y \\ &= 0.001 \times 505.6 \times 5.8^2 \times 37 \\ &= 629.31 \text{ kgm} \end{aligned}$$

□ Penulangan arah X

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{0.411 \times 10^7}{0.8 \times 1000 \times 55^2} \\ &= 1.698 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.698}{320}} \right] \\ &= 0.00549 \end{aligned}$$

ternyata  $\rho_{\min} = 0.004375 < \rho_{\text{ada}} < \rho_{\max} = 0.033$

maka dipakai  $\rho = 0.00549$

As perlu =  $\rho \cdot b \cdot d = 0.00549 \times 1000 \times 55 = 302.33 \text{ mm}^2$

□ Penulangan arah Y

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{0.629 \times 10^7}{0.8 \times 1000 \times 45^2} \\ &= 3.88 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 3.88}{320}} \right] \\ &= 0.0132 \end{aligned}$$

ternyata  $\rho_{\min} = 0.004375 < \rho_{\text{ada}} < \rho_{\max} = 0.033$

maka dipakai  $\rho = 0.0132$

As perlu =  $\rho \cdot b \cdot d = 0.0132 \times 1000 \times 45 = 595 \text{ mm}^2$

#### 4.2.5.4. Perhitungan Tulangan Pelat Setelah Komposit

- Data-data perencanaan :

Tebal Pelat = 130 mm

Decking = 20 mm

$$dx = 120 - 20 - (1/2 \times 10) = 95 \text{ mm}$$

$$dy = 120 - 20 - 10 - (1/2 \times 10) = 85 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{Ultimate}} = 619.60 \text{ kg/m}^2$$

Perletakan = jepit elastis

$$Ly/Lx = 580/285 = 2.04$$

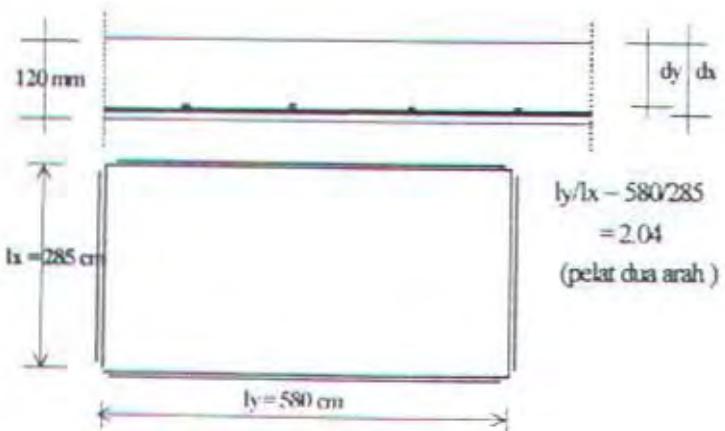
Dari tabel 13.3.2. PBI 1971, koefisien momennya :

$$Cx = 62 \quad Cy = 35$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_{lx} &= -M_{tx} = 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C_x \\ &= 0.001 \times 619.60 \times 2.85^2 \times 62 \\ &\approx 312.027 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= -M_{ty} = 0.001 \cdot q \cdot l_y^2 \cdot C_y \\ &= 0.001 \times 619.60 \times 5.8^2 \times 35 \\ &\approx 764.84 \text{ kgm} \end{aligned}$$



□ Penulangan arah X

$$R_n = \frac{0.312E7}{0.8 \times 1000 \times 95^2} \\ = 0.432 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.432}{320}} \right] \\ = 0.00136 < \rho_{min} = 0.0044$$

maka dipakai  $\rho = \rho_{min} = 0.0044$

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

$$= 0.0044 \times 1000 \times 95 \\ = 418 \text{ mm}^2$$

□ Penulangan arah Y

$$R_n = \frac{0.764E7}{0.8 \times 1000 \times 85^2} \\ = 1.322 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.965}{320}} \right] \\ = 0.00424 < \rho_{min} = 0.0044$$

maka dipakai  $\rho = \rho_{min} = 0.0044$

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= p \cdot b \cdot d \\ &= 0.0044 \times 1000 \times 85 \\ &= 371.875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang dibutuhkan :

Penulangan arah X

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= 302.33 + 418 \\ &= 720.33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pada SKSNI T-15-1991-03 psl 1.16.6.5 disebutkan :

Jarak tul. lentur utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat = 360 mm

$$\leq 500 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan lentur  $\phi 13 - 150$

$$\begin{aligned} As \text{ ada} &= 132.72 \times (1000/150) \\ &= 884.8 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 720.33 \text{ mm}^2 \dots, \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As_{\text{ada}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ &= \frac{884.8}{1000 \times 95} \\ &= 0.00931 > \rho_{\text{min}} = 0.004375 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{884.8 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ &= 11.10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= \phi \cdot As \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0.8 \times 884.8 \times 320 \times \left( 95 - \frac{11.10}{2} \right) \\ &= 2.026 \times 10^7 \text{ Nmm} > M_{lx} = 0.411 \times 10^7 \text{ Nmm} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

$$M_x \text{ Maks} = 0.411 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \left( \frac{b}{2} \right) t^2$$

$$= \frac{1}{6} \left( \frac{5800}{2} \right) 120^2$$

$$= 6.96 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton umur 3 hari :

$$f_{cr} = 0.7 \sqrt{0.4 \times 30} = 2.425 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M}{Z} = \frac{4.11 \times 10^6}{6.96 \times 10^6} = 0.591 \text{ MPa} < 2.425 \text{ MPa}$$

Penulangan arah Y

$$A_s \text{ perlu} = 595 + 371.875$$

$$= 966.875 \text{ mm}^2$$

Pada SKSNI T-15-1991-03 psl 1.16.6.5 disebutkan :

Jarak tul. lentur utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat = 360 mm

$$\leq 500 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan lentur  $\phi 13 - 180$

$$A_s \text{ ada} = 132.72 \times (1000/150)$$

$$= 1020.92 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 966.875 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_{s_{\text{ada}}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ = \frac{1020.92}{1000 \times 85} \\ = 0.012 > \rho_{\min} = 0.004375 \quad \dots \dots \text{OK}$$

$$a = \frac{1020.92 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ = 12.812 \text{ mm}$$

$$Mu = \phi \cdot As \cdot fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0.8 \times 1020.92 \times 320 \times \left( 85 - \frac{12.812}{2} \right) \\ = 2.054 \times 10^7 \text{ Nmm} > M_{ly} = 0.764 \times 10^7 \text{ Nmm} \quad \dots \dots \text{OK}$$

Kontrol tegangan :

$$M_y \text{ Maks} = 0.764 \times 10^7 \text{ N mm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \left( \frac{a}{2} \right) t^2 \\ = \frac{1}{6} \left( \frac{2850}{2} \right) 120^2 \\ = 3.48 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton umur 3 hari :

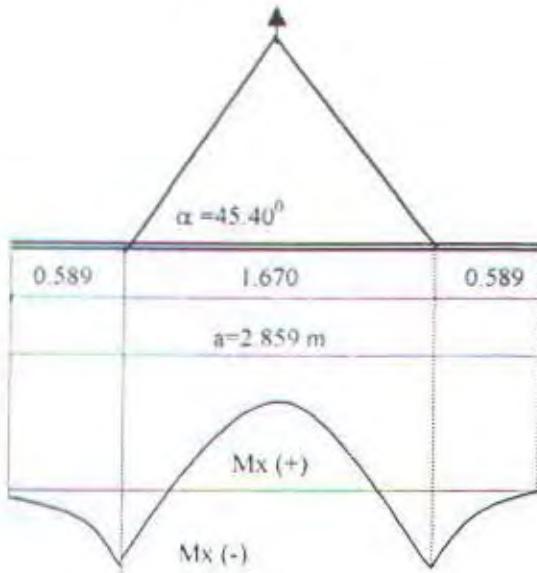
$$f_{cr}' = 0.7 \sqrt{0.4 \times 30} = 2.425 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M}{Z} = \frac{7.64 \times 10^6}{3.48 \times 10^6} = 2.198 \text{ MPa} < 2.425 \text{ MPa}, \dots \dots \text{OK!}$$

#### 4.2.5.5. Perhitungan Tulangan Saat Pelaksanaan

##### 1. Penulangan Lentur Pelat Saat Pengangkatan (Stripping)

Arah Melintang, X



Untuk 4 titik pengangkatan :

$$M_x \text{ maks} = - M_x \text{ maks} = 0.0054 w a^2 b$$

Ditahan oleh :

$$15 t = 15 (80) = 1200 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{4} = \frac{5800}{4} = 1450 \text{ mm}$$

Jadi diambil 1200 mm

$$Z = \frac{1}{6} (15 t) t^2 = \frac{1}{6} (1200) 80^2$$

$$Z = 1.28 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$w = 1.2 (2400 \times 0.08) = 230.40 \text{ kg/m}^2$$

$$M_x = 0.0054 (230.40) 2.85^2 (5.80)$$

$$= 58.61 \text{ kNm}$$

$$= 5.861 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

Akibat Sudut Pengangkatan

$$M_\theta = 1.2 P \frac{Y_c}{\tan \theta}$$

$$= 1.2 \left( \frac{2400 \times 0.8 \times 2.85 \times 5.8}{4(2)} \right) \frac{0.06}{\tan 45.40^\circ}$$

$$= 28.17 \text{ kgm} = 2.817 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{total}} = (5.861 + 2.817) \times 10^5 = 8.678 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

### Penulangan Arah X

$$M_x = 8.678 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

$$dx = 55 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{8.678 \times 10^5}{0.8 \times 1000 \times 55^2} = 0.359$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.359}{320}} \right)$$

$$= 0.00112 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{\min} = 0.004375$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.004375 (1000) 55 = 240.625 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\emptyset 13-200$

$$A_{S_{\text{ada}}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_{s_{\text{ada}}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ = \frac{663.6}{1000 \times 55} \\ = 0.012 > \rho_{\min} = 0.004375 \quad \dots \dots \text{OK}$$

$$a = \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ = 8.33 \text{ mm}$$

$$Mu = \phi \cdot A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 55 - \frac{8.33}{2} \right) \\ = 8.636 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_{lx} = 8.678 \times 10^5 \text{ Nmm} \quad \dots \dots \text{OK}$$

#### Kontrol Tegangan :

$$f_c = 30 \text{ MPa pada umur 28 hari}$$

$$f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0.4 \times 30 = 12 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0.63 \times 30 = 19.5 \text{ MPa}$$

#### Tegangan lentur tarik beton :

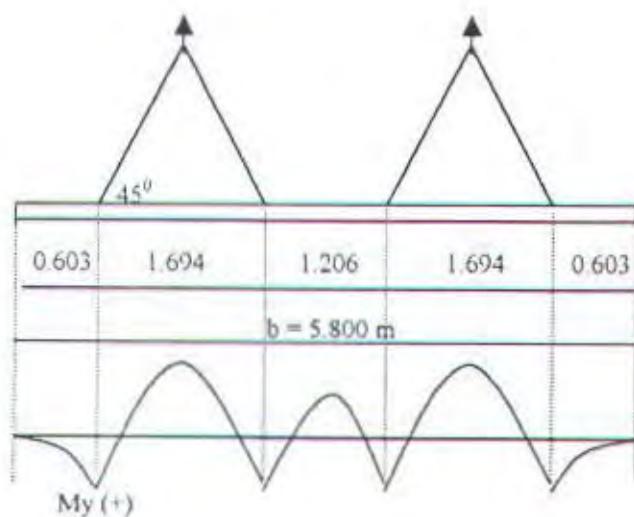
$$f_t' (3 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{12}$$

$$= 2.425 \text{ MPa}$$

$$f_t' (7 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{19.5}$$

$$= 3.091 \text{ MPa}$$

$$f_b = f_t = \frac{M_i}{Z} = \frac{8.678E+05}{1.28E+06} \\ = 0.678 \text{ MPa} \leq 2.425 \text{ MPa}, \dots \dots \text{OK!}$$

Arah Memanjang YUntuk 4 titik pengangkatan :

$$M_{y \text{ maks}} = -M_{y \text{ maks}} = 0.0027 w a^2 b$$

Ditahan oleh :

$$\frac{a}{2} = \frac{2850}{2} = 1450 \text{ mm}$$

$$b = 5800 \text{ mm}$$

$$t = 80 \text{ mm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \left( \frac{a}{2} \right) t^2 = \frac{1}{6} (1450) 80^2$$

$$Z = 1.52E+06 \text{ mm}^3$$

$$w = 1.2 (2400 \times 0.08) = 230.40 \text{ kg/m}^2$$

$$M_y = 0.0027 (1.2 \times 2400 \times 0.08) 2.85 (5.80^2)$$

$$= 59.64 \text{ kgm}$$

$$= 5.964E+05 \text{ Nmm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan

$$\begin{aligned}
 M_\theta &= 1.2 P \frac{Y_C}{\tan \theta} \\
 &= 1.2 \left( \frac{2400 \times 0.08 \times 2.85 \times 5.80}{4(2)} \right) \frac{0.06}{\tan 45^\circ} \\
 &= 28.566 \text{ kgm} = 2.857 \times 10^5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{total}} = (5.964 + 2.857) \times 10^5 = 8.821 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

Penulangan Arah Y

$$My = 8.821 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

$$dy = 45 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{8.821 \times 10^5}{0.8 \times 1000 \times 45^2} = 0.545$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.545}{320}} \right)$$

$$= 0.0017 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{\min} = 0.004375$

$$As_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.004375 (1000) 45 = 196.88 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\text{Ø}13-200$

$$As_{\text{ada}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_{s\text{ ada}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ &= \frac{663.6}{1000 \times 45} \\ &= 0.0147 > \rho_{\min} = 0.004375 \quad \dots \text{OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ &= 8.33 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mu &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 45 - \frac{8.33}{2} \right) \\ &= 6.937 \times 10^5 \text{ Nmm} > M_{lx} = 8.821 \times 10^5 \text{ Nmm} \quad \dots \text{OK}\end{aligned}$$

Kontrol Tegangan :

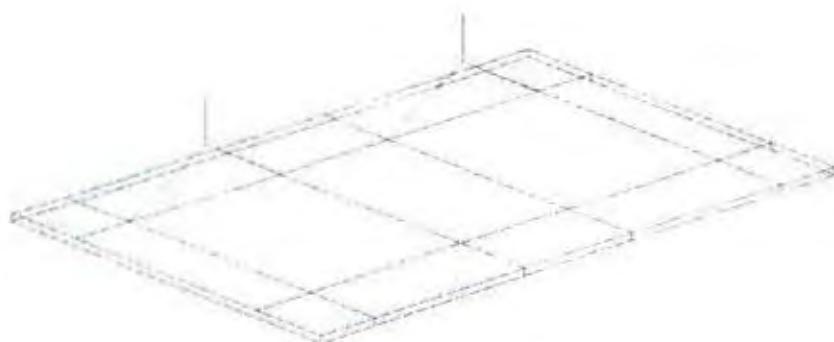
$$f_b = f_t = \frac{M_r}{Z} = \frac{8.821E+05}{1.52E+06} = 0.58 \text{ MPa} \leq 2.425 \text{ MPa} \dots \text{OK!}$$

Kesimpulan :

Untuk pengangkatan pelat pada umur beton 3 hari digunakan 8 titik pengangkatan dengan penempatan titik sebagai berikut :

## 2. Penulangan Lentur Pelat Saat Pemutaran Pelat

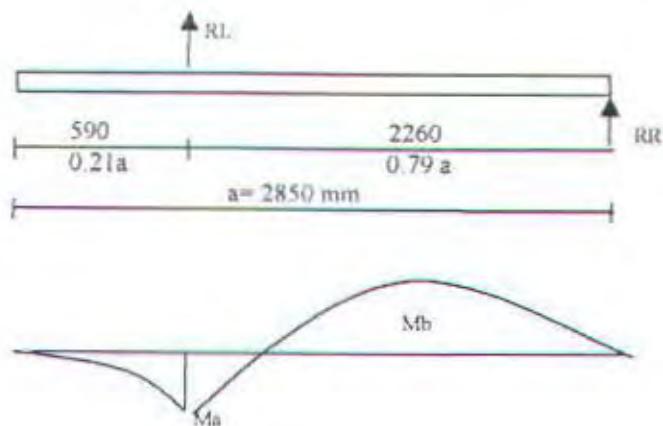
Pemutaran pelat dilakukan pada saat beton umur 7 hari



gambar : Pengangkatan dengan pemutaran pada pelat.

### Arah Melintang X

Dua titik pengangkatan untuk rotasi



$$w = 1.2 \times 2400 \times 0.08 \left( \frac{5.800}{2} \right) = 334.08 \text{ kg/m}$$

$$R_L = \frac{\frac{1}{2} w a^2}{2.260} = \frac{\frac{1}{2} (334.08) 2.85^2}{2.260} = 600.35 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} R_R &= (w \times a) - R_L \\ &= (334.08 \times 2.85) - 600.35 \\ &= 351.778 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{2} w (0.590)^2 \\ &= \frac{1}{2} (334.08) 0.590^2 = 58.15 \text{ kNm} \\ &= 5.815 \times 10^5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_b \text{ maksimum pada } \frac{R_R}{w} = \frac{351.778}{334.08} = 1.053 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= R_R (1.053) - \frac{1}{2} w (1.053)^2 \\
 &= 351.778 (1.053) - \frac{1}{2} (334.08) 1.053^2 \\
 &= 185.21 \text{ kgm} = 1.851 \times 10^6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### Penulangan Arah X

$$M_x = 1.851 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$dx = 55 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{1.851 \times 10^6}{0.8 \times 1000 \times 55^2} = 0.7645$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.7645}{320}} \right)$$

$$= 0.0024 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{\min} = 0.004375$

$$A_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.004375 (1000) 55 = 240.625 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 13-200$

$$A_{\text{ada}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > A_{\text{perlu}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

### Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s_{\text{ada}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\
 &= \frac{663.6}{1000 \times 55} \\
 &= 0.0012 > \rho_{\min} = 0.004375 \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ = 8.33 \text{ mm}$$

$$Mu = \phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 55 - \frac{8.33}{2} \right) \\ = 8.636 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_{lx} = 1.85 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad \dots \text{OK}$$

### Kontrol Tegangan :

$$f_c = 30 \text{ MPa pada umur 28 hari}$$

$$f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0.4 \times 30 = 12 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0.63 \times 30 = 19.5 \text{ MPa}$$

### Tegangan lentur tarik beton :

$$f_{r'} (3 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{12} \\ = 2.425 \text{ MPa}$$

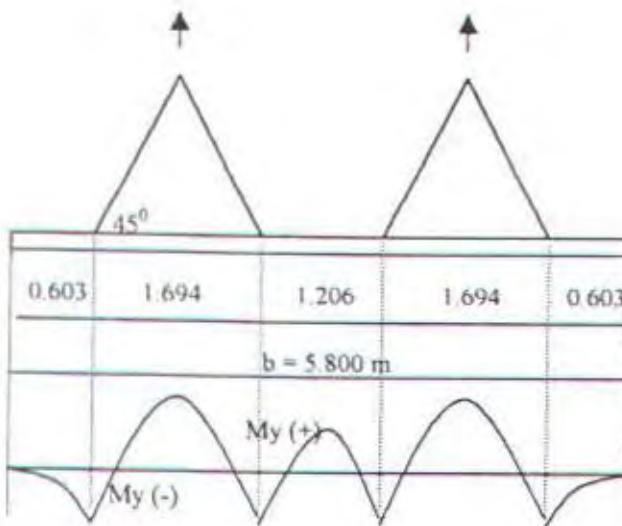
$$f_{r'} (7 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{19.5} \\ = 3.091 \text{ MPa}$$

$$f_a = \frac{M_t}{Z} = \frac{5.81E+05}{1.28E+06} \\ = 0.453 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa} \dots \text{OK!}$$

$$f_b = \frac{M_b}{Z} = \frac{1.85E+06}{1.28E+06} \\ = 1.445 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa} \dots \text{OK!}$$

### Arah Melintang Y

Digunakan 4 titik pengangkatan untuk rotasi



Dari perhitungan sebelumnya diperoleh ;

$$My = 5.964E+05 \text{ Nmm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan

$$M_\theta = 1.2 P \frac{Y_c}{\tan \theta}$$

$$= 1.2 \left( \frac{2400 \times 0.08 \times 2.85 \times 5.80}{4} \right) \frac{0.06}{\tan 45^\circ}$$

$$= 14.283 \text{ kgm} = 1.43E+05 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{total}} = (5.964 + 1.43)E+05 = 7.392E+05 \text{ Nmm}$$

### Penulangan Arah Y

$$My = 7.392E+05 \text{ Nmm}$$

$$dy = 45 \text{ mm}$$

$$R_a = \frac{7.392E+05}{0.8 \times 1000 \times 45^2} = 0.401$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.401}{320}} \right)$$

$$= 0.0013 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{min} = 0.004375$

$$A_s_{perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.004375 (1000) 45 = 196.88 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 13-200$

$$A_{s_{ada}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_{s_{ada}}}{b \times d_{ada}} \\ &= \frac{663.6}{1000 \times 45} \\ &= 0.015 > \rho_{min} = 0.004375 \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ &= 8.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 45 - \frac{8.33}{2} \right) \\ &= 6.937 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_{lx} = 7.392 \times 10^5 \text{ Nmm} \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Tegangan :

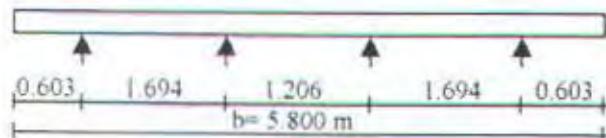
$$\begin{aligned} f_b = f_t &= \frac{M_t}{Z} = \frac{7.392 E + 05}{1.52 E + 06} \\ &= 0.486 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa}, \dots \dots \text{OK!} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

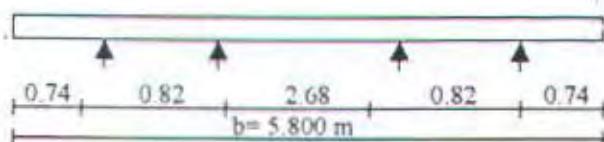
Untuk pemutaran pelat pada umur beton 7 hari digunakan 4 titik pengangkatan pada satu sisi dengan dudukan pasir pada sisi lain.

### Penulangan pelat saat pangangkutan ( shipping )

Menggunakan 4 titik penyangga



Jarak ini terlalu besar untuk pengangkutan karena truk akan mengalami defleksi dan selama perjalanan akan membutuhkan tambahan penyangga.  
Jadi jarak antar titik diperpendek



Distribusi momen untuk kondisi ini adalah :

$$M_a = 0.0082 wl^2$$

$$= 0.0082 (1.7 \times 2400 \times 0.008 \times 2.85) 5.8^2$$

$$= 25.66 \text{ kgm} = 2.566\text{E+06 Nmm}$$

$$M_b = 0.014 wl^2$$

$$= 0.014 (1.7 \times 2400 \times 0.008 \times 2.85) 5.8^2$$

$$= 43.80 \text{ kgm} = 4.38\text{E+06 Nmm}$$

$$M_h = 0.0125 wl^2$$

$$= 0.0125 (1.7 \times 2400 \times 0.008 \times 2.85) 5.8^2$$

$$= 39.20 \text{ kgm} = 3.92\text{E+06 Nmm}$$

$$Z = \frac{1}{6} (2850) 80^2$$

$$= 3.04E+06 \text{ mm}^3$$

Penulangan pelat saat pengangkutan ( shipping )

$$M_{\max} = 4.38E+06 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{4.38E+06}{0.8 \times 1000 \times 45^2} = 2.703$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 2.703}{320}} \right)$$

$$= 0.00895 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{\text{perlu}} = 0.0895$

$$A_s_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.00895 (1000) 45 = 402.75 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 13-200$

$$A_s_{\text{ada}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > A_s_{\text{perlu}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s_{\text{ada}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ &= \frac{663.6}{1000 \times 45} \\ &= 0.0148 > \rho_{\min} = 0.004375 \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ &= 8.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu &= \phi \cdot As \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0.8 \times 663.6 \times 320 \times (45 - 8.33/2) \\
 &= 6.937 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_{lx} = 4.38 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

#### Kontrol Tegangan :

$$f_c = 30 \text{ MPa pada umur 28 hari}$$

$$f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0.4 \times 30 = 12 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0.63 \times 30 = 19.5 \text{ MPa}$$

#### Tegangan lentur tarik beton :

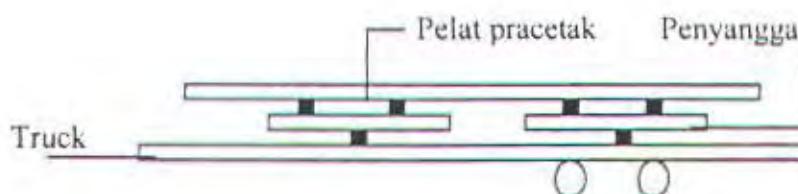
$$f_{r'} (3 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{12}$$

$$= 2.425 \text{ MPa}$$

$$f_{r'} (7 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{19.5}$$

$$= 3.091 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 f_b = f_t &= \frac{M_t}{Z} = \frac{4.38E+06}{3.04E+06} \\
 &= 1.441 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa} \dots \dots \text{OK!}
 \end{aligned}$$



#### Kesimpulan :

Untuk pengangkutan pelat pada umur beton 7 hari digunakan 4 titik peyangga dengan dua titik penyangga pada truk.

Hasil perhitungan penulangan pelat lantai type A

Tahap	Penulangan Arah X	Penulangan Arah Y
Lapangan X	$\emptyset 10 - 180$	D10 - 200
Tumpuan X	D10 - 180	-
Lapangan Y	D10 - 140	D10 - 100
Tumpuan Y	D10 - 140	-

Kesimpulan, dipasang :

Arah	Tumpuan	Lapangan
X	D10 - 180	D10 - 180
Y	D10 - 100	D10 - 100

#### Tulangan susut

Dipasang tegak lurus dengan arah tulangan lentur dengan Luas : As susut =

$0.00196 \times b \times d$  SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12.2.1

$$= 0.00196 \times 1000 \times 95$$

$$= 186.2 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antara tulangan susut, adalah :

$S_{\max} \leq 5t$  atau  $500 \text{ mm}$  SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12.2.2

$$5t = 5 \times 120 = 600 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ada}} = (78.54 / 186.2) \times 1000 = 421.81 \text{ mm}$$

dipakai tulangan susut :  $\emptyset 10 - 400$  ( $A_s = 196.35 \text{ mm}^2 > 186.20 \text{ mm}^2$ )

#### 4.2.6. Kontrol Lendutan dan Retak

##### 4.2.6.1. Kontrol Lendutan

Karena tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tebal minimum pelat seperti yang disyaratkan SKSNI T-15-03-1991 pasal 3.2.5.3 dan juga , maka tidak perlu dilakukan kontrol lendutan terhadap pelat.

##### 4.2.6.2. Kontrol Retak

Lebar retak diperhitungkan jika tulangan yang digunakan memakai  $f_y > 413$  MPa (Chu Kia Wang & Charles G Salmon). Sedangkan mutu tulangan yang dipakai pada perencanaan pelat ini mempunyai nilai  $f_y = 320$  MPa, sehingga kontrol retak tidak perlu dilakukan.

#### 4.2.7. Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Penyaluran tulangan pada perencanaan ini didasarkan pada SKSNI T-15-1991-03

$$1. I_{dh} \geq 8 \text{ db} = 8 \times 10 = 80 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI T-15-1991-03 psl 3.5.5.1})$$

$$2. I_{dh} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI T-15-1991-03 psl 3.5.5.1})$$

$$3. I_{hh} = \frac{100 \text{ db}}{\sqrt{f_c}} \quad (\text{SKSNI T-15-1991-03 psl 3.5.5.2})$$

$$= \frac{100 \times 10}{\sqrt{30}}$$

$$= 182.57 \text{ mm}$$

$$4. I_{dh} \geq \frac{I_{hh} \cdot f_y}{400} \quad (\text{SKSNI T-15-1991-03 psl 3.5.5.1})$$

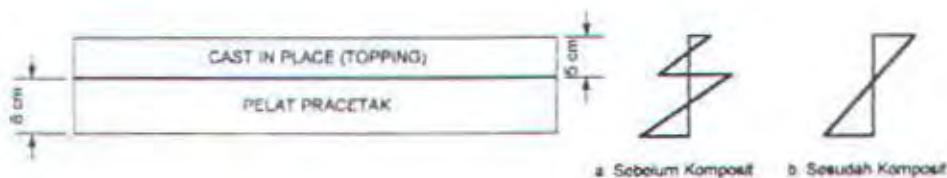
$$> \frac{182.57 \times 320}{400}$$

$$> 146.056 \text{ mm}$$

maka, diambil panjang penyaluran pelat  $l_{dh} = 200 \text{ mm}$

#### 4.2.8. Penulangan Stud Pelat Lantai

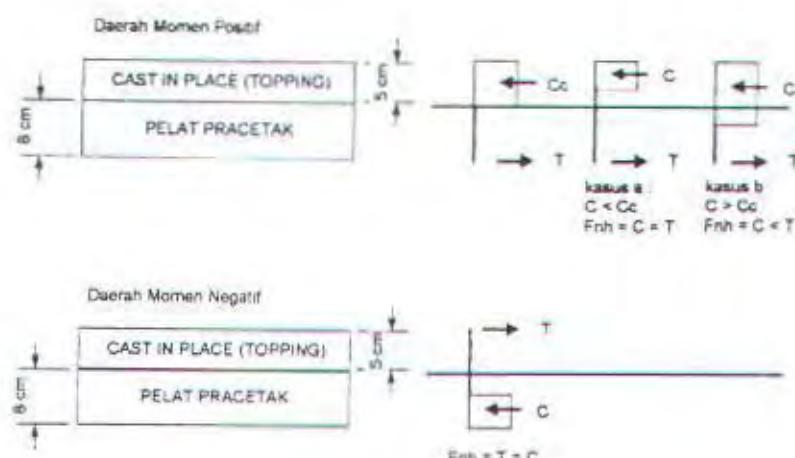
Sesuai dengan konsep undereinforced yang mengharuskan bahwa daerah tekan pada penampang pelat komposit masih mampu memikul regangan yang terjadi (sebelum terjadi retak pada beton) pada saat tulangan tarik mengalami regangan lelehnya. Dengan kata lain, tegangan yang terjadi saat itu harus mampu dipikul oleh seluruh penampang.



Gambar 4.3. Diagram tegangan pada daerah lapangan pelat lantai sebelum dan sesudah komposit.

Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen pracetak dengan elemen cor ditempat. Stud harus mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen, sehingga kedua elemen tersebut dapat menjadi satu elemen komposit dalam memikul beban.

Menurut SKSNI T-15-1991-03 psI 3.10.5.3. gaya geser horisontal boleh diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik di dalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horisontal ke elemen-elemen pendukung.



Gambar 4.4. Geser horisontal pada pelat komposit

Dari gambar diatas dilukiskan ada dua macam kasus yang terjadi pada penampang pelat didaerah momen komposit, yaitu :

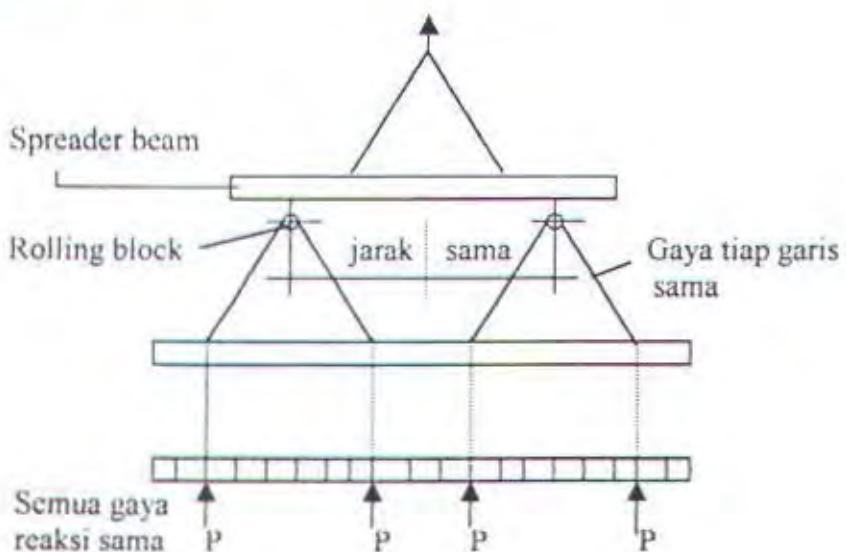
- a. Gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- b. Gaya tekan elemen komposit lebih dari elemen cor setempat

#### 4.2.8.1 Perhitungan Tulangan Angkat Pelat.

##### 4.2.8.1.1 Dasar Pertimbangan saat Pelaksanaan

Pengangkatan elemen pracetak direncanakan menggunakan 8 titik pengangkatan. Saat pengangkatan ada kemungkinan terjadinya kemiringan tertentu sehingga elemen pracetak menjadi tidak benar-benar horizontal. Akibatnya gaya angkat pada masing-masing titik tidak sama.

Untuk menentukan agar gaya angkat tiap titik angkat sama, maka ujung pengangkatan dikaitkan pada suatu rolling block sehingga menjadi kaku dan konstan dan diperoleh gaya tarik tiap titik sama, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



**Pelat pracetak diangkat dengan 8 titik pengangkatan.**

Beban-beban yang bekerja:

$$\text{Berat pelat} = 0.08 \times 2400 \times 5.8 \times 2.85 = 3173.76 \text{ kg}$$

$$\text{Stud + tulangan angkat} = 1\% 3173.76 = \underline{\underline{31.74 \text{ kg}}}$$

$$\text{Total beban mati} = 3205.50 \text{ kg}$$

Beban hidup 2 orang pekerja =  $2 \times 100 = 200 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} Tu &= 1.2(3205.50) + 1.6(200) \\ &= 4166.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya tarik tiap titik pengangkatan :

$$\begin{aligned} T &= \frac{Tu}{8} \sin \theta = \frac{4166.6}{8} \sin 35.45^\circ \\ &= 302.08 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tegangan tarik baja mutu 320 MPa yang diijinkan menurut PPBBI pasal 2.22 adalah :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tarik ijin}} &= \frac{f_y}{1.5} = \frac{3200}{1.5} \\ &= 2133.33 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga } \phi \text{ tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 302.08}{\pi \times 2133.33}} = 0.425 \text{ cm}$$

Dipakai Diameter  $\phi 10 \text{ mm}$

Akibat gaya horisontal

$$T_1 = \frac{Tu}{8} \cos 35.45^\circ = 520.83 \cos 35.45^\circ = 424.28 \text{ kg}$$

$$H_i = T_1 \cos 44.59^\circ = 424.28 \cos 44.59^\circ = 303.01 \text{ kg}$$

$$H_j = T_1 \sin 45.098^\circ = 424.28 \sin 44.59^\circ = 298.71 \text{ kg}$$

Menurut PPBBI pasal 2.2.6 tegangan geser yang diijinkan adalah 0.58 kali tegangan dasar.

Sehingga:

$$\sigma \leq 0.58\sigma_{\text{dasar}} = 0.58 \times 2133.33$$

$$= 1237.14 \text{ kg/cm}^2$$

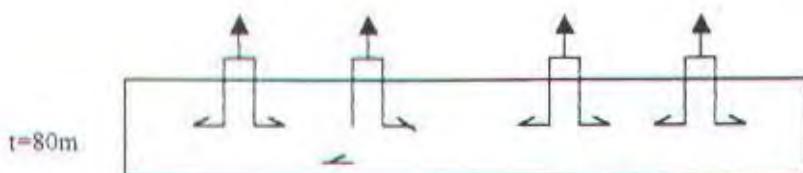
Maka diameter tulangan angkat  $H_i = \sqrt{\frac{4 \times 303.01}{\pi \times 1237.14}} = 0.558 \text{ cm}$

Dan diameter tulangan angkat  $H_j = \sqrt{\frac{4 \times 298.71}{\pi \times 1237.14}} = 0.555 \text{ cm}$

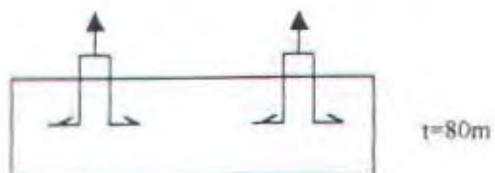
Jadi dipasang tulangan 10 -  $\phi 8 \text{ mm}$  sebagai tulangan angkat pelat.

Gambar sket pemasangan tulangan angkat

- Arah Memanjang Y



- Arah Melintang X



### 4.3. PERENCANAAN BALOK ANAK PRACETAK

#### 4.3.1. Data-data Perencanaan

- Mutu Beton ( $f'_c$ ) : 30 MPa
- Mutu Baja ( $f_y$ ) : 320 MPa
- Dimensi Balok Anak : 30 cm x 45 cm (bentang 5.8 m)

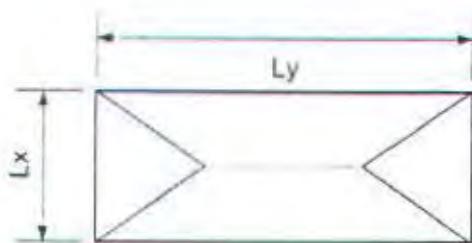
#### 4.3.2. Pembebanan Balok Anak

##### 4.3.2.1. Type-type Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada balok anak tersebut adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata diatasnya). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban segitiga pada lajur yang pendek serta beban trapesium pada lajur yang panjang. Beban-beban berbentuk trapesium maupun segitiga tersebut kemudian dirubah menjadi beban merata ekivalen dengan menyamakan momen maksimumnya.

Beban ekivalen tersebut digunakan sebagai beban merata pada balok anak maupun balok induk untuk perhitungan analisa strukturnya.

Adapun perumusan beban ekivalen dapat diturunkan sebagai berikut :

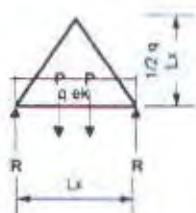


Beban pada pelat adalah =  $q \text{ kg/m}$

Gambar 4.11. Distribusi beban pada balok akibat beban pelat

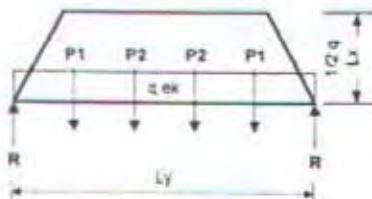
Variasi pembebanan dan beban ekivalen yang terjadi pada perhitungan balok anak ini antara lain :

1. Beban Ekivalen Segitiga



$$q_{ek} = \frac{1}{3} \cdot q \cdot L_x$$

## 2. Beban Ekivalen Trapesium

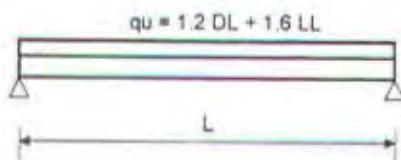


$$q_{ek} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L_x \cdot \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right]$$

### 4.3.2.2. Pola Pembebanan Balok

Ada 2 (dua) macam pola pembebanan pada balok anak yaitu :

#### 1. Pola Pembebanan Sesudah Komposit



Keterangan :

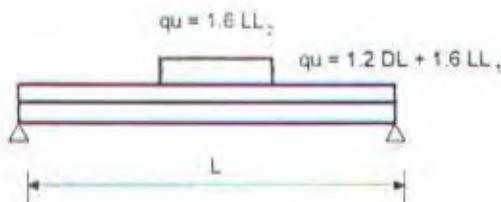
$$DL = DL_1 + DL_2$$

$DL_1$  = Beban sendiri balok

$DL_2$  = Beban trapesium ekivalen pelat akibat beban mati

$LL$  = Beban trapesium ekivalen pelat akibat beban hidup

#### 2. Pola Pembebanan Sebelum Komposit



Keterangan :

$$DL = DL_1 + DL_2$$

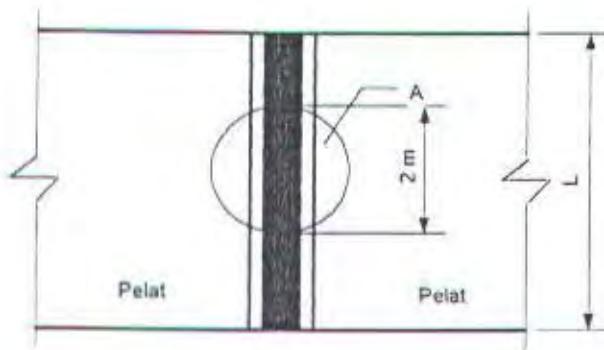
$DL_1$  = Beban sendiri balok

$DL_2$  = Beban trapesium ekivalen pelat akibat beban mati

$LL_1$  = Beban trapesium ekivalen pelat akibat beban hidup

$LL_2$  = Beban hidup akibat penempatan material topping

Untuk pembebanan material untuk pengecoran overtopping pada balok dapat dijelaskan sebagai berikut :



Keterangan :

$A$  = Luasan penempatan material pengecoran overtopping yang dibawa oleh bucket berkapasitas  $1 \text{ m}^3$ , yang diasumsikan berbentuk lingkaran dengan diameter 2 m

$V$  = Kapasitas bucket =  $1 \text{ m}^3$

#### 4.3.2.3. Perhitungan Pembebanan

Dimensi Balok Anak : 30/45

Bentang Balok Anak : 5.8 m

Beban-beban yang bekerja :

1. Sebelum Komposit

□ Beban Mati

Berat sendiri balok ( $DL_1$ ) =  $0.33 \times 0.30 \times 2400 = 237.60 \text{ kg/m}$

Berat trapesium ekivalen pelat ( $q_d = 192 \text{ kg/m}^2$ ) :

$$\begin{aligned} q_{ek} = DL_2 &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_d \times Lx \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 192 \times 2.85 \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2.85}{5.8} \right)^2 \right] \\ &= 503.16 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$DL = DL_1 + DL_2$$

$$= 237.60 + 503.16$$

$$= 740.76 \text{ kg/m}$$

□ Beban Hidup

Beban trapesium ekivalen pelat ( $q_L = 100 \text{ kg/m}^2$ ) :

$$\begin{aligned} q_{ek} = LL_1 &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_d \times Lx \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 100 \times 2.85 \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2.85}{5.8} \right)^2 \right] \\ &= 262.06 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Cast In Place} = LL_2 = 1754.4 \text{ kg/m}$$

## 2. Sesudah Komposit

□ Beban Mati

Berat sendiri balok ( $DL_1$ ) =  $0.30 \times 0.45 \times 2400 = 324 \text{ kg/m}$

Berat trapesium ekivalen pelat ( $q_d = 183 \text{ kg/m}^2$ ) :

$$\begin{aligned}
 q_{ek} = DL_2 &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_d \times Lx \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 183 \times 2.85 \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2.85}{5.8} \right)^2 \right] \\
 &= 479.57 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DL &= DL_1 + DL_2 \\
 &= 324 + 479.57 \\
 &= 803.57 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

□ Beban Hidup

Beban trapesium ekivalen pelat ( $q_L = 250 \text{ kg/m}^2$ ) :

$$\begin{aligned}
 q_{ek} = LL &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_d \times Lx \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 250 \times 2.85 \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2.85}{5.8} \right)^2 \right] \\
 &= 655.50 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Pembebatan :

1. Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 qu &= (1.2 \times DL + 1.6 \times LL_1) + 1.6 \times LL_2 \\
 &= (1.2 \times 740.76 + 1.6 \times 262.06) + 1.6 \times 1754.4 \\
 &= 4115.25 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Sesudah Komposit

$$\begin{aligned}
 qu &= 1.2 \times DL + 1.6 \times LL \\
 &= 1.2 \times 803.57 + 1.6 \times 655.50 \\
 &= 2013.084 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok anak dibedakan antara sebelum komposit dan sesudah komposit. Pada keadaan sesudah komposit, perhitungan dilakukan dengan menggunakan koefisien momen dan koefisien gaya lintang yang sesuai dengan PBI 1971 dengan menganggap balok anak ditumpu oleh dua perletakan sederhana. Sedangkan pada keadaan sebelum komposit, perhitungan dilakukan dengan program bantu SAP 90.

Setelah gaya-gaya dalam balok diketahui, selanjutnya akan dihitung kebutuhan penulangan balok baik sebelum komposit maupun sesudah komposit. Pada akhirnya penulangan yang akan dipakai adalah penulangan yang membutuhkan lebih banyak dari kedua keadaan, sebelum atau sesudah komposit.

#### 4.3.3. Penulangan Balok Anak

##### 4.3.3.1. Penulangan Lentur dan Geser Balok Anak

###### A. Langkah-langkah Penulangan Lentur Balok Anak

1. Data perencanaan :

$$f'_c = 30 \text{ MPa} \quad f_y = 320 \text{ MPa}$$

$\phi = 0.8$  (faktor reduksi untuk lentur tanpa beban aksial)

2. Menetapkan harga :

Diameter tulangan lentur : D-19 ( $A_s = 283.53 \text{ mm}^2$ )

Diameter sengkang : D-10 ( $A_s = 78.5 \text{ mm}^2$ )

Decking : 40 mm

3. Hitung d

- Setelah komposit

$$d = h - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan utama}$$

□ Sebelum komposit

$$d = h - \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan utama}$$

4. Menetapkan batas-batas harga perbandingan tulangan yang dapat dipilih :

$$\rho_b = \frac{0.85.f'_c.\beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$  (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2.(7)) maka :

nilai  $\beta_1 = 0.85$

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.(3)})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5})$$

5. Menentukan  $\rho_{\text{perlu}}$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

dimana :

$$m = \frac{f_y}{0.85.f'_c}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi.b.d}$$

Jika :  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min} \rightarrow$  dipakai  $\rho_{\min}$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\max} \rightarrow$  tulangan tekan diperhitungkan

6. Menentukan  $A_s$  dan jumlah tulangan :

Tarik :  $A_s = \rho b d$

Tekan :

Bila  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$   $\rightarrow$  tulangan tekan dipakai praktis saja,

yaitu minimal 2 buah atau

$$As' = 20\% As$$

### B. Langkah-langkah Penulangan Geser Balok Anak

1. Data :

$$Vu = \text{gaya geser berfaktor} = D$$

$$\text{Faktor reduksi}, \phi = 0.6$$

Diameter tulangan sengkang : 10 mm

2. Gaya geser nominal beton :  $Vn = Vu/\phi$

3. Cek :

*Diminta untuk menentukan  $bw$  d*

Bila tidak memenuhi, perbesar penampang.

4. Bila  $\phi Vc > Vn \geq \frac{1}{2} \phi Vc \rightarrow$  gunakan tulangan geser minimum

yaitu :  $Av = bw s / 3 f_y$

5. Bila  $Vn > \phi Vc \rightarrow$  tulangan geser harus diberikan sehingga

$$Vn \leq \phi(Vc + Vs)$$

dimana :

Kuat geser nominal tulangan geser :

$$Vs = Av f_y d / s \quad (\text{u/ sengkang vertikal})$$

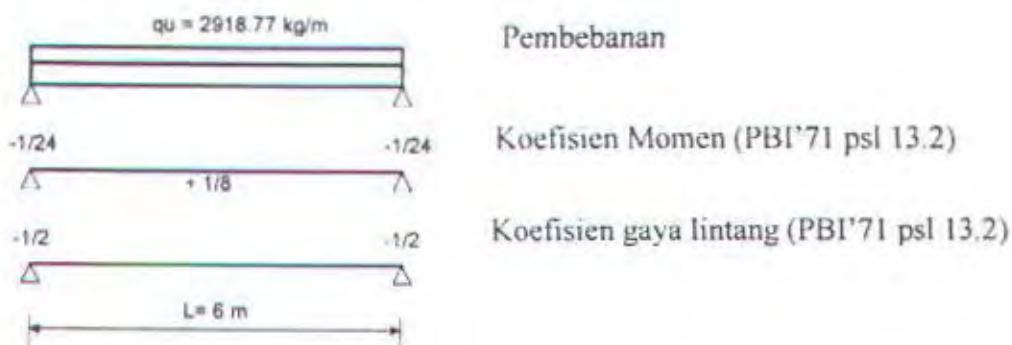
$$Vs = Av f_y d / s (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (\text{u/ sengkang miring})$$

6. Jarak maksimum :  $S_{\max} = d/2 < 600 \text{ mm}$

Bila  $V_s > 1/3 \sqrt{f'_c} bw d$ , maka  $S_{max} = d/4 < 300 \text{ mm}$

#### 4.3.3.2. Contoh Perhitungan Penulangan Balok Anak

##### A. Sesudah Komposit



$$\text{Momen} = \text{koefisien} \times q_u \times L^2$$

$$\text{Gaya Lintang} = \text{koefisien} \times q_u \times L$$

sehingga :

$$\text{Mu lapangan} = 1/8 \times 2013.084 \times 5.8^2 = 8465.02 \text{ kgm}$$

$$\text{Mu tumpuan} = 1/24 \times 2013.084 \times 5.8^2 = 2821.676 \text{ kgm}$$

$$\text{Gaya lintang (Vu)} = \frac{1}{2} \times 2013.084 \times 5.8 = 5837.94 \text{ kg}$$

##### Penulangan Lentur Balok Anak

###### Data perencanaan :

- Mutu bahan :  $f_y = 320 \text{ MPa}$
- $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- Decking = 40 mm
- $d = h - \text{decking} - \text{diameter tul. geser} - \frac{1}{2} \text{ diameter tul. lentur}$   
 $= 450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 19$   
 $= 390.5 \text{ mm}$

maka :

$$\rho_b = \frac{0.85.f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f_y} \right] \quad \text{SKSNI T - 15 - 1991 - 03 psI 3.1.4.3}$$

$$= \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{320} \left[ \frac{600}{600+320} \right]$$

$$= 0.044$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b$$

$$= 0.033$$

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

$$= \frac{1.4}{320}$$

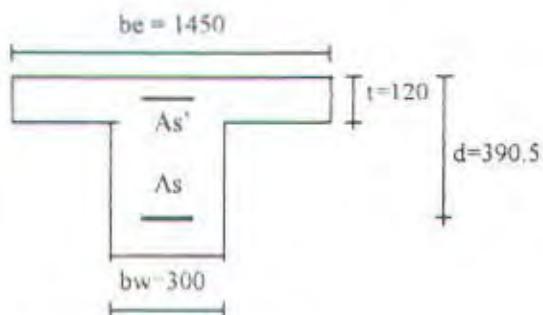
$$= 0.004375$$

$$m = \frac{f_y}{0.85.f_c'}$$

$$= \frac{320}{0.85 \times 30}$$

$$= 12.55$$

### Daerah Lapangan



$$\text{Mu lapangan} = 8465.02 \text{ kgm} = 8.465 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

Asumsi awal :

$a < t$  : balok T palsu (balok berpenampang persegi) dengan lebar  $be$  menentukan lebar efektif balok :

$$be \leq \frac{1}{4} L \quad = \frac{1}{4} \times 5800 = 1450 \text{ mm}$$

$$be \leq bw - 16t = 300 + (16 \times 120) = 2220 \text{ mm}$$

$$be \leq L_n = 5800 \text{ mm}$$

diambil yang terkecil,  $be = 1450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{8.465 \times 10^7}{0.8 \times 1450 \times 390.5^2} \\ &= 0.489 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.489}{320}} \right] \\ &= 0.00154 \end{aligned}$$

maka  $\rho_{\text{min}} = 0.004375 > \rho_{\text{perlu}} = 0.0022$  (pakai  $\rho_{\text{min}} = 0.004375$ )

As perlu =  $\rho b d$

$$= 0.004375 \times 300 \times 390.5$$

$$= 515.46 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 2 D 19 (As ada =  $2 \times 283.53 = 567.06 \text{ mm}^2$ )

$$= 567.06 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 515.46 \dots \text{OK}$$

Kontrol penampang :

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As}.f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot be} \\ &= \frac{567.06 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1450} \\ &= 4.9 \text{ mm} < t \text{ pelat} = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Balok T palsu} \end{aligned}$$

sehingga anggapan awal diatas sudah tepat, jadi perhitungannya dapat dikatakan sudah benar.

### Daerah Tumpuan

$$Mu \text{ tumpuan} = 2821.67 \text{ kgm} = 2.82 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{2.82 \times 10^7}{0.8 \times 300 \times 390.5^2} \\ = 0.723 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.723}{320}} \right] \\ = 0.00229 \leq \rho_{\text{min}} = 0.004375$$

Maka  $\rho_{\text{perlu}} = 0.004375$

As perlu =  $\rho b d$

$$= 0.004375 \times 300 \times 390.5 \\ = 515.46 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 2 D 19

As ada = 2 x 283.53

$$= 567.06 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 515.46 \dots \dots \dots \text{OK}$$

### Penulangan Geser Balok Anak

Gaya geser berfaktor :

$$V_u = 5837.94 \text{ kg} = 58379.4 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{58379.4}{0.6} = 97299 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 390.5 \\ = 106942.69 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 106942.69 \\ = 64165.69 \text{ N}$$

Kuat geser beton maximal :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b w d \\
 &= \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 300 \times 390.5 \\
 &= 427771.32 \text{ N}
 \end{aligned}$$

syarat :

$$\begin{aligned}
 V_n &< V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b w d \\
 97299 \text{ N} &< 106942.83 + 427771.32 \\
 97299 \text{ N} &< 534714.15 \text{ N} \rightarrow \text{penampang tidak berubah}
 \end{aligned}$$

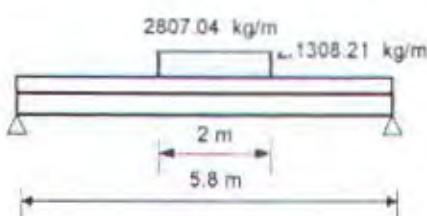
$$\begin{aligned}
 V_n &> \phi V_c \\
 97299 \text{ N} &> 64165.69 \text{ N} \rightarrow \text{perlu tulangan geser} \\
 V_s &= V_n - V_c \\
 &= 97299 - 106942.83 \\
 &= 37164.39 \text{ N}
 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v f_y d}{V_s} \\
 &= \frac{2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times 320 \times 390.5}{37164.39} \\
 &= 168.12 \text{ mm} \\
 s_{\max} &< \frac{d}{2} = \frac{390.5}{2} = 195.25 \text{ mm} \\
 &< 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan geser D10-190 untuk daerah di luar  $d$ . Sedangkan untuk daerah sejarak  $d$  dari tumpuan diambil sebesar  $d/4 = 390.5/4 = 97.625 \text{ mm}$  dan dipasang D10-90.

### Sebelum Komposit



Dengan menggunakan program bantu SAP 90 didapat besarnya gaya-gaya dalam max sebagai berikut (input dan output dapat dilihat dalam lampiran) :

$$M_{lap} = 11983.77 \text{ kgm}$$

$$V_u = 6508.22 \text{ kg}$$

### **Penulangan Lentur Balok**

#### **Data perencanaan :**

- Mutu bahan :  $f_y = 320 \text{ MPa}$

$$f_{c'} = 30 \text{ MPa}$$

- Decking = 40 mm

- $d = h - \text{decking} - \text{diameter tul. geser} - \frac{1}{2} \text{ diameter tul. lentur}$

$$= 330 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 19$$

$$= 270.50 \text{ mm}$$

maka :

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f_{c'}}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \quad \text{SKSNI T-15-1991-03 psI 3.1.4.3}$$

$$= \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{320} \left[ \frac{600}{600 + 320} \right]$$

$$= 0.044$$

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b$$

$$= 0.033$$

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

$$= \frac{1.4}{320}$$

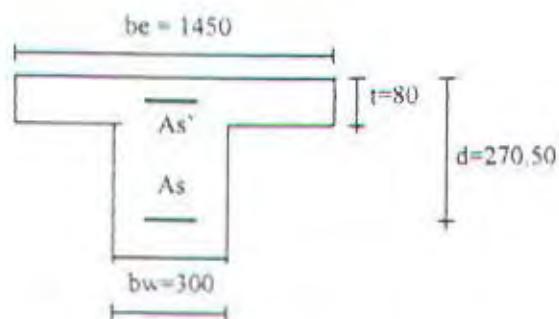
$$= 0.004375$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{320}{0.85 \times 30}$$

$$= 12.55$$

### Daerah Lapangan



$$\text{Mu lapangan} = 11983,77 \text{ kgm} = 1.198 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

Asumsi awal :

$a < t$ ; balok T palsu (balok berpenampang persegi) dengan lebar  $be$  menentukan lebar efektif balok :

$$be \leq \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 5800 = 1450 \text{ mm}$$

$$be \leq bw + 16t = 300 + (16 \times 120) = 2220 \text{ mm}$$

$$be \leq L_n = 5800 \text{ mm}$$

diambil yang terkecil,  $be = 1450 \text{ mm}$

$$R_n = \frac{1.198 \times 10^6}{0.8 \times 1450 \times 270.5^2} \\ = 1.412 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.412}{320}} \right] \\ = 0.0045$$

maka  $\rho_{\min} = 0.004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0.0045 < \rho_{\max} = 0.033$  (pakai  $\rho_{\text{perlu}} = 0.0045$ )

As perlu = p b d

$$= 0.0045 \times 300 \times 270.50 \\ = 368.58 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan Tulangan :

Tulangan Lapangan :

$$As_{\text{perlu}} = 515.46 + 368.58$$

$$= 884.04 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 4 D 19 (As=283.53 mm<sup>2</sup>)

$$As \text{ ada} = 4 \times 283.53$$

$$= 1134.12 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Kontrol penampang :

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b_e} \\ = \frac{1134.12 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1450} \\ = 9.81 \text{ mm} < t \text{ pelat} = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Balok T palsu}$$

sehingga anggapan awal diatas sudah tepat, jadi perhitungannya dapat dikatakan sudah benar.

### Tulangan Tumpuan :

$$A_{s\text{ perlu}} = 515.46 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 2 D 19

$$A_{s\text{ ada}} = 2 \times 283.53$$

$$= 567.06 \text{ mm}^2 > A_{s\text{ perlu}} \dots \dots \dots \text{OK}$$

### **Penulangan Geser Balok**

Gaya geser berfaktor :

$$V_u = 6508.22 \text{ kg} = 65082.20 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{65082.20}{0.6} = 108470.33 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 270.50 \\ &= 74079.48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 74079.48 \\ &= 44447.69 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser beton maximal :

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 300 \times 270.50 \\ &= 296317.90 \text{ N} \end{aligned}$$

syarat :

$$V_n < V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$10847.33 \text{ N} < 74079.48 + 296317.90$$

$$10847.33 \text{ N} < 370396.48 \text{ N} \rightarrow \text{penampang tidak berubah}$$

$$V_n > \phi V_c$$

$$145752 \text{ N} > 89607.41 \text{ N} \rightarrow \text{perlu tulangan geser}$$

$$V_s = V_c - V_n$$

$$= 108470.33 - 74079.48$$

$$= 34390.85 \text{ N}$$

maka :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{Av.fy.d}{Vs} \\
 &= \frac{2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times 320 \times 270.50}{34390.85} \\
 &= 125.85 \text{ mm} \\
 s_{\max} < \frac{d}{4} &= \frac{270.50}{4} = 67.625 \text{ mm} \\
 &< 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan geser D10-60 untuk daerah sejarak d dari muka tumpuan. Sedangkan daerah diluar d diambil sejarak d/2 = 135.25, dipasang D10-130.

#### B. Pemasangan Tulangan Akhir

Dari perhitungan penulangan balok anak pada kedua keadaan, baik sesudah komposit maupun sebelum komposit didapat :

Kondisi Pembebaan	Penulangan Lentur		Penulangan Geser
	Lapangan	Tumpuan	
Sebelum Komposit	2 D 19	-	D 10 – 130
Sesudah Komposit	2 D 19	2 D 19	D10 – 190

Dari kedua keadaan tersebut, diambil harga yang menentukan yaitu yang membutuhkan tulangan terbanyak yaitu :

##### 1. Penulangan Lentur

Daerah Lapangan : 2 D 19

Daerah Tumpuan : 2 D 19

##### 2. Penulangan Geser : D10 - 130 untuk daerah diluar d

D10 – 60 untuk daerah sejarak d dari tumpuan.

## 4.4. PERENCANAAN TANGGA

### 4.4.1. Umum

Konstruksi tangga dibuat dengan sistem pracetak, dimana anak tangga dibuat sebagai pelat bersama dengan bordes.

Pembuatan semua komponen rangka beton pracetak harus berulang dan dalam jumlah yang cukup besar untuk memberikan kelayakan secara ekonomis.

Landasan untuk tumpuan tangga beton pracetak pada daerah lantai yang dicor monolith atau pada struktur frame yang biasanya dibuat sederhana. Lubang diantara dua pelat bordes dapat dicor dengan beton yang kontinyu dan pada tepi bordes atau pelat injakan, besi tulangan diteruskan sampai keluar untuk menambah kekuatan dan mengurangi injakan.

### 4.4.2. Data-data Perencanaan

- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 320 MPa
- Lebar tangga : 300 cm
- Tinggi antar lantai : 500 cm

### 4.4.3. Perhitungan Pelat Tangga

Syarat perencanaan :

- $60 < 2t + l < 60$  ( dalam cm )
- Batas kemiringan tangga ( $\alpha$ ) :  $25^\circ < \alpha < 40^\circ$

- $i = \text{lebar injakan} \geq 22.5 \text{ cm}$  ( untuk umum )
- $t = \text{tinggi injakan} < 19.5 \text{ cm}$  ( untuk umum )

Direncanakan :

Lebar injakan ( $i$ ) – 26 cm  $> 22.5 \text{ cm}$

Tinggi injakan ( $t$ ) = 17.5 cm  $< 19.5 \text{ cm}$

Kontrol :  $60 < 2 \times 17.5 + 26 < 62$

$$60 < 61 < 62 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Jadi konstruksi tangga dirancang sebagai berikut :

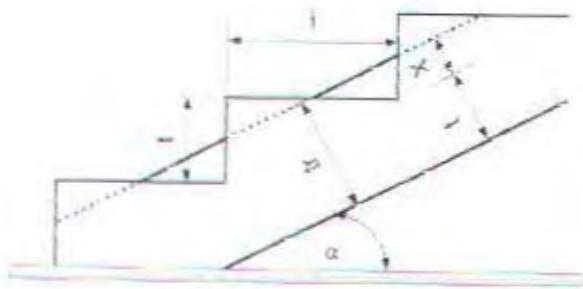
- Tebal pelat tangga dan bordes = 16 cm
- Tinggi injakan ( $t$ ) = 17.5 cm
- Lebar injakan ( $i$ ) = 26 cm
- Beda tinggi lantai ke bordes = 250 cm
- Jumlah tanjakan,  $n$  =  $\frac{250}{17.5} = 14.30 \approx 15$
- Jarak Horizontal,  $L$  =  $15 \times 26 = 390 \text{ cm}$
- Sudut kemiringan tangga ( $\alpha$ ) =  $\arctan \frac{250}{390} = 32.67^\circ < 40^\circ$
- Perhitungan tebal pelat rata-rata :

$$\text{Luas segitiga I} = \text{luas segitiga II}$$

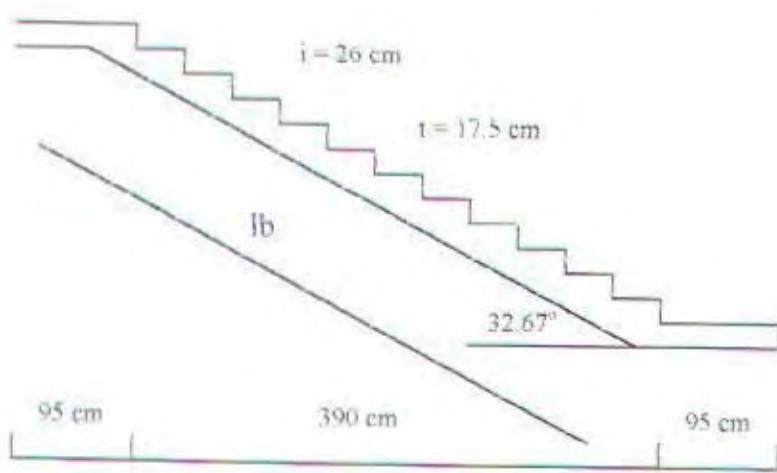
$$0.5 \times (26/2) \times (17.5/2) = 0.5 \times \sqrt{(17.5/2)^2 + (26/2)^2} \times X$$

$$\text{Diperoleh } X = 7.26 \approx 7 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal pelat rata-rata (tr)} &= \text{tebal pelat tangga} + X \\ &= 16 + 7 \\ &= 23 \text{ cm}\end{aligned}$$



Gambar 4.10. Dimensi Anak Tangga



Gambar 4.11. Denah Tangga Pracetak

#### 4.4.4. Pembebanan Tangga dan Bordes

Beban-beban yang bekerja pada tangga meliputi berat sendiri tangga ditambah beban hidup merata diatasnya.

### A. Pelat Tangga

- Beban Mati

- Pelat tangga =  $(0.23 \times 2400) / \cos 32.67^\circ = 655.74 \text{ kg/m}^2$

- Spesi + tegel =  $3 \times (21+24) = 135 \text{ kg/m}^2$

- Sandaran = 50 kg/m<sup>2</sup> +

$$\text{DL.} = 840.74 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup LL = 300 Kg/m<sup>2</sup>

Maka :

$$qu = 1.2 \text{ DL.} + 1.6 \text{ LL.}$$

$$= 1.2 \times 840.74 + 1.6 \times 300$$

$$= 1488.89 \text{ kg/m}^2$$

### B. Pelat Bordes

- Beban Mati

- Pelat bordes =  $0.16 \times 2400 = 384 \text{ kg/m}^2$

- Spesi + tegel =  $3 \times (21+24) = 135 \text{ kg/m}^2$

- Sandaran = 50 kg/m<sup>2</sup> +

$$\text{DL.} = 569 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup LL = 300 Kg/m<sup>2</sup>

Maka :

$$qu = 1.2 \text{ DL.} + 1.6 \text{ LL.}$$

$$= 1.2 \times 569 + 1.6 \times 300$$

$$= 1162.8 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.4.5. Analisa Gaya-gaya Dalam

Dengan menggunakan program bantu SAP 90, struktur tangga dianalisa (input dan outputnya dapat dilihat pada lampiran) dan didapat besarnya gaya-gaya dalam yang ada, dalam hal ini  $M_x = M_{22}$  (SAP'90) yaitu momen yang tegak lurus sumbu x dan  $M_y = M_{11}$  (SAP'90) yaitu momen yang tegak lurus sumbu. Besar nilai momen tersebut adalah :

##### 1. Pada Pelat Tangga

- $M_x = 2.9262E+03 \text{ kgm} = 2.9262E+07 \text{ Nmm}$
- $M_y = 2.7347E+02 \text{ kgm} = 2.7347E+06 \text{ Nmm}$

##### 2. Pada Bordes

- $M_x = 5.9743E+03 \text{ kgm} = 5.9743E+07 \text{ Nmm}$
- $M_y = 2.0725E+02 \text{ kgm} = 2.0725E+06 \text{ Nmm}$

#### 4.4.6. Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

##### 4.4.6.1. Penulangan Lentur

Langkah-langkah perhitungan penulangan lentur adalah sbb:

1. Diberikan data-data  $d$ ,  $f_y$ ,  $f'_c$  dan  $M_u$
2. Menetapkan batas-batas harga rasio tulangan yang dipilih :

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$f'_c \leq 30 \text{ MPa}$  (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2.(7)) maka :

nilai  $\beta_1 = 0.85$

$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b$  (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.(3))

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5})$$

3. Menghitung harga tulangan  $\rho_{\text{perlu}}$  yang dibutuhkan

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m.R_n}{f_y}} \right]$$

dimana :

$$m = \frac{f_y}{0.85.f_c'}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi.b.d}$$

Jika :  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$   $\rightarrow$  dipakai  $\rho_{\min}$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\max}$   $\rightarrow$  tulangan tekan diperhitungkan

4. Menghitung  $A_s$  (luas tulangan perlu) dan memilih tulangan sekaligus jarak penulangannya

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

a. Perhitungan Penulangan Lentur Pelat Anak Tangga

\* Penulangan Arah X

$$\rho_b = \frac{0.85.f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \quad \text{SKSNI T-15-1991-03 psI 3.1.4.3}$$

$$= \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{320} \left[ \frac{600}{600 + 320} \right]$$

$$= 0.044$$

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

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b \\ = 0.033$$

$$= \frac{1.4}{320}$$

$$= 0.004375$$

$$Mu = 2926,2 \text{ kgm} = 2.923 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2.923 \times 10^7}{0.8} = 3.654 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

Selimut beton = 20 mm

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 12$  mm

$$dx = 230 - 20 - 0.5 \times 12 = 204 \text{ mm}$$

$$dy = 230 - 20 - 12 - 0.5 \times 12 = 192 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bw \cdot d^2} = \frac{3.654 \times 10^7}{1000 \times 204^2} = 0.878 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.878}{320}} \right] \\ &= 0.00274\end{aligned}$$

maka  $\rho_{\min} = 0.004375 > \rho_{\text{perlu}} = 0.00574$  (pakai  $\rho_{\min} = 0.00574$ )

$$\text{As perlu} = 0.004375 \times 1000 \times 204$$

$$= 829.24 \text{ mm}^2$$

dipasang:  $\varnothing 16 - 150$  mm

$$\text{As ada} = (113.1 \times 1000)/130$$

$$= 1340.41 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 829.24 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

#### \* Penulangan Arah Y

Direncanakan sebagai pelat satu arah, maka penulangan arah y adalah tulangan pembagi dengan jumlah tulangan :

$$\text{Tulangan pembagi} = 0.002 \cdot A_{\text{bruto}}$$

$$= 0.002 \times 1000 \times 192$$

$$= 384 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan  $\varnothing 10 - 200 \text{ mm}$  ( $A = 392.7 \text{ mm}^2$ )

Kontrol jarak antara tulangan susut telah ditetapkan oleh SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12.2.2 adalah :

$$Smaks \leq 5t \text{ atau } 500 \text{ mm}$$

$$5t = 5 \times 230 = 1150 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi } Smaks < 500 \text{ mm}$$

$$Sada = 200 \text{ mm} < 500 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

Dipakai tulangan susut :  $\varnothing 10 - 200 \text{ mm}$

#### b. Penulangan Lentur Pelat Bordes

##### \* Penulangan Arah X

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \quad \text{SKSNI T-15-1991-03 psI 3.1.4.3} \\ &= \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{320} \left[ \frac{600}{600 + 320} \right] \\ &= 0.044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0.75 \cdot \rho \\ &= 0.033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{320} \\ &= 0.00437 \end{aligned}$$

$$Mu = 5974.3 \text{ kgm} = 5.974 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5.974 \times 10^7}{0.8} = 7.468 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

Selimut beton = 20 mm

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 12 \text{ mm}$

$$dx = 160 - 20 - 0.5 \times 12 = 134 \text{ mm}$$

$$dy = 160 - 20 - 12 - 0.5 \times 12 = 124 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85fc'} = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.55$$

$$R_n = \frac{M_n}{bw.d^2} = \frac{7.468 \times 10^7}{1000 \times 134^2} = 4.159 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 4.159}{320}} \right] \\ &= 0.0143\end{aligned}$$

maka  $\rho_{\text{min}} = 0.004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0.0143 < \rho_{\text{maks}} = 0.033$

pakai  $\rho_{\text{perlu}} = 0.0143$

$$\text{As perlu} = 0.0143 \times 1000 \times 134$$

$$= 1916.20 \text{ mm}^2$$

dipasang:  $\varnothing 16 - 100 \text{ mm}$

$$\text{As ada} = (201.06 \times 1000)/100$$

$$= 2010.6 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1916.20 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

#### \* Penulangan Arah Y

Direncanakan sebagai pelat satu arah, maka penulangan arah y adalah tulangan pembagi dengan jumlah tulangan :

$$\text{Tulangan pembagi} = 0.002 \cdot A_{\text{bruto}}$$

$$= 0.002 \times 1000 \times 124$$

$$= 248 \text{ mm}^2$$

dipasang tulangan  $\varnothing 10 - 200 \text{ mm}$  ( $A=392.7 \text{ mm}^2$ )

Kontrol jarak antara tulangan susut telah ditetapkan oleh SKSNI T-15-

1991-03 pasal 3.16.12.2.2 adalah :

$$S_{\text{maks}} \leq 5t \text{ atau } 500 \text{ mm}$$

$$5t = 5 \times 160 = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi } S_{\text{maks}} < 500 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ada}} = 200 \text{ mm} < 500 \text{ mm}, \dots, \text{OK}$$

Dipakai tulangan susut :  $\varnothing 10 - 200 \text{ mm}$

#### 4.4.7. Perencanaan Balok Penumpu Tangga

Beban-beban ultimate dari tangga :

Pelat Bordes =  $1162 \text{ kg/m}^2$

Pelat anak tangga =  $1488.89 \text{ kg/m}^2$

Beban yang bekerja pada balok penumpu tangga :

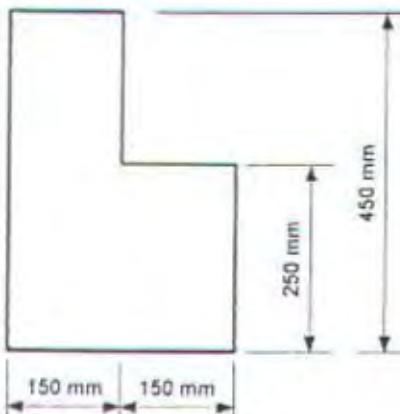
$$P_u = (4 \times A_{\text{bordes}} \times q_{\text{bordes}} + 2 \times A_{\text{anak tangga}} \times q_{\text{anak tangga}}) \times 1/2$$

$$= ((4 \times 0.95 \times 1.325 \times 1162) + (2 \times 1.325 \times 4.63 \times 1488.89)) \times 1/2$$

$$= 14984.64 \text{ kg}$$

bebannya terbagi rata sepanjang bentang balok (2.85 m)

$$q_u = P_u / 2.85 = 5257.78 \text{ kg/m}$$



Gambar 4.11. Dimensi Balok Penumpu Tangga

$$q_u \text{ balok} = 1.2 \times (0.15 \times 0.45 + 0.15 \times 0.25) \times 24 = 302.4 \text{ kg/m}$$

$$q_u \text{ total} = 5257.78 + 302.40 = 5560.18 \text{ kg/m}$$

$$M_u \text{ tumpuan} = 1/12 q L^2 = 1/12 \times 5560.18 \times 2.85^2 = 3763.54 \text{ kgm}$$

$$M_u \text{ lapangan} = 1/24 q L^2 = 1/24 \times 5560.18 \times 2.85^2 = 1881.77 \text{ kg/m}$$

$$V_u \text{ ujung} = \frac{1}{2} q L = \frac{1}{2} \times 5560.18 \times 2.85 = 7923.26 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T_u &= q \text{ tangga} \times b \times L \times \frac{1}{2} \\ &= 5560.18 \times 0.16 \times 2.85 \times \frac{1}{2} \\ &= 1267.72 \text{ kgm} = 1.267 \times 10^7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

kontrol penampang :

$$\sum x^2 y = (150^2 \times 450) + (150^2 \times 250) = 1.575 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \phi 1/20 \sqrt{f_c} \sum x^2 y - 0.6 \times 1/20 \times \sqrt{30} \times 1.575 \times 10^7 \\ = 2.59 \times 10^6 \text{ Nmm} < T_u \end{aligned}$$

maka torsi dapat diabaikan

Menghitung tulangan sengkang untuk torsi

$$C_t = \frac{bwd}{\sum x^2 y} = \frac{150 \times 420}{1.575 \times 10^7} = 0.004$$

$$T_c = \frac{\sqrt{f'_c} \sum x^2 y}{15 \sqrt{1 + \left( 0.4 \frac{V_u}{C_t T_u} \right)^2}} = \frac{\sqrt{30} \times 1.575 \times 10^7}{15 \sqrt{1 + \left( 0.4 \times \frac{7823.26}{0.004 \times 1.268 \times 10^7} \right)^2}}$$

$$= 5.729 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

tebal decking = 30 mm

$$X_1 = 160 - 2 \times 30 = 100 \text{ mm}$$

$$Y_1 = 450 - 2 \times 30 = 390 \text{ mm}$$

$$\alpha_i = \frac{2 + \frac{Y_1}{X_1}}{3} = \frac{2 + \frac{390}{100}}{3} = 1.97 > 1.5$$

ambil  $\alpha_i = 1.5$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u - \phi T_c}{\phi f_y \alpha_i X_1 Y_1} = \frac{1.268 \times 10^7 - 0.6 \times 5.729 \times 10^6}{0.6 \times 320 \times 1.5 \times 100 \times 390} = 0.823 \text{ mm}$$

#### Menghitung tulangan sengkang untuk geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{6 \sqrt{1 + (2.5 \cdot C_t \cdot T_u / V_d)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{30} \times 150 \times 420}{6 \times \sqrt{1 + (2.5 \times 0.004 \times 1.268 \times 10^7 / 7923.26)^2}} = 3586.64 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_d - \phi V_c}{\phi f_y d}$$

$$= \frac{7923.26 - 0.6 \times 3586.64}{0.6 \times 320 \times 420} = 0.07 \text{ mm}$$

#### Kombinasi tulangan sengkang torsi dan geser :

$$\sum \frac{At}{s} = (2At/s + Av/s) = (2 \times 0.823 + 0.07) = 1.73 \text{ mm}$$

direncanakan memakai sengkang  $\phi 12$  ( $As = 113.10 \text{ mm}^2$ )

$$Av = 2 \times 113.10 = 226.20 \text{ mm}^2$$

$$S_{\max} = \frac{226.20}{0.5} = 452.40 \text{ mm}^2$$

Kontrol  $S_{\max}$  :

$$(X_1 + Y_1)/4 = (100 + 390)/4 = 122.50 \text{ mm}$$

atau  $< 300 \text{ mm}$

atau  $< d/2 = 420/2 = 210 \text{ mm}$

Maka dipasang tulangan sengkang :  $\phi 12 - 100 \text{ mm}$

#### Menghitung tulangan torsi longitudinal

Diambil nilai terbesar dari SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.6.9.3

$$A_{11} = 2 \frac{At}{s} (X_1 + Y_1) = 2 \times 0.823 \times (100 + 390) = 806.54 \text{ mm}^2$$

$$A_{12} = \left[ \frac{2.8sTu}{fy(Tu + Vd/3Ct)} - 2At \right] \frac{(X_1 + Y_1)}{s}$$

$$= \left[ \frac{2.8 \times 100 \times 1.268 \times 10^7}{320 \times (1.268 \times 10^7 + 7923.26/3 \times 0.004)} - 2 \times 82.3 \right] \frac{(100 + 390)}{100}$$

$$= 802.25 \text{ mm}^2$$

Harga 2 At tidak boleh kurang dari

$$bw.s/3.fy = 150 \times 100 / (3 \times 320) = 15.625$$

$$\text{maka diambil } A_{11} = 806.54 \text{ mm}^2$$

$$\text{untuk masing-masing sisi perlu } = 806.54/4 = 201.635 \text{ mm}^2$$

Menghitung tulangan lentur

$$Mu = 1.882 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$C = 0.85 f_c b \cdot a$$

$$= 0.85 \times 30 \times 150 \times a = 3825 a$$

$$T = f_y \times A_s$$

$$= 320 A_s$$

Syarat kesetimbangan :

$$T = C$$

$$320 A_s = 3825 a$$

$$A_s = 11.95 a$$

Maka :

$$T = 320 \times 11.95 a$$

Sehingga :

$$Mu / \phi = T (d - a/2)$$

$$1.882 \times 10^7 / 0.8 = 320 \times 11.95 a (420 - a/2)$$

$$\text{didapat nilai } a = 18.88$$

$$A_s = 11.95 \times 18.88$$

$$= 225.56 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan lentur  $4 \phi 12$  ( $A_s = 452.4 \text{ mm}^2$ )

Kontrol kombinasi tulangan lentur dan torsi :

$$A_t \text{ perlu (torsi)} = 201.635 \text{ mm}^2$$

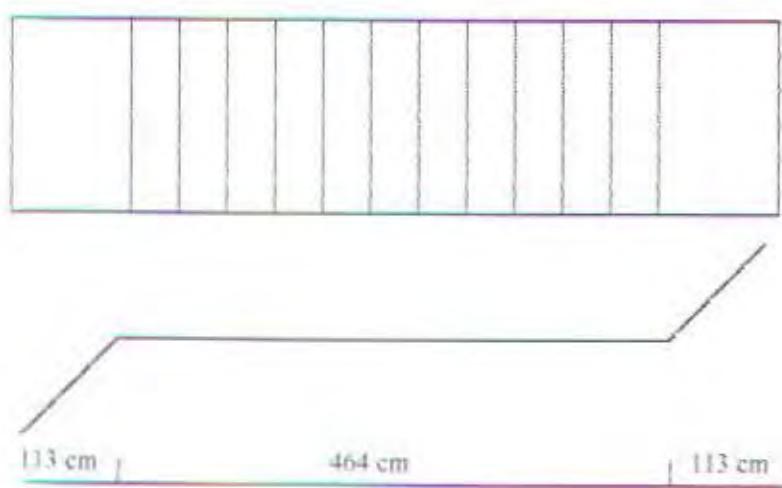
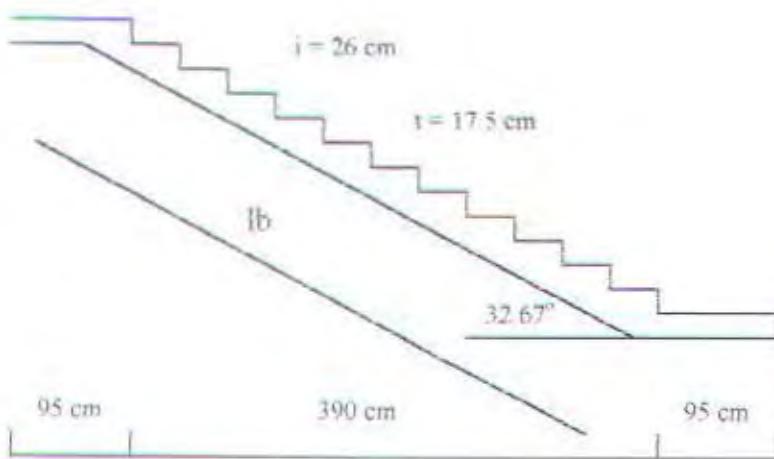
$$A_s \text{ ada} = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tersedia untuk lentur saja} = 452.4 - 201.635$$

$$= 250.77 \text{ mm}^2 > A_s \text{ lentur perlu (225.56 mm}^2\text{)}$$

#### 4.4.8 Pengangkatan Elemen Tangga

Elemen tangga diangkat dengan mengasumsikan elemen tanga sebagai pelat.



$$L_b = 250 / \sin 32.67 = 463.13 \text{ cm} = 464 \text{ cm}$$

$$L_t = 95 / \cos 32.67 = 112.85 \text{ cm} = 113 \text{ cm}$$

Tebal pelat tangga = 23 cm

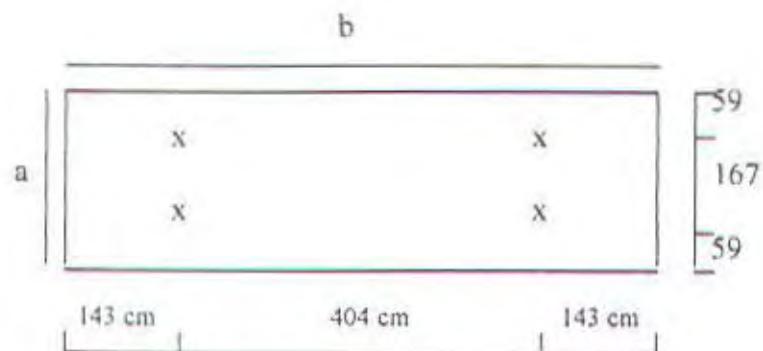
Tebal pelat bordes = 16 cm

Tebal ekivalen = berat total / ( L.b.w )

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= 1.325 \times 4.64 \times 0.23 \times 2.4 + 2(1.325 \times 0.95 \times 0.16 \times 2.4) \\ &= 4.361 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal ekivalen} &= 4.361 / ((4.64 + 2(1.13)) \times 1.325 \times 2.4) \\ &= 0.199 \text{ m} = 0.200 \text{ m} \end{aligned}$$

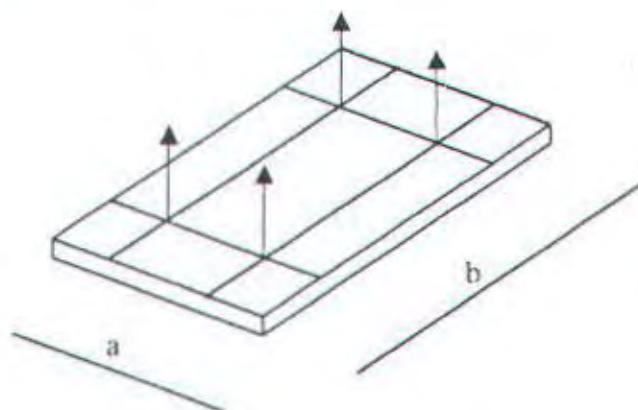
Elemen tangga direncanakan diangkat dengan metode two points pick up.  
Letak titik angkat akibat beban mati elemen tangga = 0.207xpanjang sisi.



#### 4.4.9 Kontrol Pelaksanaan

##### 1. Pengangkatan ( Stripping )

###### Lentur arah memanjang, Y



Ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$

$$w = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$a/2 = 1325/2 = 662.5 \text{ mm}$$

$$b = 6900 \text{ mm}$$

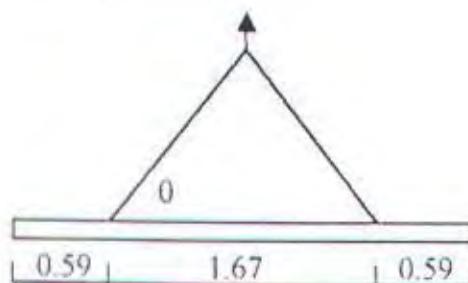
$$t = 200 \text{ mm}$$

$$Z = 1/6 \times (a/2) \times t^2$$

$$= 1/6 \times (662.5) \times 200$$

$$\begin{aligned}
 &= 4.417E+06 \text{ mm}^3 \\
 & \\
 My &= 0.0107 w.a.b^2 \\
 &= 0.0107 \times (2400 \times 0.200) \times 1.325 \times 6.90^2 \\
 &= 323.99 \text{ kgm} = 3.24E+06 \text{ Nmm} \\
 f_t = f_b &= My / Z = 3.24E+06 / 4.417E+06 \\
 &= 0.734 \text{ MPa} \\
 f_t = f_b &= 0.734 \text{ MPa} < 0.7\sqrt{0.4 \times 30} = 2.245 \text{ MPa... OK!}
 \end{aligned}$$

### Lentur arah melintang, X



Ditahan oleh penampang dengan lebar  $15t$  atau  $b/2$ , diambil yang terkecil.

$$\begin{aligned}
 15t &= 15 \times 200 = 3000 \text{ mm} \\
 b/2 &= 6900/2 = 3450 \text{ mm} \\
 Z &= 1/6 \times (15t) \times t^2 \\
 &= 1/6 \times (3000) \times 200^2 \\
 &= 2.00E+07 \text{ mm}^3 \\
 My &= 0.0107 w.a.b \\
 &= 0.0107 \times (2400 \times 0.200) \times 1.325^2 \times 6.90 \\
 &= 62.216 \text{ kgm} = 6.22E+06 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut angkat :

$$M_0 = 1.2 P \frac{yc}{tg 45^\circ}$$

$$= (1.2 \times \frac{2400 \times 0.200 \times 1.325 \times 6.90}{4}) \times \frac{0.140}{tg 45^\circ}$$

$$= 184.32 \text{ kgm} = 1.842 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{total}} = 6.22 \times 10^6 + 1.843 \times 10^6$$

$$= 8.063 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$f_t = f_b = M_{\text{total}} / Z$$

$$= 8.063 \times 10^6 / 2.00 \times 10^7$$

$$= 0.403 \text{ MPa}$$

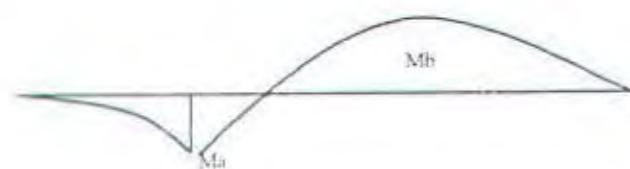
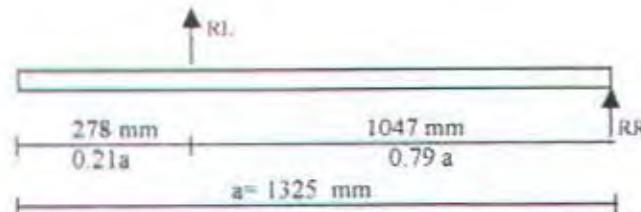
$$f_t = f_b = 0.403 \text{ MPa} < f_r = 2.245 \text{ MPa} \dots \text{OK!}$$

## 2. Penulangan Lentur Pelat Saat Pemutaran Pelat

Pemutaran pelat dilakukan pada saat beton umur 7 hari

### Arah Melintang X

Dua titik pengangkatan untuk rotasi



$$w = 1.2 \times 2400 \times 0.2 \left( \frac{6.900}{2} \right) = 1987.2 \text{ kg/m}$$

$$R_L = \frac{\frac{1}{2}wa^2}{1.047} = \frac{\frac{1}{2}(1987.2)1.325^2}{1.047} = 1666.08 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} R_R &= (w \times a) - R_L \\ &= (1987.2 \times 1.325) - 1666.08 \\ &= 966.96 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{2} w(0.278)^2 \\ &= \frac{1}{2} (1987.02) 0.278^2 = 76.79 \text{ kgm} \\ &= 7.769E+05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_h \text{ maksimum pada } \frac{R_R}{w} &= \frac{966.96}{1987.2} = 0.487 \text{ m} \\ M_h &= R_R (0.487) - \frac{1}{2} w (0.487)^2 \\ &= 966.96 (0.487) - \frac{1}{2} (1987.2) 0.487^2 \\ &= 235.26 \text{ kgm} = 2.353E+06 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

### Penulangan Arah X

$$M_x = 1.85E+06 \text{ Nmm}$$

$$dx = 55 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{1.85E+06}{0.8 \times 1000 \times 55^2} = 0.7645$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.7645}{320}} \right)$$

$$= 0.0024 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{min} = 0.004375$

$$A_s \text{perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.004375 (1000) 55 = 240.625 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 13-200$

$$A_s \text{ada} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > A_s \text{perlu} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s \text{ada}}{b \times d \text{ada}} \\ &= \frac{663.6}{1000 \times 55} \\ &= 0.0012 > \rho_{min} = 0.004375 \dots \text{OK}\end{aligned}$$

$$u = \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ = 8.33 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}Mu &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( l - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 55 - \frac{8.33}{2} \right) \\ &= 8.636 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_l = 1.85 \times 10^6 \text{ Nmm} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

Kontrol Tegangan :

$$f_c = 30 \text{ MPa pada umur 28 hari}$$

$$f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0.4 \times 30 = 12 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0.63 \times 30 = 19.5 \text{ MPa}$$

Tegangan lentur tarik beton :

$$f_r' (3 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{12}$$

$$= 2.425 \text{ MPa}$$

$$f_r' (7 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{19.5}$$

$$= 3.091 \text{ MPa}$$

$$f_u = \frac{M_t}{Z} = \frac{7.769E + 05}{2E + 07}$$

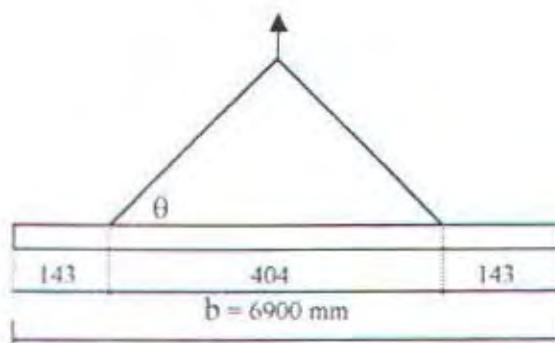
$$= 0.04 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

$$f_b = \frac{M_b}{Z} = \frac{2.353E + 06}{2E + 06}$$

$$= 0.118 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

### Arah Melintang Y

Digunakan 4 titik pengangkatan untuk rotasi



Dari perhitungan sebelumnya diperoleh :

$$My = 3.25E+06 \text{ Nmm}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan

$$M_\theta = 1.2 P \frac{Yc}{\tan \theta}$$

$$= 1.2 \left( \frac{2400 \times 0.2 \times 1.3252.85 \times 6.90}{4} \right) \frac{0.14}{\tan 45^\circ}$$

$$= 184.32 \text{ kgm} = 1.843 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{total}} = (5.964 + 1.43) \times 10^5 = 7.392 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

### Penulangan Arah Y

$$My = 7.392 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

$$dy = 45 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{7.392 \times 10^5}{0.8 \times 1000 \times 45^2} = 0.401$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.401}{320}} \right)$$

$$= 0.0013 < \rho_{\min} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{\min} = 0.004375$

Menentukan menggunakan variabel  $x = 12.55$

$$As_{\text{ada}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

### Kontrol kekuatan:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As_{\text{ada}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ &= \frac{663.6}{1000 \times 45} \\ &= 0.015 > \rho_{\min} = 0.004375 \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ &= 8.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 45 - \frac{8.33}{2} \right) \\
 &= 6.937 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_{lx} = 7.392 \times 10^5 \text{ Nmm} \quad \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol Tegangan :

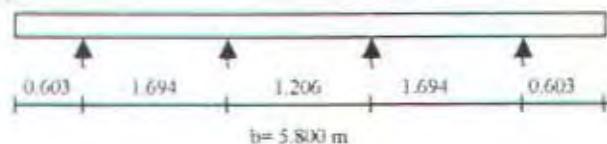
$$\begin{aligned}
 f_b = f_t &= \frac{M_e}{Z} = \frac{7.392E+05}{1.52E+06} \\
 &= 0.486 \text{ MPa} \leq 3.091 \text{ MPa} \dots \dots \text{OK!}
 \end{aligned}$$

Kesimpulan :

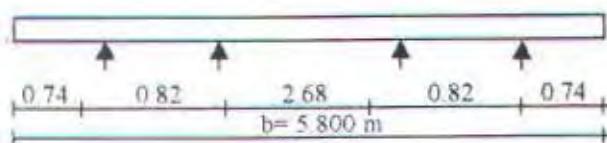
Untuk pemutaran pelat pada umur beton 7 hari digunakan 4 titik pengangkatan pada satu sisi dengan dudukan pasir pada sisi lain.

### 3. Penulangan pelat saat pangantutan ( shipping )

Menggunakan 4 titik penyangga



Jarak ini terlalu besar untuk pengangkutan karena truk akan mengalami defleksi dan selama perjalanan akan membutuhkan tambahan penyangga. Jadi jarak antar titik diperpendek



Distribusi momen untuk kondisi ini adalah :

$$\begin{aligned}M_a &= 0.0082 wl^2 \\&= 0.0082 (1.7 \times 2400 \times 0.008 \times 2.85) 5.8^2 \\&= 25.66 \text{ kgm} = 2.566E+06 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_b &= 0.014 wl^2 \\&= 0.014 (1.7 \times 2400 \times 0.008 \times 2.85) 5.8^2 \\&= 43.80 \text{ kgm} = 4.38E+06 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_h &= 0.0125 wl^2 \\&= 0.0125 (1.7 \times 2400 \times 0.008 \times 2.85) 5.8^2 \\&= 39.20 \text{ kgm} = 3.92E+06 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z &= \frac{1}{6} (2850) 80^2 \\&= 3.04E+06 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Penulangan pelat saat pengangkutan ( shipping )

$$M_{\text{maks}} = 4.38E+06 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{4.38E+06}{0.8 \times 1000 \times 45^2} = 2.703$$

$$\rho = \frac{1}{12.55} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 2.703}{320}} \right)$$

$$= 0.00895 < \rho_{\text{min}} = 0.004375$$

Pakai  $\rho_{\text{perlu}} = 0.0895$

$$A_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.00895 (1000) 45 = 402.75 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan  $\varnothing 13-200$

$$A_{s_{\text{ada}}} = 132.72 \left( \frac{1000}{200} \right) = 663.6 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} \dots \dots \dots \text{OK!}$$

#### Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_{s_{\text{ada}}}}{b \times d_{\text{ada}}} \\ &= \frac{663.6}{1000 \times 45} \\ &= 0.0148 > \rho_{\text{min}} = 0.004375 \dots \dots \text{OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{663.6 \times 320}{0.85 \times 30 \times 1000} \\ &= 8.33 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mu &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0.8 \times 663.6 \times 320 \times \left( 45 - \frac{8.33}{2} \right) \\ &= 6.937 \times 10^6 \text{ Nmm} > M_{lx} = 4.38 \times 10^6 \text{ Nmm} \dots \dots \text{OK}\end{aligned}$$

#### Kontrol Tegangan :

$$f_c = 30 \text{ MPa} \text{ pada umur 28 hari}$$

$$f_{ci} (3 \text{ hari}) = 0.4 \times 30 = 12 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} (7 \text{ hari}) = 0.63 \times 30 = 19.5 \text{ MPa}$$

#### Tegangan lentur tarik beton :

$$f_{r'} (3 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{12}$$

$$= 2.425 \text{ MPa}$$

$$f_{r'} (7 \text{ hari}) = 0.7 \sqrt{f_{ci}} = 0.7 \sqrt{19.5}$$

$$= 3.091 \text{ MPa}$$

$$f_b = f_t = \frac{M_t}{Z} = \frac{4.38E + 06}{3.04E + 06}$$

**BAB V**  
**ANALISA STRUKTUR UTAMA**

## BAB V

# ANALISA STRUKTUR UTAMA

### 5.1. UMUM

Struktur utama merupakan struktur pemikul beban yang diperlukan bagi ketahanan gedung jika mengalami pembebanan yang disyaratkan. Beban yang diterima struktur berupa beban gravitasi dan beban lateral yang disebabkan oleh beban gempa.

Komponen struktur utama terdiri dari balok induk, kolom dan shearwall untuk struktur atas dan pondasi untuk struktur bawah.

Buku Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok bertulang untuk Gedung 1983 membagi jenis struktur menjadi 4 macam, yaitu :

#### 1. Jenis A

Struktur jenis A adalah portal-portal beton bertulang dengan tembok sebagai panel pengisi yang direncanakan untuk ikut menahan beban gempa melalui aksi komposit. struktur ini dapat juga mengandung tembok-tebok yang terbuat dari mutu bahan yang lebih rendah yang tidak diperhitungkan sebagai unsur penahan beban lateral.

Di dalam struktur ini tembok-tebok penahan beban lateral direncanakan untuk menahan beban-beban gempa secara elastik pada waktu terjadi gempa-gempa sedang atau kuat, tetapi akan rusak pada waktu terjadi gempa-gempa sedang atau kuat. Akan tetapi, dengan dipasangnya kolom-kolom praktis dan tulangan jangkar

secukupnya di dalam semua tembok, maka pada keadaan demikian, keruntuhan tembok secara tak terkendali akibat beban geser beban muka dapat dicegah sehingga ancaman jiwa bagi para penghuni gedung dapat dibatasi. Dalam keadaan ini beban-beban gempa akan dipikul hanya oleh portal-portalnya.

Jadi, ketentuan pokok dari struktur jenis ini adalah :

- a. Tinggi maksimum : 4 tingkat atau 14 meter
- b. Pemisahan tembok dari struktur : tidak dipisahkan
- c. Pembatasan mengenai tembok : penempatan tembok mendekati simetris
- d. Anggapan peranan tembok : tembok ikut memikul beban gempa kecuali tembok non struktur

## 2. Jenis B

Struktur jenis B adalah portal-portal beton bertulang dengan tembok sebagai panel-panel pengisi yang walaupun tidak dipisahkan dari portal-portalnya, tidak dianggap ikut berperan dalam menahan beban gempa, tetapi mempengaruhi perilaku struktur terhadap gempa.

Struktur Jenis ini dibagi dalam 2 kelompok, yaitu :

### a. Jenis B1

Tinggi struktur tidak melampaui 2 tingkat atau 8 m dengan penempatan tembok-tembok yang sembarang. Disini tata letak tembok-tembok yang

tidak simetris diperbolehkan, walaupun prilaku struktur secara keseluruhan tidak akan sebaik bila tembok-tebok tersebut ditempatkan secara simetris.

#### b. Jenis B2

Tinggi struktur tidak melampaui 7 tingkat atau 20 m dengan penempatan tembok-tebok yang mendekati simetris. Disini eksentrisitas pusat massa dan pusat kekakuan adalah kecil, sehingga gaya-gaya geser yang diperbesar oleh pengaruh momen puntir horizontal masih terletak dalam batas-batas daya dukung struktur.

#### 3. Jenis C

Struktur jenis C adalah struktur di mana tembok-tebok pasangan bata cetak yang bertulang berfungsi sebagai penahan beban gravitasi maupun beban gempa. Struktur ini dapat juga mengandung tembok-tebok pasangan bata merah atau batako yang tidak bertulang yang mempunyai suatu kekuatan, tetapi tembok-tebok demikian tidak dianggap sebagai unsur-unsur penahan beban lateral (tembok non struktural). Namun demikian, tembok-tebok non struktural tetap diberi kolom-kolom praktis dan tulangan jangkar secukupnya untuk mencegah keruntuhan yang tak terkendali bila mengalami beban muka.

Adapun ketentuan pokok dari struktur jenis C, adalah :

- a. Tinggi maksimum : 3 tingkat atau 11 meter
- b. Pemisahan tembok dari struktur : tidak dipisahkan
- c. Pembatasan mengenai tembok : penempatan tembok mendekati simetris.

- d. Anggapan peranan tembok : tembok memikul beban gempa,  
kecuali tembok non struktural.

#### 4. Jenis D

Struktur jenis D adalah portal-portal beton bertulang, dengan ketentuan tinggi maksimum disyaratkan 10 tingkat atau 35 m , penempatan tembok sembarangan, pengaruh tembok diabaikan, dan tembok-tebok dan panel-panel pengisi kaku lainnya dipisahkan secara nyata dari struktur untuk mencegah agar tidak terjadi perubahan dalam perilaku struktur terhadap gempa. Persyaratan terakhir ini diadakan, karena struktur sebesar ini adalah peka terhadap perubahan dalam perilaku terhadap gempa, yang dapat mengakibatkan pelelehan yang terlalu awal dan keruntuhan yang terlalu cepat dari beberapa unsur struktur.

Analisa struktur utama meliputi balok induk dan kolom sebagai elemen utama. Struktur utama direncanakan menerima beban gravitasi dan beban lateral gempa. Balok induk menerima beban gravitasi dari balok anak, beban mati pelat dan overtopping serta beban hidup yang bekerja padanya.

Pelat pracetak hanya berfungsi untuk menerima gravitasi selanjutnya disalurkan ke balok pracetak kemudian bersama dengan kolom dan shearwall menyalurnkannya ke pondasi.

Pelat harus memiliki kekuatan yang tinggi dalam arah lateral sehingga pelat diperlakukan sebagai diafragma. Dengan demikian pelat memberikan sumbangannya dalam mendistribusikan gaya akibat beban lateral yang bekerja di tiap lantai adalah ke struktur penahan lateral.

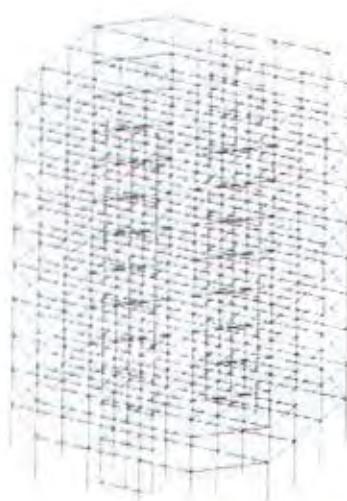
Beban lateral seperti angin dan gempa tanah akibat gempa diserap oleh struktur penahan lateral. Sambungan yang ada pada struktur penahan lateral direncanakan tahan momen sehingga gaya reaksi akibat beban lateral dapat disalurkan kembali secara aman ke pondasi.

## 5.2. MODEL STRUKTUR

Struktur utama Gedung Kandatel Malang ini, direncanakan sebagai struktur jenis D. Struktur jenis D disini didefinisikan sebagai portal-portal beton bertulang dengan tembok-tebok dan panel pengisi kaku lainnya dipisahkan secara nyata dari strukturnya untuk mencegah agar tidak terjadi perubahan dalam perilaku struktur terhadap gempa.

Dalam perencanaan, gedung dimodelkan sebagai kombinasi antara portal terbuka (*Momen Resisting Frame*) dan dinding geser (*Wall Frame*) dengan portal sebagai pemikul utama beban. Struktur Open Frame cocok untuk perencanaan gedung di Indonesia karena pasangan batu bata/tembok belum mampu berlaku sebagai pemikul beban.

Lantai yang berlaku sebagai diafragma, dimodelkan dengan menyeragamkan displacement seluruh joint pada lantai tersebut. Seluruh joint dalam satu bidang lantai dianggap tidak dapat bergerak relatif satu dengan yang lainnya. Perpindahan joint tergantung dari master joint, yaitu suatu joint yang menggambarkan atau mewakili tingkat lantai suatu diafragma. Letak master joint ditentukan berdasarkan perhitungan pusat massa dari diafragma, sehingga lantai seperti dapat melentur (tanpa mengalami deformasi).



Gambar 5.1. Pemodelan Struktur

Pondasi poer yang disatukan dengan sloof dan pelat lantai dasar dimodelkan sebagai jepit. Pemodelan ini menyebabkan pondasi tidak mempunyai derajat kebebasan translasi maupun rotasi.

Struktur utama dianalisa dengan bantuan paket software ETABS versi 6.12. Pemodelan dari struktur ini adalah dengan menganggap balok induk sebagai *beam* dan kolom sebagai *column*. Sedangkan untuk shearwall dianggap sebagai *wall/panel* pada input data. Analisa statis dan dinamis dilakukan bersama-sama dalam sekali running program dan output hasil running disesuaikan dengan kombinasi-kombinasi pembebanan yang disyaratkan pada SKSNI T-15-1991-03.

Untuk menyalurkan gaya lateral agar dapat diterima oleh komponen struktur penahanan gaya lateral, maka lantai dimodelkan sebagai diafragma yang kaku (*rigid*

*floor diaphragma*). Jadi seluruh pertemuan antara elemen-elemen beam (joint) dalam satu bidang lantai diasumsikan tidak bisa bergerak relatif satu terhadap yang lain.

### 5.3. PEMBEBANAN STRUKTUR UTAMA

Beban yang bekerja pada struktur utama adalah :

1. Beban Mati = D (*Dead Load*)
2. Beban Hidup = L (*Life Load*)
3. Beban Gempa = E (*Earthquake Load*)

Kombinasi pembebanan menurut SKSNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

1.  $U = 1.2D + 1.6L$  ayat 3.2.2 butir 1
2.  $U = 1.05(D + L_R + E)$  ayat 3.2.2 butir 3

Dimana :

$L_R$  = Beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan ketentuan SNI 1726-1989F tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung.

Dalam hal ini nilai E ditetapkan berdasarkan ketentuan yang ditentukan dalam SNI 1726-1989F tersebut di atas. Untuk peninjauan gempa maka beban hidup boleh direduksi dengan koefisien reduksi dengan koefisien reduksi 0,3 untuk struktur gedung perumahan/penghunian jenis perkantoran.

Beban gempa E harus dikalikan dengan faktor jenis struktur K yang sesuai untuk tingkat daktilitas dua, nilai K=2

#### 5.4. DATA SATUAN DAN MATERIAL

Satuan-satuan yang akan dipakai dalam analisa struktur utama ini adalah sebagai berikut :

- kg (kilogram) : dimensi gaya
- m (meter) : dimensi panjang
- dt (detik) : dimensi waktu

Material yang dipakai dalam analisa struktur utama ini adalah :

- Beton (Concrete)

Berat volume :  $2400 \text{ kg/m}^3$

Mutu bahan :  $f_c' = 30 \text{ MPa}$

- Baja (Steel)

Mutu bahan :  $f_y = 320 \text{ MPa}$

#### 5.5. INPUT DATA

Input data dari struktur utama dibuat berdasarkan buku petunjuk (manual book) dari software ETABS versi 6.12 serta contoh-contoh dari penggunaannya.

Adapun input data tersebut adalah sebagai berikut :

##### a. Control Data

1. Jumlah tingkat dari gedung

Dimana gedung yang direncanakan terdiri dari 9 lantai dan 1 atap

2. Jumlah frame pada gedung yang memiliki properti atau kondisi pembebanan yang berbeda.(1)
3. Jumlah total frame yang ada pada gedung = 1 frame
4. Jumlah type massa lantai = 1
5. Jumlah kombinasi pembebanan struktur = 7 kombinasi pembebanan
6. Jumlah periode dan mode shape struktur yang akan ditinjau = 12 periode
7. Jumlah type material = 1
8. Jumlah type penampang kolom yang berbeda pada seluruh frame = 2
9. Jumlah type penampang balok yang berbeda pada seluruh frame = 1
10. Jumlah type penampang brace yang berbeda pada seluruh frame = 0, tidak ada
11. Jumlah type penampang panel yang berbeda pada seluruh frame = 2
12. Kode untuk analisa statis lateral = 0, tidak ada beban statis lateral
13. Kode untuk analisa dinamis = 2, Respon Spektrum
14. Kode untuk type struktur = 0, tiga dimensi dengan rotasi pada lantai tidak ditahan
15. Analisa P-delta effect = 1, ada
16. Kode untuk modifikasi kekakuan joint pada frame = 4, rigid end offset tidak direduksi
17. Kode untuk perpindahan joint pada frame = 0, tidak dicetak
18. Kode untuk perhitungan berat sendiri = 1, berat sendiri dimasukkan dalam kondisi pembebanan I.

19. Kode mode shape untuk post processing

b. **Miscellaneous Parameters**

1. Percepatan gravitasi = 9.8
2. Nilai toleransi Eigenvalue = 0.0001
3. Batas time periode = 0
4. P-delta Faktor = 1

c. **Masses Data Block**

1. Nomor identifikasi dari tiap massa = 1
2. Jumlah segmen (pias-pias) segiempat yang membentuk massa secara keseluruhan = 12
3. Faktor skala untuk intensitas massa = 1

d. **Story Data**

1. Nama/label untuk identifikasi tingkat
2. Tinggi yang bersangkutan terhadap tingkat sebelumnya
3. Kode untuk tiap massa = 1,2,3 sesuai dengan tipe massa yang didefinisikan dibagian sebelumnya (Masses Data Block)

e. **Frame Member Material Property Data**

1. Nomor identifikasi material
2. Type material :  
C untuk beam dan column , W untuk beton Wall
3. Modulus elastisitas = 2.972E9 dan 2.781E9
4. Berat volume beton = 2400 kg/m<sup>3</sup>

5. Poisson Ratio = 0.2
6. Tegangan leleh baja tulangan = 3.2E7
7. Kuat tekan beton = 3.0E6
8. Tegangan leleh tulangan geser = 3.2E7

f. **Section Property Data**

1. Data penampang kolom
2. Data penampang balok
3. Data penampang panel/wall untuk dinding geser

g. **Frame Control Data**

1. Nomor identifikasi frame = 1
2. Jumlah line kolom pada frame = 40
3. Jumlah bay pada frame = 56
4. Jumlah elemen brace pada frame = 0 (tidak ada)
5. Jumlah elemen panel pada frame = 2
6. Jumlah pembebanan pada bentang balok yang ada pada frame = 16
7. Maksimum beban titik yang ada pada seluruh pola pembebanan bentang balok = 1

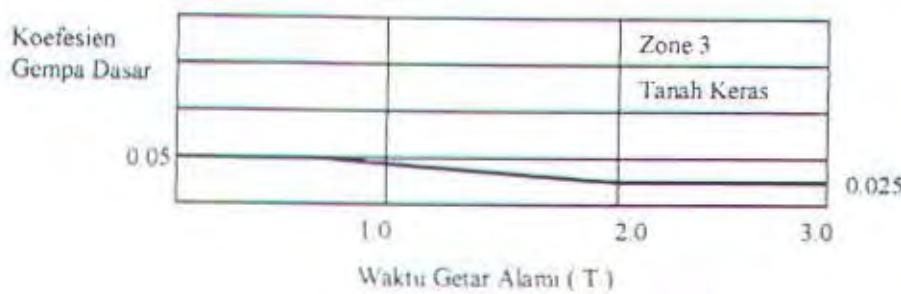
h. **Response Spectrum Lateral Load**

1. Jumlah arah guncangan, ada 2 arah guncangan
2. Jumlah titik yang ada pada kurva respons spectrum
3. CQC kombinasi
4. Faktor skala = 1

5. Dumping Ratio = 0.048

## 5.7. DATA RESPON SPECTRUM

Analisa gedung Kandatel Malang berdasarkan PPTGIUG'83. Kombinasi respons masing-masing ragam untuk mendapatkan respon struktur secara keseluruhan menggunakan metode akar kuadrat dari penjumlahan kuadrat masing-masing ragam (SRSS). Data Response Spectrum terdiri dari 7 titik data yang diambil dari Kurva Spectrum pada PPTGIUG'83 gambar 2.3 untuk wilayah gempa 3 kondisi tanah keras. Arah gempa ditinjau dalam dua arah, yaitu sumbu X dan Y global.



Gambar : Kurva Respon Spectrum

### 5.7.1. Faktor Skala Beban Gempa

Berdasarkan PPTGIUG '83 pasal 2.5, besarnya gaya getar dasar total yang diperoleh dari perhitungan analisa dinamis ( perhitungan ETABS ) tidak boleh kurang dari 0.90 besarnya gaya geser dasar yang dihitung dengan analisa statis ( $V_D \geq 0.9 V_S$ ). Apabila persyaratan ini tidak terpenuhi, maka beban gempa dinamis yang dikenakan kepada struktur harus dikaitkan dengan suatu faktor skala ( n ).

### 1. Gaya geser dasar total analisa statis ( Vs )

$$Vs = C \times I \times K \times W_T$$

dimana : -  $V_s$  = gaya geser dasar

- $C$  = koefesien gempa dasar
- $I$  = faktor keutamaan bangunan
- $K$  = faktor jenis struktur
- $W_T$  = berat total struktur

#### *Waktu Getar ( T )*

$$T_s = T_g = 0.06 \times H^{1/4} \quad (\text{portal beton})$$

$$= 0.06 \times 41^{1/4} = 0.972 \text{ detik}$$

#### *Koefesien Gempa Dasar ( C )*

Berdasarkan Kurva Response Spectrum PPTGIUG '83 untuk wilayah gempa 3 kondisi tanah keras, untuk  $T_s = T_g = 0.972$  detik, nilai  $C = 0.045$

#### *Faktor Keutamaan Gedung ( I )*

$$I = 1.0 \quad (\text{PPTGIUG '83 tabel 2.1, bangunan perkantoran})$$

#### *Faktor Jenis Struktur ( K )*

$$K = 2.0 \quad (\text{PPTGIUG '83 tabel 2.2, struktur beton bertulang})$$

#### *Berat Total Struktur ( W\_T )*

Level	Massa ( M )	Berat ( W )
Atap	21186.777	207938.894
Lantai 9	23388.267	229545.54
Lantai 8	23388.267	229545.54
Lantai 7	23388.267	229545.54
Lantai 6	23388.267	229545.54
Lantai 5	23388.267	229545.54
Lantai 4	23388.267	229545.54
Lantai 3	23388.267	229545.54
Lantai 2	23388.267	229545.54
Lantai 1	23388.267	229545.54
W TOTAL.		2273848.754

Diperoleh  $W_T = 2273848.754 \text{ Kn}$

#### Gaya Geser Dasar ( $V_s$ )

$$\begin{aligned}
 V_{S_x} &= V_{S_y} = C \times I \times K \times W_T \\
 &= 0.045 \times 1 \times 2 \times 2273848.754 \\
 &= 204646.3879
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0.9 V_{S_x} &= 0.9 V_{S_y} = 0.9 ( 204646.3879 ) \\
 &= 184181.749
 \end{aligned}$$

## 2. Gaya Geser Dasar Total Analisa Dinamis ( $V_D$ )

### *Gempa Arah x*

$$V_{Dx} = 4416.298 \text{ KN} < 184181.749 \text{ KN}$$

$$F_{Sx} = \frac{0.90V_{Sx}}{V_{Dx}} = \frac{184181.749}{4416.298} = 41.705$$

### *Gempa Arah y*

$$V_{Dy} = 4480.631 \text{ KN}$$

$$F_{Sy} = \frac{0.90V_{Sy}}{V_{Dy}} = \frac{184181.749}{4480.631} = 41.106$$

Setelah faktor skala beban gempa diperoleh, lalu dimasukkan kedalam input ETABSIN ver. 6.12 pada bagian pembebanan lateral dinamis ( beban gempa dinamis ), lalu di *running* dan diperoleh gaya-gaya dalam untuk perhitungan selanjutnya.

### 5.7.2. Kombinasi Pembebatan

Kombinasi dan faktor beban yang dipakai berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 ps. 3.2.2.

Kombinasi terhadap beban mati dan hidup

$$U = 1.2 D + 1.6 L_{R1}$$

Kombinasi terhadap beban gempa

$$U = 1.05 ( D + L_{R2} \pm m_x E_x \pm m_y E_y )$$

Dimana : - D = beban mati

-  $L_{R1}$  = beban hidup tereduksi perencanaan portal ( 0.3L )

- $L_{R2}$  = beban hidup tereduksi perencanaan gempa ( 0.3L )
- $E_{x,y}$  = beban gempa arah x dan y
- $m_{x,y}$  = faktor pengali beban gempa arah x dan y

Faktor pengali beban gempa ( m ) terdiri dari :

#### *Faktor Jenis Struktur ( K )*

Berdasarkan persyaratan perencanaan struktur tingkat daktilitas terbatas, maka besarnya beban gempa rencana dihitung dengan  $K = 2$ .

#### *Prosentase Beban Gempa arah sumbu x dan y ( % )*

Berdasarkan PPTGIUG '83 ps. 2.3.2, besarnya prosentase beban gempa yang diberikan untuk tiap-tiap arah sumbunya adalah :

- Beban gempa arah sumbu x ( terhadap sumbu kuat ) = 30%
- Beban gempa arah sumbu y ( terhadap sumbu lemah ) = 100%

Total faktor pengali beban gempa :

$$m_x = 2 \times 0.3 = 0.6$$

$$m_y = 2 \times 1.0 = 2.0$$

Comb	Faktor Beban									Keterangan	
	Status Vertikal			Status Lateral			Dinamis				
	1	II	III	A	B	C	D1	D2	D3		
1	1.20	1.60	-	-	-	-	-	-	-	$U=1.2D + 1.6LL$	
2	1.05	0.315	-	-	-	-	0.63	2.1	-	$U=1.05(LL_s + m_x E_x + m_y E_y)$ Reduksi LL <sub>s</sub> = 0.30 (gempa)	
3	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	Pembebaran untuk perencanaan pondasi	
Load Condition			I-Beban Mati (DL)				II-Beban Hidup (LL)				
			A-Beban gempa arah sb x (30%)				B-Beban gempa arah sb. y (100%)				
			D1-Beban gempa arah sb y (30%)				D2-Beban gempa arah sb. Y (100%)				

Tabel . Kombinasi Pembebaran Struktur Utama

## 8. OUTPUT DATA

Lantai 1 s/d lantai 5

Type Balok	Moment ( kN-m )			Geser ( kN )			Gaya Aksial ( kN )	Moment Torsi ( kN-m )
	tump. kiri	Lapangan	tump.kanan	tump. kiri	Lapangan	tump. kanan		
<b>Eks.</b>								
A-B	-1780.25	1533.55	-1780.32	-1311.18	-5.61	1312.83	0	5.61
B-C	-1663.21	1204.09	-1300.05	-1662.38	-91.66	1549.12	0	5.67
C-D	-1428.43	1202.59	-1428.59	-1571.50	4.26	1571.65	0	0
D-E	-1359.93	1204.09	-1603.84	-1543.06	94.92	1662.31	0	5.67
E-F	-1780.56	1533.51	-1780.82	-1313.00	7.43	1313.01	0	5.60
1-2	-1780.56	1533.55	-1780.82	-1313.00	7.43	1313.01	0	5.61
2-3	-1876.53	1211.48	-1273.67	-1745.96	-178.73	1519.31	0	78.88
3-4	-1060.55	741.06	-1780.82	-1313.00	7.43	1313.01	0	5.61
4-5	-1272.95	1211.48	-1876.46	-1519.31	178.54	1745.94	0	78.88
5-6	-1780.56	1533.55	-1780.82	-1313.00	7.43	1313.01	0	5.61
SW	-1700.05	109.18	-1638.81	-1306.25	-993.99	1299.15	0	24.25
<b>Intr.</b>								
A-B	-3096.11	1903.83	-2074.50	-2688.58	-501.89	2580.44	0	2.45
B-C	-5573.68	2407.08	-2705.95	-4110.14	-1025.13	3056.70	0	44.47
C-D	-2819.92	2512.71	-2820.08	-3093.14	8.42	3063.43	0	0
D-E	-2705.78	2407.07	-5575.28	-3056.64	1025.71	4110.72	0	44.47
E-F	-2074.47	1903.83	-3096.44	-2580.43	502.00	2688.70	0	2.49
1-2	-2488.76	2453.83	-4009.37	-2813.03	253.09	3576.89	0	19.76
2-3	-4861.20	2440.49	-2768.46	-3893.50	-808.49	3069.83	0	28.03
3-4	-2828.01	2338.89	-2828.01	-3085.01	0	3085.01	0	0
4-5	-2768.46	2440.49	-4861.13	-3069.83	818.46	3893.47	0	28.03
5-6	-1009.37	2453.83	-2488.76	-3576.89	-523.06	3003.28	0	19.76
SW	-1630.93	1045.98	-1630.94	-1551.50	0	1551.50	0	0

Lantai 6 s/d Lantai 9

Type Balok	Moment ( kN-m )			Geser ( kN )			Gaya Aksial ( kN )	Moment Torsi ( kN-m )
	tump. kiri	Lapangan	tump.kanan	tump. kiri	Lapangan	tump. kanan		
<b>Eks.</b>								
A-B	-1771.93	1608.61	-1771.82	-1317.15	8.93	1317.18	0	
B-C	-1882.35	1203.19	-1719.74	-1719.70	-146.09	1435.87	0	2.57
C-D	-1480.99	1220.95	-1481.94	1577.96	4.32	1577.96	0	0
D-E	-1153.97	1214.82	-1883.39	-1454.27	146.43	1720.08	0	2.59
E-F	-1772.36	1608.61	-1772.42	-1317.27	9.04	1317.28	0	11.91
1-2	-1772.36	1608.61	-1772.42	-1317.27	9.04	1317.28	0	11.91
2-3	-2188.84	1220.80	-932.82	-1815.58	-261.93	1374.58	0	126.25
3-4	-1155.90	693.65	-1155.90	-1184.98	0	1184.98	0	0
4-5	-930.46	1220.80	-2188.84	-1373.71	264.89	1835.54	0	126.25
5-6	-1772.36	1608.61	-1772.42	-1317.27	9.04	1317.28	0	11.91
SW	-2465.28	-366.34	-2451.76	-1710.02	-1359.26	1701.32	0	72.70
<b>Intr.</b>								
A-B	-3697.49	1922.34	-1226.99	-2869.21	-674.19	2239.07	0	7.90
B-C	-7031.61	2437.80	-2475.33	-4572.30	-1475.72	2944.93	0	71.76
C-D	-2935.67	2610.81	-2936.48	-3104.85	8.48	3105.06	0	0
D-E	-2472.50	2437.14	-7033.91	-2944.61	1476.53	4537.11	0	71.77
E-F	-1226.73	1927.70	-3697.86	-2338.97	674.35	2869.35	0	7.97
1-2	-1432.44	2513.85	-4778.60	-2468.28	727.34	3809.70	0	35.00

2-3	-6008.73	2490.55	-2668.13	-3995.04	-1172.11	3008.16	0	53.65
3-4	-2996.62	2326.15	-2996.62	-3096.58	0	3096.58	0	0
4-5	-2668.14	2490.55	-6008.73	-3809.16	1172.08	4268.65	0	53.64
5-6	-4778.60	2510.84	-1224.15	-3809.70	-727.31	2506.32	0	35.06
SW	-1848.29	2510.84	-1224.15	-3809.70	-727.31	2506.32	0	0

### Lantai ATAP

Type Balok	Moment (kN-m)			Geser (kN)			Gaya Aksial (kN)	Moment Torsi (kN-m)
	tump kiri	Lapangan	tump kanan	tump kiri	Lapangan	tump kanan		
<b>Eks.</b>								
A-B	-1370.72	1660.44	-1370.80	-1996.44	3.95	1188.58	0	28.16
B-C	-1539.39	1144.88	-1097.61	-1520.64	-86.00	1356.05	0	-2.50
C-D	-1328.77	1134.33	-1329.17	-1338.65	4.26	1438.91	0	0
D-E	-1096.94	1144.84	-1540.32	-1356.68	86.26	1520.90	0	2.49
E-F	-1371.39	1660.30	-1339.36	-1196.57	4.07	1196.59	0	28.12
1-2	-1371.39	1660.44	-1339.74	-1196.57	-4.06	1188.58	0	28.16
2-3	-1916.45	1150.56	-1913.91	-1661.39	-226.75	1230.45	0	229.40
3-4	-1137.71	537.12	-1137.72	-1081.08	0	1081.08	0	0
4-5	-489.51	1150.56	-1371.44	-1188.56	4.07	1196.58	0	22.46
5-6	-1339.64	1660.44	-1371.44	-1188.56	4.07	1196.58	0	-28.15
SW	-2465.28	-3666.34	-2451.76	-1654.81	-1359.26	1646.97	0	72.70
<b>Intr.</b>								
A-B	-3626.62	1876.45	-1143.74	-2196.99	-398.60	2093.37	0	22.46
B-C	-6517.67	2272.79	-2219.80	-4147.78	-1329.21	2691.35	0	128.74
C-D	-2614.15	2729.04	-2614.84	-2626.73	8.40	2826.96	0	0
D-E	-2219.04	2727.74	-6519.80	-2691.05	1329.92	4148.96	0	128.76
E-F	-1143.55	1876.18	-2626.96	-2096.26	398.69	2397.09	0	22.57
1-2	-1143.55	2476.70	-3573.20	-2369.00	449.57	3268.13	0	41.67
2-3	-5092.19	2195.48	-2232.71	-3800.61	-982.07	2692.27	0	105.48
3-4	-2769.51	2066.57	-2769.51	-2818.57	0	2818.57	0	0
4-5	-2212.75	2195.47	-5092.10	-2692.27	982.04	3800.62	0	105.47
5-6	-3573.20	2476.70	-1145.55	-3268.13	-522.68	2369.01	0	41.67
SW	-2465.28	-3666.34	-2451.76	-1654.81	-1359.26	1646.97	0	72.70

Tabel 5.2. Nilai Maksimum Gaya-gaya Dalam pada Balok

### Lantai 1 s/d 5

COLUMN ID	MOMEN ARAH X		MOMEN ARAH Y		SHEAR ARAH X (kN)	SHEAR ARAH Y (kN)	AXIAL FORCE (kN)	TORSIONAL MOMENT (kNm)
	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)				
<b>IKSTERIOR</b>								
1	2434.27	2818.18	2435.75	2809.86	1544.84	1542.82	57013.95	0.00
2	399.91	464.83	2309.62	2651.87	254.34	1459.26	66677.48	0.00
3	399.91	464.84	2309.61	2651.87	254.34	1459.26	66677.47	0.00
<b>INTERIOR</b>								
9	1042.49	1193.14	136.80	1193.14	637.54	78.62	101298	0.00
10	452.08	615.27	1674.17	615.27	313.93	1055.76	31928.38	0.00
17	1210.12	1338.96	82.17	1338.96	749.73	49.46	115329	0.00

### Lantai 6 s/d 9

COLUMN ID	MOMEN ARAH X		MOMEN ARAH Y		SHEAR ARAH X (kN)	SHEAR ARAH Y (kN)	AXIAL FORCE (kN)	TORSIONAL MOMENT (kNm)
	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)				
<b>EKSTERIOR</b>								
1	3320.64	3254.63	6540.98	3348.56	1933.90	2026.37	28961.17	0.00
2	896.58	880.55	3487.51	3276.51	522.68	1989.42	33534.73	0.00
3	896.58	880.55	3487.50	3276.52	522.69	1989.41	33534.73	0.00
<b>INTERIOR</b>								
9	1484.80	1598.08	500.93	448.41	906.73	279.22	47980.27	0.00
10	478.58	553.75	2619.18	2548.51	303.63	1519.88	12890.38	0.00
17	2317.52	2217.63	242.63	194.10	1333.87	128.45	55630.67	0.00

Tabel 5.2. Nilai Maksimum Gaya-gaya Dalam pada Kolom

### Lantai 1

WALL ID	MOMEN ARAH X		MOMEN ARAH Y		SHEAR ARAH X (kN)	SHEAR ARAH Y (kN)	AXIAL FORCE (kN)	TORSIONAL MOMENT (kNm)
	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)				
1	6848	28515	169213	169242	4551	6	17866.3	0.00
2	46258	24237	45610	45661	4525	10	19381.1	0.00

### Lantai 2 – 9

WALL ID	MOMEN ARAH X		MOMEN ARAH Y		SHEAR ARAH X (kN)	SHEAR ARAH Y (kN)	AXIAL FORCE (kN)	TORSIONAL MOMENT (kNm)
	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)	TOP (kNm)	BOTTOM (kNm)				
1	4491	20502	115347	115347	4612	8	16947.6	0.00
2	37057	19886	34777	34821	4410	11	17535.8	0.00

Tabel 5.4. Nilai Maksimum Gaya-gaya Dalam pada Shear Wall

COLUMN ID	Hx (KN)	Hy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Pu (KN)
1	1608.12	74.28	2762.18	148.28	44941.72
2	430.94	324.47	739.16	556.83	32850.81
3	430.94	324.47	739.16	556.88	32850.90
4	1608.07	74.29	2762.09	148.30	44943.70
8	288.38	1685.09	526.50	2945.59	47383.17
9	288.39	1685.09	526.50	2945.59	84185.22
10	252.42	1263.36	460.31	2177.43	26535.78
12	252.42	1263.36	460.31	2177.44	26535.78
13	753.21	231.75	1327.50	415.79	84185.21
14	288.40	1685.13	526.51	2945.68	47381.17
15	102.21	1654.33	180.90	1654.33	55415.41
16	196.27	432.32	333.80	778.31	97996.85
17	1107.73	106.73	1924.67	201.60	95846.03
18	1107.73	106.73	1924.68	201.61	95846.02
19	196.27	432.32	333.81	778.31	97996.83
20	102.23	1654.33	180.91	2900.94	55415.22
21	102.79	1654.32	181.91	2900.92	55415.41
22	196.92	432.28	334.88	778.24	97996.38
23	1108.66	106.76	1926.25	161.33	95843.85
24	1108.66	106.77	1926.25	161.34	95843.86
25	196.90	432.28	334.85	778.24	97996.50
26	102.81	1654.33	181.95	1654.33	55415.24
27	288.80	1684.98	527.19	2945.42	47384.36
28	753.66	232.04	1328.28	416.26	84182.66
29	252.46	1263.61	460.38	2177.86	26516.23
30	252.46	1263.63	460.38	2177.90	26516.20
31	753.66	232.02	1328.29	416.23	84184.28
32	288.81	1685.04	527.22	2945.53	47382.44
37	1608.25	73.51	2762.38	146.98	44952.03
38	434.47	323.68	745.23	555.48	32925.87
39	434.47	323.68	745.23	555.48	32925.86
40	1608.27	73.50	2762.40	146.97	44952.10

Tabel 5.5. Nilai Maksimum Gaya-gaya Dalam Base Line Kolom untuk perencanaan pondasi

## 9. MOMENT AKIBAT BEBAN BOLAK-BALIK GEMPA

Lantai 1 s/d lantai 5

Type Blok	Momen Tumpuan ( kN-m )		Momen Lapangan ( kN-m )		Geser ( kN )		Gaya Aksial ( kN )	Moment Torsi ( kN-m )
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Tumpuan	Lapangan		
<b>Eks.</b>								
A-B	1362.79	-2119.283	1911.343	1230.617	-2328.415	-141.7167	0	-5.61
B-C	1175.76	-1879.851	1204.672	996.8472	-1670.017	-158.8501	0	5.67314
C-D	1036.76	-1428.436	1208.09	993.03	-1571.50	77.45	0	0.05
D-E	822.31	-1359.93	1204.66	996.84	-1549.07	159.08	0	-5.67
E-F	1362.6	-1748.17	1533.51	1230.602	-1303.27	32.51	0	5.60
1-2	1362.79	-2119.283	1911.343	1230.617	-2328.415	-141.7167	0	-5.61
2-3	1264.48	-1878.529	1211.484	999.2182	-1745.964	-198.7197	0	-78.8808
3-4	839.06	-14535.96	741.06	595.41	-1178.728	-24.97	0	3.24
4-5	691.707	-1273.671	1211.484	999.2179	-1519.313	999.2179	0	78.8803
5-6	1362.6	-1748.17	1533.51	1230.602	-1303.27	32.51	0	5.60
<b>Intr.</b>								
A-B	1747.74	-3095.112	1903.832	1550.429	-2688.59	-501.8868	0	3.27785
B-C	2409.58	-5573.68	2407.08	1912.91	-4110.14	-1025.133	0	44.47
C-D	2122.35	-2819.92	2512.71	1961.95	-3093.25	83.28	0	-0.21
D-E	100.82	-2705.78	2407.07	1912.86	-3056.64	1025.71	0	44.47
E-F	1747.74	-3095.112	1903.832	1550.429	-2688.59	-501.8868	0	3.27785
1-2	1747.74	-3095.112	1903.832	1550.429	-2688.59	-501.8868	0	3.27785
2-3	2367.25	-4801.20	2440.49	1953.12	-3893.50	-808.49	0	28.03
3-4	1275.22	-2828.014	2338.89	798.17	-3085.01	35.50	0	2.21
4-5	353.18	-2768.48	2440.49	1953.12	-3069.83	808.46	0	28.0193
5-6	1747.74	-3095.112	1903.832	1550.429	-2688.59	-501.8868	0	3.27785

Lantai 6 s/d lantai 9

Type Blok	Momen Tumpuan ( kN-m )		Momen Lapangan ( kN-m )		Geser ( kN )		Gaya Aksial ( kN )	Moment Torsi ( kN-m )
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Tumpuan	Lapangan		
<b>Eks.</b>								
A-B	1373.14	-1701.532	1608.689	1307.122	-4110.142	27.96	0	-11.93
B-C	1357.13	-1862.35	1214.85	999.80	-1719.74	-29.74	0	4.51
C-D	1119.89	-1485.382	1220.96	1010.87	-1577.84	86.11	0	66.11
D-E	837.428	-1215.40	1214.823	999.78	-1476.03	176.33	0	4.50
E-F	1416.86	-1771.82	1608.689	1307.122	-1317.15	-27.95	0	11.93
1-2	1416.86	-1771.82	1608.689	1307.122	-1317.15	-27.95	0	11.93
2-3	1628.62	-2188.942	1220.80	1004.90	-1835.58	-267.75	0	126.25
3-4	945.158	-1155.90	693.6478	565.17	-1184.981	18.43	0	4.21
4-5	561.961	-932.83	1220.801	1004.90	-1374.58	267.72	0	126.47
5-6	1373.14	-1701.532	1608.689	1307.122	-4110.142	27.96	0	-11.93
<b>Intr.</b>								
A-B	2604.17	-3597.492	1927.732	1568.365	-2869.21	-674.2289	0	8.24
B-C	416.3831	-7031.609	2490.55	682.16	-4572.30	-1475.72	0	71.76
C-D	2146.04	-3212.45	2656.467	1925.36	-3213.168	135.11	0	135.11
D-E	976.1583	-6008.73	2490.547	682.0981	-4268.689	1476.53	0	71.77
E-F	2604.17	-3597.492	1927.732	1568.365	-2869.21	-674.2289	0	8.24
1-2	344.512	-1432.441	2510.848	1662.847	-2588.14	727.34	0	35.06

2-3	976.1583	-7031.609	2729.05	1587.50	-4572.30	1476.53	0	128.74
3-4	976.1583	-7031.61	2729.045	344.60	-4572.30	1476.53	0	128.76
4-5	976.1573	-7031.61	2729.045	1587.50	-4572.298	1476.53	0	128.76
5-6	344.512	-1432.441	2510.848	1662.847	-2588.14	727.34	0	35.06

### Lantai Atap

Type Bix	Momen Tumpuan (kN.m)		Momen Lapangan (kN-m)		Geser (kN)		Gaya Aksial (kN)	Moment Torsi (kN-m)
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Tumpuan	Lapangan		
<b>Eks.</b>								
A-B	1115.09	-1339.642	1660.444	1381.859	-1188.56	15.44	0	-28.15
B-C	1249.36	-1539.59	1144.88	952.87	-1520.64	-106.60	0	3.52
C-D	1066.7	-1329.77	1134.33	944.02	-1438.65	36.95	0	0.14
D-E	875.48	-1096.94	1144.84	952.84	-1356.69	106.82	0	3.51
E-F	1141.5	-1371.366	1660.297	1381.737	-1196.57	-15.53	0	-28.12
1-2	1141.5	-1371.366	1660.297	1381.737	-1196.57	-15.53	0	-28.12
2-3	1583.09	-1918.49	1150.58	957.63	-1662.33	-227.71	0	-229.40
3-4	946.48	-1137.71	537.121	446.80	-1081.08	4.28	0	5.38
4-5	521.45	-689.51	1150.56	957.63	-1207.90	227.68	0	229.40
5-6	1115.09	-1339.642	1660.444	1381.859	-1188.56	15.44	0	-28.15
<b>Intr.</b>								
A-B	2184.13	-2626.622	1876.451	1561.864	-2396.99	-227.7098	0	22.46
B-C	274.40	-6517.67	2395.47	344.71	-4147.78	-1329.22	0	128.74
C-D	1772.5	-2914.85	2729.05	1720.02	-2944.90	132.22	0	105.48
D-E	671.845	-5092.19	2395.48	344.60	-3800.64	1329.92	0	128.76
E-F	2184.13	-2626.622	1876.451	1561.864	-2396.99	-227.7098	0	22.46
1-2	402.82	-1147.323	2476.698	1781.77	-2359.002	522.7228	0	229.397
2-3	671.845	-6517.67	2729.05	537.1207	-4572.3	1476.531	0	229.4
3-4	671.845	-6517.67	2729.05	537.1207	-4147.78	1476.531	0	128.76
4-5	976.158	-2409.58	2729.05	537.1207	-4572.3	1476.531	0	229.4
5-6	402.82	-1147.323	2476.698	1781.77	-2369.002	522.7228	0	229.397

**BAB VI**  
**PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA**

## BAB VI

# PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

### 6.1. PERENCANAAN BALOK INDUK

Balok yang dipakai pada perencanaan struktur Gedung Kandatel Malang ini adalah balok komposit. Dimana balok komposit ini adalah merupakan penggabungan balok pracetak dengan overtopping yang dicor diatas pelat pracetak.

Pada saat sebelum komposit balok berbentuk persegi dan memikul beban gravitasi selama pelaksanaan pemasangan pelat pracetak dan pengecoran overtopping. Kontrol terhadap guling perlu ditinjau selama pemasangan pelat pracetak. Setelah komposit, balok berbentuk T karena pelat menjadi monolit dengan balok.

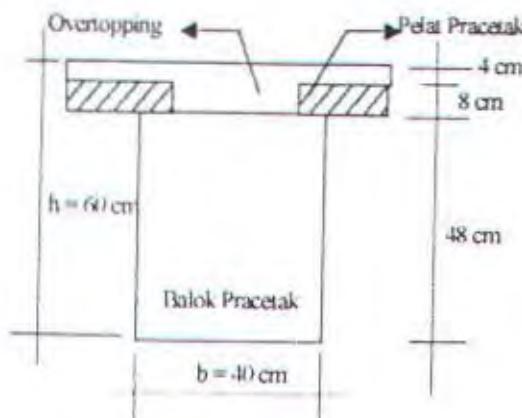
Beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa yang bekerja pada balok akan menimbulkan gaya dalam pada balok. Gaya-gaya dalam yang terdiri dari gaya lintang, momen dan gaya normal dihitung dengan program bantu komputer yaitu software ETABS versi 6.12. Input dan output data dapat dilihat pada lampiran.

Nilai dari gaya-gaya dalam yang telah dihitung dengan software ETABS, digunakan untuk perhitungan penulangan lentur balok, geser dan torsi.

#### 6.1.1. Data-data Perencanaan

- ⊕ Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 MPa
- ⊕ Mutu baja ( $f_y$ ) : 320 MPa

- ⇒ Dimensi balok : 40/60
- ⇒ Sebelum komposit balok induk sebagai balok precast dengan penampang persegi. Adapun ukuran penampang balok :



Gambar 6.1. Penampang Balok Induk 40/60

### 6.1.2. Pembebanan

Pembebanan pada balok induk konsepnya sama dengan pembebanan pada balok anak, yaitu berat akibat beban pelat yang berupa beban ekivalen ditambah dengan berat sendiri dan ditambah dengan beban akibat dinding. Adapun besarnya beban-beban tersebut adalah :

#### I. Beban akibat pelat

##### A. Pelat Atap

###### a. Sebelum Komposit

- Beban mati

$$\text{- berat sendiri pelat pracetak} = 0.08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{- Over Topping} &= 0.03 \times 2400 & = 72 \text{ kg/m}^2 + \\ && = 264 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban hidup LL = 100 kg/m<sup>2</sup>

Kombinasi pembebanan :

$$\begin{aligned} Q_U &= 1.2 \text{ DD} + 1.6 \text{ LL} \\ &= 1.2 \times 264 + 1.6 \times 100 \\ &= 476.8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

b. Sesudah Komposit

Beban mati

$$\begin{aligned} \text{- spesi (3 cm)} &= 3 \times 21 & = 63 \text{ kg/m}^2 \\ \text{- Aspal (2 cm)} &= 2 \times 14 & = 28 \text{ kg/m}^2 \\ \text{- Ducting Ac + pipa-pipa} && = 30 \text{ kg/m}^2 \\ \text{- Plafond + penggantung} && = 18 \text{ kg/cm}^2 + \\ && \qquad\qquad\qquad \text{DL} = 139 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban hidup LL = 250 kg/m<sup>2</sup>

Kombinasi pembebanan :

$$\begin{aligned} Q_U &= 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} \\ &= 1.2 \times 139 + 1.6 \times 250 \\ &= 390.80 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

**B. Pelat Lantai**

a. Sebelum Komposit

Beban mati

- berat sendiri pelat pracetak =  $0.08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$

- Over Topping =  $0.04 \times 2400 = \underline{\underline{96 \text{ kg/m}^2}} +$

DL =  $288 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup LL =  $100 \text{ kg/m}^2$

Kombinasi pembebanan :

$$Q_U = 1.2 \text{ DD} + 1.6 \text{ LL}$$

$$= 1.2 \times 288 + 1.6 \times 100$$

$$= 505.60 \text{ kg/m}^2$$

#### b. Sesudah Komposit

Beban mati

- spesi (3 cm) =  $3 \times 21 = 63 \text{ kg/m}^2$

- tegel (3 cm) =  $3 \times 24 = 72 \text{ kg/m}^2$

- Ducting Ac + pipa-pipa =  $30 \text{ kg/m}^2$

- Plafond + penggantung =  $\underline{\underline{18 \text{ kg/cm}^2}} +$

DL =  $183 \text{ kg/m}^2$

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

Kombinasi pembebanan :

$$Q_U = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$$

$$= 1.2 \times 183 + 1.6 \times 250$$

$$= 619.60 \text{ kg/m}^2$$

## 2. Berat sendiri balok

Balok 40/60 .....  $\rightarrow q = 0.60 \times 0.40 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}$

## 3. Beban akibat dinding

Beban akibat dinding diperhitungkan setelah komposit. Besarnya adalah :

$$q = 4 \times 250 = 1000 \text{ kg/m}$$

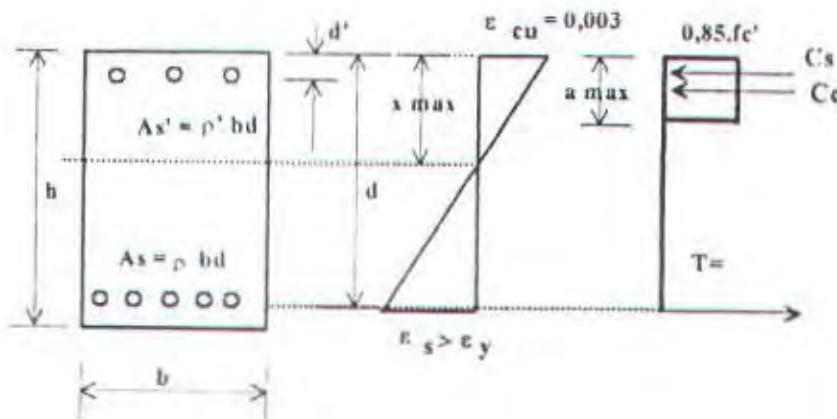
### 6.1.3. Penulangan Lentur Balok Induk

Prinsip perhitungan untuk penulangan lentur balok induk adalah sama dengan penulangan lentur balok anak, yaitu perhitungan dilakukan 2 tahap. Tahap pertama balok sebelum komposit (balok precast) dan tahap kedua balok setelah komposit. Pada waktu precast yaitu sebelum komposit perhitungan gaya-gaya dalam, perletakan balok berupa sendi-sendi dengan didapat momen lapangan saja. Sedangkan setelah komposit balok berupa frame yang kaku dengan memperhitungkan beban akibat gempa.

Untuk perhitungan tulangan lentur terdapat dua kondisi sistem penulangan, yaitu :

1. Apabila  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$ , maka tulangan tekan dipasang praktis saja
2. Apabila  $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{max}}$ , maka tulangan tekan dibutuhkan untuk menambah kekuatan.

Balok persegi dengan tulangan ganda :



Gambar 6.2. Penampang Balok Persegi dengan Tulangan Rangkap

Langkah-langkah perhitungannya :

1. Tentukan diameter tulangan yang dipakai

- + Tulangan pokok :  $\phi 29 \text{ mm}$  ( $A_s = 660.52$ )
- + Sengkang :  $\phi 10 \text{ mm}$  ( $A_s = 78.5$ )
- + Decking : 40 mm (lantai) , 50 mm (atap)

2. Hitung  $d$

- Setelah komposit

$$d = h - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan utama}$$

- Sebelum komposit

$$d = h - \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan utama}$$

3. Menetapkan lebar tekan

Karena balok pracetak berbentuk persegi maka lebar tekan setelah dan sebelum komposit adalah sebesar lebar balok (b)

4. Hitung  $R_n$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi bd^2}$$

5. Hitung  $\rho_{perlu}$

$$\rho = \frac{0.85fc'}{fy} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85fc'}} \right]$$

6. Cek terhadap  $\rho_{max}$  dan  $\rho_{min}$

⊕ Bila  $\rho_{perlu} < \rho_{min}$  → pakai  $\rho_{min}$

⊕ Bila  $\rho_{perlu} > \rho_{max}$  → perlu tulangan tekan

dimana :

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{fy}$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85fc'\beta_1}{fy} \left( \frac{600}{600 + fy} \right)$$

7. Hitung tulangan yang dibutuhkan

$$As = \rho_{pakai} b d$$

Harga b dan d tergantung kondisi sebelum dan sesudah komposit.

Bila tulangan tekan ikut bekerja maka :

j. Hitung  $a_{max}$

$$A_{max} = 0.85 x_{max}$$

dimana :

$$x_{max} = 0.75 \times b$$

$$xb = \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] d$$

2. Hitung  $Cc_{max}$  dan  $Mn_{max}$

$$Cc_{max} = 0.85 f'_c a_{max} b$$

$$Mn_{max} = Cc_{max} [d - (a_{max}/2)]$$

3. Hitung momen sisa yang harus dipikul oleh tulangan tekan

$$Mn_s = Mn_{perlu} - Mn_{max}$$

4. Hitung gaya yang harus ditahan tulangan tekan akibat momen sisa tersebut

$$Cs_{perlu} = \left[ \frac{Mn_s}{(d - d')} \right]$$

5. Periksa terhadap tulangan tekan leleh

$$c_y = \frac{x_{max} - d}{x_{max}} 0.003 \geq c_y = \frac{f_y}{E_s}$$

6. Hitung luas tulangan tekan dan tarik sesuai keadaan tulangan tekan diatas

a. Tulangan tekan leleh :

$$As' = \frac{Cs_{perlu}}{f_y - 0.85 f'_c}$$

$$As = \frac{Cc_{max}}{f_y} + As'$$

b. Tulangan tekan belum leleh :

$$As' = \frac{Cs_{\text{Perlu}}}{f_s' - 0.85fc'} \quad f_s' = Es$$

$$As = \frac{Cc_{\text{MAX}}}{f_y} + As' \frac{f_s'}{f_y}$$

Dalam perhitungan penulangan lentur pada tumpuan (pada tahap setelah komposit), penulis telah meninjau terhadap harga momen baik positif maupun negatif. Harga momen baik menjadi positif maupun negatif diakibatkan oleh beban gempa ataupun beban gravitasi. Jadi disini penulis tidak memasukkan harga atau syarat mengenai harga :

$$\delta = A'/A < 0.5$$

Disini penulis mengasumsikan bahwa untuk tumpuan positif serat tarik terjadi diatas dan bila tumpuan negatif serat tariknya dibawah (sama dengan lapangan). Untuk penulangan lapangan, balok diasumsikan sebagai balok berpenampang T, dengan lebar flens (bm) yang ada.

#### 6.1.3.1. Penulangan Lentur Sebelum Komposit

Persyaratan tulangan :

- Rasio Tulangan Balance

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0.85fc'\beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \beta_1 = 0.85 \text{ untuk } 0 < fc' < 30 \text{ MPa} \\ &= \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right) \\ &= 0.044 \end{aligned}$$

□ Rasio Tulangan Maksimum

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75\rho_b \\ &= 0.75 \times 0.0442 \\ &= 0.033\end{aligned}$$

□ Rasio Tulangan Minimum

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{320} \\ &= 0.0044\end{aligned}$$

□ Rasio antara baja dan Beton

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85f_c'} \\ &= \frac{320}{0.85 \times 30} \\ &= 12.55\end{aligned}$$

### Contoh Perhitungan

Dimensi Balok Induk : 40/60

Bentang Balok Anak : 5.8 m

#### Beban-beban yang bekerja :

1. *Sebelum Komposit*

□ Beban Mati

Berat sendiri balok ( $D_L_1$ ) =  $0.48 \times 0.40 \times 2400 = 460.8 \text{ kg/m}$

Berat tarapesium ekivalen pelat ( $q_d = 192 \text{ kg/m}^2$ ) :

$$\begin{aligned}
 q_{ek} = DL_2 &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_d \times Lx \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 192 \times 2.85 \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2.85}{5.8} \right)^2 \right] \\
 &= 503.16 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DL &= DL_1 + DL_2 \\
 &= 460.8 + 503.16 \\
 &= 963.96 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

□ Beban Hidup

Beban trapesium ekivalen pelat ( $q_t = 100 \text{ kg/m}^2$ ) :

$$\begin{aligned}
 q_{ek} = LL_1 &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_d \times Lx \times \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 100 \times 2.85 \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2.85}{5.8} \right)^2 \right] \\
 &= 262.06 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cast In Place} = LL_2 = 1754.4 \text{ kg/m}$$

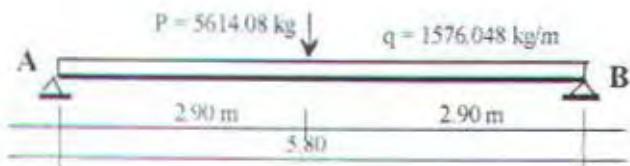
Kombinasi Pembebatan:

*Sebelum Komposit*

$$\begin{aligned}
 qu &= (1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}_1) + 1.6 \text{ LL}_2 \\
 &= (1.2 \times 963.96 + 1.6 \times 262.06) + 1.6 \times 1754.4 \\
 &= 4383.088 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Dimensi balok induk 40/60 cm pada lantai 1-9 (As 1 bentang A-B)

Bentang balok induk = 5.8 m



didapat :

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \left(\frac{1}{8} \times 1576.048 \times 5.8^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 5614.08 \times 5.8\right) \\ &= 14767.70 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{3} \times (5614.08 + (1576.048 \times 5.8)) \\ &= 7377.58 \text{ kg} \end{aligned}$$

maka :

$$Mu = 14767.70 \text{ kNm} = 1.477 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 120 - 40 - 10 - \frac{1}{2},25 = 417,5 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_H &= \frac{1.477 \times 10^8}{0.8 \times 400 \times 417.5^2} \\ &= 2.648 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 2.468}{320}} \right] \\ &= 0.00833 > \rho_{min} = 0.0044 \end{aligned}$$

$$\rho = \rho_{perlu} = 0.00833$$

$$As_{perlu} = \rho b d$$

$$= 0.00833 \times 400 \times 417.5$$

$$= 1391.11 \text{ mm}^2$$

### 6.1.3.2. Penulangan Lentur Setelah Komposit

Persyaratan tulangan :

- Rasio Tulangan Balance ( $\rho_b$ ) = 0.044
- Rasio Tulangan Maksimum ( $\rho_{max}$ ) = 0.033
- Rasio Tulangan Minimum ( $\rho_{min}$ ) = 0.0044
- Rasio antara baja dan beton ( $m$ ) = 12.55

#### Contoh Perhitungan

Dimensi balok induk 40/60 cm pada lantai 1-5(As 1 bentang A-B)

Bentang balok induk = 5.8 m

Dari analisa struktur dengan Software ETABS 6.12 didapat nilai-nilai momen sebagai berikut :

$$\Rightarrow M_{tumpuan\ negatif} = 2119.283 \text{ kNm} = 2.119\text{E+09 Nmm}$$

$$\Rightarrow M_{lapangan} = 1991.343 \text{ kNm} = 1.991\text{E+09 Nmm}$$

$$\Rightarrow M_{tumpuan\ positif} = 1362.78 \text{ kNm} = 1.363\text{E+09 Nmm}$$

Pada tumpuan atas ( negatif) :

Balok dianggap persegi

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 537.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{2.119 \times 10^9}{0.8 \times 400 \times 537.5^2} = 2.292$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 2.292}{320}} \right] = 0.00758 > \rho_{min} = 0.0044$$

$$\rho_{jukut} = 0.00758$$

$$As_{perlu} = 0.00758 \times 400 \times 537.5 = 1629.7 \text{ mm}^2$$

Pada lapangan :

Balok dianggap L (exterior)

$$b = bc = 880 \text{ mm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 537.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{1.991 \times 10^9}{0.8 \times 880 \times 537.5^2} = 0.979$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.979}{320}} \right] = 0.00315 < \rho_{min} = 0.0044$$

$$\rho_{jukut} = 0.0044$$

$$As_{perlu} = 0.0044 \times 880 \times 537.5 = 2081.2 \text{ mm}^2$$

Pada tumpuan bawah ( positif ) :

Balok dianggap persegi

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 537.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{1.363 \times 10^9}{0.8 \times 400 \times 537.5^2} = 1.474$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.474}{320}} \right] = 0.00478 > \rho_{min} = 0.0044$$

$$\rho_{jukut} = 0.00478$$

$$A_{S_{\text{setelah}}} = 0.00478 \times 400 \times 537.5 = 1027.7 \text{ mm}^2$$

### 6.1.3.3. Penulangan Lentur Akhir

Perhitungan tulangan lentur akhir pada balok induk ini, yaitu luas tulangan sebelum komposit dibandingkan dengan luas tulangan setelah komposit. Luasan tulangan terbesar dipaka sebagai luas tulangan akhir yang dibutuhkan

Tipe Balok : As I bentang A-B

Bentang (L) : 5,8 m

Lantai : 1 - 9

Dimensi : 40 x 60 cm<sup>2</sup>

Daerah	As setelah Komposit (mm <sup>2</sup> )	As sebelum Komposit (mm <sup>2</sup> )	As Akhir (mm <sup>2</sup> )	Tulangan Pakai (n - φ 29)	As Pakai (mm <sup>2</sup> )
T Atas	1629.7	0.00	1629.7	4 φ 25	1963
Lapangan	2081.2	1391.11	3472.31	8 φ 25	3927
T Bawah	1027.7	0.00	1027.7	3 φ 25	1473

Hasil perhitungan balok lainnya dapat dilihat pada Lampiran

#### 6.1.4. Penulangan Geser dan Torsi

Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \leq \phi V_n$$

dimana :

$V_u$  = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$\phi$  = faktor reduksi geser = 0.6

$V_n$  = kuat geser nominal =  $V_c + V_s$

$V_c$  = kuat geser beton

$V_s$  = kuat geser nominal tulangan geser

$$V_c = \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b w d}{\sqrt{1 + \left( 2.5 C_l \frac{T_u}{V_u} \right)}}$$

$$C_l = \frac{b w d}{\sum x^2 y}$$

Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi, harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut :

$$T_u \leq \phi T_n$$

dimana :

$T_u$  = momen torsi terfaktor pada penampang yang ditinjau

$\phi$  = faktor reduksi geser dan torsi = 0.6

$T_n$  = kuat momen torsi =  $T_c + T_s > T_{u_{min}}$

$T_c$  = kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton

$T_s$  = kuat momen torsi nominal tulangan geser

$$T_{u\min} = 1/20 \phi \sqrt{f'_c} \sum x^2 y \quad \dots \dots \text{batas } Tu$$

$$T_c = \frac{\frac{1}{15} \sqrt{f'_c} \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left( \frac{0.4 V_u}{C_t \cdot Tu} \right)^2}}$$

$$C_t = \frac{bw.d}{\sum x^2 y}$$

Perencanaan kombinasi geser dan torsi dibagi kedalam beberapa kategori seperti yang tercantum dalam tabel 6.1

Tabel 6.1. Keputusan untuk Kombinasi Geser dan Torsi

Zone	Kondisi Desain	Referensi SK-SNI T-15-1991-03	Tulangan Perlu
1	$T_u < \phi \left( \frac{1}{20} \sqrt{f'_c} \sum x^2 y \right)$ Torsi dapat diabaikan $V_u < \phi V_c / 2$	Pasal 3.4.6 butir 1 Pasal 3.4.5 butir 5-1	Tidak ada
2	$T_u < \phi \left( \frac{1}{20} \sqrt{f'_c} \sum x^2 y \right)$ Torsi dapat diabaikan $\phi V_c > V_u > \phi V_c / 2$	Pasal 3.4.6 butir 1 Pasal 3.4.5 butir 5-1	Geser minimum saja <i>Pers. 3.4-14</i>
3	$T_u < \phi \left( \frac{1}{20} \sqrt{f'_c} \sum x^2 y \right)$ Torsi dapat diabaikan $V_u > \phi V_c$	Pasal 3.4.6 butir 1 Pasal 3.4.5 butir 6-1	Hitung minimum saja <i>Pers. 3.4-17</i> $A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)s}{\phi f_y d}$
4	$T_u < \phi \left( \frac{1}{20} \sqrt{f'_c} \sum x^2 y \right)$ $V_u < \phi V_c / 2$	Pasal 3.4.6 butir 1 Pasal 3.4.5 butir 5-1	Torsi minimum saja $A_t = bw.s / 3.f_y$ <i>Pers. 3.4.16</i> dan untuk $A_1$ pada <i>Pers. 3.4-24</i> dan <i>3.4-25</i>

5	$T_u > \phi T_c$ $\phi V_c > V_u > \phi V_c / 2$	Pasal 3.4.6 butir 1 Pasal 3.4.5 butir 5-5	Kombinasi geser dan torsi Pers. 3.4-16
6	$T_u > \phi T_c$ Momen torsi dibutuhkan untuk keseimbangan Desain untuk $T_u$	Pasal 3.4.6 butir 9 sub butir 1 Pasal 3.4.6 butir 2	Hitung kombinasi geser dan torsi $At = \frac{(T_u - \phi T_c)s}{\phi f_y \alpha_1 x_1 y_1}$ Pers. 3.4-23 dan untuk $A_t$ pada pers. 3.4-24 dan 3.4-25
7	$T_u > \phi T_c$ Analisa penampang tak retak untuk momen torsi $T_u$ Desain untuk $T_u$ atau desain berlebih untuk torsi retak	Pasal 3.4.6 butir 9 sub butir 1	Hitung kombinasi geser dan torsi $At = \frac{(T_u - \phi T_c)s}{\phi f_y \alpha_1 x_1 y_1}$ Pers. 3.4-23 dan untuk $A_t$ pada pers. 3.4-24 dan 3.4-25
8	$T_u > 4T_c$	Pasal 3.4.6 butir 9 sub butir 4	Besarkan penampang

### Contoh Perhitungan :

Dimensi balok induk 40/60 cm pada lantai 1-5 (As 1 bentang A-B)

Dari program ETABS 6.10 diperoleh gaya-gaya dalam geser dan torsi :

□  $V_u = 1662.38 \text{ kN} = 1662380 \text{ N} = 1.662 \times 10^6 \text{ N}$

□  $T_u = 5.67 \text{ kNm} = 5670 \text{ Nm} = 5.67 \times 10^6 \text{ Nmm}$

Direncanakan :

↪ Diameter tulangan geser = 10 mm

↪  $f_c' = 30 \text{ MPa}$

↪  $d = 537.5 \text{ mm}$

a. Torsi Maksimum yang mampu dipikul penampang

Geser torsi minimal (batas) :

$$T_u = \frac{1}{20} \sqrt{f_c} \sum x^2 y$$

Dimana :

$$\sum x^2 y = (400)^2 (600) + 2(120)^2 (240) = 1.029 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\sum x^2 y = (400)^2 (480) + (120)^2 (880) = 8.947 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

dibambil yang terbesar yaitu  $1.029 \times 10^8 \text{ mm}^3$

$$T_u = \frac{1}{20} \times \sqrt{30} \times 1.029 \times 10^8 = 2.818 \times 10^7 \text{ Nmm} > 5.67 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan dilakukan perhitungan geser saja.

### b. Kebutuhan Tulangan Geser

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \frac{\phi \sqrt{f_c}}{6} b w d \\ &= \frac{0.6 \times \sqrt{30}}{6} \times 400 \times 537.5 \\ &= 1.177 \times 10^5 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = 5.866 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} < V_u = 1.662 \times 10^5 \text{ N} \quad \dots \dots \dots \text{Kondisi dalam Zone 3}$$

$$s = \frac{t v \phi V_d}{(V_u - \phi V_c)} = \frac{(2 \times 0.25 \times \pi \times 10^2) \times 0.6 \times 320 \times 537.5}{(1.662 - 0.6 \times 0.1173) 10^6} = 101.47 \text{ mm}$$

Pada Jokasi sepanjang  $d$  dari muka kolom, spasi maksimum tulangan geser tidak boleh melebihi nilai (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9 – 3.3b) :

$$\Rightarrow \frac{d}{4} = \frac{537,5}{4} = 134,375 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 10 \times \text{diameter tulangan longitudinal} = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 24 \times \text{diameter tulangan geser} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 300 \text{ mm}$$

Untuk daerah diluar jarak  $d$  dari muka kolom, spasi maksimum tulangan geser yang diijinkan tidak boleh melebihi (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 – 4)

$$\Rightarrow \frac{d}{2} = \frac{537,5}{2} = 268,75 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 600 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang :

Dalam jarak  $d$  :  $\phi 10 - 100$

Luar jarak  $d$  :  $\phi 10 - 260$

Untuk perhitungan tulangan geser pada balok lainnya, ditabelkan.

### 6.1.5. Penulangan Stud Balok Induk

#### 6.1.5.1. Transfer Gaya Horisontal

Mekanisme dari transfer gaya geser horisontal dihitung berdasarkan besarnya gaya geser yang dipindahkan melalui permukaan temu ACI 318.83

mengusulkan dua metode alternatif untuk merencanakan transfer gaya horizontal, yaitu :

1. Perencanaan berdasarkan pada gaya geser berfaktor vertikal pada penampang yang ditinjau.
2. Perencanaan berdasarkan pada kekuatan geser friksi pada bidang temu dimana kekuatan geser tersebut mampu menjamin perubahan aktual gaya tekan / tarik yang terjadi pada penampang yang ditinjau

Dalam perencanaan ini dipakai metoda yang kedua, karena lebih mendekati kenyataan, dimana dasar desain :

$$F_{uh} \leq \phi F_{nh}$$

dimana :  $F_{uh}$  = gaya geser horisontal berfaktor

$F_{nh}$  = kekuatan geser horisontal

$$\phi = 0,65$$

Menurut SK SNI 1991 pasal 3.10.5. ada tiga kasus yang mungkin terjadi, yaitu :

1.  $F_{uh} \leq 0,6 b v, l v h$

Permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna dan sengaja dikasarkan. Atau tidak sengaja dikasarkan tetapi diberi sengkang pengikat minimum sesuai SK SNI T-15-1991 pasal 3.10.6.

2.  $0,6 b v, l v h \leq V_{nh} \leq 2,5 b v, l v h$

Permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna dan sengaja dikasarkan sehingga mencapai tingkat kekasaran dengan

amplitudo 5 mm diberi sengkang minimum sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.10.6

3.  $V_{nh} \leq 2.5 b v_i l_{vh}$

Permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna perencanaan untuk geser horisontal harus dikerjakan sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.10.6 yaitu :

- kuat geser nominal maksimum yang didasarkan pada beton adalah :  
 $1.2.f'_c.bv.l_{vh}$  atau  $5.5 b v_i l_{vh}$  adalah Newton. Jadi dengan kata lain  
 $F_{nh \max} = 1.2 f'_c b v_i l_{vh}$
- Luas tulangan geser horisontal dapat dihitung dengan persamaan :

$$Avf' = \frac{V_n}{\mu f}$$

dimana :

$Avf'$  = Luas Tulangan geser horisontal

$V_{nh}$  = Gaya geser horisontal nominal

$\mu$  =  $1 \times 1$  untuk komposit

$l$  = 1.0 untuk beton normal

= 0.85 untuk beton pasir ringan

= 0.75 untuk beton ringan

$f_y$  = tegangan leleh tulangan

Tulangan geser dipasang dalam bentuk sengkang pengikat dengan jarak sengkang :

$$s = Lvh \cdot A_{tie} / A_{vi}$$

$$s_{max} = 4 \times \text{dimensi terkecil elemen yang didukung}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

Penulangan geser minimum :

$$A_{vi} (\min) = b v \cdot l v h / 3 f_y$$

#### 6.1.5.2. Perhitungan Penulangan Stud

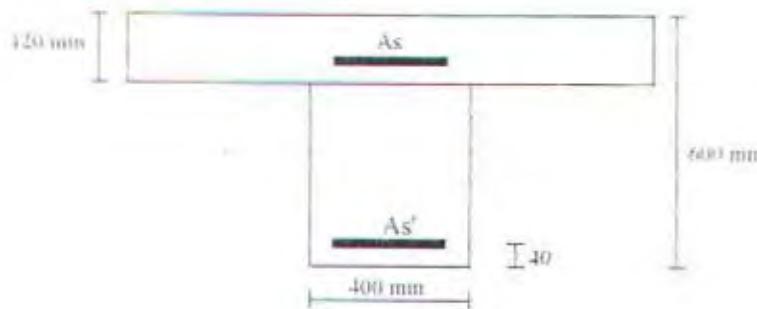
Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antara elemen pracetak dan elemen cast in place. Stud harus mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen. Dengan demikian kedua elemen tersebut dapat menjadi suatu elemen yang komposit dalam memikul beban.

Sebagai pendekatan, panjang balok yang mentransfer gaya geser permukaan  $Lvh$   $L/4$ .

Pada perencanaan Gedung Kandatel Malang ini, semua balok (balok induk dan balok anak) mempunyai bentang 5.8 m. Jadi panjang permukaan geser horizontal  $Lvh = 5800/4 = 1450 \text{ mm}$

Sebagai contoh diambil Balok As 2 (A-B) lantai 1-9

### Penulangan Geser di Daerah Tumpuan



sejarak 0 s/d Lyh = 1450 mm

Tulangan atas = 4 D 25 ( $A_s = 1963 \text{ mm}^2$ )

Tulangan bawah = 3 D 25 ( $A_s' = 1473 \text{ mm}^2$ )

$$F_{nh} = T = A_s \times f_y = 1963 \times 320 = 628160 \text{ N}$$

$$0.6 \cdot b \cdot Lyh = 0.6 \times 400 \times 1450 = 348000 \text{ N} < F_{nh}$$

$$2.5 \cdot b \cdot Lyh = 2.5 \times 400 \times 1450 = 1450000 \text{ N} > F_{nh}$$

jadi termasuk kasus 2, dengan syarat yang diminta adalah permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna dan sengaja dikasarkan dengan amplitudo  $\pm 5 \text{ mm}$  dan harus dipasang sengkang minimum :

$$Avf_{min} = \frac{b \cdot Lyh}{3 f_y} = \frac{400 \times 1450}{3 \times 320} = 604.167 \text{ mm}^2$$

Direncanakan sengkang pengikat :  $\phi 8$  ( $A_{ue} = 2 \times 50.2 = 100.4 \text{ mm}^2$ )

$$s = \frac{Lyh \cdot A_{ue}}{Avf} = \frac{1450 \times 100.4}{604.167} = 240.96 \text{ mm}$$

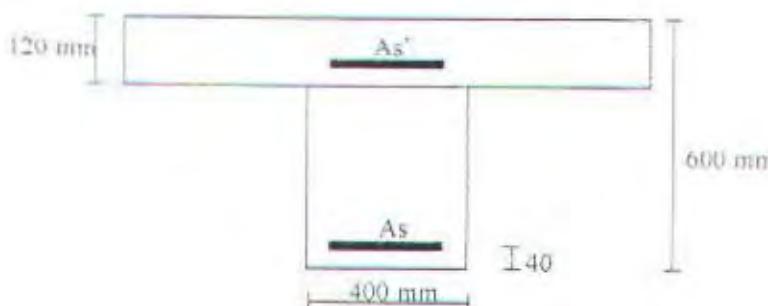
Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.10.6.1 :

$$s_{max} = 4 \times t_{pelat} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= 4 \times 120 = 480 \text{ mm}$$

jadi dipasang sengkang pengikat  $\phi 8 - 200 \text{ mm}$

### Penulangan Geser di Daerah Lapangan



Sejarak = 1450 mm

Tulangan atas = 4 D 25 ( $A_s' = 1963 \text{ mm}^2$ )

Tulangan bawah = 8 D 25 ( $A_s = 3927 \text{ mm}^2$ )

$$F_{nh} = T = A_s \times f_y = 3927 \times 320 = 1256640 \text{ N}$$

$$0.6 \cdot b_v \cdot L_{vh} = 0.6 \times 400 \times 1450 = 348000 \text{ N} < F_{nh}$$

$$2.5 \cdot b_v \cdot L_{vh} = 2.5 \times 400 \times 1450 = 1450000 \text{ N} > F_{nh}$$

jadi termasuk kasus 2, dengan syarat yang diminta adalah permukaan temunya bersih dan bebas dari serpihan beton yang tidak berguna dan sengaja dikasarkan dengan amplitudo  $\pm 5 \text{ mm}$  dan harus dipasang sengkang minimum :

$$A_{vf_{min}} = \frac{b_v \cdot L_{vh}}{3 f_y} = \frac{400 \times 1450}{3 \times 320} = 604.167 \text{ mm}^2$$

Direncanakan sengkang pengikat :  $\phi 8 (A_{tie} = 2 \times 50.2 = 100.4 \text{ mm}^2)$

$$s = \frac{Lvh.A_{te}}{Avf} = \frac{1450 \times 100.4}{604.167} = 240.96 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.10.6.1 ;

$S_{\max} = 4 \times t_{\text{pelat}} \leq 600 \text{ mm}$

$$= 4 \times 120 = 480 \text{ mm}$$

jadi dipasang sengkang pengikat  $\phi 8 - 200 \text{ mm}$

#### 6.1.6. Panjang Penyaluran

##### 6.1.6.1. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Panjang penyaluran tulangan dasar harus dihitung sesuai dengan perumusan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.5.2. sebagai berikut :

Untuk batang D-36 dan lebih kecil

$$L_{db} = \frac{0.02 Ab.f_y}{\sqrt{f_{c'}}} \quad \text{tetapi tidak kurang dari} \quad L_{db} = db.f_y$$

dimana :

$Ab$  = luas satu batang tulangan,  $\text{mm}^2$

$f_y$  = tegangan leleh tulangan, MPa

$f_{c'}$  = tegangan leleh beton, MPa

$db$  = diameter batang tulangan, mm

Panjang penyaluran dasar harus dikalikan dengan faktor-faktor yang berlaku untuk :

- Tulangan berada 300 mm diatas dasar ..... 1.4
- Memakai  $f_y > 400 \text{ Mpa}$  .....  $[2-(400/f_y)]$

- Tulangan yang dililit spiral dengan ..... 0.75  
 Diameter tidak kurang dari 5 mm dan  
 Jarak lilitannya tidak lebih dari 100 mm

**Contoh perhitungan :**

Diameter tulangan ( $\phi$  tul) = 25 mm

$$Ab = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$Ldb = \frac{0,02 \times 490,625 \times 320}{\sqrt{30}} = 573,282 \text{ mm}$$

$$Ldb = 0,06 \times 25 \times 320 = 480 \text{ mm}$$

diambil Ldb = 480 mm  $\approx$  600 mm

#### 6.1.6.2. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Panjang penyaluran dasar harus dihitung sesuai dengan perumusan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.5.2. sebagai berikut :

$$Ldb = \frac{db \cdot fy}{4\sqrt{fc'}} \quad \text{tetapi tidak kurang dari } Ldb = 0,04 \cdot db \cdot fy$$

Panjang penyaluran dasar harus dikalikan dengan faktor-faktor yang berlaku untuk :

- Tulangan yang dililit spiral dengan ..... 0.75  
 Diameter tidak kurang dari 5mm dan  
 Jarak lilitannya tidak lebih dari 100 mm

**Contoh perhitungan :**

$$Ldb = \frac{25 \times 320}{4\sqrt{30}} = 365,15 \text{ mm} \quad \text{dan } Ldb = 0,04 \times 25 \times 320 = 320 \text{ mm}$$

diamati  $L_{db} = 320 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$

#### 6.1.7. Kontrol Lendutan dan Retak

##### 6.1.7.1. Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03, apabila lendutan tidak dihitung maka tebal balok harus lebih besar dari tebal minimum yang disyaratkan. Adapun syarat tebal minimum yang tercantum pada tabel 5.2.5.a sebagai berikut :

Balok dua tumpuan       $h_{min} = \frac{1}{16} \left[ 0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$

Satu ujung menerus       $h_{min} = \frac{1}{18.5} \left[ 0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$

Kedua ujung menerus       $h_{min} = \frac{1}{21} \left[ 0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$

Kantilever       $h_{min} = \frac{1}{8} \left[ 0.4 + \frac{f_y}{700} \right]$

Untuk perhitungan ini, lendutan tidak dihitung dikarenakan tebal balok yang ada lebih besar dari tebal minimum (Pada perhitungan perencanaan dimensi balok tebalnya sudah diperbesar).

##### 6.1.7.2. Kontrol Retak

Didalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.6, apabila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen positif' dan negatif maksimum harus diproporsikan sedemikian sehingga nilai 'z' yang diberikan harus :

$$Z = f_s \cdot \sqrt{dcA} < 30 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \text{ untuk struktur dalam ruangan}$$

$25 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$  untuk struktur yang dipengaruhi

oleh cuaca luar

dimana

$f_s$  = tegangan pada tulangan pada beban kerja, diambil 0.6  $f_y$  dalam MPa

$d_c$  = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan, mm

$A_e$  = luas efektif beton disekitar tulangan lentur tarik dengan titik pusat yang sama dengan tulangan dibagi dengan jumlah batang tulangan

Contoh perhitungan :

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$f_s = 0.6 \times 320 = 192 \text{ Mpa}$$

$$d_c = 40 + 10 + 25/2 = 62.5 \text{ mm}$$

$$A_e = d_c b/n_{tul} = 537.5 \times 400 / 8 = 26875 \text{ mm}^2$$

## 6.2. PERENCANAAN KOLOM

Perencanaan kolom meliputi penulangan lentur kolom, kontrol terhadap triaksial bending kolom dengan *Bressler Reciprocal Method* dan penulangan geser kolom. Perencanaan konsol pendek sebagai penyangga balok pracetak yang akan disambung dengan kolom dibahas dalam Bab Perencanaan Sambungan.

Elemen kolom dilaksanakan Metode Konstruksi *Cast in situ* (cor di tempat) dengan mutu beton yang sama dengan elemen beton pracetak. Perencanaan elemen kolom berdasarkan keadaan akhir struktur. Gaya dalam yang bekerja dihitung dengan software ETABS 6.10. Pedoman Peraturan perencanaan yang dipakai adalah SKSNI T-5-1991-03, Reinforced Concrete Design oleh Chu-Kia

software ETABS 6.10. Pedoman Peraturan perencanaan yang dipakai adalah SKSNI T-5-1991-03, Reinforced Concrete Design oleh Chu-Kia Wang serta Grafik bantu interaksi M-N empat sisi dari Laboratorium Konstruksi Jurusan Teknik Sipil ITS.

### 6.2.1. Dasar Teori

Suatu komponen struktur yang menerima momen lentur dan aksial tekan secara serentak harus diperhitungkan sebagai *beam column*; dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk yang terjadi akibat kelangsungan komponen struktur tersebut.

Dengan adanya faktor tekuk akibat pengaruh kelangsungan ini, pada komponen struktur tekan dan lentur akan terjadi momen tambahan sebesar :

$M_o = P \cdot \Delta$ , sehingga untuk suatu komponen struktur tekan dan lentur langsing, momen-momen pada ujung kolom harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran yang akan diuraikan dalam subbab-subbab berikut ini.

### 6.2.2. Panjang Tekuk Kolom

Panjang tekuk kolom adalah panjang bersih kolom antara pelat lantai atau balok diujung-ujungnya yang dikalikan dengan suatu faktor tekuk ( $k$ ) yang besarnya :

$k \geq 1$  untuk kolom tanpa pengaku samping (*unbraced*)

$k \leq 1$  untuk kolom dengan pengaku samping (*braced*)

Faktor tekuk ( $k$ ) merupakan fungsi dari tingkat penjepit ujung atas ( $\psi_A$ ) dan tingkat penjepit ujung bawah ( $\psi_B$ ) dimana tingkat penjepit ujung kolom tersebut dihitung dengan persamaan :

$$\psi(A/B) = \frac{\sum(EIc/Lc) \text{ kolom}}{\sum(Elb/Lb) \text{ balok}}$$

dimana :

$\psi(A/B)$  = tingkat penjepitan ujung atas dan bawah

$lb, lc$  = Momen Inersia balok, kolom

$Lb, Lc$  = Panjang elemen balok, kolom

Nilai dari faktor tekuk ( $k$ ) dapat diperoleh dari nomogram atau grafik Alignment dari *Structural Stability Research Council Guide* dengan cara menarik garis yang menghubungkan nilai  $\psi_A$  dan  $\psi_B$  yang disesuaikan apakah kolom yang direncanakan tergolong *braced frame* atau *unbraced frame*.

### 6.2.3. Pembatasan Penulangan Kolom

Nilai dari  $\rho$  adalah  $0.01 \leq \rho \leq 0.08$ . Hal ini berarti rasio penulangan kolom disyaratkan untuk tidak boleh kurang dari 1% dan tidak boleh lebih dari 8% dari luas bruto penampang kolom. (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9.1).

Pembatasan rasio tulangan minimum ini ditujukan untuk mencegah terjadinya rangkak (*creep*) yang terjadi pada beton. Pertimbangan lainnya adalah untuk kemudahan pelaksanaan di lapangan.

Jumlah minimum batang tulangan memanjang kolom adalah 4 buah untuk kolom dengan sengkang pengikat segi empat dan 6 buah untuk sengkang pengikat spiral.

#### 6.2.4. Kolom Pendek

Suatu unsur tekan pendek bila dibebani gaya aksial lebih besar dari kapasitasnya akan mengalami keruntuhan bahan (runtuhnya beton) sebelum mencapai ragam keruntuhan tekuknya. Oleh sebab itu untuk perencanaan struktur tekan pendek, bahaya akibat tekuk tidak perlu diperhitungkan.

Suatu komponen struktur tekan dikatakan pendek apabila perbandingan kelangsungan yaitu perbandingan panjang tekuk kolom ( $k L_n$ ) terhadap radius girasi ( $r$ ) :

$$\frac{k L_n}{r} < 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}}$$

dimana :

↳  $M_2 > M_1$  (*braced frame*)

↳ nilai  $\frac{M_{1b}}{M_{2b}} = 1 \rightarrow \frac{k L_n}{r} < 22$  (*unbraced frame*)

↳ Nilai  $r$  dapat diambil sebesar  $\sqrt{\lambda}$  atau

$r = 0.3 h$  dalam arah momen yang ditinjau untuk kolom persegi

$\tau = 0,25 d$  untuk kolom bulat ( $d$  = diameter kolom)

bila  $M_1/M_2 > 0$ ; single curvature

bila  $M_1/M_2 < 0$ ; double curvature

#### 6.2.5. Kolom Panjang

Apabila nilai perbandingan kelangsungan untuk kolom pendek atas tidak terpenuhi, maka suatu komponen struktur boleh dikatakan kolom panjang.

Kolom dengan perbandingan kelangsungan besar akan menimbulkan lendutan kesamping (menekuk) akibat momen sekunder yang terjadi, sehingga mengurangi kekuatan nominal dari kolom panjang tersebut. Untuk itu dalam perhitungan kolom panjang diperlukan suatu faktor pembesaran momen yang diperhitungkan terhadap panjang tekuk kolom.

#### 6.2.6. Faktor Pembesaran Momen untuk Kolom Panjang

Dalam peraturan ACI, perhitungan dari pengaruh kelangsungan dapat didekati dengan menggunakan cara pembesaran momen, dimana jumlah dari momen primer dan sekunder dikalikan dengan suatu faktor pembesaran  $\delta$ .

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11.5 menyebutkan bahwa apabila suatu kolom adalah kolom panjang, maka momen yang terjadi harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran menjadi :

$$M_c = \delta b M_{2b} + \delta s M_{2s} \quad \dots \quad \text{SK SNI T-15-1991-03 psI 3.3.6.}$$

dimana :

$M_c$  = Momen rencana kolom setelah diperbesar

$M_{2b}$  = Momen berfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban

yang tidak menimbulkan goyangan berarti seperti beban gravitasi

- $M_{2b}$  Momen berfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban yang menimbulkan goncangan kesamping seperti beban gempa

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - (\rho_u / \phi P_c)} \geq 1 \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 psl 3.3.7})$$

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - (\sum \rho_u / \phi P_c)} \geq 1 \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 psl 3.3.8})$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \left[ \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right] > 0.4 \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 psl 3.3.12.})$$

Nilai  $M_{1b}/M_{2b}$  negatif untuk momen double curvature.

Untuk *unbraced frame*  $C_m = 1$

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11.5-1, untuk *unbraced frame* kedua nilai  $\delta_b$  dan  $\delta_s$  harus dihitung, sedangkan untuk *braced frame*  $\delta_s$  harus diambil sebesar 1.

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k L_n)^2} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 pers. 3.3.9})$$

$$EI = \frac{0.2 E c I g + E s l s}{1 + \beta d} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 pers. 3.3.10})$$

$$\approx 0.3 E c I g \quad (\text{pendekatan})$$

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

= 0.65 (untuk komponen kolom dengan tulangan spiral maupun

sengkang ikat)

Dalam Tugas Akhir ini perencanaan Gedung Kandatel Malang, kolom dirancang sebagai *braced frame* karena ada pengekangan goyangan ke samping struktur oleh *shear wall*.

#### 6.2.7. Penulangan Lentur Kolom

Dari perhitungan pembesaran momen untuk kolom panjang diatas, maka penulangan lentur kolom dapat dicari dengan bantuan diagram interaksi M-N non dimensi dari Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, W.C. Vis dan Gideon Kusuma.

Diagram Interaksi M-N untuk penulangan lentur kolom penampang persegi dan penampang bulat tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton, mutu baja tulangan serta harga  $d'/h$ . pada sumbu vertikal dicantumkan nilai  $\frac{P_u}{\phi A_{gr} 0.85 f'_c}$

dan pada sumbu horisontal dicantumkan nilai  $\frac{P_u}{\phi A_{gr} 0.85 f'_c} \left( \frac{e_i}{h} \right)$ .

Dalam  $e_i$  telah diperhitungkan harga eksentrisitas  $e_i = Mu/Pu$ , demikian pula dengan faktor pembesaran yang berkaitan dengan gejala tekuk. Besaran pada kedua sumbu dapat dihitung dan dipetakan dalam bentuk grafik-grafik. Kemudian yang dibaca adalah nilai  $\beta$ . Tulangan yang diperlukan  $A_s$  ditentukan dengan  $\beta \rho$ , dimana  $\beta$  tergantung dari mutu beton. Nilai dari  $\beta$  ditunjukkan dalam grafik-grafik. Peralihan tegangan baja dalam tulangan dinyatakan pada daerah I s/d V. Nilai-nilai  $c/h$  dicantumkan dalam grafik-grafik, begitu pula pada peralihan tegangan baja.

Sedangkan untuk nilai-nilai  $f$  diantara  $P_u = 0.1 f_c^2$  Agr dan  $P_u = 0$ , bolch ditingkatkan dari  $\phi = 0.65$  sampai  $\phi = 0.80$ . Untuk kolom yang dibebani tarik berlaku  $\phi = 0.8$ .

Tahapan-tahapan penulangan lentur kolom :

1. Tetapkan apakah kolom termasuk *braced* atau *unbraced*. Dalam hal ini jenis kolom adalah kolom braced karena terdapat dinding geser yang dapat dianggap mampu menahan ke arah lateral.
2. Tetapkan apakah kolom termasuk kolom pendek atau kolom panjang. Seperti telah dijelaskan di atas, bila termasuk kolom pendek maka tidak perlu dilakukan pembesaran momen, dan sebaliknya. Peninjauan kolom pendek atau kolom panjang dilakukan pada kedua arah sumbu global. Hal ini dilakukan sebagai langkah keamanan.
3. Momen yang telah diperoleh dari langkah 2, kemudian dihitung momen ekivalensinya. Dimana momen dua arah (*biaxial*) dijadikan satu arah, ke arah yang kritis. Rumus yang digunakan adalah :

$$\phi M_{nx} = M_{ux} + M_{uy} \frac{b}{h} \frac{1-\beta}{\beta} \text{ untuk } M_{ux} > M_{uy}$$

$$\phi M_{ny} = M_{ux} + M_{uy} \frac{h}{b} \frac{1-\beta}{\beta} \text{ untuk } M_{ux} < M_{uy}$$

Harga  $\beta$  berkisar antara 0.55 sampai dengan 0.65. Untuk desain lebih akurat biasa digunakan 0.65. Dari dua harga momen di atas dipilih yang terbesar untuk mendesain tulangan dengan bantuan diagram interaksi.

Diagram interaksi M – N tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton dan mutu baja tulangan, sumbu ordinatnya menyatakan  $P_u$  dan sumbu absisnya menyatakan  $M_u$  dengan rumus sebagai berikut :

$$K_y = \frac{\phi P_n}{A_g} \dots \dots \text{untuk sumbu ordinat (y)}$$

$$K_x = \frac{\phi M_n}{A_g n} \dots \dots \text{untuk sumbu absis (x)}$$

Nilai  $P_n$  diperoleh dari hasil analisa ETABS 6.12, sedangkan  $M_n$  diperoleh dari rumus di atas. Besarnya  $\rho$  perlu diperoleh dengan menarik garis sejajar sumbu x sebesar  $K_x$  yang dipotongkan dengan garis sejajar sumbu Y sebesar  $K_y$ . Diagram interaksi kolom dapat dilihat pada lampiran.

4. Memilih jumlah tulangan sesuai dengan  $A$  perlu, dimana perumusannya  $A$  perlu =  $\rho$  perlu.  $b \cdot h$  yang nantinya akan menghasilkan  $A$  ada.
5. Pengontrolan membandingkan  $P_n$  penampang dengan  $P_n$  yang terjadi
  - bila  $P_n$  penampang >  $P_n$  yang terjadi ..... Kolom kuat
  - bila  $P_n$  penampang <  $P_n$  yang terjadi ..... Kolom tidak kuat

#### 6.2.8. Kontrol dengan Bresler Reciprocal Method

*Bresler Reciprocal Method* merupakan salah satu teori dalam pengecekan kolom yang mengalami momen dari dua arah (*biaxial bending*). Sebagai alat bantunya digunakan diagram interaksi yang sama dengan yang digunakan untuk merencanakan tulangan lentur kolom di atas.

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Hitung harga  $\frac{e}{h}$  untuk masing-masing arah momen. Momen yang digunakan ialah momen yang dihasilkan dari langkah-langkah perencanaan tulangan lentur kolom.
2. Dari harga  $\frac{c}{h}$  untuk masing-masing arah momen dan  $\rho$  yang digunakan, lalu titik pertemuannya diproyeksikan sejajar sumbu x untuk memperoleh harga  $\frac{\phi \cdot P_n}{A_g}$ . Maka harga  $P_n$  untuk arah x dan y dapat diperoleh.

Kekuatan penampang tekan yang memperoleh gaya aksial dan momen lentur dalam dua arah sumbu utamanya (*momen biaksial*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{ob}} \geq P_n \text{ ada}$$

dimana :

$P_{nx}$  = gaya aksial nominal arah x

$P_{ny}$  = gaya aksial nominal arah y

$P_{ob}$  = kekuatan nominal tanpa eksentrisitas

$$= 0,8 \phi (0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$$

...(SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.1-2)

Dengan harga  $\frac{e_x}{h}, \frac{e_y}{h}$  dan  $\rho$  yang telah terpasang, maka nilai  $P_{ox}$  dan  $P_{oy}$  dapat

dicari dengan diagram interaksi M – N dengan rumus :

$$P_{n_x} = \frac{k_x \cdot A_g}{0,65}$$

$$P_{n_y} = \frac{k_y \cdot A_g}{0,65}$$

dimana  $k_x$  dan  $k_y$  adalah konstanta yang didapat pada sumbu ordinat diagram interaksi M – N untuk  $P_{n_x}$  dan  $P_{n_y}$ . Diagram interaksi dapat dilihat pada lampiran.

#### 6.2.9. Penulangan Geser dan Torsi Kolom

Penulangan geser dan torsi pada kolom pada dasarnya adalah sama dengan penulangan geser dan torsi pada balok, hanya pada kolom daerah ujung-ujung kolom harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa (diatur dalam PB 1989 Appendiks A).

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan tulangan geser-torsi pada kolom adalah sebagai berikut :

- Rasio tinggi antara kolom terhadap dimensi terkecil kolom tidak boleh lebih besar dari 25.
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup maupun sengkang majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari  $d/5$ , sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter sengkang dan 300 mm.

- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Pada daerah ujung sejarak  $d$  dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton ( $\phi V_c$ ) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4. -
- Pada komponen struktur kolom, torsi kompatibilitas tidak boleh dipakai karena pada kolom tidak terjadi redistribusi gaya-gaya dalam kecuali untuk suatu komponen kolom khusus.

Selanjutnya untuk langkah-langkah perhitungan penulangan geser-torsi dapat dilihat pada subbab penulangan geser-torsi pada perencanaan balok

#### 6.2.10. Perhitungan Penulangan Kolom

Diambil contoh perhitungan untuk kolom As 5 Type A Lantai 1 - lantai 5.

Data-data perencanaan :

- Dimensi kolom =  $700 \times 700 \text{ mm}^2$
- Mutu beton ( $f'_c$ ) =  $30 \text{ MPa}$
- Mutu baja ( $f_y$ ) =  $320 \text{ MPa}$
- Decking =  $40 \text{ mm}$
- Tulangan Utama = D25
- Beugel = D10
- $d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 62.5$

- Tinggi kolom = 4000 mm
- Jenis kolom = braced (dengan pengaku)

#### 6.2.10.1. Penulangan Lentur

1. Gaya-gaya yang bekerja pada kolom (dari output ETABS 6.12)

- $P_u = 57013.95 \text{ kN} = 57013950 \text{ N}$
- $V_{ux} = 1544.84 \text{ kN} = 1544840 \text{ N}$
- $V_{uy} = 1542.82 \text{ kN} = 1542820 \text{ N}$
- $M_{ux} = 2818.18 \text{ kNm} = 2818180 \text{ Nm}$
- $M_{uy} = 2809.86 \text{ kNm} = 2809860 \text{ Nm}$
- $T_u = 0$

2. Perhitungan faktor tekuk ( $k$ )

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} = 4700 \times \sqrt{30} = 25742.96 \text{ MPa}$$

EI balok (ukuran 400 mm x 600 mm)

$$I_g = 1/12 \times 400 \times 600^3 = 7.2 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = 0.5 \times I_g = 3.6 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI = E_c \times I_{cr} = 9.267 \times 10^{13}$$

EI kolom (ukuran 600 mm x 600 mm)

$$I_g = 1/12 \times 700 \times 700^3 = 2.00 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$EI = E_c \times I_g = 2.78 \times 10^{14}$$

Faktor Jepitan Atas

$$\psi_A = \frac{\sum (EIc/l_c) \text{ kolom}}{\sum (EIh/l_b) \text{ balok}} = \frac{2 \times (2.78 \times 10^{14} / 4000)}{2 \times (9.267 \times 10^{13} / 5800)} = 43.49$$

#### Faktor Jepitan Bawah

$\psi_R = 0$  (secara toritis), tetapi *Structural Stability Research Council* menyarankan bahwa untuk tujuan praktik  $\psi_B$  tidak boleh diambil kurang dari 1. Sehingga nilai  $\psi_u = 1$

dari nomogram non dimensi didapatkan faktor tekuk ( $k$ ) = 0.84

#### 3. Kontrol Kelangsungan

Jenis kolom dalam perencanaan ini adalah kolom dengan pengaku samping (braced frame)

Jari-jari girasi ( $r$ ) =  $0.3 h = 0.3 \times 700 = 210$

$$\text{Nilai Kelangsungan} = \frac{k \cdot L_u}{r}$$

$$\frac{0.87 \times 4100}{210}$$

$$= 16.98 < 22$$

Batas Kelangsungan :

$$34 - 12 \times \frac{M_1 b}{M_2 b} = 34 - 12 \times \frac{24342.7}{28181.8} = 23.64$$

$$\frac{k \cdot L_u}{r} < 34 - 12 \times \frac{M_1 b}{M_2 b}$$

Nilai kelangsungan < batas kelangsungan, berarti kolom termasuk kolom pendek. Karena jenis kolom termasuk kolom pendek maka di dalam menentukan tulangan lentur kolom tanpa menggunakan perbesaran momen.

$$\begin{aligned}\phi M_{Nx} &= M_{ux} + M_{uy} \cdot \frac{h}{b} \times \frac{1-\beta}{\beta} \\ &= 2818.18 + 2809.86 \times 1 \times \frac{1-0.65}{0.65} \\ &= 4331.182 \text{ kNm} = 433.118 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_{Ny} &= M_{uy} + M_{ux} \cdot \frac{h}{b} \times \frac{1-\beta}{\beta} \\ &= 2809.6 + 2818.18 \times 1 \times \frac{1-0.65}{0.65} \\ &= 4327.342 \text{ kNm} = 432.734 \text{ tm}\end{aligned}$$

Dipilih harga yang menentukan = 4.33 tm

$$k_y = \frac{P_u}{\phi A g} = \frac{57013950}{0.65 \times 700^2} = 15.9$$

$$k_x = \frac{M_u}{\phi A g \cdot h} = \frac{4.33 \times 10^9}{0.65 \times 700^2 \times 700} = 1.9$$

Dari diagram interaksi M-N F320-30-0.8-4 diperoleh  $\rho = 1\%$

sehingga, diperoleh :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times A_g = 0.01 \times 700 \times 700 = 4900 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 10  $\phi 25$  ( $A_s = 4908.74 \text{ mm}^2$ )

$$\rho \text{ aktual} = \frac{4908.74}{700 \times 700} = 0.0100$$

4. Check Biaksial Bending Moment dengan Bresler Reciprocal Method

Perhitungan Pob

$$\begin{aligned} P_{ob} &= 0.8 \phi (f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y) \\ &= 0.8 \times 0.65 (30 \times (700^2 - 4908.74) + 4908.74 \times 320) \\ &= 8384237.99 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan Pnx

$$\frac{M_{ux}}{A_g \times h} = \frac{28181.8 \times 10^3}{700^2 \times 700} = 0.082$$

dari diagram interaksi F320-30-0.8-4, dengan  $\rho = 0.0100$  didapat :

$$\frac{\phi P_{nx}}{A_g} = 15$$

$$\begin{aligned} P_{nx} &= 15 \times 700^2 / 0.65 \\ &= 11307692.31 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan Pny

$$\frac{M_{uy}}{A_g \times h} = \frac{28098.6 \times 10^3}{700^2 \times 700} = 0.082$$

dari diagram interaksi F320-30-0.8-4, dengan  $\rho = 0.0100$  didapat :

$$\frac{\phi P_{ny}}{A_g} = 15$$

$$\begin{aligned} P_{ny} &= 15 \times 700^2 / 0.65 \\ &= 11307692.31 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka:

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_0}$$

$$= \frac{1}{11307692.31} + \frac{1}{11307692.31} - \frac{1}{8384237.99}$$

$$P_{nb} = 3376756.489 \text{ N}$$

$$P_u = 570139.5 \text{ N}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{570139.5}{0.65} = 877137.692 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 3376756.489 \text{ N} > P_n = 877137.692 \text{ N} \quad \dots \dots \dots (\text{OK !})$$

#### 6.2.10.2. Penulangan Geser

Data-data perencanaan :

- $N_u = 44941720 \text{ N}$
- $V_u = 1608120 \text{ N}$
- $b_w = 700 \text{ mm}$
- $\phi_{\text{utama}} = \phi 25 \text{ mm}$
- $\phi_{\text{sengk.}} = \phi 10$
- $d = 700 - 40 - 10 - 25/2$   
 $= 637.5 \text{ mm}$

Sumbangan Kekuatan Geser Beton :

$$V_c = 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b_w \times d \times \left[ 1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right]$$

$$= 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 700 \times 637.5 \times \left[ 1 + \frac{449417.2}{14 \times 700^2} \right]$$

$$= 868112.95 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 868112.95$$

$$= 520867.77 \text{ N} = 52.09 \text{ ton}$$

$$0.5 \phi V_c = 26.05 \text{ ton} > V_u = 16.10 \text{ ton}$$

karena  $V_u$  yang terjadi  $< 0.5 \phi V_c$ , maka dipasang sengkang minimum sebesar

$$A_{v \min} = \frac{bw.s}{3.f_y} \quad \longrightarrow s = \frac{A_v \cdot 3.f_y}{bw}$$

Dipakai sengkang  $\phi 10$ ,  $A_s = 78.54 \text{ mm}^2$  sehingga;

$$s = \frac{2 \times 78.54 \times 3 \times 320}{700} = 215.31 \text{ mm}$$

$$s \text{ maksimum} \leq 0.5 \cdot h = 0.5 \times 700 = 350 \text{ mm}$$

$$\leq 10 d_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

Pasang tulangan sengkang  $\phi 10 - 200 \text{ mm}$

### 6.3. PERENCANAAN DINDING GESER

#### 6.3.1. Umum

Shearwall dalam gedung berguna untuk menahan gaya geser dan momen-momen yang terjadi akibat gaya lateral. Perancangan shearwall berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3 sebagai struktur pemikul beban lentur dan aksial serta pasal 3.7 sebagai struktur dinding.

Semua shearwall harus dirancang berdasarkan ketentuan pasal 3.3 kecuali bila resultante dari seluruh beban berfaktor terletak didalam daerah sepertiga tebal dinding total dapat dirancang dengan metode empirik (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.7.5.(1)).

### 6.3.2. Kuat Beban Aksial Rancang

Kuat beban aksial rancang  $\phi P_{nw}$  berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.7.5.2 persamaan 3.7.1 :

$$\phi P_{nw} = 0.55 \phi f'_c A_g \left[ 1 - \left( \frac{k l_c}{32 h} \right)^2 \right]$$

dimana :

$$\phi = 0.70$$

$$k = 0.80 \text{ (dikekang pada salah satu ujungnya)}$$

$$l_c = \text{jarak vertikal antara 2 tumpuan}$$

$$H = \text{tebal dinding}$$

### 6.3.3. Perencanaan Geser

Perencanaan geser harus dilakukan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10 dimana dinyatakan bahwa :

- Kuat geser  $V_n$  pada sembarang penampang horisontal terhadap geser bidang dinding tidak boleh lebih besar dari  $(5 \sqrt{f'_c} / 6) h d$
- Untuk kuat geser  $V_c$  diambil dari nilai terkecil dari persamaan sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.6 :

$$Vc = \left( \sqrt{fc'} / 4 \right) hd + \frac{N_u d}{4l_w}$$

atau

$$Vc = \left[ \left( \sqrt{fc'} / 2 + \frac{l_w \left( \sqrt{fc'/2} + 2 \frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u - l_w}{V_u - 2}} \right) + 10 \right] hd$$

dimana :

$l_w$  = panjang horisontal dinding

$d = 0.8 l_w$  . (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.(4)).

Tidak berlaku jika  $(Mu/Vu - l_w/2)$  bernilai negatif, sedangkan  $Vc$  tidak boleh

lebih dari  $(\sqrt{fc'} / 6)hd$  (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.(5))

- Rasio ( $\rho_h$ ) dari luas tulangan geser horisontal terhadap luas bruto penampang tidak boleh kurang dari 0.0025. (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9.(2)).
- Spasi dari tulangan geser horisontal  $S_2$  tidak boleh lebih dari  $l_w/5$ , 3h atau pun 500 mm. (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9.(3)).
- Rasio ( $\rho_h$ ) dari luas tulangan geser vertikal terhadap luas bruto penampang horisontal beton tidak boleh kurang dari :

$$\rho_h = 0.0025 + 0.5 \left( 2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_b - 0.0025)$$

ataupun 0.0025, tetapi tidak harus lebih besar dari tulangan geser horisontal perlu. (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9.(4)).

Selain itu perlu diperhatikan syarat-syarat penulangan untuk struktur dengan tingkat daktilitas dua (terbatas)

Syarat-syarat penulangan pada dinding geser :

1. Dalam segala hal tidak boleh kurang dari persyaratan untuk struktur tingkat daktilitas 2 (terbatas)
2. Diameter tulangan  $< 1/10$  dd (tebal dinding)
3. Untuk dinding dengan tebal  $d \geq 200$  mm, maka setiap arah harus dipasang 2 lapis tulangan (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(2b))

Persyaratan diatas bertujuan untuk :

- Melindungi kerusakan beton akibat adanya beban tertukar terutama pada keadaan inelastik.
- Mengendalikan lebar retak yang akan timbul pada dinding karena penyebaran tulangan lebih merata sepanjang dan setinggi sepertiga dinding tersebut.

4. Jarak antar tulangan vertikal :

$\leq 200$  mm didalam daerah ujung dan  $\leq 300$  mm diluar daerah ujung (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3f))

5. Jarak antar tulangan horisontal :

Di dalam daerah ujung tidak boleh diambil lebih dari 200 mm ( $\leq 200$  mm) (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3h))

Diluar daerah ujung tidak boleh lebih dari tiga kali tebal dinding ( $\leq 3$  dd), seperlima lebar dinding ( $\leq ld/5$ ) dan  $\leq 450$  mm

(SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3g))

6. Panjang daerah ujung tidak boleh kurang dari lebar dinding ( $\geq 1d$ ), seperenam dari tinggi dinding ( $\geq hd/6$ ) dan tidak boleh lebih besar dari dua kali lebar dinding ( $\leq 2ld$ )

(SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3i))

Dinding geser dirancang sedemikian rupa sehingga memenuhi batasan-batasan dari Standart Beton 1991, dimana daya dukung aksial dinding ditentukan dengan metoda perencanaan empirik.

#### 6.3.4. Data-data Perencanaan

- Mutu bahan
  - + Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa
  - + Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
- Dimensi
  - + Tinggi dinding
    - Lantai 1 = 500 cm
    - Lantai 2 – 9 = 400 cm
  - + Tebal dinding = 30 cm

#### 6.3.5. Dasar-dasar Perencanaan

- Ratio tulangan minimum dari luas tulangan vertikal terhadap penampang bruto beton harus memenuhi :
  - 0.0012 untuk tulangan < D16, dengan mutu baja < 400 Mpa

- 0.0015 untuk batang deform lainnya, atau
  - 0.0012 untuk jaringan kawat baja las tidak lebih besar dari W31 atau D31
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.7.3.2)
- Spasi tulangan pada tiap arah tidak boleh lebih dari 450 mm, dan harus didistribusikan pada seluruh penampang.
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(2a))
- Bila tebal dinding lebih besar atau sama dengan 200 mm, maka dinding tersebut harus dipasang dua lapis tulangan.
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(2b))
- Jarak antara tulangan vertikal sepanjang lo dari ujung tiang tidak boleh lebih dari 200 mm dan 300 mm diluar daerah sepanjang lo.
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3f))
- Jarak antar tulangan diluar daerah ujung lo tidak boleh lebih dari tiga kali tebal dinding, seperlima lebar dinding dan 450 mm
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3g))
- Jarak antar tulangan horizontal dalam daerah ujung sepanjang lo tidak boleh lebih dari 200 mm.
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3h))
- Panjang daerah ujung lo tidak boleh kurang dari lebar dinding, seperenam dari tinggi dinding dan tidak perlu lebih besar dari dua kali lebar dinding.
- (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.7.(3i))

- Tebal dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi dan panjang komponen dukung, diambil yang terkecil dan tidak kurang dari 100 mm  
(SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.7.5.3)

### 6.3.6. Perhitungan Penulangan Dinding Geser

Prosedur perhitungan dilakukan seperti berikut dengan mengambil dinding geser lantai dasar sebagai contoh.

Data-data perencanaan :

- Tinggi dinding = 500 cm
- Tebal dinding = 30 cm
- $P_u = 19381.1 \text{ kN} = 1938110 \text{ N}$
- $V_u = 455.1 \text{ kN} = 455100 \text{ N}$
- $M_u = 169242 \text{ kNm} = 169242000 \text{ Nm}$
- Mutu baja =  $f_y = 320 \text{ Mpa}$
- Mutu beton =  $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
- $L_w = 3000 \text{ mm}$
- $d = 0.8 L_w = 2400 \text{ mm}$

#### ⇒ Kekuatan Geser Beton pada Dinding Geser

Kuat geser maksimum yang mampu dipikul oleh penampang :

$$V_n = \left[ \frac{5\sqrt{f_c'}}{6} \right] h \times d \quad \dots\dots (\text{SKSNI 1991 - 3.4.1 butir 3})$$

$$V_n = \left[ \frac{5\sqrt{30}}{6} \right] \times 5000 \times 2400$$

$$V_n = 5477225.75 \text{ N}$$

$$\frac{Vu}{\phi} = \frac{455100}{0.6} = 758500 \text{ N}$$

$$V_n \geq \frac{Vu}{\phi}$$

$$5477225.75 \text{ N} > 758500 \text{ N} \quad \dots\dots(\text{OK !})$$

Berarti dinding geser mampu memikul gaya geser

⊕ Kemampuan Dinding Geser terhadap gaya Aksial

$$\phi P_{nw} = 0.55 \phi f_c' A_g \left[ 1 - \left( \frac{kL_e}{32h} \right)^2 \right]$$

dimana :

$$\phi = 0.70$$

$$k = 0.80 \text{ (dikekang pada salah satu ujungnya)}$$

$$A_g = 300 \times 3000 = 900000 \text{ mm}^2$$

$$L_e = 5000 \text{ mm}$$

$$H = 300 \text{ mm}$$

$$\phi P_{nw} = 0.55 \times 0.70 \times 30 \times 900000 \left[ 1 - \left( \frac{0.8 \times 5000}{32 \times 300} \right)^2 \right]$$

$$= 8590312.5 \text{ N} > P_u = 1938110 \text{ N} \quad \dots\dots \text{OK}$$

Berarti dinding geser mampu menerima beban aksial

+ Penulangan Geser Horisontal

Kemampuan dinding geser menerima beban geser adalah harga minimum dari :

$$Vc = \left( \sqrt{fc'} / 4 \right) hd + \frac{N_u d}{4l_u} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.32})$$

dimana :

$$d = 0.8 l_w = 0.8 \times 3000 = 2400 \text{ mm}$$

$$Vc = \left( \sqrt{30} / 4 \right) \times 300 \times 2400 + \frac{1938110 \times 2400}{4 \times 3000}$$

$$\approx 1373522.603 \text{ N}$$

atau

$$Vc = \left[ \left( \sqrt{fc'} / 2 + \frac{l_u \left( \sqrt{fc' / 2} + 2 \frac{N_u}{l_u h} \right)}{M_u - \frac{l_u}{V_u}} \right) + 10 \right] hd$$

(SK SNI T-15-1991-03 psl 3.4.33)

$$Vc = \left[ \left( \sqrt{30} / 2 + \frac{3000 \times \left( \sqrt{30} / 2 + 2 \frac{1938110}{3000 \times 300} \right)}{\frac{1692420}{45510} - \frac{3000}{2}} \right) + 10 \right] \times 300 \times 2400$$

persamaan diatas tidak berlaku bila :

$\frac{Mu}{Vu} - \frac{l_w}{2}$  bernilai negatif. Dalam perhitungan diatas ternyata nilai dari

$$\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2} = -1462.8$$

atau

Nilai  $V_c$  tidak boleh lebih besar dari :

$$V_c = 5/6 \sqrt{f'_c} \cdot h \cdot d \quad \dots \dots \dots \text{(SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.5)}$$

$$V_c = 5/6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 2400 = 3286335.35 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } V_c = 1373522.603 \text{ N}$$

o

$$V_s = V_u - \phi V_c = 45510 - 0.6 \times 1373522.603 < 0$$

Karena penampang beton cukup kuat untuk menahan gaya geser, maka cukup digunakan tulangan minimum dari D16 ( $A_s = 201.06 \text{ mm}^2$ )

$$\rho_h = \rho_{\min} = 0.0025$$

$$A_s_{\text{perlu}} = 0.0025 \times 5000 \times 300 = 3750 \text{ mm}^2$$

Spasi maksimum tulangan horisontal (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9.3)

adalah :

$$S_{\max} < \frac{l_w}{5} = 480 \text{ mm} \text{ (menentukan)}$$

$$< 3 h = 900 \text{ mm}$$

$$< 500 \text{ mm}$$

Untuk tebal dinding diatas 200 mm digunakan 2 lapisan tulangan.

Dipakai tulangan D16 ( $2A_s = 402.12 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Maka dibutuhkan tulangan} = \frac{3750}{402.16} = 9.32 \approx 10 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan horisontal D16-400 mm

$$As \text{ ada} = 402.12 \times 5000/400 = 5026.5 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} \dots \text{OK}$$

#### ÷ Penulangan Geser Vertikal

Rasio  $\rho_n$  dari tulangan geser vertikal terhadap luas bruto penampang horisontal beton tidak boleh kurang dari :

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left( 2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_b - 0.0025)$$

(SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4-35)

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \times \left( 2.5 - \frac{5000}{3000} \right) (0.0025 - 0.0025) = 0.0025$$

$$A_n \text{ vertikal} = 0.0025 \times 300 \times 3000 = 2250 \text{ mm}^2$$

Spasi maksimum tulangan vertikal (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10.9.5) adalah :

$$S_{\max} < \frac{l_w}{3} = 1000 \text{ mm}$$

$$< 3 h = 900 \text{ mm}$$

$$< 500 \text{ mm (menentukan)}$$

Untuk tebal dinding diatas 200 mm maka digunakan dua lapisan tulangan

Dipakai tulangan D16 ( $2As = 402.12 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Maka dibutuhkan tulangan} = \frac{3750}{402.16} = 9.32 \approx 10 \text{ buah}$$

Jadi digunakan tulangan horisontal D16-400 mm

$$A_n \text{ ada} = 402.12 \times 3000/400 = 3015.9 \text{ mm}^2 > A_n \text{ perlu} \dots \text{OK}$$

#### † Penulangan Lentur

Penulangan lentur pada dinding geser (shear wall) diberikan pada ujung-ujung dinding geser dengan memberi penebalan pada pojok-pojok atau pertemuan elemen dinding geser dengan balok. Hal ini dilakukan untuk menjamin pertemuan yang monolit antara dinding geser dengan balok.

Data-data perencanaan :

$$M_u = 1692420 \text{ Nm}$$

$$P_u = 1938110 \text{ N}$$

$$V_u = 45510 \text{ N}$$

$$D \text{ tulangan} = 32 \text{ mm}$$

Maka :

$$\frac{\phi.Mn}{Ag.h} = \frac{1.69 \times 10^{10}}{3000 \times 300 \times 5000} = 3.755$$

$$\frac{\phi.Pn}{Ag} = \frac{1938110}{3000 \times 300} = 2.154$$

dari diagram interaksi F320-30-60-2 diperoleh  $\rho = 3\%$

sehingga :

$$A_s = 0.003 \times 300 \times 3000$$

$$= 2700 \text{ mm}^2$$

$$As D25 = 491 \text{ mm}$$

Jadi dipasang 6 D25 ( $As \text{ ada} = 2946 \text{ mm}^2$ )

### 6.3.7. Perencanaan Pondasi Dinding Geser

Pada perencanaan pondasi dinding geser ini hanya dibahas mengenai perhitungan jumlah tiang pancang saja. Untuk perhitungan

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding geser (shearwall) :

$$P = 19381100 \text{ N}$$

$$M_x = 462580 \text{ Nm} \quad (\text{untuk shearwall arah x})$$

$$M_y = 1692420 \text{ Nm} \quad (\text{untuk shearwall arah y})$$

$$H_x = 45510 \text{ N} \quad (\text{untuk shearwall arah x})$$

$$H_y = 100 \text{ N} \quad (\text{untuk shearwall arah y})$$

#### a. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Direncanakan kedalaman tiang pancang sampai pada level - 12.00 m dengan kondisi tanah berupa pasir.

Dari tabel perhitungan daya dukung tanah pada lampiran diketahui

$$P_{\text{tanah}} = 110.9651 \text{ ton}$$

#### b. Perhitungan Jumlah Tiang dan Dimensi Poer

□ Direncanakan jumlah tiang pancang = 35

□ Jarak as ke as tiang terpasang

$$s = 3 \times 0.5 = 1.50 \text{ m}$$

$$\text{Dipasang } s = 1.50 \text{ m}$$

□ Jarak tepi ke tepi poer

$$s_j = 0.75 \text{ m}$$

□ Dimensi poer

$$\text{Lebar arah X} = 10.50 \text{ m}$$

$$\text{Lebar arah Y} = 7.50 \text{ m}$$

Tebal poer (h) dicari dengan persamaan :

$$V_u = V_c$$

$$[(n_e \cdot P_{\text{jin tiang}}) - (\gamma_b \cdot b \cdot l_n \cdot h)] = 0.6 \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot (h-d')$$

dimana :

$$h = d + d'$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{jin tiang}} = 110.9651 \text{ ton} = 1109651 \text{ N}$$

$$n_e = 7 \text{ buah tiang pancang}$$

$$\gamma_b = 2.4 \text{ t/m}^3 = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$$

$$b = 7500 \text{ mm}$$

$$l_n = 10500 \text{ mm}$$

$$d' = 75 + 32 + (32/2) = 123 \text{ mm}$$

maka:

$$[(7 \cdot 1109651) - (2.4 \cdot 10^{-5} \cdot 7500 \cdot 10500 \cdot h)] = 0.6 \cdot 1/6 \cdot \sqrt{30} \cdot 7500 \\ (h-123)$$

$$h = 1363.43 \text{ mm}$$

$$= 2.00 \text{ m}$$

c. Beban Maksimum 1 tiang

$$\begin{aligned}\Sigma P_u &= 1938.1 - (2.4 \times 10.5 \times 7.5 \times 2) \\ &= 2316.1 \text{ ton}\end{aligned}$$

Shearwal arah X

$$\Sigma X^2 = 14 (1.5^2 + 3^2) = 1575 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y^2 = 10 (1.5^2 + 3^2 + 4.5^2) = 315 \text{ m}^2$$

$$X_{max} = 3 \text{ m}$$

$$Y_{max} = 4.5 \text{ m}$$

Shearwall arah Y

$$\Sigma Y^2 = 14 (1.5^2 + 3^2) = 1575 \text{ m}^2$$

$$\Sigma X^2 = 10 (1.5^2 + 3^2 + 4.5^2) = 315 \text{ m}^2$$

$$Y_{max} = 3.0 \text{ m}$$

$$X_{max} = 4.5 \text{ m}$$

$$n = 35 \text{ buah}$$

$$M_x = 462580 \text{ Nm} \text{ (untuk shearwall arah x)}$$

$$M_y = 1692420 \text{ Nm} \text{ (untuk shearwall arah y)}$$

Shearwall arah x

$$P_{max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{McY_{max}}{\sum Y^2} \leq P_{ult.}$$

$$= \frac{2316.1}{35} + \frac{4625.8 \times 3}{315}$$

$$= 108.11 < P_{min \text{ 1 tiang}} = 110.9651 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{ OK}$$

Shearwall arah y

$$P_{\text{maxs}} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_y X_{\text{max}}}{\sum X^2} \leq \bar{P}_{\text{ult}}$$

$$= \frac{2316.1}{35} + \frac{16924.2 \times 4.5}{1575}$$

$$= 110.22 \text{ ton} < P_{\text{ijin tang}} = 110.9651 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

d. Kekuatan Group Tiang Pancang

$$P_{\text{ijin tang max}} = 110.9651 \text{ ton}$$

$$D = 50 \text{ cm}$$

$$s = 150 \text{ cm}$$

$$m = 7$$

$$n = 5$$

maka :

$$\text{eff} = 1 + \frac{(arc tg 50/150) \times [(7-1) \times 5 + (5-1) \times 7]}{90 \times 7 \times 5} = 0.661$$

$$P_{\text{ijin group}} = 50 \times 110.9651 \times 0.661$$

$$= 3667.39 \text{ ton} > P = 1938.1 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

e. Kontrol Kekuatan Tiang Pondasi terhadap Gaya Lateral

Shearwall arah x

Diketahui gaya-gaya horisontal yang bekerja adalah :

$$H_x = 455.10 \text{ ton} \text{ (untuk 35 tiang)}$$

$$= 13 \text{ ton} \text{ (untuk 1 tiang)}$$

dari data tanah diperoleh  $q_u = 0 \text{ kg/cm}^2$

pendekatan empiris

$$Cu = \frac{N}{2} = \frac{56.096}{2} = 28.048 \text{ ton/m}^2$$

$$Cr = 0.5 Cu = 0.5 \times 28.048 = 14.024 \text{ ton/m}^2$$

$$F = \frac{Ha}{9 \times Cr \times D} = \frac{7}{9 \times 14.024 \times 0.50} = 0.206 \text{ m}$$

$$L_1 = F + 1.5 D = 0.158 + 1.5 \times 0.50 = 0.908 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.2 L_1 = 2.2 \times 0.908 = 1.998 \text{ m} < \text{panjang tiang} = 12 - 0.8 = 11.2 \text{ m}$$

Berarti tiang pancang tersebut merupakan tiang panjang

Untuk restraint pile (tiang pancang yang ujungnya tertahan) didapatkan harga kuat geser tanah :

$$\begin{aligned} H_{o \text{ tiang}} &= q \times Cu \times D \times (L_1 - 1.5D) \\ &= 9 \times 28.048 \times 0.50 \times (0.908 - 1.5 \times 0.50) \\ &= 19.94 \text{ ton} > H_{o \text{ terjadi}} = 13 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi :

$$H_o = 13$$

$$\begin{aligned} M_{\text{ulang lempar}} &= H_o \times (1.5 D + 0.5 F) = 13 \times (1.5 \times 0.50 + 0.5 \times 0.206) \\ &= 11.089 \text{ ton m} < M_{\text{ukt tiang}} = 18.75 \text{ ton m} \dots \dots \dots \text{OK} \\ &< M_{\text{crack}} = 12.50 \text{ ton m} \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Menggunakan tiang pancang dengan diameter 500 mm type A2 dengan spesifikasi sebagai berikut :

### WIKA PILE CLASSIFICATION :

Pile Diameter (mm)	Class	Area of Steel (cm <sup>2</sup> )	Area of Concrete (cm <sup>2</sup> )	Section Modulus (cm <sup>3</sup> )	Moment Crack (ton m)	Moment Ultimate (ton m)
500	A2	20	1159.25	10399.83	12.50	18.75

#### Shearwall arah v

Diketahui gaya-gaya horisontal yang bekerja adalah :

H<sub>y</sub> = 10 ton (untuk 35 tiang)

= 0.286 ton (untuk 1 tiang)

dari data tanah diperoleh q<sub>u</sub> = 0 kg/cm<sup>2</sup>

pendekatan empiris

$$C_u = \frac{N}{2} = \frac{56.096}{2} = 28.048 \text{ ton/m}^2$$

$$C_r = 0.5 C_u = 0.5 \times 28.048 = 14.024 \text{ ton/m}^2$$

$$F = \frac{H_o}{9 \times C_r \times D} = \frac{0.286}{9 \times 14.024 \times 0.50} = 0,0045 \text{ m}$$

$$L_1 = F + 1.5 D = 0,0045 + 1.5 \times 0.50 = 0,7545 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.2 L_1 = 2.2 \times 0,7545 = 1,6599 \text{ m} < \text{panjang tiang} = 12 - 0.8 = 11.2 \text{ m}$$

Berarti tiang pancang tersebut merupakan tiang panjang

Untuk restraint pile (tiang pancang yang ujungnya tertahan) didapatkan harga kuat geser tanah :

$$H_{o\_panjang} = 9 \times C_u \times D \times (L_1 - 1.5D)$$

$$= 9 \times 28.048 \times 0.50 \times (0,7545 - 1.5 \times 0.50)$$

$$= 0,568 \text{ ton} > H_{o\_terhad} = 0.286 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Momen yang terjadi :

$$H_0 = 0.286$$

$$M_{\text{ult. tang}} = H_0 \times (1.5 D + 0.5 F) = 0.286 \times (1.5 \times 0.50 + 0.5 \times 0.0045)$$

$$= 3.285 \text{ ton m} < M_{\text{ult. tang}} = 18.75 \text{ ton m} \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$< M_{\text{crack}} = 12.50 \text{ ton m} \dots\dots\dots \text{OK}$$

**BAB VII**  
**PERENCANAAN SAMBUNGAN**

## BAB VII

# PERENCANAAN SAMBUNGAN

### 7.1. UMUM

Dalam bab ini akan diuraikan kriteria desain sambungan, konsep, jenis sambungan dan hal-hal yang berkaitan dengan alat-alat sambungan. Sambungan yang dipakai adalah sambungan basah (*topping*) yang relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup kompleks.

Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran, sambungan lewatan, dowel yang dijangkarkan didaerah pertemuan tersebut. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Didalam 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.

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.

Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu juga perlu ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Selain itu detail sambungan antar komponen pracetak memegang peranan penting dalam menjamin suatu gedung berespons menjadi satu kesatuan disaat terjadi gempa kuat, baik itu untuk struktur yang rumit ataupun yang sederhana. Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, ketekunan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan selama terjadi gempa besar dengan waktu ulang 200 tahun.

Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

## 7.2. KRITERIA PERENCANAAN SAMBUNGAN

Kriteria perencanaan sambungan disesuaikan dengan desain, karena ada perbedaan kriteria untuk masing-masing type sambungan. Persyaratan suatu sambungan dapat menjadi syarat yang tidak terlalu penting untuk sambungan lain. Hal ini diakibatkan karena perbedaan asumsi/anggapan atau perbedaan spesifikasi dari pihak perancang dan pemilik struktur.

#### 7.2.1. Kekuatan

Suatu sambungan harus mempunyai kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang diterapkan sepanjang umur dari sambungan. Beberapa dari gaya ini disebabkan oleh gaya gravitasi, angin, gempa dan perubahan volume.

#### 7.2.2. Daktilitas

Daktilitas sering didefinisikan sebagai kemampuan relatif struktur untuk menampung deformasi yang besar tanpa mengalami runtuh. Untuk material struktur, daktilitas diukur dengan total deformasi yang terjadi saat leleh awal terhadap leleh batas (*ultimate failure*).

Daktilitas pada portal sering digabungkan dengan ketahanan terhadap momen, hal ini dipakai dalam perencanaan gempa. Pada elemen sambungan tahan momen, tegangan tarik lentur biasanya ditahan oleh komponen baja. Dan kondisi runtuh akhir dapat terjadi karena kondisi putusnya baja, hancurnya beton atau kegagalan dari sambungan baja beton.

#### 7.2.3. Perubahan Volume

Kombinasi pemendekan akibat dari rangkap, susut dan penurunan suhu dapat menyebabkan beberapa tegangan pada elemen beton pracetak ataupun perletakannya ditarik pergerakannya. Tegangan ini harus dimasukkan oleh desain dan akan lebih baik bila sambungan diijinkan untuk berpindah tempat untuk mengurangi besarnya tegangan tersebut.

#### 7.2.4. Daya Tahan

Sambungan perlu diawasi dan dipelihara. Sambungan yang diperkirakan akan langsung dapat bersentuhan dengan cuaca harus dilakukan tindakan perlidungan dengan beton atau dengan cat (galvanis).daya tahan yang buruk dapat

diakibatkan oleh retak, speling beton dan yang paling sering diakibatkan oleh korosi dari komponen baja elemen beton pracetak.

#### **7.2.5. Ketahanan terhadap Kebakaran**

Beberapa sambungan beton pracetak tak mudah terpengaruh akibat api, seperti pada perletakan antara pelat dan balok yang secara umum tidak memerlukan perlindungan secara khusus terhadap api. Apabila pelat diletakkan diatas bearing pads yang terbuat dari bahan yang mudah terbakar, maka perlindungan khusus dari bearing pads tersebut tidak perlu karena keadaan terburuk dari pads tidak akan menyebabkan runtuh tetapi sesudah kebakaran pads harus diganti. Untuk sambungan yang tidak tahan api memerlukan perlindungan khusus seperti dengan melapisi beton, gypsum wallboard atau bahan lain yang tahan api.

#### **7.2.6. Kesederhanaan Sambungan**

Semakin sederhana sambungan maka diharapkan akan semakin ekonomis. Kriteria penyederhanaan sambungan adalah :

- ↳ Memakai bahan-bahan standar
- ↳ Menggunakan detail yang sama (berulang)
- ↳ Mengurangi bagian-bagian yang perlu ditancapkan pada elemen sehingga memerlukan presisi tinggi untuk menempatkannya
- ↳ Merpersiapkan cara-cara penggantian.

#### **7.2.7. Kesederhanaan Pemasangan**

Kesederhanaan pemasangan elemen beton pracetak sangat menentukan keberhasilan pencapaian tujuan penerapan konstruksi beton pracetak. Kesederhanaan pemasangan tidak lepas dari bentuk dan type sambungan yang

dipilih. Kesederhanaan suatu sambungan biasanya menjamin kemudahan dalam pemasangan.

### 7.3. KONSEP DESAIN SAMBUNGAN

#### 7.3.1. Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Pemindahan beban diteruskan ke kolom dan wall melalui beberapa tahap :

- a. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
- b. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
- c. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja
- d. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las
- e. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut

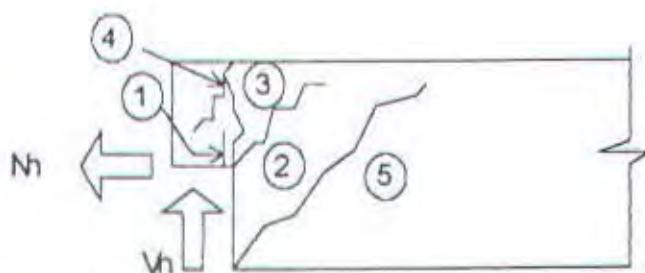
- a. Balok beton ke tulangan dengan lekatan/ikatan
- b. Tulangan baja siku diujung balok diikat dengan las
- c. Baja siku diujung balok ke *haunch* melalui gesekan diatas dan dibawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada pads.

- d. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
- e. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh stud ke kolom beton melalui ikatan/lekatan.

### 7.3.2. Pola-pola Kehancuran

Sebagai perencana diharuskan untuk menguji masing-masing pola kehancuran.

Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 7.1.

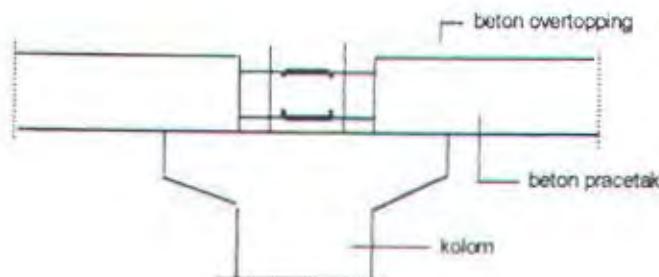


Gambar 7.1. Model-model keruntuhan di ujung

PCI design Handbook memberikan lima pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok, yaitu sebagai berikut :

1. Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
2. Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
3. Geser langsung antara tonjolan dengan bagian utama balok
4. Tarik diagonal pada ujung akhir
5. Perletakan pada ujung atau tonjolan

Dalam tugas akhir ini, penulis merencanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian kekuatan penyambungan sebelum komposit (gambar 7.2) sehingga mencapai kekuatan sambungan yang benar-benar monolith.



Gambar 7.2. Balok Pracetak menumpu pada Konsol Pendek

### 7.3.3. Stabilitas dan keseimbangan

Beberapa masalah utama pada struktur beton pracetak biasanya disebabkan oleh kesalahan perencana dalam menghitung stabilitas dan keseimbangan dari struktur dan komponen-komponennya, bukan hanya pada kedudukan akhir tetapi juga selama fase pelaksanaan konstruksi.

Sebagai contoh pada balok induk, karena eksentrisitas beban pada balok terjadi torsi dan balok cenderung berputar pada perletakan. Jadi perencana perlu untuk memperhitungkan kondisi pada saat pemasangan balok tersebut.

Pada kenyataannya struktur balok pracetak, dinginkan agar stabilitas lateral diciptakan oleh shearwall atau bracing atau dapat juga oleh portal tahan momen. Gaya lateral didistribusikan ke setiap bagian struktur lateral melalui aksi diafragma dari pelat lantai.

#### 7.4. KLASIFIKASI SISTEM PRACETAK DAN SAMBUNGANNYA

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambung.

##### 1. *Lokasi penyambungan*

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi peleahan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

- Strong, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar
- Sendi, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi
- Daktail, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi
- Lokasi sendi plastis

##### 2. *Jenis alat penyambung*

- +: *Shell* pracetak dengan bagian intinya dicor beton setempat
- ✧: *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- ✧: *Cold joint* yang diberi tulangan pratekan parsial, di mana joint digROUT
- ✧: *Cold joint* yang diberi tulangan pratekan parsial, di mana joint tersebut tidak digROUT
- ✧: Sambungan-sambungan mekanik.

## 7.5. PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN RANCANGAN

### 1. *Sambungan-sambungan sendi*

Pertimbangan pertama adalah menentukan letak sambungan pada titik momen minimum, namun sambungan tersebut masih harus didesain terhadap momen yang masih terjadi. Momen yang terjadi lantai per lantai akibat beban mati ditambah beban hidup juga biasanya tidak banyak berbeda; tetapi pergeseran-pergeseran bidang momen akibat ragam-ragam yang lebih tinggi dalam keadaan ini elastis perlu diperhatikan.

### 2. *Sambungan duktal pemencar energi*

Bila sambungan diletakkan pada titik-titik di mana sendi plastis akan terjadi, maka penyambungnya harus mampu berotasi bolak-balik secara plastis tanpa mengurangi kekuatan momen dan kapsitas geser dari joint tersebut.

Sistem sambungan menjadi sangat kompleks dan sedikit sekali penelitian dilakukan dalam hal ini. Keadaan ini cenderung dihindari oleh para desainer dan letak joint dengan lokasi sendi plastis berusaha dipisahkan.

Dari segi penggeraan dan pelaksanaan beton pracetak, peletakan lokasi joint yang sama dengan lokasi sendi plastis sangatlah ekonomis sebab elemen-elemen tunggal dan berbentuk lurus dan pengangkutan serta pengangkatannya lebih mudah.

Sebelum pelat mencapai momen lelehnya, keretakan mungkin terjadi pada kolom, sehingga rotasi *post elastis* akan terjadi pada suatu daerah yang menyebabkan peningkatan kekangan pada joint dan *defleksi post yield* elemen baloknya sehingga menghasilkan retakan yang besar pada joint. Beban siklis

yang terjadi pada joint di daerah ini mengakibatkan pengurangan gaya gesernya. Regangan-regangan tinggi yang berulang dan bolak-balik pada tulangan yang dimaksud menyebabkan penurunan momen yang besar jika tidak direncanakan penulangannya. Bila akibat beban tarik kemudian diberi gaya tekan kembali mengakibatkan gaya lateral yang cukup besar pada beton yang berada di sekeliling tulangan, hal ini dapat mengakibatkan pengurangan kapasitas beton untuk menerima gaya tekan bolak-balik.

Untuk struktur beton bertulang cor setempat, degradasi ini diatasi dengan adanya tulangan lateral (sengkang). Efektivitas tulangan tersebut yang terletak pada suatu *cold joint* sampai sekarang belum begitu terbukti. Di masa yang akan datang perlu dikembangkan joint-joint yang dapat berperilaku baik dalam keadaan *post yield*.

### 3. Alat penyambung kuat (tidak leleh dulu dibandingkan sendi plastisnya)

Untuk menghindari letak joint antar elemen pracetak yang bertepatan dengan letak sendi plastis adalah dengan cara memaksakan agar letak sendi tersebut jauh dari joint. Kapasitas elastis pada permukaan kolom harus melebihi dari yang diperkirakan dengan meletakkan sendi plastis tersebut pada pelat.

Kapasitas momen elastis pada bagian muka kolom harus lebih besar daripada kapasitas momen plastis pada lokasi sendi. Regangan dan gaya geser yang lebih tinggi akan timbul jika pelehan dan varasinya sama seperti yang digunakan untuk komponen-komponen lain yang sama yaitu sendi plastis dengan komponen pracetak lain.

Agar mekanisme yang diharapkan dapat tercapai maka kapasitas momen kolom gabung harus lebih besar daripada kapasitas yang dihasilkan pada saat sendi plastis menempel pada kolom. Sambungan-sambungan dapat direncanakan secara plastis dengan banyak kemungkinan jenis-jenis sambungan yang dapat dipakai diantaranya sambungan las, sambungan *post tension* atau sambungan *grouting*.

#### 4. *Sambungan cold joint yang diberi tulangan biasa*

Jenis joint ini diletakkan di daerah momen yang kecil. Pemakaian yang umum yaitu dengan menggunakan sendi yang bebas berputar, sebab biasanya sendi tersebut dipasang di daerah yang secara analisa memang terjadi persendian (*inflection point*).

Pada permukaan elemen pracetak direncanakan suatu sambungan yang tidak akan terjadi peleahan sambungan. Dari sudut pelaksanaannya adalah sangat menguntungkan dan agar panjang sambungan sependek mungkin serta mengurangi kemungkinan besarnya momen yang terjadi.

*Transfer bond* dari tegangan yang berasal dari tulangan tarik biasanya sering dipilih sebab tidak akan menimbulkan masalah yang berarti pada waktu pemasangan *mechanical aplices*. Transfer geser diperbaiki dengan mengubah tulangan pengekang.

Sambungan-sambungan basah biasanya tidak dapat dipakai pada sambungan kolom sehingga kebanyakan digunakan sambungan dowel atau sambungan-sambungan mekanik. Untuk gempa besar biasanya jenis sambungan ini tidak dapat memenuhi persyaratan. Selain terjadi gaya geser yang cukup besar yang harus ditransferkan, juga terjadi momen yang cukup

besar akibat pergeseran *inflection point* akibat sifat-sifat inelastis bila terjadi cukup banyak sendi-sendi plastis pada struktur. Pengaruh ragam yang lebih tinggi dapat menggeser letak *inflection point* pada analisa elastis. Gaya geser yang cukup besar dapat ditransferkan lewat *shear keys*.

## 7.6. PERENCANAAN SAMBUNGAN BALOK DENGAN KOLOM

### 7.6.1 Perencanaan Corbel Kolom

Penulis merencanakan corbel pada kolom sebagai tumpuan untuk meletakkan balok induk precast. Pada pelaksanaannya, pengecoran dari corbel bersama-sama dengan pengecoran kolom. Jadi direncanakan antara kolom dan corbel bersifat monolit. Pada setiap kolom tempat menumpu balok precast, dimensi dari corbel direncanakan sama semua.

Adapun prosedur pendesainan dari corbel adalah sebagai berikut :

$$\Leftrightarrow \frac{a}{d} \leq 1$$

$$\Leftrightarrow N_u \leq V_u$$

$$\Leftrightarrow \phi = 0.65 \text{ untuk semua perhitungan}$$

$\Leftrightarrow$  Jangkar pada bagian muka dari corbel harus disediakan dengan las

$\Leftrightarrow$  Beban-beban terpusat pada corbel menerus boleh didistribusikan

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Tetapkan dimensi corbel  $b$ ,  $d$ ,  $h$  dan  $a$

Hitung  $V_u$ ,  $N_u$ , dan  $M_u = V_u.a + N_u(h-d)$

2. Tentukan apakah  $V_u < V_{u\ max}$

Menurut PB'89 pasal 11.9.3.2.1, untuk beton normal beban geser  $V_u$

$$V_u \max < 0.2 f'_c b w d$$

$$< 5.5 b w d$$

kalau  $V_u > V_u \max$  perbesar dimensi

kalau  $V_u < V_u \max$  maka hitung :

desain penulangan corbel harus diadakan pengecekan terhadap lentur, aksial tarik, geser langsung dan bearing. Luas tulangan utama  $A_s$ , sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.9 adalah :

$$A_f = \frac{M_u}{0.85 \cdot \phi \cdot f_y \cdot d}$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi \cdot f_y}$$

$$A_vf = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu}$$

$$A_{s1} = \left( \frac{2}{3} \cdot A_vf \right) + A_n = \left( \frac{1}{\phi \cdot f_y} \right) \times \left[ \frac{2V_u}{3\mu e} + N_u \right]$$

$$A_{s2} = A_f + A_n = \left( \frac{1}{\phi \cdot f_y} \right) \times \left[ \frac{2V_u}{a_d} + N_u \left( \frac{h}{d} \right) \right] \quad \text{ambil nilai terbesar}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$A_s \min = 0.04 \frac{f'_c}{f_y} \cdot b \cdot d$$

dimana :

$$\phi = 0.65$$

$A_n$  = luas tulangan yang diperlukan untuk melawan tarik aksial

$N_u$  = gaya tarik horisontal terfaktor yang tegak lurus asumsi bidang

Retak, lb

$Avf$  = luas tulangan nominal tegak lurus bidang retak

$Fy$  = tegangan leleh dari  $Avf$  ( $\leq 6000$  psi)

$V_u$  = gaya geser terfaktor

Sebagai tambahan, sejumlah sengakang ikat dengan luas total  $A_h$  harus disebarluaskan secara merata dalam batas  $2/3$  tebal efektif.

$$A_h \text{ min} = 0.5 (A_s - A_n)$$

3. Kalau  $A_{s1} > A_{s2}$  maka hitung :

$$A_s = A_{s1}$$

$$A_h = 1/3 Avf$$

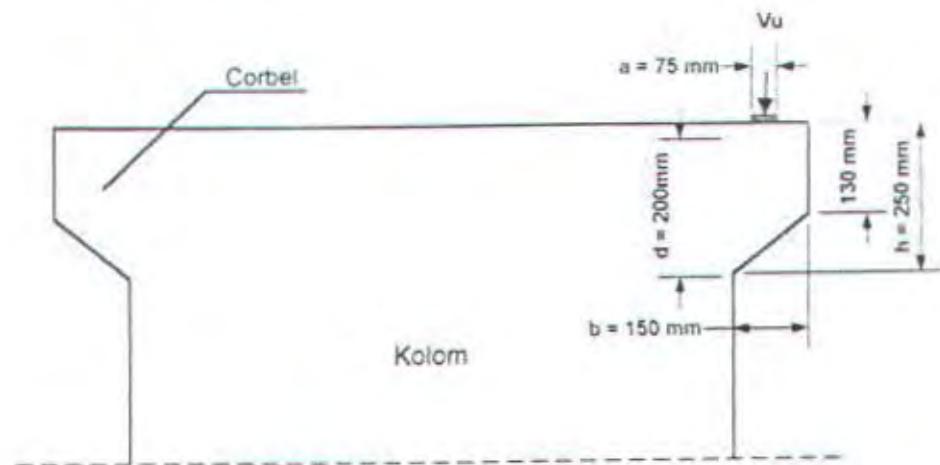
- Kalau  $A_{s1} < A_{s2}$  maka hitung :

$$A_s = A_{s2}$$

$$A_h = 0.5 (A_s - A_n)$$

4. Pilih tulangan

#### Perhitungan Corbel :



Gambar 7.3. Dimensi Corbel

Data-data Perencanaan :

- $V_u = 4572.30 \text{ kg} = 45723 \text{ N}$
- $N_{uc} = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 45723 = 9144.6 \text{ N}$
- $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- $f_y = 320 \text{ MPa}$
- $\phi = 0.65$
- $bw = 400 \text{ mm}$
- $\mu = 1.4 \lambda \dots \dots \dots \text{ beton di cor monolit}$
- $\lambda = 1 \dots \dots \dots \text{ beton normal}$

Perhitungan :

## ⇒ Lebar Pelat Landasan (d)

$$V_u = \phi \cdot (0.85 f'_c) \cdot A_s$$

Lebar pelat landasan (d) :

$$\begin{aligned} d &= \frac{V_u}{\phi \cdot (0.85 \cdot f'_c) \cdot bw} \\ &= \frac{45723}{0.65 \times (0.85 \times 30) \times 400} \\ &= 6.89 \text{ mm} \end{aligned}$$

pakai lebar pelat landasan = 50 mm

⇒ Titik beban  $V_u$  pada Konsol (a)

$$a = 5 + \frac{1}{2} \times 5 = 7.5 \text{ cm}$$

## ⇒ Tinggi Konsol untuk Geser (d)

$$Vn_{max} = 0.2 \cdot f'_c \cdot bw \cdot d$$

$$d = \frac{Vn_{max}}{0.2 \cdot f'_c \cdot bw}$$

$$= \frac{45723/0.65}{0.2 \times 30 \times 400}$$

$$= 29.31 \text{ mm}$$

◊ Tinggi Konsol untuk Lentur (d)

$$Mu = Vu.a + Nuc(h-d)$$

$$= 45723 \times 75 + 9144.6 \times 50 \quad (h-d \approx 50 \text{ mm})$$

$$= 3886455 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.004375$$

$$m = \frac{f_y}{0.85.f'_c} = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.55$$

$$R_n = \rho \times f_y \times (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m)$$

$$= 0.004375 \times 320 \times (1 - \frac{1}{2} \times 0.004375 \times 12.55)$$

$$= 1.3616 \text{ MPa}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot bw \cdot d^2}$$

$$d_{\text{perlu}} = \sqrt{\frac{Mu}{\phi \cdot bw \cdot R_n}}$$

$$= \sqrt{\frac{3886455}{0.85 \times 400 \times 1.3616}}$$

$$= 91.63 \text{ mm}$$

maka diambil d yang terbesar, dimana  $\frac{a}{d} < 1$

$$\text{dicoba } d = 200 \text{ mm} \quad \frac{a}{d} = \frac{75}{200} = 0.375 < 1 \quad \dots \dots \text{OK}$$

⇒ Penulangan Geser Af

$$Af_{\text{geser}} = \frac{Vn_{\text{max}}}{\phi f_y \mu}$$

$$= \frac{45723 \times 0.65}{0.65 \times 320 \times 1.4}$$

$$= 241.56 \text{ mm}^2$$

⇒ Penulangan Lentur Af

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot bw \cdot d^2}$$

$$= \frac{3886455}{0.65 \times 400 \times 200^2}$$

$$= 0.37 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12.55} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.37}{320}} \right]$$

$$= 0.00176 < \rho_{\text{min}}$$

$$Af_{\text{perlu}} = \rho \cdot bw \cdot d$$

$$= 0.004375 \times 400 \times 200$$

$$= 350 \text{ mm}^2$$

⇒ Tulangan Tambahan An

$$An = \frac{Nuc}{\phi \cdot f_y}$$

$$= \frac{9144.6}{0.65 \times 320} = 43.96 \text{ mm}^2$$

⇒ Tulangan Tarik utama total As

$$\Delta s_1 = \Delta f + \Delta n$$

$$= 350 + 43.96 = 393.96 \text{ mm}^2$$

$$\Delta s_2 = \frac{2}{3} \times \Delta v f + \Delta n$$

$$= \frac{2}{3} \times 241.56 + 43.96 = 285.52 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu} = 393.96 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan 3D19 ( $\text{As} = 850.59 \text{ mm}^2$ )

⇒ Persyaratan sengkang

$$A_{\text{min}} = \frac{1}{2} \cdot (\Delta s - \Delta n)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (393.56 - 43.96)$$

$$= 174.8 \text{ mm}^2$$

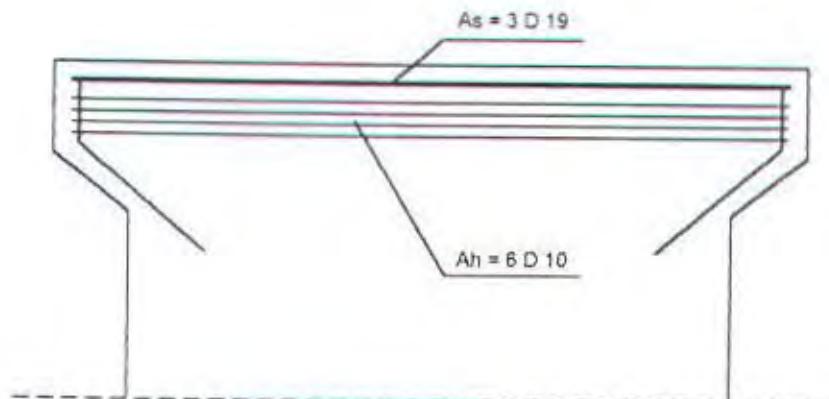
maka dipakai 6D10 ( $\text{As} = 471.23 \text{ mm}^2$ )

sengkang ikat harus disebar merata sepanjang 2/3 d.

⇒ Panjang Penanaman As

$$l_{\text{dada}} = b - \text{selimut} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan As}$$

$$= 400 - 50 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 340.5 \text{ mm}$$



Gambar 7.4. Penulangan Corbel

### 7.7.1. Perencanaan Bearing on Plain Concrete

Jika diinginkan agar suatu elemen tidak perlu diperkuat oleh penulangan untuk mempertinggi daya dukung elemen pada bagian tepi, seperti tepi pada ujung balok yang mendukung pelat, maka perlu dilakukan pemeriksaan bearing on plain concrete.

Menurut PCI, daya dukung dari plain concrete adalah :

$$\phi V_n = \phi C_r (0.85 f'_c A_1) \sqrt{A_2/A_1} \leq 2 f'_c A_1$$

dimana :

$$\phi = 0.7$$

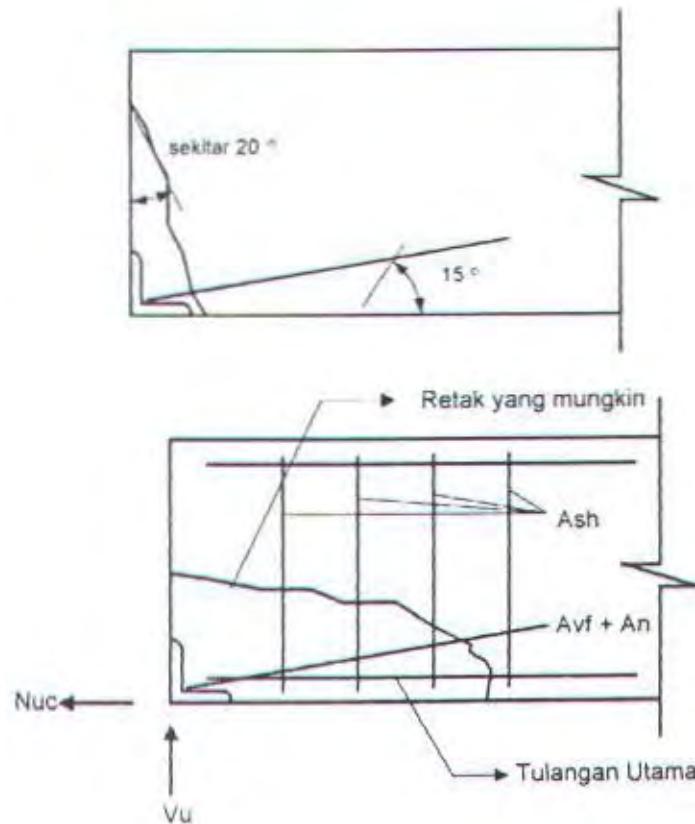
$$C_r = (sw/200)^{(N_u/V_u)} = 1 \text{ bila tidak ada gaya horizontal yang berarti}$$

$A_1$  = luas permukaan beton yang mendukung beton

$A_2$  = luas proyeksi permukaan  $A_1$

Batas bearing strength adalah :

$$\phi V_c = 0.85 \phi f'_c b w$$



Gambar 7.5. Konsep gesekan geser terhadap daerah tumpuan balok

#### Penulangan End Bearing

Jika  $V_u > \phi V_n$  hasil desain bearing strength on plain concrete, maka perlu tulangan end bearing. Penulangan end bearing berdasarkan analisa gesekan friksi.

Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak adalah vertikal  $\theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horisontal :

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{V_u}{\phi \times f_y \times \mu} + \frac{N_u}{\phi \times f_y}$$

Sudut penanaman adalah  $15^\circ$  seperti yang disarankan pada referensi.

Sedangkan nilai  $\mu$  diambil secara konservatif.

$\mu = 1.4 \lambda = 1.4 \times 1 = 1.4$ , sedangkan nilai  $\phi = 0.6$  untuk  $A_{vf}$  dan  $\phi = 0.8$  untuk  $A_n$ .

### 3. Perhitungan Tulangan sengkang

Perhitungan tulangan sengkang Ash untuk retak horizontal adalah :

$$A_{sh} = \frac{A_t \times f_y}{\mu \times f_y}$$

#### Perhitungan :

Data-data perencanaan :

- $V_u = 4572.3 \text{ kg} = 45723 \text{ N}$
- $N_{uc} = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 45723 = 9144.6 \text{ N}$

#### ♦ Perkuatan tulangan horizontal ( $A_t$ )

$$A_t = \frac{45723}{0.6 \times 320 \times 1.4} + \frac{9144.6}{0.8 \times 320} = 205.82 \text{ mm}^2$$

maka dipakai tulangan 4D -19 ( $A_t = 1136 \text{ mm}^2$ )

#### ♦ Tulangan sengkang ( $A_{sh}$ )

$$A_{sh} = \frac{A_t \times f_y}{\mu \times f_y} = \frac{205.82}{1.4} = 147.02 \text{ mm}^2$$

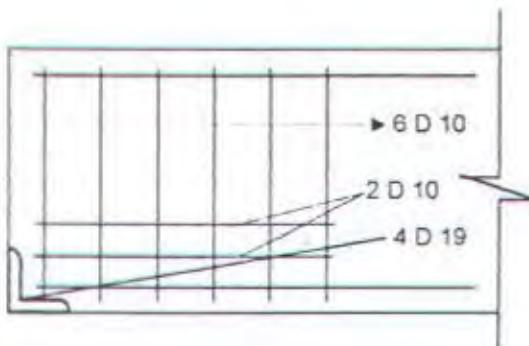
maka dipakai tulangan 6D10 ( $A_{sh} = 471.23 \text{ mm}^2$ )

#### ♦ Tulangan Pengikat Tambahan ( $A_{cv}$ )

$$A_{cv} = A_{ch}$$

$$= \frac{V_u}{8 \times f_y} = \frac{45723}{8 \times 320} = 17.86 \text{ mm}^2$$

maka dipakai tulangan 2D10 ( $A_{cv} = 157,08 \text{ mm}^2$ )



Gambar 7.6. Sket Penulangan End Bearing

## 7. SAMBUNGAN BALOK ANAK – BALOK INDUK

Sambungan antara balok induk dengan balok anak direncanakan dengan sambungan sendi yaitu dengan menggunakan konsol pada balok induk.

Contoh perencanaan penulangan konsol balok induk:

Contoh perencanaan penulangan konsol balok induk:

Data-data perencanaan:

$$V_u = 5293 \text{ kg} = 52930 \text{ N}$$

$$N_u = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 52930 = 10586 \text{ kN}$$

$$M_u = V_u \cdot a + N_u \cdot (h-d)$$

$$= 52930 \times 50 + 10586 \times (100 - 60)$$

$$= 3069940 \text{ Nmm}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

a. Penulangan geser Avf

$$\Delta V_f = \frac{V_u}{\phi \cdot \mu \cdot f_y} = \frac{52930}{0.65 \times 1 \times 350}$$

$$= 232.66 \text{ mm}^2$$

b. Penulangan tambahan  $A_n$

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = \frac{10586}{0.65 \times 350}$$

$$= 46.53 \text{ mm}^2$$

c. Tulangan lentur  $A_f$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot w \cdot d^2}$$

$$= \frac{3069940}{0.65 \times 250 \times 110^2}$$

$$= 1.56 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{13.725} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13.725 \times 1.56}{350}} \right]$$

$$= 0.0046$$

$$A_f = \rho \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$= 0.0046 \times 250 \times 110$$

$$= 126.68 \text{ mm}^2$$

d. Tulangan tarik utama total  $A_s$

Pilih yang terbesar dari:

- $A_{s1} = A_f + A_n = 126.68 + 46.53 = 173.21 \text{ mm}^2$
- $A_{s2} = 2/3 A_V f + A_n = (2/3) \cdot 232.66 + 46.53 = 201.64 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} = 201.64 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan 3D 12 ( $A_s = 339.3 \text{ mm}^2$ )

c. Persyaratan sengkang

$$A_h \text{ min} = \frac{1}{2} (A_s - A_n)$$

$$= \frac{1}{2} (201.64 - 46.53)$$

$$= 77.56 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 2D 10 ( $A_s = 142 \text{ mm}^2$ )

Data-data perencanaan:

$$V_u = 6508.22 \text{ kg} = 65082.2 \text{ N}$$

$$N_u = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 65082.2 = 13016.44 \text{ N}$$

$$M_u = V_u \cdot a + N_u \cdot (h-d)$$

$$= 65082.2 \times 50 + 13016.44 \times (100 - 60)$$

$$= 3774767.6 \text{ Nmm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

**Penulangan geser Avf**

$$Avf = \frac{Vu}{\phi \cdot \mu \cdot fy} = \frac{65082.20}{0.65 \times 1.4 \times 320}$$

$$= 233.49 \text{ mm}^2$$

### Penulangan tambahan An

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = \frac{13016.44}{0.65 \times 320} \\ &= 62.58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Tulangan lentur Af

$$\begin{aligned} R_{n_{perlu}} &= \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} \\ &= \frac{3774767.6}{0.65 \times 300 \times 110^2} \\ &= 1.599 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{12.55} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.599}{320}} \right] \\ &= 0.00516 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A'_{perlu} &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 0.00516 \times 300 \times 110 \\ &= 170.42 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Tulangan tarik utama total As

Pilih yang terbesar dari:

$$\bullet A's_1 = A_f + A_n = 170.42 + 62.58 = 233 \text{ mm}^2$$

$$\bullet A's_2 = 2/3 A'_{af} + A_n = (2/3) 233.49 - 62.58 = 218.24 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ perlu} = 233 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan 3D - 12 (As = 339.3 mm<sup>2</sup>)

### Persyaratan sengkang

$$\Delta h_{\min} = \frac{1}{2} (\Delta s - \Delta n)$$

$$= \frac{1}{2} (218.24 - 62.58)$$

$$= 77.83 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 2D 10 ( $\Delta s = 142 \text{ mm}^2$ )

### Data-data perencanaan :

$$V_u = 6508.22 \text{ kg} = 65082.2 \text{ N}$$

$$N_{uc} = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 65082.2 = 13016.44 \text{ N}$$

#### ♦ Perkuatan tulangan horizontal (At))

$$At = \frac{65082.2}{0.6 \times 320 \times 1.4} + \frac{13016.44}{0.8 \times 320} = 292.97 \text{ mm}^2$$

maka dipakai tulangan 3D -19 ( $At = 852 \text{ mm}^2$ )

#### ♦ Tulangan sengkang (Ash)

$$Ash = \frac{At \times f_y}{\mu \times f_y} = \frac{292.97}{1.4} = 209.26 \text{ mm}^2$$

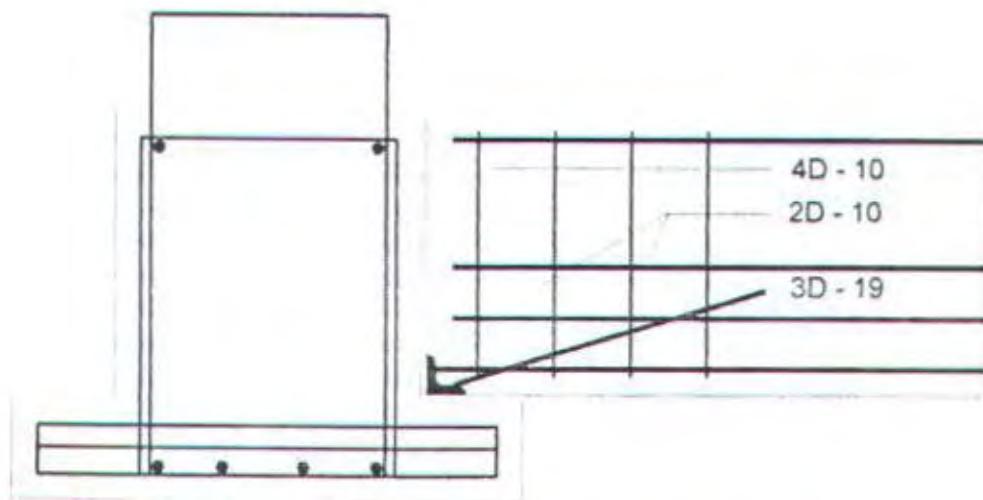
maka dipakai tulangan 4D10 ( $Ash = 214.15 \text{ mm}^2$ )

#### ♦ Tulangan Pengikat Tambahan (Acv)

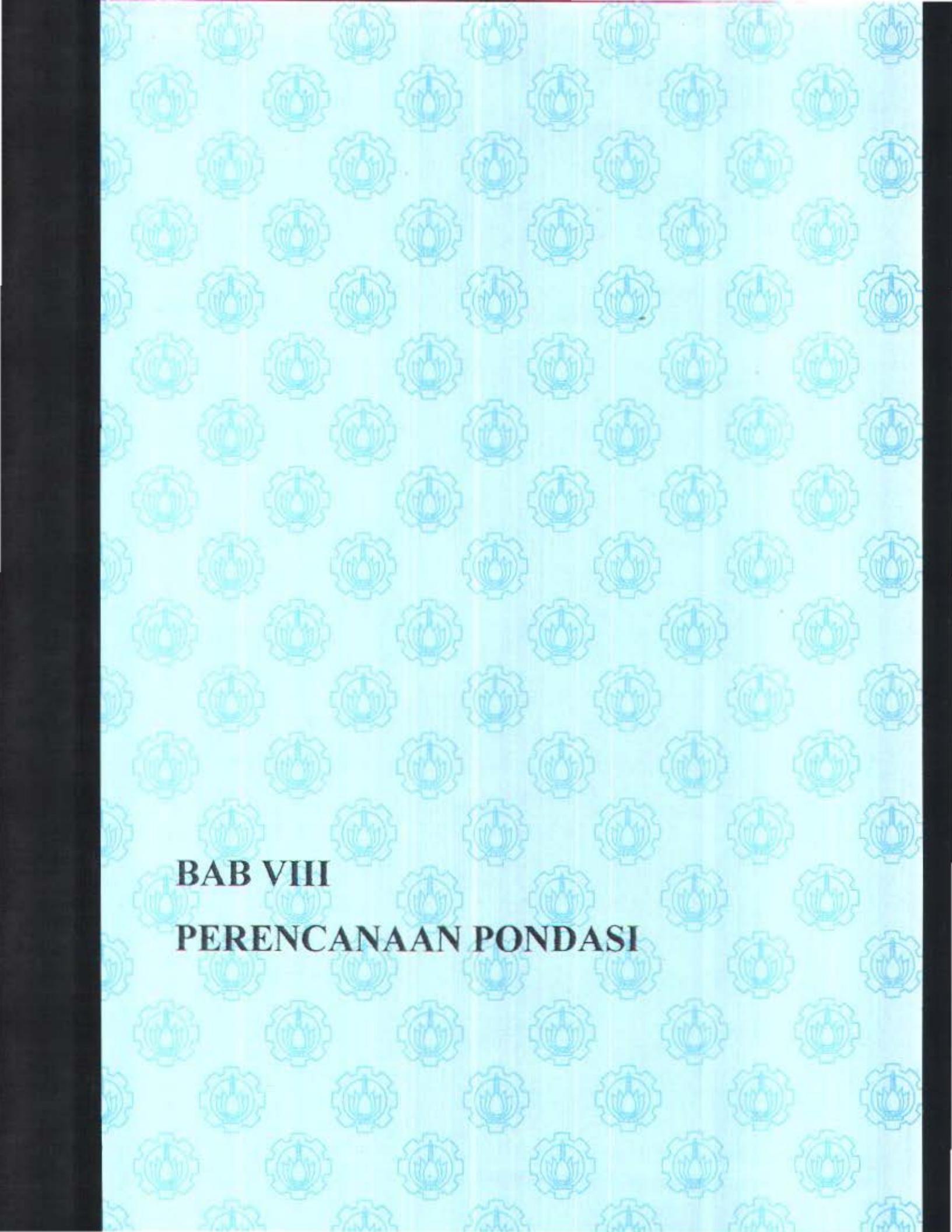
$$\Delta cv = \Delta ch$$

$$= \frac{V_u}{8 \times f_y} = \frac{65082.2}{8 \times 320} = 25.42 \text{ mm}^2$$

maka dipakai tulangan 2D10 ( $Acv = 157.08 \text{ mm}^2$ )



Gambar: Sket tulangan sambungan balok anak



## **BAB VIII**

## **PERENCANAAN PONDASI**

## **BAB VIII**

### **PERENCANAAN PONDASI**

#### **8.1. UMUM**

Dari data tanah diketahui bahwa Gedung Kandatel Malang berada diatas lapisan tanah lanau berlempung yang cukup keras sampai pada kedalaman 15 m, maka penggunaan pondasi dalam terutama pondasi tiang pancang menjadi salah satu alternatif pemilihan type pondasi yang dipakai dalam perencanaan ini.

Jenis Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang tiang pancang beton pratekan (Prestressed Concrete Pile) dengan bentuk penampang bulat berongga (Round Hollow) produksi PT. Wijaya Karya.

#### **8.2. DATA TANAH**

Penyelidikan tanah berfungsi untuk mengetahui jenis dari tanah sehingga dapat diantisipasi perencanaan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut.

Perencanaan pondasi pada Gedung Kandatel Malang sesuai dengan penyelidikan tanah di lapangan. Dari data hasil penyelidikan tanah dapat diketahui jenis tanah yang ada dan nilai SPT.

Dalam perencanaan jumlah tiang pancang yang diperlukan akan digunakan data tanah hasil uji dari Standard Penetration Test ( SPT ) YANG DILAKUKAN OLEH Laboratorium Mekanika Tanah ITS Surabaya.

### 8.3. KRITERIA DESIGN

#### 8.3.1. Kekuatan dan Dimensi Tiang

- Dipakai tiang pancang beton pratekan (Prestressed Concrete Pile) dengan bentuk penampang bulat berongga (Round Hollow).
- Mutu beton tiang pancang K-600 (concrete cube compressive strength is 600 kg/cm<sup>2</sup> at 28 days)
- Tiang pancang yang direncanakan adalah menggunakan alternatif jenis tiang dengan spesifikasi sebagai berikut :

WIKA PILE CLASSIFICATION

Pile Diameter (mm)	Class	Area of Steel (cm <sup>2</sup> )	Area of Concrete (cm <sup>2</sup> )	Section Modulus (cm <sup>3</sup> )	Moment Crack (ton m)	Moment Ultimate (ton m)
350	A1	3.08	615.75	3711.17	3.50	5.25

Untuk spesifikasi jenis tiang lainnya dapat dilihat pada lampiran

#### 8.3.2. Tahapan Perencanaan

1. Perhitungan gaya-gaya yang bekerja (Axial, Horisontal dan Momen) akibat dari upper structure (bangunan atas)
2. Perhitungan daya dukung tanah dasar
3. Perhitungan jumlah tiang dalam satu poer/kelompok
4. Perhitungan daya dukung tiang

### 8.4. PERUMUSAN DESIGN

#### 8.4.1. Koreksi terhadap nilai SPT (N-Lapangan)

Perhitungan daya dukung tanah pada tiang pancang didasarkan pada data SPT hasil Soil Investigation, yang telah dikoreksi. Koreksi terhadap nilai SPT lapangan adalah sebagai berikut :

a. Koreksi N akibat terendam air (Terzaghi & Pack)

↳ Untuk pasir halus dan pasir lanau serta nilai  $N > 15$

$$N' = 15 + \frac{1}{2} \cdot (N - 15)$$

$$N' = 0.6 N$$

Diambil nilai terkecil

↳ Untuk tanah lempung

Dipakai N lapangan

b. Koreksi N akibat overburden pressure (Bazara, 1967)

↳ Untuk  $P_o \leq 7.5 \text{ t/m}^2$

$$N' = \frac{4N}{(1 + 0.4P_o)}$$

↳ Untuk  $P_o > 7.5 \text{ t/m}^2$

$$N' = \frac{4N}{(3.25 + 0.1P_o)}$$

↳  $N' = 2N$

dimana :

$$P_o = \sum (\gamma_{sat,i} - 1) L_i \quad (\text{t/m}^2)$$

$\gamma_{sat,i}$  = berat jenis tanah jenuh air tiap kedalaman ( $\text{t/m}^3$ )

Diambil nilai N terkecil

#### 8.4.2. Perumusan Daya Dukung Tanah

##### 8.4.2.1. Daya Dukung Tiang Tunggal

Daya dukung total tanah terdiri dari daya dukung akibat perlawanan ujung dan daya dukung akibat hambatan pelekatan. Dalam perencanaan ini penulis

memakai teori menurut *Meyerhof*. Rumusan yang dipakai untuk menghitung daya dukung tanah pada tiang pancang tunggal adalah sebagai berikut :

$$P_{ult} = P_{ujung} + Rsi \\ - 40 \cdot N_{rata-rata} (\text{ujung tiang}) \cdot Ac + fsi \cdot As_i \quad (\text{dalam ton})$$

$$P_{ijin} = P_{ult} / SF$$

dimana :

$P_{ult}$  = daya dukung tiang ultimate

$P_{ujung}$  = Resistance ultimate di ujung tiang

$Rsi$  = Resintance ultimate akibat lekatan sepanjang selimut tiang

$N_{rata-rata}$  = harga rata-rata nilai SPT diujung tiang antara 4 D kebawah 8 D keatas

$Ac$  = luas penampang tiang

$As_i$  = luas permukaan tiang tiap section i (m)

$fsi$  =  $N/2$  untuk tanah lempung dan lanau ( $t/m^2$ )

$N/5$  untuk tanah pasir ( $t/m^2$ )

$N = N$  koreksi

$SF$  = safety factor = 3

#### 8.4.2.2. Daya Dukung Tiang Tunggal dalam Group Tiang

Untuk menghitung daya dukung tiang tunggal dalam group tiang, maka jarak antar tiang mempengaruhi effisiensi dari tiang tersebut. Oleh karena itu daya dukung tiang dalam group tiang harus dikoreksi dengan effisiensi yang terjadi.

$$P_{ijin\ group} = n \times P_{ijin\ (\text{tunggal})} \times Eff$$

dimana :

$N$  = jumlah tiang dalam group

$P_{ijin\ tiang}$  = daya dukung tiang tunggal

$\text{Eff}$  = effisiensi tiang

Perumusan harga effisiensi dari group tiang adalah menggunakan perumusan dari *Converse Labare* sebagai berikut :

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\theta[(n-1)m + (m-1)n]}{90mn}$$

dimana :

$\theta$  = arc tg (D/s)

$D$  = diameter tiang

$s$  = jarak antar sumbu tiang

$m$  = jumlah tiang per baris (lajur x)

$n$  = jumlah tiang per kolom (lajur y)

Pada perhitungan ini dipakai jarak antar tiang ( $s$ ) :  $s \geq 3D$ ,

dimana  $D$  adalah diameter tiang pancang.

#### 8.4.2.3. Beban Maksimum Tiang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok tiang dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada tiang.

Adapun rumus yang digunakan yaitu :

$$P_{\max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum Y^2} \leq \bar{P}_{ijin\ 1\ tiang}$$

dimana :

$P_{ult}$  = Daya dukung ijin tiang dalam satu kelompok

$P_{maks}$  = Beban maksimum 1 tiang pancang

$\sum P_u$  = Jumlah total beban aksial

$n$  = banyaknya tiang dalam kelompok tiang

$M_x$  = Momen yang terjadi pada arah X

$M_y$  = Momen yang terjadi pada arah Y

$X_{maks}$  = Absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum X^2$  = Jumlah dari kuadrat absis tiap tiang

$\sum Y^2$  = Jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang

#### 8.4.2.4. Daya Dukung Tiang akibat Gaya Horisontal/Lateral

Tiang pancang harus mampu menerima gaya tekan aksial dan momen akibat gaya horisontal dengan cara mengubah gaya horisontal menjadi momen tambahan yang bekerja pada tiang pancang. Momen ini kemudian harus dicek terhadap kekakuan dari bending dari tiang pancang yang digunakan.

Untuk mendapatkan momen akibat gaya horisontal ini, dapat digunakan rumus-rumus yang terdapat pada buku *Pedoman Untuk Beton Bertulang dan Struktur Tembok Bertulang Untuk Gedung Tahun 1983*.

Untuk mengontrol kemampuan masing-masing tiang maupun kelompok tiang perlu dibedakan antara tiang panjang dan tiang pendek, dimana tiang panjang dan tiang pendek ditentukan dengan rumus :

$$L_2 = 2,2 L_1$$

$$L_1 = F + 1.5 D$$

$$F = \frac{H}{9 \times C_r \times D}$$

$$C_r = 0.5 C_u$$

dimana :

$L_2$  – kedalaman dimana momen lentur adalah nol

$L_1$  = kedalaman dimana momen lentur adalah maksimum

$F$  = panjang daerah perlawanan

$C_u$  = harga kohesi tanah

Untuk single pile,  $D$  = diameter tiang

Untuk pile group,  $D$  = lebar dari kelompok tiang yang tegak lurus arah beban.

Apabila  $L_1$  tiang >  $L_2$  maka tiang dianggap sebagai tiang panjang.

## 8.5. PERHITUNGAN TIANG PANCANG

Perhitungan pondasi tiang pancang, pada titik C27 dengan data-data sebagai berikut :

$$P = 473.844 \text{ ton}$$

$$M_x = 5.272 \text{ ton m}$$

$$M_y = 29.452 \text{ ton m}$$

$$H_x = 2.888 \text{ ton}$$

$$H_y = 16.849 \text{ ton}$$

### 8.5.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Direncanakan kedalaman tiang pancang sampai pada level -12.00 m dengan kondisi tanah berupa lanau berlempung dan berpasir. Contoh perhitungan daya dukung tiang tunggal dilampirkan dalam tabel untuk diameter 350 mm.

Dari tabel perhitungan diperoleh:

Daya dukung ijin tiang pancang tunggal ( $P_{ijin}$ ):

Diameter 350mm : 110.9651 ton

### 8.5.2. Perhitungan Jumlah Tiang dan Dimensi Poer

Pada perhitungan jumlah tiang pancang pada kolom digunakan tiang berdiameter 350 mm

- Jumlah tiang pancang

$$n = \frac{473.844}{110.9651} = 4.27$$

- 6 buah tiang pancang

- Jarak as ke as tiang terpasang minimum

$$s = 2.5 \times 0.35 = 1.05 \text{ m}$$

Dipakai  $s = 1.2 \text{ m}$

- Jarak tepi ke tepi poer

$$s_1 = 0.6 \text{ m}$$

- Dimensi poer

Tebal poer direncanakan sebesar 0.8m

Dimensi poer: - arah x = 4.8 m

- arah y = 2.4 m

### 8.5.3. Beban Maksimum 1 tiang

$$\Sigma P_u = 473.844 + (2.4 \times 4.8 \times 2.4 \times 0.8)$$

$$= 495.962 \text{ ton}$$

$$\Sigma X^2 - 4 \times 1.2^2 = 5.76 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y^2 = 2 \times 0.6^2 = 0.72 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 1.2 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0.60 \text{ m}$$

$$n = 6 \text{ buah}$$

$$P_{\max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum Y^2} \leq \bar{P}_{\text{ult.}}$$

$$= \frac{495.962}{6} + \frac{29.454 \times 1.2}{5.76} + \frac{5.272 \times 0.60}{0.72}$$

$$= 93.19 \text{ ton} < P_{\text{ijin 1 tiang}} = 110.9651 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

### 8.5.4. Kekuatan Group Tiang Pancang

$$P_{\text{ijin 1 tiang tanggul}} = 110.9651 \text{ ton}$$

$$D = 35 \text{ cm}$$

$$s = 120 \text{ cm}$$

$$m = 3$$

$$n = 2$$

maka :

$$\text{eff} = 1 - \frac{(arc tg 35 / 120) \times [(3-1) \times 2 + (2-1) \times 2]}{90 \times 3 \times 2} = 0.819$$

$$P_{\text{ijin group}} = 6 \times 110.9651 \times 0.819$$

$$= 545.283 \text{ ton} > P = 495.962 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

### 8.5.5. Kontrol Kekuatan Tiang Pondasi terhadap Gaya Lateral

Diketahui gaya-gaya horisontal yang bekerja adalah :

$$H_x = 2.888 \text{ ton}$$

$$H_y = 16.849 \text{ ton}$$

$$H_o = \sqrt{2.888^2 + 16.849^2} = 17.095 \text{ ton} \text{ (untuk 6 tiang)}$$

$$2.849 \text{ ton} \text{ (untuk 1 tiang)}$$

dari data tanah diperoleh  $q_u = 0$

Pendekatan empiris

$$C_u = \frac{N}{2} = \frac{56.096}{2} = 28.048 \text{ ton/m}^2$$

$$C_r = 0.5 C_u = 0.5 \times 28.048 = 14.024 \text{ ton/m}^2$$

$$F = \frac{H_o}{9 \times C_r \times D} = \frac{2.849}{9 \times 14.024 \times 0.35} = 0.065 \text{ m}$$

$$L_1 = F + 1.5 D = 0.065 + 1.5 \times 0.35 = 0.59 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.2 L_1 = 2.2 \times 0.59 = 1.298 \text{ m} < \text{panjang tiang} = 12 - 0.8 = 11.2 \text{ m}$$

Berarti tiang pancang tersebut merupakan tiang panjang

Untuk restraint pile (tiang pancang yang ujungnya tertahan) didapatkan harga kuat geser tanah :

$$H_{o \text{ } \text{long}} = 9 \times C_u \times D \times (L_1 - 1.5D)$$

$$= 9 \times 28.048 \times 0.35 \times (0.59 - 1.5 \times 0.35)$$

$$= 5.743 \text{ ton} > H_{o \text{ } \text{terjadi}} = 2.849 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Momen yang terjadi :

$$H_o = 2.849$$

$$\begin{aligned} M_{\text{ult yang terjadi}} &= H_o \times (1.5 D + 0.5 F) = 2.849 \times (1.5 \times 0.35 + 0.5 \times 0.065) \\ &= 1.588 \text{ ton m} < M_{\text{ult 1 tiang}} = 5.25 \text{ ton m} \dots \dots \text{OK} \\ &< M_{\text{crack}} = 3.50 \text{ ton m} \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

## 8.6. PERENCANAAN POER (PILE CAP)

Perencanaan poer ditentukan oleh kemungkinan keruntuhan yang ada yaitu:

- Geser lentur ( geser 1 arah )
- Geser pons ( geser 2 arah)
- keruntuhan lentur

### 8.6.1. Data-data Perencanaan Poer

Pada perhitungan ini diambil titik C10 sebagai contoh perhitungan dengan data dari hasil perhitungan di muka, yaitu :

- $P_u = 473.844 \text{ ton}$
- $P_{\text{jml 1 tiang}} = 110.9651 \text{ ton}$
- Dimensi Poer =  $4.8 \text{ m} \times 2.4 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$
- Jumlah tiang pancang = 6
- Dimensi kolom :
  - hk = 700 mm
  - bk = 700 mm

Sedangkan untuk data-data dari poer adalah sebagai berikut :

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa

- Mutu baja ( $f_y$ ) = 350 MPa
- $\phi = 0.6$
- Diameter tulangan pokok = 19 mm ( $A_v = 284 \text{ mm}^2$ )
- Selimut beton ( $d_c$ ) = 75 mm
- Tinggi efektif ( $d$ ) :

$$d_x = 800 - 75 - 19 - (\frac{1}{2} \cdot 19) = 696.5 \text{ mm}$$

$$d_y = 800 - 75 - (\frac{1}{2} \cdot 19) = 715.5 \text{ mm}$$

#### 8.6.2. Kontrol Geser Pons pada Poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus dipenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini ditegaskan pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.11 butir 2. Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan sebagai berikut :

$$\phi V_c = \phi \left[ 1 + \frac{2}{\beta c} \right] \left[ \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] b_o d$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\phi V_c = \phi 1/3 \sqrt{f'_c} b_o d \quad \text{atau} \quad \left( 1 + \frac{2}{\beta c} \right) \leq 2$$

dimana :

$\beta c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada poer

#### Contoh Perhitungan :

##### A. Kontrol geser lentur ( geser 1 arah)

## **Keliling Penampang Kritis**

bw = 4800mm

• Cek Kuat Geser Pons

$1 + (2/1) = 3 > 2$  Dipakai Vc batas

Batas Geser Pons

$$\phi Vc = 0.6 \times 1/3 \times \sqrt{30} \times 4800 \times 715.5$$

$$= 3762196.703 \text{ N}$$

= 376.219 ton

$$\text{Gaya geser } V_H = 2 \times 82.66 \text{ ton} = 165.32 \text{ ton}$$

$\phi V_c > V_u$  ..... tidak perlu dipasang tulangan

#### B. Kontrol geser pons ( geser 2 arah)

Gaya reaksi tiap-tiang

$$R = \frac{P_U + W_{\text{over}}}{6} = \frac{495.962}{6} = 82.66 \text{ ton}$$

## • Keliling Penampang Kritis

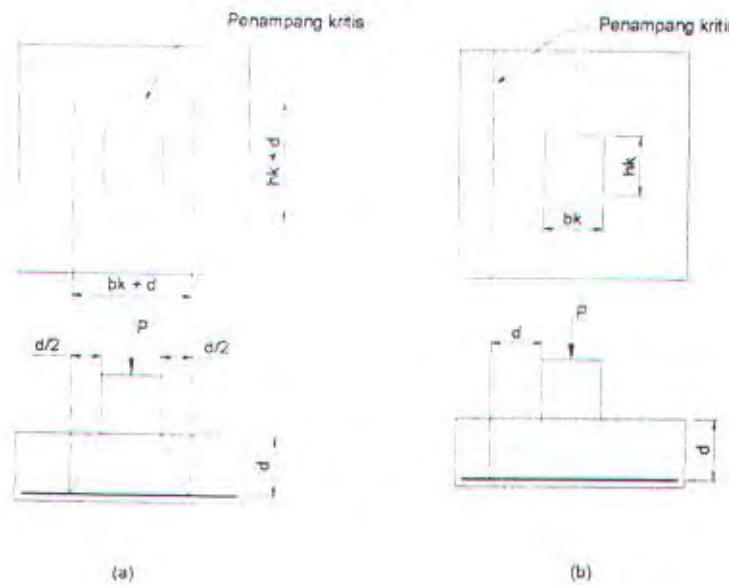
$$b_0 = 2(bk + d) + 2(hk + d)$$

dimana

bk = lebar penampang kolom

hk = tinggi penampang kolom

d = tinggi efektif poer



Gambar: Penampang kritis .(a) geser Pons, (b) geser lentur

$$bo = 2(700 + 715.5) + 2(700 + 715.5)$$

$$\approx 7862 \text{ mm}$$

Cek Kuat Geser Pons

$$1 + (2/1) = 3 > 2 \dots\dots\dots \text{Dipakai } Vc \text{ batas}$$

$\div$  Batas Geser Pons

$$\phi Vc = 0.6 \times 1/3 \times \sqrt{30} \times 7862 \times 715.5$$

$$= 6162165 \text{ N}$$

$$= 616.22 \text{ ton}$$

$$Pu_{\text{tengah}} = 473.843 \text{ ton}$$

$$\phi Vc > Pu_{\text{tengah}} \dots\dots\dots \text{tidak perlu dipasang tulangan}$$

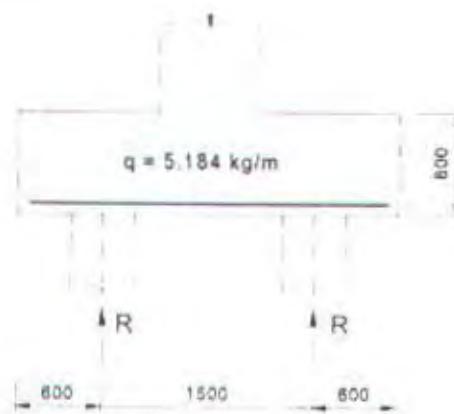
### 8.6.3. Penulangan Poer

#### 8.6.3.1. Penulangan Lentur

Pada penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari

tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q. perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

Contoh Perhitungan :



Gambar. Gaya-gaya pada penulangan lentur

**A. Penulangan Lentur Arah y**

Momen-momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} Mu &= [3 \times 82.66 \times 0.6] - [\frac{1}{2} \times 9.216 \times 1.20^2] \\ &= 142.153 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{142.153 \times 10^7}{0.8 \times 2400 \times 696.5^2} = 1.526 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_{c'}} = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.55$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.004375$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 1.526}{320}} \right] \\ &= 0.00492\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$  maka dipakai  $\rho = 0.00492$

$$\begin{aligned}As_{\text{perlu}} &= 0.00492 \times 2400 \times 696.5 \\ &= 8554.27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan D19-90 ( $As = 7668 \text{ mm}^2$ )

#### A. Penulangan Lentur Arah x

Momen-momen yang bekerja :

$$\begin{aligned}Mu &= [2 \times 82.66 \times 1.20] - [\frac{1}{2} \times 9.216 \times 2.40^2] \\ &= 171.84 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{171.84 \times 10^7}{0.8 \times 4800 \times 715.5^2} = 0.874 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_{c'}} = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.55$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.004375$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{12.55} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.55 \times 0.874}{320}} \right] \\ &= 0.00278\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$  maka dipakai  $\rho = 0.004375$

$$As_{\text{perlu}} = 0.004375 \times 4800 \times 715.5$$

$$= 15025.5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D19-100 ( $A_s = 7668 \text{ mm}^2$ )

### 8.6.3.2. Penulangan Geser

Geser yang terjadi pada daerah kritis kolom harus dikontrol. Apabila geser yang terjadi lebih besar dari geser nominal beton, maka dibutuhkan tulangan geser yang diambil dari bengkokan tulangan utama D19 diatas.

#### Contoh Perhitungan :

##### A. Geser arah y

Geser beton yang terjadi :

$$\begin{aligned} V_u &= n \cdot P_{\text{tulang}} - q \cdot l \\ &= (3 \times 82.66) - (4.8 \times 0.8 \times 2.4 \times 1.00) \\ &= 156.104 \text{ ton} = 1561040 \text{ N} \end{aligned}$$

Kemampuan geser beton :

$$\begin{aligned} V_c &= \phi \cdot 2/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \\ &= 0.6 \times 2/3 \times \sqrt{30} \times 2400 \times 696.5 \\ &= 3662292.108 \text{ N} > V_u \dots \dots \text{Dimensi tetap} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \\ &= 0.6 \times 1/6 \times \sqrt{30} \times 2400 \times 696.5 \\ &= 915573.027 \text{ N} < V_u \end{aligned}$$

Perlu tulangan geser sebesar :

$$V_s = V_u - V_c$$

$$= 1561040 - 915573.027$$

$$= 645466.973 \text{ N}$$

Dipakai tulangan  $\phi 19$  dengan luas 1 kaki =  $284 \text{ mm}^2$

Luas 2 kaki =  $568 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{Av \times d \times f_y}{V_s} = \frac{568 \times 696.5 \times 320}{645466.973} = 196.13 \text{ mm}$$

Dipakai  $s = 180 \text{ mm}$

#### B. Geser arah x

Geser beton yang terjadi :

$$Vu = n \cdot P_{tulang} - q \cdot l$$

$$= (2 \times 82.66) - (4.8 \times 0.8 \times 2.4 \times 1.00)$$

$$= 156.104 \text{ ton} = 1561040 \text{ N}$$

Kemampuan geser beton :

$$Vc_{max} = \phi \cdot 2/3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d$$

$$= 0.6 \times 2/3 \times \sqrt{30} \times 4800 \times 715.5$$

$$= 7524393.405 \text{ N} > Vu \dots \dots \dots \text{Dimensi tetap}$$

$$\phi Vc = \phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d$$

$$= 0.6 \times 1/6 \times \sqrt{30} \times 4800 \times 715.5$$

$$= 1881098.351 \text{ N} > Vu$$

Tidak perlu tulangan geser.

## 8.7. PERENCANAAN SLOOF (TIE BEAM)

Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi, atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antara pondasi yang satu dengan yang lainnya.

Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi : berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom dan beban akibat uplift tanah (Buku PPSBBSTBUG'83 – 6.9.2)

### 8.7.1. Data-data Perencanaan

Beban aksial, pada titik C10 :

$$P_u = 473.844 \text{ ton}$$

Panjang sloof (L) = 3.60 m (maksimum)

$$f_{c'} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

decking (dc) = 50 mm

diameter tulangan utama = 22 mm ( $A_{st} = 387 \text{ mm}^2$ )

diameter sengkang = 10 mm ( $A_v = 78.54 \text{ mm}^2$ )

tinggi sloof direncanakan :  $h = 500 \text{ mm}$

$$\text{tinggi efektif} = 500 - 50 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 22) = 429 \text{ mm}$$

### 8.7.2. Dimensi Sloof

Pada perencanaan sloof ini, penulis mengambil ukuran sloof berdasarkan sloof yang berhubungan dengan kolom yang mempunyai gaya normal  $P_u = 473.844$  ton. Penentuan dimensi dari sloof dilakukan dengan memperhitungkan syarat

bahwa tegangan tanik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan tarik ijin beton yaitu sebesar :

$$f_r = f_{ct} - 0.70 \sqrt{f_c'} = \frac{N_u}{0.8 \cdot b \cdot h} \quad (\text{PB 89 psI}, 9.5.2.3)$$

maka perhitungannya adalah :

- Tegangan tarik ijin :

$$f_r = 0.70 \sqrt{30} = 3.83 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik yang terjadi :

$$f_r = \frac{0.1 \times 473.844 \times 10^4}{0.8 \times b \times 500} = \frac{1184.61}{b}$$

maka :

$$3.83 = \frac{1184.61}{b}$$

$$b = 309.29 \text{ mm}$$

Dipakai  $b = 310 \text{ mm}$

jadi dimensi yang dipakai adalah  $310 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$

### 8.7.3. Penulangan Sloof

#### 8.7.3.1. Penulangan Lentur

Perhitungan penulangan lentur sloof sama dengan perhitungan kolom dikarenakan pada sloof bekerja gaya dari dua arah yaitu dari berat sendiri sloof dan uplift.

Beban yang diterima sloof :

$$\text{Berat sendiri sloof} = 0.5 \times 0.31 \times 2400 = 372 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban tembok} &= 250 \times 4 \\ &= \underline{\underline{1000 \text{ kg/m}}} \\ &= 1372 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q_u = 1.2 \times 1372 = 1646.4 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi (tumpuan menerus)

$$\begin{aligned} M_u &= 1/12 \cdot q_u \cdot l^2 \\ &= 1/12 \times 1646.4 \times 3.6^2 \\ &= 1778.112 \text{ kg m} \end{aligned}$$

Aksial sloof

$$P_{u_{\text{sloof}}} = 10\% \cdot P_{u_{\text{kolom}}} = 0.1 \times 473.844 = 47.384 \text{ ton}$$

Rasio tulangan pakai :

$$k = \frac{\phi.P_n}{A_g} = \frac{47.384 \times 10^4}{310 \times 500} = 3.06$$

$$k_{eh} = \frac{\phi.M_n}{A_g.h} = \frac{1778.12 \times 10^3}{310 \times 500 \times 500} = 0.229$$

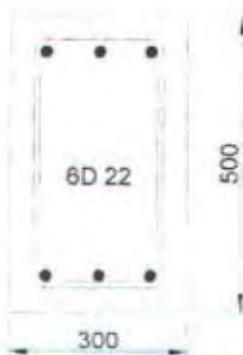
Dari diagram interaksi M-N non dimensi pada lampiran, didapat  $\rho < \rho_{mn}$ , maka dipakai  $\rho_{mn} = 1\%$

Luas tulangan perlu :

$$A_s = 0.01 \times 310 \times 500 = 1550 \text{ mm}^2$$

Tulangan dipakai :

Dipasang tulangan 6 D 22 ( $A_s = 2322 \text{ mm}^2$ )



Gambar : Penulangan lentur sloof

#### 8.7.3.2. Penulangan Geser

Geser yang terjadi :

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot l$$

$$= \frac{1}{2} \times 1646.4 \times 3.6$$

$$= 2963.52 \text{ kg} = 29352 \text{ N}$$

$$Vc_{\max} = \phi \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0.6 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 310 \times 429$$

$$= 291366.49 \text{ N} > V_u \dots \dots \dots \text{Dimensi tetap}$$

$$\phi Vc = \phi \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0.6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 310 \times 429$$

$$= 72841.62 \text{ N} > V_u \dots \dots \dots \text{tidak perlu tulangan geser}$$

dipasang tulangan praktis D10-150

**BAB IX**  
**PELAKSANAAN**

## BAB IX

### PELAKSANAAN

#### 9.1 UMUM

Dalam Bab Pelaksanaan ini selain diuraikan mengenai item pekerjaan konstruksi secara garis besar, ditinjau pula mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material pracetak.

Dalam mencetak material pracetak, ada 2 proses yang biasa dilakukan, yaitu :

1. Proses pencetakan secara pabrikasi di industri pracetak.

Dengan proses pabrikasi perlu diperhatikan :

- a. Perlunya standar khusus sehingga hasil pracetak dapat dipakai secara umum di masyarakat.
- b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen disebabkan harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
- c. Cara ini memungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

2. Proses Pencetakan di lapangan/lokasi proyek

Ada beberapa hal yang perlu dilakukan, yaitu :

- a. Proses ini sering dilakukan pada proyek-proyek lokal.
- b. Umur daripada proses produksi pencetakan disesuaikan dengan usia proyek.
- c. Proses ini lebih disukai bila dimungkinkan untuk dilaksanakan, dikarenakan standarisasi hasil pencetakan disesuaikan dengan keperluan proyek.

Tahap pelaksanaan konstruksi beton pracetak mencakup berbagai aspek-aspek diantaranya: proses produksi, perawatan, pengangkutan, penumpukan, serta pemasangan elemen-elemen beton pracetak. Selama tahap-tahap tersebut elemen-elemen beton pracetak harus dianalisa terhadap kemungkinan gaya-gaya yang bekerja, dimana gaya-gaya tersebut berbeda dari satu proses ke proses yang lain.

Beban-beban yang bekerja pada elemen beton pracetak harus dianalisa secara terpisah selama masa produksi sampai masa dimana elemen tersebut berada pada posisi akhir.

Hal hal yang perlu diperhatikan selama proses- proses tersebut adalah:

1. Kontrol stabilitas tegangan elemen selama pelaksanaan.
2. Batasan-batasan dimensi elemen yang mampu dijangkau oleh alat angkut.
3. Kapasitas alat angkut yang tersedia baik pada lokasi produksi maupun pada lokasi proyek.
4. Tersediaanya ruang yang cukup untuk menyimpan elemen-elemen sebelum elemen-elemen tersebut dipasang pada posisi akhir.

## 9.2. Proses Produksi Elemen Beton Pracetak

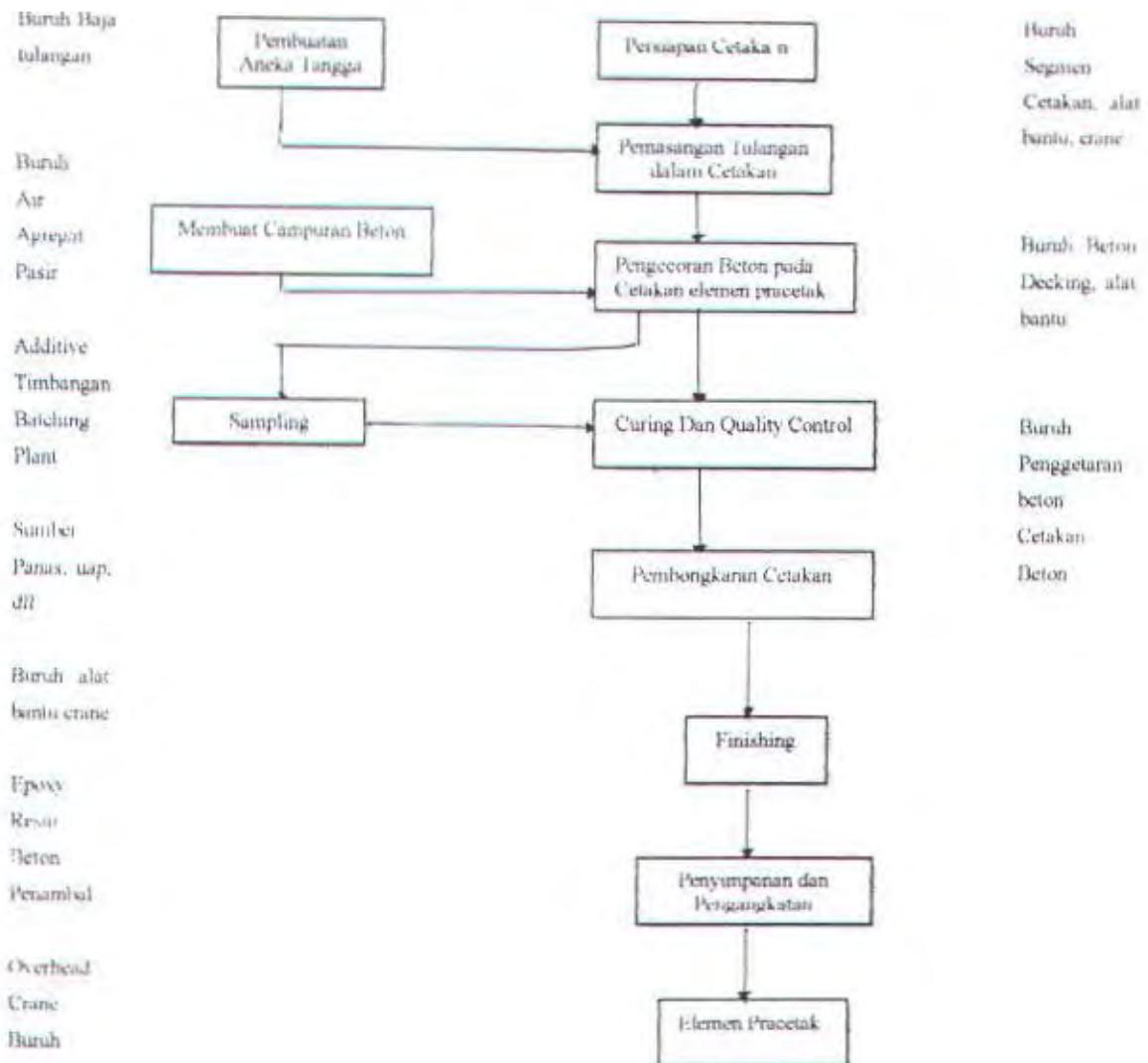
Setelah pengecoran, beton pracetak dilakukan curing untuk menghindari penguapan air semen secara drastis sehingga mutu beton yang direncanakan terpenuhi. Pembukaan bekisting dilakukan setelah kekuatan beton antara 20% - 60% dari kekuatan akhir yang dapat tercapai, kurang lebih pada umur 3 – 7 hari pada suhu kamar.

Syarat cetakan :

- a. volume stabil untuk pencetakan ulang
- b. mudah ditangani dan tidak bocor
- c. bentuk permukaan yang dihasilkan berbeda dengan sedikit modifikasi
- d. mudah untuk dipindah khusus untuk pelaksanaan di proyek.

Setelah pembongkaran bekisting, dilakukan finishing elemen beton pracetak.

### Skematis proses produksi elemen beton pracetak



Jadi secara umum tahap – tahap pemanfaatan elemen pracetak adalah sebagai berikut :

#### I. Tahap produksi

Pembuatan elemen beton pracetak dilakukan secara pabrikasi dimana elemen dicetak dalam suatu cetakan baja dengan dimensi yang telah ditetapkan. Mengingat elemen-elemen beton yang dicetak sebagian besar memiliki ukuran

yang seragam sehingga penggunaan cetakan dari baja akan memberikan penghematan kebutuhan bekisting pada produksi massal karena bekisting dari baja dapat digunakan secara berulang-ulang. Pembuatan elemen pracetak secara pabrikasi tersebut dimaksudkan untuk lebih menjamin keseragaman kualitas beton serta memberikan akurasi yang tepat dari dimensi elemen-elemen yang dicetak.

## 2. Tahap Perawatan

Perawatan elemen pracetak selama masa produksi dimaksudkan untuk menghindari penguapan air semen secara drastis dan menjaga kualitas beton serta memberikan percepatan pada peningkatan kekuatan awal beton. Kekuatan awal beton yang tinggi pada saat umur beton masih rendah akan dapat membantu mempercepat beton untuk diproses dalam tahap berikutnya yang pada akhirnya akan dapat memperpendek waktu pelaksanaan proyek. Perawatan elemen beton dapat dilakukan dengan cara menempatkan beton pada kondisi lembab selama paling sedikit 7 hari setelah penuangan kecuali jika dirawat dengan perawatan yang dipercepat misalnya dengan memberikan uap bertekanan tinggi, uap bertekanan atmosferik, pemanasan dengan pelembaban atau proses lain yang dapat diterima untuk mempercepat proses pencapaian kekuatan dan mengurangi waktu perawatan.

## 3. Tahap Pengangkutan

Pengangkutan elemen-elemen dilakukan apabila lokasi pembuatan elemen tersebut berjauhan atau tidak berada pada lokasi proyek. Untuk mempercepat pengiriman elemen ke lokasi proyek terdapat hal-hal yang sebaiknya dilakukan sebelum elemen pracetak dikirim ke lokasi proyek, diantaranya:

- Dilakukan pengecekan mengenai kondisi lapangan untuk meyakinkan bahwa lokasi proyek telah siap untuk menerima unit-unit pracetak.
- Pengecekan kondisi lapangan mengenai tersedianya tempat penumpukan sementara selama unit-unit tersebut belum terpasang. Tempat penumpukan ini hendaknya dipilih pada lokasi yang cukup strategis dimana mudah dijangkau tower crane, lokasi tidak mengganggu ruang gerak bagi alat angkut maupun pekerja dilapangan.

- Persiapan kondisi lapangan dalam memberikan ruang gerak yang leluasa kepada alat pengangkut sehingga memberikan kemudahan selama proses pengangkutan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan selama proses pengangkutan elemen diantaranya:

- orientasi maupun letak elemen pada alat angkut.
- letak tumpuan elemen baik tumpuan vertikal maupun horisontal.
- kondisi alat angkut serta kondisi jalan raya.
- Pertimbangan-pertimbangan dinamis yang akan terjadi selama pengangkutan.

#### 4. Tahap pemasangan

Perencanaan yang tepat dari seluruh proses konstruksi merupakan hal yang sangat penting dalam pelaksanaan pemasangan elemen yang aman dan efisien. Sebelum dilakukan pemasangan elemen-elemen pracetak sebaiknya dibuat daftar urutan pekerjaan pemasangan yang akan dilakukan. Penjadwalan elemen beserta urutan pemasangan diprioritaskan untuk ditentukan pada tahap-tahap awal dari proses konstruksi. Penjadwalan elemen dapat dibuat dalam bentuk tabel yang berisi keterangan-keterangan seperti: jenis elemen, dimensi, lokasi elemen, berat elemen, serta jarak elemen dari pusat crane.

Proses pemasangan elemen pracetak sangat tergantung kepada efisiensi alat berat yang digunakan, yaitu dalam bentuk crane. Sehingga dipilih alat angkut (crane) yang ekonomis. Crane hendaknya ditempatkan pada tempat dimana mampu menjangkau elemen-elemen baik pada lokasi penumpukan maupun pada posisi akhir elemen tersebut.

#### ***SKEMA PEMASANGAN DAN PERAKITAN ELEMEN PRACETAK***

Pemancangan

- Persiapan kondisi lapangan dalam memberikan ruang gerak yang leluasa kepada alat pengangkut sehingga memberikan kemudahan selama proses pengangkutan.

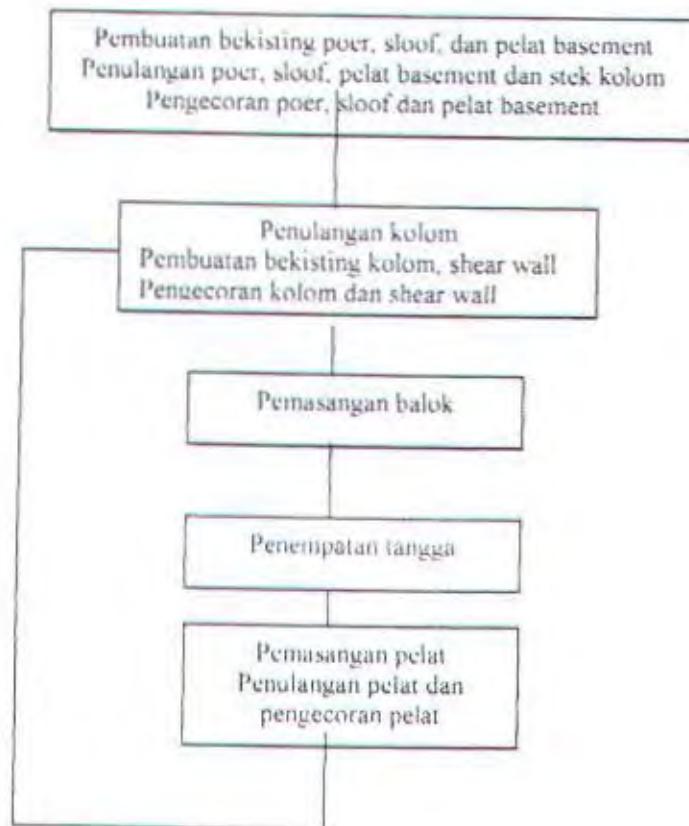
Hal-hal yang perlu diperhatikan selama proses pengangkutan elemen diantaranya:

- orientasi maupun letak elemen pada alat angkut.
- letak tumpuan elemen baik tumpuan vertikal maupun horisontal.
- kondisi alat angkut serta kondisi jalan raya.
- Pertimbangan-pertimbangan dinamis yang akan terjadi selama pengangkutan.

#### 4. Tahap pemasangan

Perencanaan yang tepat dari seluruh proses konstruksi merupakan hal yang sangat penting dalam pelaksanaan pemasangan elemen yang aman dan efisien. Sebelum dilakukan pemasangan elemen-elemen pracetak sebaiknya dibuat daftar urutan pekerjaan pemasangan yang akan dilakukan. Penjadwalan elemen beserta urutan pemasangan diprioritaskan untuk ditentukan pada tahap-tahap awal dari proses konstruksi. Penjadwalan elemen dapat dibuat dalam bentuk tabel yang berisi keterangan-keterangan seperti jenis elemen, dimensi, lokasi elemen, berat elemen, serta jarak elemen dari pusat crane.

Proses pemasangan elemen pracetak sangat tergantung kepada efisiensi alat berat yang digunakan, yaitu dalam bentuk crane. Sehingga dipilih alat angkut (crane) yang ekonomis. Crane hendaknya ditempatkan pada tempat dimana mampu menjangkau elemen-elemen baik pada lokasi penumpukan maupun pada posisi akhir elemen tersebut.



### *1. Pekerjaan Pondasi*

- a. Pekerjaan Tiang Pancang
  - Alat Pemancang ; - Crane
    - Mesin Pemancang
    - Theodolith
- b. Pekerjaan Poer
 

Tahapannya meliputi :

  - Penggalian poer
  - Pembuatan lantai kerja poer
  - Pemasangan batako sebagai bekisting poer
  - Pemasangan tulangan poer
  - Pengecoran
- c. Pekerjaan sloof

Tahapan pekerjaannya sebagai berikut :

- Penggalian lubang untuk sloof
- Pembuatan lantai kerja dan pemasangan batako untuk bekisting
- Pemasangan tulangan
- Pengecoran
- d. Pekerjaan pelat basement

## *2. Pekerjaan Kolom*

- a. Pekerjaan dilakukan setelah pengecoran poer, sloof, dan pelat basement
- b. Penulangan kolom ( diperhatikan tulangan pokok balok yang melewati kolom ).
- c. Pekerjaan bekisting kolom dipasang setelah tulangan geser dipasang, distud an selanjutnya setelah tulangan semuanya terpasang dilakukan pengecoran.

## *3. Pemasangan Balok Pracetak*

Pemasangan balok dilakukan setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan balok anak. Diperlukan peralatan crane dan frame untuk mendukung. Untuk menunjang balok pracetak setelah diletakkan dibantu dengan tiang perancah / scaffolding. Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulangan utama pada balok, yaitu tulangan tarik dan tulangan tekan pada lapangan. Selanjutnya pengecoran dapat dilakukan.

## *4. Pemasangan Elemen Tangga Pracetak*

- a. pemasangan pelat bordes pada cor bidang kolom pada satu sisi dan pil balok pada sisi lain
- b. Antara bordes dan stek dicor sehingga antara bordes dengan balok menjadi satu kesatuan
- c. Pemasangan elemen tangga

## *5. Pemasangan Elemen Pelat Pracetak*

- a. Pemasangan pelat pracetak setelah balok pracetak sudah terpasang
- b. Penulangan pelat meliputi marikit tulangan susut, lentur negatif dan geser antara pelat
- c. Kemudian dilanjutkan dengan pengecoran topping
- d. Diperlukan alat crane dan frame untuk mendukung

**BAB X**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB X

# KESIMPULAN DAN SARAN

### 10.1. KESIMPULAN

Dalam Tugas Akhir ini dihasilkan Modifikasi Struktur Gedung Kandate Malang dengan Sistem Pracetak parsial. Dari hasil keseluruhan uraian dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Untuk elemen pracetak perlu diperhatikan mulai dari pabrikasi hingga ereksi. Adapun beberapa hal yang menjadi kendala adalah :
  - a. proses pembukaan bekisting
  - b. penyimpanan
  - c. pengangkutan
  - d. ereksi.
2. Detail elemen yang dirancang agar mempunyai toleransi yang cukup terhadap proses pabrikasi dan ereksi. Untuk detail yang tidak monolith, harus dipertimbangkan sistem sambungan yang akan mampu mencapai kekakuan sistem struktur.
3. Pemakaian sistem pracetak merupakan solusi untuk mendapatkan effesiensi yang tinggi jika dibandingkan dengan car konvensional. Sistem pracetak tidak hanya memberikan penghematan waktu konstruksi ( $\pm 20\text{-}25\%$ ), tetapi juga memberikan penghematan akan tenaga kerja, material dan jaminan kualitas yang lebih baik daripada cara konvensional.

4. Pemilihan suatu metode konstruksi, baik itu pracetak maupun konvensional harus memperhatikan prinsip – prinsip dasar penerapannya. Pada umumnya sistem pracetak akan menguntungkan apabila diterapkan pada bangunan dengan karakteristik sebagai berikut :
  - Jenis dan tipe komponen strukturnya sedikit demi sedikit dan memungkinkan untuk diproduksi secara massal.
  - Jumlah sambungan yang harus dibuat sedikit, sederhana dan dapat diselesaikan dengan cepat.
  - Bentuk bangunannya beraturan, typical, dan relatif banyak pekerjaan yang harus dikerjakan secara berulang ( repetitif ).
5. Proses desain konstruksi pracetak meliputi semua proses yang terjadi dari tahap produksi, penyimpanan, pengangkutan dan pelaksanaan di lapangan. Semua tegangan yang terjadi yang mungkin menyebabkan kondisi kritis pada bangunan perlu ditinjau. Hal ini berbeda sekali dengan proses desain metode konvensional, dimana tegangan hanya dikontrol pada kondisi beban kerja atau beban ultimate.
6. Konstruksi Beton Pracetak dapat digunakan untuk zone gempa besar bila dipadukan dengan struktur penahan beban lateral, yaitu Dinding Geser ( Shear Wall )
7. Pada akhirnya diharapkan beton pracetak dapat digunakan secara umum di Indonesia sebagai suatu alternatif struktur dengan meningkatkan penelitian dan riset yang memungkinkan elemen pracetak memiliki kemudahan dalam penggunaannya..

## 10.2. SARAN

1. Untuk menghindari terjadinya kemacetan dan kegagalan selama ereksi, maka detail pracetak perlu diberi tanda yang dapat berupa : letak titik angkat, titik tumpu, lokasi pada struktur, bagian atas permukaan, dan tanggal pabrikasi
2. Untuk memungkinkan beton pracetak menjadi alternatif struktur yang memadai dan dapat diperluas pemakaiannya secara umum, maka perlu dikembangkan suatu penelitian dan riset supaya dihasilkan elemen – elemen pracetak berdasarkan kebutuhan pasar dengan memperhatikan aspek – aspek lain yang mendukung seperti arsitektur, bentang dan modulnya.
3. Untuk meningkatkan kelancaran dalam pelaksanaan konstruksi maka perlu dikembangkan kerjasama yang baik antara pihak – pihak terkait tertama antara pihak produsen dan pelaku konstruksi di lapangan. Hal ini untuk menghindari terjadinya kekurangan stok elemen pracetak maupun penumpukan elemen pracetak yang terlalu lama.
4. Diadakannya tinjauan kecepatan pelaksanaan konstruksi tiap lantai dan melakukan analisa biaya pada pelaksanaan konstruksi beton pracetak. Karena analisa waktu konstruksi dan biaya adalah alasan dasar diterapkannya metode konstruksi pracetak

Demikianlah kesimpulan dan saran, semoga Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi pembaca.

## **LAMPIRAN**

# **INPUT ETABS**

INPUT ETABS  
 \$ Control Data. File ARIE saved 5/17/01 21:08:34 in KiloNewton-meters  
 ETABS 6.1  
 Heading Data :  
 Heading Data 2  
 10 1 1 1 2 7 12 2 2 1 2 0 1 0 0 2 0 1 4 1 3  
 9.81456 0.0001 0 1  
 \$ Mass Properties Data  
 1 17 1  
 TRIANGLE 0.1416263 0 6 6 6 6 0 ! 1 1 1 2 1 1 3 2 1 1 3 1 1 1 1 2  
 RECT 0.1416263 3 9 6 6 0 ! 1 1 1 2 1 1 3 2 1 1 3 3 1 1 1 3  
 RECT 0.1416263 1.5 15 6 3 0 ! 1 1 1 3 1 1 2 3 1 1 2 5 1 1 1 5  
 RECT 0.1416263 3 21 6 6 0 ! 1 1 1 5 1 1 3 5 1 1 3 6 1 1 3 7 1 1 1 6  
 TRIANGLE 0.1416263 0 24 6 24 6 30 ! 1 1 1 6 1 1 3 6 1 1 3 7 1 1 1 6  
 RECT 0.1416263 15 15 30 18 0 ! 1 1 3 1 1 1 6 1 1 6 7 1 1 1 3 7  
 TRIANGLE 0.1416263 24 0 30 6 24 6 ! 1 1 6 1 1 1 8 2 1 1 6 2 1 1 6 1  
 RECT 0.1416263 27 9 6 6 0 ! 1 1 6 2 1 1 8 2 1 1 8 3 1 1 6 3  
 RECT 0.1416263 28.5 15 6 3 0 ! 1 1 7 3 1 1 8 3 1 1 8 5 1 1 7 5  
 RECT 0.1416263 27 21 6 6 0 ! 1 1 6 5 1 1 8 5 1 1 8 6 1 1 6 6  
 TRIANGLE 0.1416263 24 24 30 24 24 30 ! 1 1 1 6 1 1 1 8 6 1 1 6 7 1 1 6 6  
 LINE 0.5094472 3 3 8.485281 45 ! 1 1 3 1 1 1 1 2  
 LINE 0.5094472 0 15 18 0 ! 1 1 1 2 1 1 1 6  
 LINE 0.5094472 3 27 8.485281 -45 ! 1 1 1 6 1 1 3 7  
 LINE 0.5094472 15 30 18 90 ! 1 1 1 3 7 1 1 6 7  
 LINE 0.5094472 27 27 8.485281 45 ! 1 1 6 7 1 1 8 6  
 LINE 0.5094472 30 15 18 0 ! 1 1 8 6 1 1 8 2  
 LINE 0.5094472 27 3 8.485281 -45 ! 1 1 8 2 1 1 6 1  
 LINE 0.5094472 15 0 18 90 ! 1 1 6 1 1 1 3 1  
 2 19 1  
 TRIANGLE 0.1864577 6 0 6 6 0 6 ! 1 1 1 3 1 1 1 3 2 1 1 1 2 1 1 3 1  
 RECT 0.1864577 3 9 6 6 0 ! 1 1 1 2 1 1 3 2 1 1 3 3 1 1 1 3  
 RECT 0.1864577 1.5 15 6 3 0 ! 1 1 1 1 3 1 1 2 3 1 1 2 5 1 1 1 5  
 RECT 0.1864577 3 21 6 6 0 ! 1 1 1 5 1 1 3 5 1 1 3 6 1 1 1 6  
 TRIANGLE 0.1864577 0 24 6 24 6 30 ! 1 1 1 6 1 1 3 6 1 1 3 7 1 1 1 6  
 RECT 0.1864577 15 15 30 18 0 ! 1 1 3 1 1 1 6 1 1 6 7 1 1 3 7  
 TRIANGLE 0.1864577 24 0 30 6 24 6 ! 1 1 6 1 1 1 8 2 1 1 6 2 1 1 6 1  
 RECT 0.1864577 27 9 6 6 0 ! 1 1 6 2 1 1 8 2 1 1 8 3 1 1 6 3  
 RECT 0.1864577 28.5 15 6 3 0 ! 1 1 7 3 1 1 8 3 1 1 8 5 1 1 7 5  
 RECT 0.1864577 27 21 6 6 0 ! 1 1 6 5 1 1 8 5 1 1 8 6 1 1 6 6  
 TRIANGLE 0.1864577 24 24 30 24 24 30 ! 1 1 1 6 1 1 1 8 6 1 1 6 7 1 1 6 6  
 LINE 0.5094472 3 3 8.485281 45 ! 1 1 3 1 1 1 2  
 LINE 0.5094472 0 15 18 0 ! 1 1 1 2 1 1 1 6  
 LINE 0.5094472 3 27 8.485281 -45 ! 1 1 1 6 1 1 3 7  
 LINE 0.5094472 15 30 18 90 ! 1 1 3 7 1 1 6 7  
 LINE 0.5094472 27 27 8.485281 45 ! 1 1 6 7 1 1 8 6  
 LINE 0.5094472 30 15 18 0 ! 1 1 8 6 1 1 8 2  
 LINE 0.5094472 27 3 8.485281 -45 ! 1 1 8 2 1 1 6 1  
 LINE 0.5094472 15 0 18 90 ! 1 1 6 1 1 1 3 1  
 \$ Story Data  
 ATAP 4 1  
 1 0 0 0 0 0 0 0 0  
 L9 4 1  
 1 1 0 0 0 0 0 0 0

L8 4 1  
1 2 3 0 0 0 0 0 0  
L7 4 1  
1 2 0 0 0 0 0 0 0  
L6 4 1  
1 2 0 0 0 0 0 0 0  
L5 4 1  
1 2 0 0 0 0 0 0 0  
L4 4 1  
1 2 0 0 0 0 0 0 0  
L3 4 1  
1 2 0 0 0 0 0 0 0  
L2 4 1  
1 2 0 0 0 0 0 0 0  
L1 5 1  
1 7 0 0 0 0 0 0 0  
\$ Material Property Data  
1 7 2.482111E+07 0.2 23.56161 2.400678 0.0000055 413685.3 27579.02  
275790.2 \  
27579.02  
2 4 2.482111E+07 0.2 23.56161 2.400678 0.0000055 413685.3 27579.02  
275790.2 \  
27579.02  
\$ Column Property Data  
1 PECT 1 0.7 0.7 0 0 1 1 1 \$L1-L5  
2 PECT 1 0.6 0.6 0 0 1 1 1 \$L6-L Atap  
\$ Beam Property Data  
1 PECT 1 0.54 0.06 0.4 0 0 1 1 1  
\$ Floor Property Data  
1 MEMB 1 12 0 0  
2 MSMR 1 11 0 0  
\$ Panel Property Data  
1 MEMB 1 0.3 0.3 0 0 0 0 0  
\$ Frame Heading and Control Data  
1 40 56 25 0 3 4 0 0 80 0 1 1  
\$ Layout Grids  
1 1 ari rect 0 0 0 8 7  
1 0 3 6 12 18 24 27 30  
1 0 6 12 15 18 24 30  
\$ Layout Column Lines  
1 0 6 0 1 1 2 0 0 0  
2 0 12 0 1 1 1 3 0 0 0  
3 0 18 0 1 1 1 5 0 0 0  
4 0 24 0 1 1 1 6 0 0 0  
5 3 12 0 1 1 2 3 0 0 0  
6 3 15 0 1 1 2 4 0 0 0  
7 3 18 0 1 1 2 5 0 0 0  
8 6 0 0 1 1 3 1 0 0 0  
9 6 6 0 1 1 3 2 0 0 0  
10 6 12 0 1 1 3 3 0 0 0  
11 6 15 0 1 1 3 4 0 0 0  
12 6 18 0 1 1 3 5 0 0 0

13 6 24 0 1 1 3 6 0 0 0  
14 6 30 0 1 1 3 7 0 0 0  
15 12 0 0 1 1 4 1 0 0 0  
16 12 6 0 1 1 4 2 0 0 0  
17 12 12 0 1 1 4 3 0 0 0  
18 12 18 0 1 1 4 5 0 0 0  
19 12 24 0 1 1 4 6 0 0 0  
20 12 30 0 1 1 4 8 0 0 0  
21 18 0 0 1 1 5 1 0 0 0  
22 18 6 0 1 1 5 2 0 0 0  
23 18 12 0 1 1 5 3 0 0 0  
24 18 18 0 1 1 5 4 0 0 0  
25 18 24 0 1 1 5 6 0 0 0  
26 18 30 0 1 1 5 7 0 0 0  
27 24 0 0 1 1 6 1 0 0 0  
28 24 6 0 1 1 6 2 0 0 0  
29 24 12 0 1 1 6 3 0 0 0  
30 24 18 0 1 1 6 5 0 0 0  
31 24 24 0 1 1 6 6 0 0 0  
32 24 30 0 1 1 6 7 0 0 0  
33 27 12 0 1 1 7 3 0 0 0  
34 27 15 0 1 1 7 4 0 0 0  
35 27 18 0 1 1 7 5 0 0 0  
36 24 15 0 1 1 6 4 0 0 0  
37 30 6 0 1 1 8 2 0 0 0  
38 30 12 0 1 1 8 3 0 0 0  
39 30 18 0 1 1 8 5 0 0 0  
40 30 24 0 1 1 8 6 0 0 0

\$ Layout Beam Bays

1 1 2 0  
2 2 3 0  
3 3 4 0  
4 8 9 0  
5 9 10 0  
6 12 13 0  
7 13 14 0  
8 15 16 0  
9 16 17 0  
10 17 18 0  
11 18 19 0  
12 19 20 0  
13 21 22 0  
14 22 23 0  
15 23 24 0  
16 24 25 0  
17 25 26 0  
18 27 28 0  
19 28 29 0  
20 30 31 0  
21 31 32 0  
22 37 38 0  
23 38 39 0  
24 39 40 0

25 6 1 0  
26 4 14 0  
27 27 37 0  
28 40 32 0  
29 7 9 0  
30 5 5 0  
31 3 7 0  
32 4 13 0  
33 8 15 0  
34 9 16 0  
35 10 17 0  
36 10 18 0  
37 13 19 0  
38 14 20 0  
39 15 21 0  
40 16 22 0  
41 17 23 0  
42 18 24 0  
43 19 25 0  
44 20 26 0  
45 21 27 0  
46 22 28 0  
47 23 29 0  
48 24 30 0  
49 25 31 0  
50 26 32 0  
51 28 37 0  
52 33 38 0  
53 35 39 0  
54 31 40 0  
55 10 12 0  
56 19 39 0

9 Layout Floor Bayz

1 8 9 1 1 0 0 0  
2 1 9 2 10 0 0 0  
3 2 8 3 7 0 0 0  
4 3 12 4 13 0 0 0  
5 4 13 14 14 0 0 0  
6 6 15 9 16 0 0 0  
7 9 16 10 17 0 0 0  
8 20 17 12 18 0 0 0  
9 12 18 13 19 0 0 0  
10 13 19 14 20 0 0 0  
11 15 21 16 22 0 0 0  
12 16 22 17 23 0 0 0  
13 17 23 18 24 0 0 0  
14 18 24 19 25 0 0 0  
15 19 25 20 26 0 0 0  
16 21 27 22 28 0 0 0  
17 22 28 23 29 0 0 0  
18 23 29 24 30 0 0 0  
19 24 30 25 31 0 0 0  
20 25 31 26 32 0 0 0

21 27 37 28 28 0 0 0  
22 28 37 29 38 0 0 0  
23 33 38 35 39 0 0 0  
24 30 39 31 40 0 0 0  
25 31 40 32 32 0 0 0

\$ Beam Load Pattern Data  
1 1 5 0 5 0 0 0 0 0 \$Balok ext arah x  
2 6.3904  
3 0 5 0 5 0 0 0 0 0 \$Balok ext arah y  
4 1 0 0 0 0 0 0 0 0 \$Balok ext arah y  
5 13.7808

\$ Floor Load Pattern Data  
1 1.39 0 0  
2 1 0 0  
3 1.83 0 0  
4 2.5 0 0

\$ Column Assignment Data  
1 1 0 15 L1 1 0 0  
2 2 1  
3 3 2  
4 4 1  
5 6 2  
6 9 1  
7 10 10 1  
8 12 12 1  
9 13 13 1  
10 14 14 1  
11 15 15 1  
12 16 16 1  
13 17 17 1  
14 18 18 4  
15 19 19 1  
16 20 20 1  
17 21 21 1  
18 22 22 1  
19 23 23 4  
20 24 24 1  
21 25 25 2  
22 26 26 1  
23 27 27 4  
24 28 28 1  
25 29 29 1  
26 30 30 1  
27 31 31 1  
28 32 32 1  
29 33 33 1  
30 34 34 1  
31 35 35 1  
32 36 36 1  
33 37 37 1  
34 38 38 1  
35 39 39 1  
36 40 40 1  
1 1 0 ATAP L6 2 0 0  
2 2 0 ATAP L6 2 0 0  
3 3 2  
4 4 2

22 22 1  
23 23 1  
24 24 1  
25 25 1  
29 29 1  
30 30 1  
31 31 1  
32 32 1  
26 26 1  
33 33 1  
34 34 1  
35 35 1  
36 36 1  
37 37 1  
38 38 1  
39 39 1  
40 40 1  
41 41 1  
42 42 1  
43 43 1  
44 44 1  
45 45 1  
46 46 1  
47 47 1  
48 48 1  
49 49 1  
50 50 1  
27 27 1  
51 51 1  
52 52 1  
53 53 1  
54 54 1  
28 28 1

\$ Floor Assignment Data

1 1 0 ATAP ATAP 2  
2 2 0 ATAP ATAP 2  
3 3 0 ATAP ATAP 2  
4 4 0 ATAP ATAP 2  
5 5 0 ATAP ATAP 2  
10 10 0 ATAP ATAP 2  
9 9 0 ATAP ATAP 2  
8 8 0 ATAP ATAP 2  
7 7 0 ATAP ATAP 2  
6 6 0 ATAP ATAP 2  
11 11 0 ATAP ATAP 2  
12 12 0 ATAP ATAP 2  
13 13 0 ATAP ATAP 2  
14 14 0 ATAP ATAP 2  
15 15 0 ATAP ATAP 2  
20 20 0 ATAP ATAP 2  
19 19 0 ATAP ATAP 2  
18 18 0 ATAP ATAP 2

17 17 0 ATAP ATAP 2  
18 18 0 ATAP ATAP 2  
21 21 0 ATAP ATAP 2  
22 22 0 ATAP ATAP 2  
23 23 0 ATAP ATAP 2  
24 24 0 ATAP ATAP 2  
25 25 0 ATAP ATAP 2  
1 1 0 L1 L1 1  
2 2 1  
3 3 1  
4 4 1  
5 5 1  
6 6 1  
7 7 1  
8 8 1  
9 9 1  
10 10 1  
11 11 1  
12 12 1  
13 13 1  
14 14 1  
15 15 1  
16 16 1  
17 17 1  
18 18 1  
19 19 1  
20 20 1  
21 21 1  
22 22 1  
23 23 1  
24 24 1  
25 25 1

\$ Panel Assignment Data  
1 ATAP L1 5 7 1  
1 ATAP L1 33 35 1  
2 ATAP L1 7 12 1  
2 ATAP L1 6 11 1  
2 ATAP L1 5 10 1  
2 ATAP L1 35 30 1  
2 ATAP L1 34 36 1  
2 ATAP L1 33 29 1

\$ Beam Load Assignment Data  
33 33 0 ATAP L1 1 0 0  
39 39 33  
45 45 33  
38 38 33  
44 44 33  
50 50 33  
1 1 0 ATAP L1 2 0 0  
2 2 1  
3 3 1

23 32 1  
23 33 1  
24 24 1  
37 37 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
37 37 32  
43 43 32  
49 49 32  
54 54 32  
51 51 32  
38 36 32  
42 42 32  
46 49 32  
51 51 32  
30 40 32  
45 45 32  
41 41 32  
41 47 32  
52 52 32  
29 29 32  
34 34 32  
40 40 32  
46 46 32  
51 51 32

6. Power Load Assignment Data

1 1 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
2 2 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
3 3 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
4 4 0 ATAP ATAP 3 2 0 0 0 0  
5 5 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
6 6 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
7 7 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
8 8 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
9 9 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
10 10 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
11 11 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
12 12 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
13 13 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
14 14 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
15 15 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
16 16 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
17 17 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
18 18 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
19 19 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
20 20 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
21 21 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
22 22 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
23 23 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
24 24 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
25 25 0 ATAP ATAP 1 2 0 0 0 0  
1 1 0 L9 L1 3 4 0 0 0 0  
2 2 1  
3 3 1

4 4 1  
5 5 1  
6 6 1  
7 7 1  
8 8 1  
9 9 1  
10 10 1  
11 11 1  
12 12 1  
13 13 1  
14 14 1  
15 15 1  
16 16 1  
17 17 1  
18 18 1  
19 19 1  
20 20 1  
21 21 1  
22 22 1  
23 23 1  
24 24 1  
25 25 1

\$ Frame Location Data

1 0 0 0

\$ Lateral Dynamic Spectrum Data

0 CQC 0.048

gempax 41.705 0 1

gempay 41.106 0 1

\$ Load Case Data

1 0 1 1 0 0 0 0 0 0

2 0 1.2 0.96 0 0 0 0 0 0

3 3 1.05 0.315 0 0 0 0 0.315 1.05

4 3 1.05 0.315 0 0 0 0 -0.315 -1.05

5 3 1.05 0.315 0 0 0 0 1.05 0.315

6 3 1.05 0.315 0 0 0 0 -1.05 -0.315

7 0 1.2 1.6 0 0 0 0 0 0

## **TABEL – TABEL PERHITUNGAN**

## KONTROL TEBAL PELAT ATAP PRECAST

$$T_{\text{pelat}} = 11 \text{ cm} \quad f_y = 320 \text{ Mpa}$$

Dimensi = (285 x 580 cm) sc' = 30 Mpa

## KONTROL TEBAL PELAT LANTAI PRECAST

Tpelat = 12 cm fy = 320 Mpa

Dimensi = (285 x 580 cm) fc' = 30 Mpa

Type Pelat	Ln Cm	Sn Cm		Balok Eksterior			Balok Eksterior			Kontrol Tebal Pelat	Tebal Pelat Pakai Cm	Keterangan
				lb	ls		lb	ls				
A	560	265	2,11	938880	43200	21.73				17.85	12	OK
						-	373613	43200	8.65			
							1180800	86400	13.67			
							1180800	43200	27.33			
B	560	265	2,11				1180800	43200	27.33	24.42	12	OK
				938880	21600	43.47						
							1180800	64800	18.22			
							373613	43200	8.65			
C	560	265	2,19				373613	43200	8.65	16.55	12	OK
							1180800	86400	13.67			
							1180800	43200	27.33			
							1180800	86400	13.67			
D	560	265	2,11				1180800	43200	27.33	15.83	12	OK
							1180800	86400	13.67			
							373613	43200	8.65			
							1180800	86400	13.67			
E	560	285	1,95				1180800	43200	27.33	18.22	12	OK
							1180800	86400	13.67			
							1180800	86400	13.67			

## TABEL PENULANGAN PELAT PRACETAK

Perencanaan				
$\gamma_a$	$\beta = 0.85$	$m = 12.55$	$\rho_b = 0.044$	
$t$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\phi = 0.8$	$\rho_{\max} = 0.033$	
0 mm		$b = 1000 \text{ mm}$	$\rho_{\min} = 0.044$	
komposit				
0 mm	$I_{\text{pelat lantai}} = 120 \text{ mm}$	$d_x = 95 \text{ mm}$		
		$d_y = 85 \text{ mm}$		
komposit untuk Atap dan Lantai				
$n$				
		$d_y = 45 \text{ mm}$		
		$s_t = 40 \text{ mm}$		

$q_{\text{ultimate}}$ Atap		$q_{\text{ultimate}}$ Lantai	
Sebelum komposit ( $\text{kg/m}^2$ )	Sesudah komposit ( $\text{kg/m}^2$ )	Sebelum komposit ( $\text{kg/m}^2$ )	Sesudah komposit ( $\text{kg/m}^2$ )
476.80	390.80	505.60	619.60

### TABEL PENULANGAN PELAT PRACETAK

Momen ( N-mm)	$R_n$	$\rho$	$\rho_{\text{pelat}}$	$A_{\text{spasi}}$ ( $\text{mm}^2$ )
$M_{bx} = +$ $M_{tx}$	4.107E+06	1.698	0.00549	0.00549
$M_{bx} = -$ $M_{tx}$	6.293E+06	3.880	0.0132	0.0132
$M_{bx} = +$ $M_{tx}$	3.873E+06	1.600	0.00517	0.00517
$M_{bx} = -$ $M_{tx}$	5.935E+06	3.664	0.0124	0.0124

### TABEL PENULANGAN PELAT PRACETAK SETELAH KOMPOSITISASI

Momen ( N-mm)	$R_n$	$\rho$	$\rho_{\text{pelat}}$	$A_{\text{spasi}}$ ( $\text{mm}^2$ )
$M_{bx} = +$ $M_{tx}$	3.120E+06	0.432	0.00136	0.0044
$M_{bx} = -$ $M_{tx}$	7.685E+06	1.322	0.00424	0.0044
$M_{bx} = +$ $M_{tx}$	1.968E+06	0.341	0.00107	0.0044
$M_{bx} = -$ $M_{tx}$	4.631E+06	1.022	0.00326	0.0044

### PENULANGAN AKHIR PELAT PRACETAK

Type Pelat	Momen ( N-mm)	As <sub>perlu</sub> ( mm <sup>2</sup> )		As Akhir ( mm <sup>2</sup> )	Penulangan
		Sebelum Komposit	Sesudah Komposit		
LANTAI	M <sub>lx</sub> = -M <sub>tx</sub>	302.33	418	720.33	Ø 13 - 150
	M <sub>ly</sub> = -M <sub>ty</sub>	595.00	371.875	966.875	Ø 13 - 130
ATAP	M <sub>lx</sub> = -M <sub>tx</sub>	284.35	374	658.35	Ø 13 - 160
	M <sub>ly</sub> = -M <sub>ty</sub>	558.811	330	888.811	Ø 13 - 140

MPa  
20 MPa

四 = 12.55

$$\Omega_{\mathrm{m},0} = 0.211$$

## LANTAI 1 - 5

Diameter (mm)	Daerah	Ukuran		Momen	R <sub>g</sub>	Puncak	Puncak	Area (mm <sup>2</sup> )
		b (mm)	h (mm)	d (mm)	kg/m			
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1870,53	2,045	0,00667	0,00667
	Lapangan	800	600	537,5	1211,48	1,720	0,01424	0,01424
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1275,67	1,388	0,00667	0,00667
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1060,55	1,156	0,00974	0,00974
	Lapangan	800	600	537,5	731,06	0,387	0,00115	0,00115
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1280,62	1,441	0,01044	0,01044
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1272,93	1,388	0,00557	0,00557
	Lapangan	800	600	537,5	1211,48	1,720	0,01424	0,01424
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1870,53	2,045	0,00667	0,00667
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2488,76	2,711	0,00898	0,00898
	Lapangan	800	600	537,5	2153,81	1,216	0,00389	0,00389
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	4099,37	3,369	0,01511	0,01511
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	4861,20	5,268	0,01888	0,01888
	Lapangan	800	600	537,5	2440,49	1,209	0,00387	0,00387
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2768,46	1,012	0,01011	0,01011
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2818,01	1,082	0,01033	0,01033
	Lapangan	800	600	537,5	2338,39	1,158	0,00971	0,00971
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2828,63	1,082	0,01033	0,01033
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2768,46	3,017	0,01011	0,01011
	Lapangan	800	600	537,5	2453,81	1,216	0,00389	0,00389
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	4861,11	5,297	0,01888	0,01888
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	4099,37	4,369	0,01511	0,01511
	Lapangan	800	600	537,5	2440,49	1,209	0,00387	0,00387
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2488,76	2,712	0,00898	0,00898
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1643,21	1,813	0,00588	0,00588
	Lapangan	800	600	537,5	1204,09	0,596	0,00189	0,00189
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1340,08	1,482	0,00477	0,00477
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1428,43	1,556	0,00502	0,00502
	Lapangan	800	600	537,5	1202,59	1,311	0,00421	0,00421
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1428,39	1,557	0,00503	0,00503
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1359,91	1,481	0,00477	0,00477
	Lapangan	800	600	537,5	1204,09	0,596	0,00189	0,00189
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1643,84	1,813	0,00588	0,00588
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	3096,31	3,374	0,01114	0,01114
	Lapangan	800	600	537,5	1903,83	0,943	0,00380	0,00380
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2074,30	3,261	0,01741	0,01741
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	5273,65	6,074	0,02220	0,02220
	Lapangan	800	600	537,5	2407,08	1,192	0,00382	0,00382
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2705,94	2,949	0,00981	0,00981
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2419,91	3,073	0,01033	0,01033
	Lapangan	800	600	537,5	2412,71	3,245	0,00389	0,00389
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2820,04	3,073	0,01033	0,01033
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2398,78	2,949	0,00982	0,00982
	Lapangan	800	600	537,5	2407,07	1,192	0,00382	0,00382
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	5275,25	6,076	0,02220	0,02220
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2074,47	2,761	0,01741	0,01741
	Lapangan	800	600	537,5	1903,83	2,169	0,00389	0,00389
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	3096,44	3,943	0,01140	0,01140

Bentang	Dimensi (cm)	Datarab	As sebelum Kompost (mm <sup>2</sup> )	As setelah Kompost (mm <sup>2</sup> )	As akhir (mm <sup>2</sup> )	Tulangan Pakai (n = D25)	As Pakai (mm <sup>2</sup> )
2 - 3	40 x 60	Tumpuan kiri	1428,714	0	1428,714	3	1473
		Lapangan	2073,456	829,5942	2902,9602	6	2945
		Tumpuan kanan	1428,714	0	1428,714	3	1473
3 - 4	40 x 60	Tumpuan kiri	942,48	0	942,48	1	1473
		Lapangan	2073,456	731,28	2804,736	6	2945
		Tumpuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473
4 - 5	40 x 60	Tumpuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
		Lapangan	2073,456	879,5042	2902,9602	6	2945
		Tumpuan kanan	1428,714	0	1428,714	3	1473
1 - 2	40 x 60	Tumpuan kiri	1923,516	0	1923,516	3	1473
		Lapangan	1073,456	1047,06	3120,516	7	3436
		Tumpuan kanan	1073,456	0	1073,456	7	3436
2 - 3	40 x 60	Tumpuan kiri	4056,96	0	4076,96	9	4418
		Lapangan	2073,456	1047,06	3120,516	7	3436
		Tumpuan kanan	2163,42	0	2163,42	5	2454
3 - 4	40 x 60	Tumpuan kiri	2206,26	0	2206,26	5	2454
		Lapangan	2073,456	1047,06	3120,516	7	3436
		Tumpuan kanan	2206,26	0	2206,26	5	2454
4 - 5	40 x 60	Tumpuan kiri	2163,42	0	2163,42	5	2454
		Lapangan	2073,456	1047,06	3120,516	7	3436
		Tumpuan kanan	4056,96	0	4056,96	9	4418
5 - 6	40 x 60	Tumpuan kiri	3234,42	0	3234,42	7	3436
		Lapangan	2073,456	1047,06	3120,516	7	3436
		Tumpuan kanan	1923,516	0	1923,516	5	2454
B - C	40 x 60	Tumpuan kiri	1259,496	0	1259,496	3	1473
		Lapangan	2073,456	804,408	2877,864	6	2945
		Tumpuan kanan	1021,734	0	1021,734	3	1473
C - D	40 x 60	Tumpuan kiri	1075,284	0	1075,284	3	1473
		Lapangan	2073,456	804,408	2877,864	6	2945
		Tumpuan kanan	1075,284	0	1075,284	3	1473
D - E	40 x 60	Tumpuan kiri	1021,734	0	1021,734	3	1473
		Lapangan	2073,456	804,408	2877,864	6	2945
		Tumpuan kanan	1259,496	0	1259,496	3	1473
A - B	40 x 60	Tumpuan kiri	2441,88	0	2441,88	5	2454
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tumpuan kanan	1587,222	0	1587,222	4	1963
E - F	40 x 60	Tumpuan kiri	4712,40	0	4712,40	10	4909
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tumpuan kanan	2103,444	0	2103,444	5	2454
C - D	40 x 60	Tumpuan kiri	2206,26	0	2206,26	5	2454
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tumpuan kanan	2206,26	0	2206,26	5	2454
D - E	40 x 60	Tumpuan kiri	2103,444	0	2103,444	5	2454
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tumpuan kanan	4712,40	0	4712,40	10	4909
E - F	40 x 60	Tumpuan kiri	1587,222	0	1587,222	4	1963
		Lapangan	5341,092	1379,46	4720,552	10	4909
		Tumpuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473

## LANTAI 6 - 9

Dimensi Cantik	Daerah	Ukuran		Momen	R <sub>u</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>	A <sub>max</sub> (mm <sup>2</sup> )
		b (mm)	h (mm)					
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2188,84	2,38	0,00782	0,00782
	Lapangan	880	600	537,5	1220,89	0,605	0,00191	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2188,84	2,38	0,00782	0,00782
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1155,90	1,26	0,00404	0,00448
	Lapangan	880	600	537,5	693,65	0,343	0,00168	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1155,90	1,26	0,00404	0,00448
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	930,46	1,01	0,00312	0,00448
	Lapangan	880	600	537,5	1230,30	0,605	0,00191	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2188,84	2,38	0,00782	0,00782
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1412,44	1,56	0,00510	0,00503
	Lapangan	880	600	537,5	2513,85	1,745	0,00399	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	4718,60	3,08	0,01788	0,00968
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	8008,73	6,55	0,02412	0,01097
	Lapangan	880	600	537,5	2490,55	1,234	0,00395	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2668,13	2,91	0,00968	0,00968
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2946,62	1,27	0,01097	0,01097
	Lapangan	880	600	537,5	2326,15	1,152	0,00368	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2946,62	1,27	0,01097	0,01097
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2608,14	2,91	0,00968	0,00968
	Lapangan	880	600	537,5	2490,55	1,234	0,00395	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	6008,73	6,55	0,02412	0,01242
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	4778,60	5,08	0,01788	0,01788
	Lapangan	880	600	537,5	2510,86	1,244	0,00396	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1224,15	1,33	0,00427	0,00448
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1893,35	2,05	0,00609	0,00669
	Lapangan	880	600	537,5	1203,19	0,196	0,00189	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1719,74	3,874	0,00609	0,00512
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	3480,99	3,614	0,00522	0,00522
	Lapangan	880	600	537,5	1220,95	0,605	0,00191	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1481,94	1,615	0,00523	0,00522
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1153,90	1,258	0,00403	0,00448
	Lapangan	880	600	537,5	1214,82	0,603	0,00191	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1883,39	2,053	0,00669	0,00669
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	3697,49	4,039	0,0138	0,0138
	Lapangan	880	600	537,5	1922,14	0,952	0,00103	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	1226,99	1,337	0,00420	0,00448
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	7031,61	5,563	0,02915	0,02915
	Lapangan	880	600	537,5	2417,89	1,208	0,00387	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2415,33	2,698	0,00893	0,00893
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2915,67	3,199	0,01072	0,01072
	Lapangan	880	600	537,5	2610,81	1,293	0,00415	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	2916,48	3,201	0,01072	0,01072
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	2472,50	2,694	0,00236	0,00448
	Lapangan	880	600	537,5	2431,14	1,207	0,00387	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	7033,91	2,665	0,02936	0,02936
40 x 60	Tumpuan kiri	400	600	537,5	1236,73	1,137	0,00429	0,00448
	Lapangan	880	600	537,5	3927,76	0,555	0,00304	0,00448
	Tumpuan kanan	400	600	537,5	3687,86	4,079	0,01378	0,01378

Bentang	Dimensi (cm)	Daerah	As setelah Komposit (mm <sup>2</sup> )	As sebelum Komposit (mm <sup>2</sup> )	As akhir (mm <sup>2</sup> )	Tulangan Pakai (P = D25)	As Pakai (mm <sup>2</sup> )
2 - 3	40 x 60	Tampuan kiri	1675,044	0	1675,044	4	1963
		Lapangan	2073,456	829,5042	2902,9602	6	2945
		Tampuan kanan	1675,044	0	1675,044	4	1963
		Tampuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
3 - 4	40 x 60	Lapangan	2073,456	931,74	2804,736	6	2945
		Tampuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473
		Tampuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
		Lapangan	2073,456	829,5042	2902,9602	6	2945
4 - 5	40 x 60	Tampuan kanan	1675,044	0	1675,044	3	1473
		Tampuan kiri	1077,426	0	1077,426	3	1473
		Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
		Tampuan kanan	2073,456	0	2073,456	5	2454
1 - 2	40 x 60	Tampuan kiri	2349,774	0	2349,774	5	2454
		Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
		Tampuan kanan	2073,456	0	2073,456	5	2454
		Tampuan kiri	2349,774	0	2349,774	5	2454
2 - 3	40 x 60	Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
		Tampuan kanan	2073,456	0	2073,456	5	2454
		Tampuan kiri	2349,774	0	2349,774	5	2454
		Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
3 - 4	40 x 60	Tampuan kanan	2073,456	0	2073,456	5	2454
		Tampuan kiri	2349,774	0	2349,774	5	2454
		Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
		Tampuan kanan	2073,456	0	2073,456	5	2454
4 - 5	40 x 60	Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
		Tampuan kanan	5166,504	0	5166,504	11	5397
		Tampuan kiri	3829,896	0	3829,896	8	3927
		Lapangan	2073,456	1047,00	3120,516	7	3436
5 - 6	40 x 60	Tampuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473
		Tampuan kiri	1432,998	0	1432,998	3	1473
		Lapangan	2073,456	804,408	2877,864	6	2945
		Tampuan kanan	1118,124	0	1118,124	3	1473
C - D	40 x 60	Tampuan kiri	1118,124	0	1118,124	3	1473
		Lapangan	2073,456	804,408	2877,864	6	2945
		Tampuan kanan	1118,124	0	1118,124	3	1473
		Tampuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
D - E	40 x 60	Lapangan	2073,456	804,408	2877,864	6	2945
		Tampuan kanan	1432,998	0	1432,998	3	1473
		Tampuan kiri	2955,96	0	2955,96	7	3436
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
A - B	40 x 60	Tampuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473
		Tampuan kiri	6286,77	0	6286,77	13	6378
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tampuan kanan	1912,806	0	1912,806	4	1963
B - C	40 x 60	Tampuan kiri	1912,806	0	1912,806	4	1963
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tampuan kanan	2296,224	0	2296,224	6	2945
		Tampuan kiri	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
C - D	40 x 60	Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tampuan kanan	2296,224	0	2296,224	6	2945
		Tampuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
D - E	40 x 60	Tampuan kanan	6286,77	0	6286,77	13	6378
		Tampuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
		Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tampuan kanan	2955,96	0	2955,96	7	3436
E - F	40 x 60	Lapangan	2073,456	1379,46	3452,916	8	3927
		Tampuan kanan	2955,96	0	2955,96	7	3436

## SEL Perhitungan Penulangan Lentur Balok Induk Sebelum Komposit

Balok Induk Lantai Atap

umum  $f_c = 30 \text{ MPa}$  $\rho_{\text{arm}} = 0.0044$  $\rho_{\text{deck}} = 0.077$  $f_y = 320 \text{ MPa}$  $m = 12.55$ 

Benteng	Dimensi		L (m)	d (mm)	Lebar Tekan (mm)	t (kg/m)	q (kg/m)		P (kg)	M (kg.m)	D (kg)	f_a (MPa)	Pois.	Pesa	
	b (m)	h (m)					Benteng Standar	Beban Trapezium							
	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>					kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>							
A-1	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-2	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	720.40	1754.4	8394.889	4523.988	1.726	0.00528	0.00528
A-3	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-4	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-5	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-6	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-7	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-8	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-9	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-10	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-11	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-12	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-13	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-14	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-15	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-16	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-17	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-18	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-19	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-20	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-21	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-22	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-23	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-24	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
A-25	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	251.50	0.00	721.58	1754.4	8394.889	4523.988	1.613	0.00528	0.00528
D-F	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	275.50	744.90	1566.24	8346.641	4503.312	1.516	0.00511	0.00511
A-B	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	547.20	1017.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
B-C	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	547.20	1017.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
C-D	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	547.20	1017.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
D-E	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	547.20	1017.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
E-F	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	547.20	1017.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
B-F	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	547.20	1017.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
A-S	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	273.50	744.00	2355.28	9945.212	5054.544	1.895	0.00614	0.00614
B-C	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	273.50	744.00	2355.28	9945.212	5054.544	1.895	0.00614	0.00614
C-D	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	427.20	1047.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
D-E	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	427.20	1047.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
E-F	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	427.20	1047.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
B-F	0.60	0.40	5.80	427.50	400	470.40	0.00	427.20	1047.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
S-T	0.60	0.40	5.80	427.50	242	470.40	0.00	-427.20	1047.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501
E-T	0.60	0.40	5.80	427.50	242	470.40	0.00	-427.20	1047.6	3132.08	14318.715	7369.312	2.711	0.00501	0.00501

Pembang	Diameter (mm)	Distanse	Ukuran		Momen	R <sub>s</sub>	Peta	Dose	Mag [mT]
			a (mm)	b (mm)					
2 - 3	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	196,45	2,080	0,00487	2073,450
		Lengkap	400	600	537,5	1150,56	0,560	0,00159	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1903,91	2,080	0,00481	0,00481
3 - 4	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	1157,71	1,200	0,00297	0,00444
		Lengkap	400	600	537,5	527,71	2,760	0,00984	2073,450
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1147,72	1,200	0,00309	0,00444
4 - 5	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	682,54	0,752	0,00239	0,00444
		Lengkap	400	600	537,5	1150,56	0,560	0,00159	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1277,72	1,495	0,00342	0,00482
5 - 6	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	1141,55	2,400	0,01109	0,00444
		Lengkap	400	600	537,5	2476,70	1,227	0,00203	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	3471,20	3,062	0,0133	0,00481
2 - 3	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	5921,59	3,340	0,01198	4041,74
		Lengkap	400	600	537,5	2355,48	1,187	0,00218	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	2331,74	2,435	0,00860	1713,450
3 - 4	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	2368,51	3,018	0,0118	0,010
		Lengkap	400	600	537,5	2865,57	1,074	0,00327	2073,450
		Tampuan kanan	400	600	537,5	2869,51	3,018	0,0120	2142,
4 - 5	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	2314,75	2,437	0,00860	1713,450
		Lengkap	400	600	537,5	2395,47	1,187	0,00218	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	5872,30	3,340	0,01198	4241,76
5 - 6	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	3673,20	3,894	0,0113	0,0113
		Lengkap	400	600	537,5	2476,70	1,227	0,00203	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1145,55	0,567	0,00868	1923,516
B - C	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	1539,59	1,678	0,00588	0,00588
		Lengkap	400	600	537,5	1144,58	0,567	0,00189	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1997,61	1,198	0,00477	0,00477
C - D	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	1224,77	1,446	0,00502	0,00502
		Lengkap	400	600	537,5	1734,33	0,562	0,00421	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1599,47	1,485	0,00503	0,00503
D - E	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	1096,94	1,195	0,00477	1021,734
		Lengkap	400	600	537,5	1144,84	0,567	0,00179	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1540,32	1,674	0,00588	1249,496
A - B	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	2626,62	2,486	0,00812	1229,314
		Lengkap	400	600	537,5	1896,45	0,976	0,00296	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	1143,74	1,240	0,00539	0,00539
B - C	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	6513,67	7,103	0,0267	5729,14
		Lengkap	400	600	537,5	2272,29	1,126	0,00359	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	2219,80	2,419	0,00797	1597,174
C - D	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	2614,13	2,840	0,00747	2028,474
		Lengkap	400	600	537,5	2245,04	1,355	0,00434	0,00434
		Tampuan kanan	400	600	537,5	2614,84	2,840	0,00747	2028,474
D - E	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	2219,04	2,416	0,00726	0,00726
		Lengkap	400	600	537,5	2272,24	1,126	0,00339	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	6527,80	7,165	0,0267	4712,4
E - F	40 x 60	Tampuan kiri	400	600	537,5	1143,55	1,246	0,00399	0,00444
		Lengkap	400	600	537,5	1875,59	3,926	0,00266	0,00444
		Tampuan kanan	400	600	537,5	2626,96	2,867	0,00952	2719,14

Bentang	Dimensi (cm)	Daerah	As areal Komposit (mm <sup>2</sup> )	As areal tan Komposit (mm <sup>2</sup> )	As akhir (mm <sup>2</sup> )	Tulangan Paket (n = 325)	As Paket (mm <sup>2</sup> )
2 - 3	40 x 60	Tumpuan kiri	2039,184	0	2039,184	5	2454
		Lapangan	2073,456	856,416	2929,872	6	2945
3 - 4	40 x 60	Tumpuan kanan	2039,184	0	2039,184	5	2454
		Tumpuan kiri	942,48	0	942,48	1	1473
4 - 5	40 x 60	Lapangan	2073,456	713,58	2787,136	6	2945
		Tumpuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473
5 - 6	40 x 60	Tumpan	2073,456	856,416	2929,872	6	2945
		Tumpuan kanan	1032,444	0	1032,444	3	1473
1 - 2	40 x 60	Tumpuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
		Lapangan	2073,456	1075,386	3148,842	7	3436
2 - 3	40 x 60	Tumpuan kanan	2848,86	0	2848,86	6	2945
		Tumpuan kiri	4241,16	0	4241,16	9	4118
3 - 4	40 x 60	Lapangan	2073,456	1075,386	3148,842	7	3436
		Tumpuan kanan	1713,6	0	1713,6	4	1963
4 - 5	40 x 60	Tumpuan kiri	2142	0	2142	5	2454
		Lapangan	2073,456	1075,386	3148,842	7	3436
5 - 6	40 x 60	Tumpuan kanan	4241,16	0	4241,16	9	4118
		Tumpuan kiri	2848,86	0	2848,86	6	2945
B - C	40 x 60	Lapangan	2073,456	1075,386	3148,842	7	3436
		Tumpuan kanan	1923,516	0	1923,516	4	1963
C - D	40 x 60	Tumpuan kiri	1259,496	0	1259,496	3	1473
		Lapangan	2073,456	828,842	2902,298	6	2945
D - E	40 x 60	Tumpuan kanan	1021,734	0	1021,734	3	1473
		Tumpan	1075,284	0	1075,284	3	1473
E - F	40 x 60	Lapangan	2073,456	828,842	2902,298	6	2945
		Tumpuan kanan	1259,496	0	1259,496	3	1473
A - B	40 x 60	Tumpuan kiri	1713,6	0	1713,6	4	1963
		Lapangan	2073,456	1461,422	3534,878	8	3927
B - C	40 x 60	Tumpuan kanan	942,48	0	942,48	3	1473
		Tumpuan kiri	5719,14	0	5719,14	12	5888
C - D	40 x 60	Lapangan	2073,456	1461,422	3534,878	8	3927
		Tumpuan kanan	1707,174	0	1707,174	4	1963
D - E	40 x 60	Tumpuan kiri	2028,474	0	2028,474	5	2454
		Lapangan	2073,456	1461,422	3534,878	8	3927
E - F	40 x 60	Tumpuan kanan	4712,4	0	4712,4	10	4909
		Tumpuan kiri	942,48	0	942,48	3	1473
		Lapangan	2073,456	1461,422	3534,878	8	3927
		Tumpuan kanan	5719,14	0	5719,14	12	5888

Rowlabel	Element	Material	Length mm	Width mm	Height mm	Stress MPa	Strain	Volumen	Areal mm²
A - B	Bawah	1362.79	400	537.5	1.4851	0.00478	0.00478	1024.87	
	Atas	-2119.28	400	537.5	2.3095	0.00758	0.00758	1623.11	
B - C	Bawah	1175.761	400	537.5	1.2813	0.00411	0.0044	942.48	
	Atas	-1676.85	400	537.5	1.8306	0.00594	0.00594	1272.84	
C - D	Bawah	1036.757	400	537.5	1.1295	0.00361	0.0044	942.48	
	Atas	-1428.44	400	537.5	1.5567	0.00502	0.00502	1075.88	
D - E	Bawah	822.31	400	537.5	0.8861	0.00255	0.0044	942.48	
	Atas	-1359.93	400	537.5	1.482	0.00477	0.00477	1022.85	
E - F	Bawah	1362.567	400	537.5	1.4849	0.00478	0.00478	1024.7	
	Atas	-1748.17	400	537.5	1.9051	0.00619	0.00619	1326.79	
1 - 2	Bawah	1362.79	400	537.5	1.4851	0.00478	0.00478	1024.87	
	Atas	-2119.28	400	537.5	2.3095	0.00758	0.00758	1623.11	
2 - 3	Bawah	1264.482	400	537.5	1.378	0.00443	0.00443	942.757	
	Atas	-1876.53	400	537.5	2.045	0.00667	0.00667	1428.84	
3 - 4	Bawah	839.06	400	537.5	0.9144	0.00291	0.0044	942.48	
	Atas	-1137.71	400	537.5	1.2398	0.00397	0.0044	942.48	
4 - 5	Bawah	691.2067	400	537.5	0.7538	0.00239	0.0044	942.48	
	Atas	-1273.67	400	537.5	1.368	0.00446	0.00446	955.856	
5 - 6	Bawah	1362.567	400	537.5	1.4849	0.00478	0.00478	1024.7	
	Atas	-1748.17	400	537.5	1.9051	0.00619	0.00619	1326.79	
A - B	Bawah	1747.737	400	537.5	1.9046	0.00619	0.00619	1326.44	
	Atas	-3096.11	400	537.5	3.374	0.01135	0.01135	2431.71	
B - C	Bawah	2409.58	400	537.5	2.8258	0.00668	0.00668	1658.92	
	Atas	-5573.68	400	537.5	6.074	0.02203	0.02203	4717.81	
C - D	Bawah	2122.35	400	537.5	2.3128	0.00759	0.00759	1625.57	
	Atas	-2819.92	400	537.5	3.073	0.01026	0.01026	2168.62	
D - E	Bawah	100.82	400	537.5	0.1099	0.00034	0.0044	942.48	
	Atas	-2705.78	400	537.5	2.9487	0.00982	0.00982	2103.36	
E - F	Bawah	1747.737	400	537.5	1.9046	0.00619	0.00619	1326.44	
	Atas	-3096.11	400	537.5	3.374	0.01135	0.01135	2431.71	
1 - 2	Bawah	756.1862	400	537.5	0.824	0.00262	0.0044	942.48	
	Atas	-2458.76	400	537.5	2.7122	0.00898	0.00898	1923.88	
2 - 3	Bawah	2367.25	400	537.5	2.5797	0.00852	0.00852	1824.31	
	Atas	-4861.20	400	537.5	5.2975	0.01876	0.01876	4019.29	
3 - 4	Bawah	1275.219	400	537.5	1.3897	0.00447	0.00447	957.052	
	Atas	-2826.01	400	537.5	3.0819	0.0103	0.0103	2205.4	
4 - 5	Bawah	353.1797	400	537.5	0.3849	0.00121	0.0044	942.48	
	Atas	-2768.46	400	537.5	3.017	0.01006	0.01006	2155.6	
5 - 6	Bawah	756.1862	400	537.5	0.824	0.00262	0.0044	942.48	
	Atas	-2458.76	400	537.5	2.7122	0.00898	0.00898	1923.88	

## anggaran Batok &amp; Tumpuan Akibat Beban Bolak-Balik Gempa

Benteng	Dasar	Moment KNm	b mm	d mm	R <sub>s</sub> MPa	$\sigma_{ult}$	$\sigma_{ult}$	A <sub>spine</sub> mm <sup>2</sup>
A - B	Bawah	1373.138	400	537,5	1.4964	0.00482	0.00482	1032,9
	Atas	-1701,53	400	537,5	1.8543	0.00602	0.00602	1289,94
B - C	Bawah	1357,13	400	537,5	1.4789	0.00476	0.00476	1020,48
	Atas	-1882,35	400	537,5	2.0513	0.00669	0.00669	1433,28
C - D	Bawah	1119,889	400	537,5	1.2204	0.00391	0.0044	942,48
	Atas	-1489,38	400	537,5	1.6187	0.00523	0.00523	1120,29
D - E	Bawah	837,4279	400	537,5	0.9126	0.0029	0.0044	942,48
	Atas	-1215,40	400	537,5	1.3245	0.00475	0.0044	942,48
E - F	Bawah	1416,864	400	537,5	1.544	0.00498	0.00498	1068,89
	Atas	-1771,82	400	537,5	1.9309	0.00628	0.00626	1345,5
1 - 2	Bawah	1416,864	400	537,5	1.544	0.00498	0.00496	1068,89
	Atas	-1771,82	400	537,5	1.9309	0.00628	0.00628	1345,5
2 - 3	Bawah	1528,616	400	537,5	1.7746	0.00575	0.00575	1232,51
	Atas	-2188,94	400	537,5	2.3854	0.00784	0.00784	1679,36
3 - 4	Bawah	945,1583	400	537,5	1.03	0.00329	0.0044	942,48
	Atas	-1155,90	400	537,5	1.2587	0.00404	0.0044	942,48
4 - 5	Bawah	561,9611	400	537,5	0.6124	0.00194	0.0044	942,48
	Atas	-932,83	400	537,5	1.0166	0.00324	0.0044	942,48
5 - 6	Bawah	1373,138	400	537,5	1.4964	0.00482	0.00482	1032,9
	Atas	-1701,53	400	537,5	1.8543	0.00602	0.00602	1289,94
A - B	Bawah	2604,171	400	537,5	2.8378	0.00943	0.00943	2019,06
	Atas	-3697,49	400	537,5	4.0294	0.01378	0.01378	2952,55
B - C	Bawah	416,3831	400	537,5	0.4538	0.00143	0.0044	942,48
	Atas	-7031,61	400	537,5	7.6628	0.02935	0.02935	6287,31
C - D	Bawah	2146,041	400	537,5	2.3387	0.00768	0.00768	1644,69
	Atas	-3212,45	400	537,5	3.5008	0.01182	0.01182	2531,02
D - E	Bawah	976,1583	400	537,5	1.0638	0.0034	0.0044	942,48
	Atas	-6008,73	400	537,5	8.5481	0.02411	0.02411	5164,47
E - F	Bawah	2604,171	400	537,5	2.8378	0.00943	0.00943	2019,06
	Atas	-3697,49	400	537,5	4.0294	0.01378	0.01378	2952,55
1 - 2	Bawah	344,5115	400	537,5	0.3754	0.00118	0.0044	942,48
	Atas	-1432,44	400	537,5	1.561	0.00504	0.00504	1079,01
2 - 3	Bawah	976,1583	400	537,5	1.0638	0.0034	0.0044	942,48
	Atas	-7031,61	400	537,5	7.6628	0.02935	0.02935	6287,31
3 - 4	Bawah	976,1583	400	537,5	1.0638	0.0034	0.0044	942,48
	Atas	-7031,61	400	537,5	7.6628	0.02935	0.02935	6287,31
4 - 5	Bawah	976,1573	400	537,5	1.0638	0.0034	0.0044	942,48
	Atas	-7031,61	400	537,5	7.6628	0.02935	0.02935	6287,3
5 - 6	Bawah	344,5115	400	537,5	0.3754	0.00118	0.0044	942,48
	Atas	-1432,44	400	537,5	1.561	0.00504	0.00504	1079,01

Bentang	Densib	Mesot kNm	b mm	d mm	Rn N/mm²	Qact	Qdes	Averge mm²
A - B	Bawah	1115.093	400	537.5	1.2152	0.00389	0.0044	942.48
	Atas	-1339.64	400	537.5	1.4599	0.0047	0.0047	1006.91
B - C	Bawah	1249.36	400	537.5	1.3615	0.00437	0.0044	942.48
	Atas	-1536.59	400	537.5	1.6776	0.00543	0.00543	1162.87
C - D	Bawah	1068.703	400	537.5	1.1845	0.00373	0.0044	942.48
	Atas	-1328.77	400	537.5	1.448	0.00466	0.00466	995.486
D - E	Bawah	875.4765	400	537.5	0.9541	0.00304	0.0044	942.48
	Atas	-1090.04	400	537.5	1.1954	0.00383	0.0044	942.48
E - F	Bawah	1141.501	400	537.5	1.244	0.00389	0.0044	942.48
	Atas	-1371.39	400	537.5	1.4945	0.00482	0.00482	1031.54
1 - 2	Bawah	1141.501	400	537.5	1.244	0.00399	0.0044	942.48
	Atas	-1371.39	400	537.5	1.4945	0.00482	0.00482	1031.54
2 - 3	Bawah	1583.09	400	537.5	1.7252	0.00556	0.00556	1196.76
	Atas	-1918.45	400	537.5	2.0885	0.00682	0.00682	1460.45
3 - 4	Bawah	946.4849	400	537.5	1.0314	0.00329	0.0044	942.48
	Atas	-1137.71	400	537.5	1.2396	0.00397	0.0044	942.48
4 - 5	Bawah	521.4456	400	537.5	0.5683	0.00118	0.0044	942.48
	Atas	-689.51	400	537.5	0.7514	0.00238	0.0044	942.48
5 - 6	Bawah	1115.093	400	537.5	1.2152	0.00389	0.0044	942.48
	Atas	-1339.64	400	537.5	1.4599	0.0047	0.0047	1006.91
A - B	Bawah	2184.134	400	537.5	2.3802	0.00782	0.00782	1675.47
	Atas	-2626.62	400	537.5	2.8624	0.00951	0.00951	2037.64
B - C	Bawah	274.40	400	537.5	0.299	0.00094	0.0044	942.48
	Atas	-6517.67	400	537.5	7.1027	0.02665	0.02665	5709.26
C - D	Bawah	1772.63	400	537.5	1.9317	0.00626	0.00628	1346.15
	Atas	-2914.85	400	537.5	3.1765	0.01064	0.01064	2278.33
D - E	Bawah	671.8445	400	537.5	0.7321	0.00232	0.0044	942.48
	Atas	-5092.19	400	537.5	5.5463	0.0198	0.0198	4241.59
E - F	Bawah	2184.134	400	537.5	2.3802	0.00782	0.00782	1675.47
	Atas	-2626.62	400	537.5	2.8624	0.00951	0.00951	2037.64
1 - 2	Bawah	402.8202	400	537.5	0.439	0.00138	0.0044	942.48
	Atas	-1147.32	400	537.5	1.2903	0.00401	0.0044	942.48
2 - 3	Bawah	671.8445	400	537.5	0.7321	0.00232	0.0044	942.48
	Atas	-6517.67	400	537.5	7.1027	0.02665	0.02665	5709.26
3 - 4	Bawah	671.8445	400	537.5	0.7321	0.00232	0.0044	942.48
	Atas	-6517.67	400	537.5	7.1027	0.02665	0.02665	5709.26
4 - 5	Bawah	274.4034	400	537.5	0.299	0.00094	0.0044	942.48
	Atas	-2184.13	400	537.5	2.3802	0.00782	0.00782	1675.47
5 - 6	Bawah	402.8202	400	537.5	0.439	0.00138	0.0044	942.48
	Atas	-1147.32	400	537.5	1.2903	0.00401	0.0044	942.48

### Tabel Penulangan Geser Balok Induk

Data Perencanaan :  $f_c = 30 \text{ MPa}$   $\phi_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm}$   
 $f_y = 320 \text{ MPa}$   $\phi_{\text{tul, utama}} = 29 \text{ mm}$   
 Deck Lantai = 40 mm

$S_{\text{maks}} < d$  muka kolom =  $d/4$

$S_{\text{maks}} > d$  muka kolom =  $d/2$

### Lantai 1 - 5

Nama Balok Induk	b (mm)	H (mm)	d (mm)	V <sub>u</sub> (kN)	$\phi V_u$ (N)	$\frac{1}{2} \phi V_u$ (N)	S ada $< d$ muka kolom	S ada $> d$ muka kolom	S pakai $< d$ muka kolom (cm)	S pakai $> d$ muka kolom (cm)
As A,F ( 2-3,3-4,4-5 )	400	600	515,5	1745,96	1047576	523788	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As B,E ( 1-2,2-3,3-4,4-5,5-6 )	400	600	515,5	3893,50	2336100	1168050	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As C,D ( 1-2,2-3,3-4,4-5,5-6 )	400	600	515,5	3893,50	2336100	1168050	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As 1,6 ( B-C,C-D,D-E )	400	600	515,5	1662,38	997428	498714	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As 2,5 ( A-H,B-C,C-D,D-E,F )	400	600	515,5	4110,72	2466432	1479849,2	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As 2,5 ( A-H,B-C,C-D,D-E,F )	400	600	515,5	4110,72	2466432	1479849,2	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26

### Lantai 6 - 9

Nama Balok Induk	b (mm)	H (mm)	d (mm)	V <sub>u</sub> (kN)	$\phi V_u$ (N)	$\frac{1}{2} \phi V_u$ (N)	S ada $< d$ muka kolom	S ada $> d$ muka kolom	S pakai $< d$ muka kolom (cm)	S pakai $> d$ muka kolom (cm)
As A,F ( 2-3,3-4,4-5 )	400	600	515,5	1835,58	1101348	550674	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As B,E ( 1-2,2-3,3-4,4-5,5-6 )	400	600	515,5	4269,65	2561790	1280895	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As C,D ( 1-2,2-3,3-4,4-5,5-6 )	400	600	515,5	4269,65	2561790	1280895	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As 1,6 ( B-C,C-D,D-E )	400	600	515,5	1720,08	1032048	516024	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As 2,5 ( A-H,B-C,C-D,D-E,F )	400	600	515,5	4570,30	2742180	1371090	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26
As 2,5 ( A-H,B-C,C-D,D-E,F )	400	600	515,5	4570,30	2742180	1371090	jarak maksimal	jarak maksimal	12	26

## Penulangan Geser Balok Induk

rencanaan :  $f_c = 30 \text{ MPa}$   $\phi_{sengkang} = 10 \text{ mm}$   
 $f_y = 320 \text{ MPa}$   $\phi_{m. utama} = 29 \text{ mm}$   
 Deck atap = 50 mm

$$S_{\max} < d \text{ muka kolom} = d/4$$

$$S_{\max} < d \text{ muka kolom} = d/2$$

### Atap

ura Balok Induk	b (mm)	H (mm)	d (mm)	V <sub>u</sub> (kN)	$\phi V_u$ (N)	$\frac{1}{2} \phi V_u$ (N)	S ada $< d$ muka kolom	S ada $> d$ muka kolom	S pakai $< d$ muka kolom (cm)	S pakai $> d$ muka kolom (cm)
-3,3-4,4-5 )	400	600	525,5	1761,39	996834	498417	jarak maksimal	jarak maksimal	12	28
-2,2-3,3-4,4-5,5-6 )	400	600	525,5	3800,62	2280372	1140186	jarak maksimal	jarak maksimal	12	28
-2,2-3,3-4,4-5,5-6 )	400	600	525,5	3800,62	2280372	1140186	jarak maksimal	jarak maksimal	12	28
C,C-D,D-E )	400	600	525,5	1520,90	912540	456270	jarak maksimal	jarak maksimal	12	28
B,B-C,C-D,D-E,E,F )	400	600	525,5	4148,96	2489376	1244688	jarak maksimal	jarak maksimal	12	28
B,B-C,C-D,D-E,E,F )	400	600	525,5	4148,96	2489376	1244688	jarak maksimal	jarak maksimal	12	28

Kolom Lantai 2 - 6

Pu ( kN )	Mux (Nm)		Muy (Nm)		EI kolom ( mm <sup>3</sup> )	EI balok ( mm <sup>3</sup> )	w <sub>x</sub>	w <sub>y</sub>	K	r = 0,3 h ( mm )	klipfr	34-12(M1/M2)	Keterangan
	Top	bottom	Top	bottom									
0 57013.95	2434.27	2818.18	2435.75	2609.86	5.15E+14	9.27E+13	8.06E+00	1	0.84	210	16	23.6347146	kolom pendek
0 66677.48	399.91	464.83	2309.62	2651.87	5.15E+14	9.27E+13	8.06E+00	1	0.84	210	16	23.67596756	kolom pendek
0 66677.48	399.91	464.83	2309.62	2651.87	5.15E+14	9.27E+13	8.06E+00	1	0.84	210	16	23.67596756	kolom pendek
0 101298.00	1042.49	1193.14	136.8	1193.14	5.15E+14	9.27E+13	8.06E+00	1	0.84	210	16	23.51516167	kolom pendek
0 31926.38	452.08	615.27	1674.17	13217.4	5.15E+14	9.27E+13	8.06E+00	1	0.84	210	16	25.1827976	kolom pendek
0 115329.00	1210.12	1338.96	82.17	1338.96	5.15E+14	9.27E+13	8.06E+00	1	0.84	210	16	23.15468722	kolom pendek

/	Ky	Kx	P	As mm <sup>2</sup>	Tulangan	p aktual	Pob N	Muy/(Ag.h)	Mux/(Ag.h)	Pny N	Pnx N	Pnb N	Pn N
342	0.179008	0.019427	1%	4900	10D 25	0.010018	8384238	0.008192012	0.0082163	11307692	11307692	17361315	87713.77
163	0.209348	0.00849	1%	4900	10D 25	0.010857	8384238	0.007731399	0.0013552	11307692	11307692	17361315	102580.7
163	0.209348	0.00849	1%	4900	10D 25	0.010857	8384238	0.007731399	0.0013552	11307692	11307692	17361315	102580.7
6.6	0.318047	0.008233	1%	4900	10D 25	0.010857	8384238	0.003478542	0.0034785	11307692	11307692	17361315	155843.1
3.88	0.001419	0.010391	1%	4900	10D 25	0.010857	8384238	0.038534694	0.004881	11307692	11307692	17361315	695.5077
938	0.3621	0.009239	1%	4900	10D 25	0.010857	8384238	0.003903673	0.0039037	11307692	11307692	17361315	177429.2

## Jangan Lentur Kolom Lantai 6 - Atap

bk x hk mm	Pu kN	Mux (Nm)		Muy (Nm)		EI kolom mm <sup>4</sup>	EI balok mm <sup>4</sup>	$\psi_a$	$\psi_b$	K	r = 0.3 h mm	k.lu/r	34-12(M1/M2)
		Top	bottom	Top	bottom								
500 x 600	28961.17	3320.64	3254.63	6540.98	3348.56	2.78E+14	4.02E+13	1.86E+01	5.12E+01	0.87	180	19.33333	21.7566175
500 x 600	33534.73	896.58	880.55	3487.51	3276.51	2.78E+14	4.02E+13	1.86E+01	2.02E+01	0.87	180	19.33333	21.7815456
500 x 600	33534.73	896.58	880.55	3487.51	3276.51	2.78E+14	4.02E+13	1.86E+01	2.56E+01	0.87	180	19.33333	21.7815456
400 x 600	47980.27	1484.8	1598.08	500.93	448.41	2.78E+14	4.02E+13	1.86E+01	2.56E+01	0.87	180	19.33333	22.85062074
400 x 600	12890.38	478.58	553.75	2619.18	2548.51	2.78E+14	4.02E+13	1.86E+01	2.56E+01	0.87	180	19.33333	23.62896614
400 x 600	55630.67	2317.52	2217.63	242.63	194.1	2.78E+14	4.02E+13	1.86E+01	2.56E+01	0.87	180	19.33333	21.45947701

	Mny Nm	Ky	Kx	D	As mm <sup>2</sup>	Tulangan	p aktual	Pob N	Muy/(Ag.h)	Mux/(Ag.h)	Pny N	Pnx N	Pnb N	
DR														
	5101.053	0.123766	0.022655	1%	3600	8D 22	0.010903	6789645	0.015502593	0.0150677	8307692.3	8307692	10700036	44
	3750.662	0.143311	0.011863	1%	3600	8D 22	0.010903	6789645	0.015169028	0.0040766	8307692.3	8307692	10700036	515
	3750.652	0.143311	0.011863	1%	3600	8D 22	0.010903	6789645	0.015169028	0.0040766	8307692.3	8307692	10700036	515
R														
	1308.915	0.205044	0.008251	1%	3600	8D 22	0.010903	6789645	0.002075972	0.0073965	8307692.3	8307692	10700036	73
	2846.683	0.055087	0.008639	1%	3600	8D 22	0.010903	6789645	0.011798657	0.0025637	8307692.3	8307692	10700036	198
	1388.208	0.237738	0.010416	1%	3600	8D 22	0.010903	6789645	0.000898611	0.0102668	8307692.3	8307692	10700036	855

## KUNCI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA SPT

Untuk ijin tiang pancang dengan diameter 350 mm

L/P	N <sub>z</sub>	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_{eff}$ (t/m <sup>3</sup> )	P <sub>o'</sub> (t/m <sup>2</sup> )	N <sub>corr</sub>	N <sub>rata</sub> <sup>2</sup> (t/m <sup>2</sup> )	P <sub>ujung</sub> (ton)	f <sub>si</sub> (t/m <sup>2</sup> )	P <sub>si</sub> (ton)	$\Sigma R_i$ (ton)	P <sub>ult</sub> (ton)	P <sub>ijin</sub> (ton) SF = 3
L	1	1.581	0.581	0.581	3.246			1.6230	1.7837	1.7837	1.7837	0.5946
L	1	1.581	0.581	1.162	2.731			1.3655	1.5007	3.2844	3.2844	1.0948
L	11	1.581	0.581	1.743	25.925	17.282	17.4510897	12.9625	14.2458	17.5302	34.9813	11.6604
P	10	1.456	0.456	2.199	23.1270	22.2096	6.22706039	4.6254	5.0833	22.6135	28.8405	9.6135
P	15	1.456	0.456	2.655	31.3810	37.5577	144.4656	6.2762	6.8975	29.5110	173.9766	57.9922
P	11.4	1.719	0.719	3.374	27.8840	41.3693	159.1270	5.5768	6.1289	35.6399	194.7669	64.9223
P	24	1.719	0.719	4.093	53.0990	46.1713	177.5979	10.6198	11.6712	47.3111	224.9089	74.9696
P	36	1.76	0.76	4.853	63.9300	51.2113	196.9842	12.7860	14.0518	61.3629	258.3471	86.1157
P	36	1.76	0.76	5.613	64.2390	54.7420	210.5651	12.8478	14.1197	75.4826	286.0477	95.3492
P	36	1.781	0.781	6.394	59.5390	58.6149	225.4620	11.9078	13.0867	88.5693	314.0314	104.6771
P	36	1.781	0.781	7.175	58.4070	58.6433	225.5714	11.6814	12.8379	101.4072	326.9786	108.9929
P	36	1.857	0.857	8.032	56.0960	56.9760	219.1582	11.2192	12.3299	113.7371	332.8953	110.9651
P	36	1.857	0.857	8.889	54.9940	47.8690	184.1283	10.9988	12.0877	125.8248	309.9530	103.3177
P	36	1.895	0.895	9.784	53.2980	46.4103	178.5172	10.6596	11.7149	137.5397	316.0569	105.3523
P	36	1.895	0.895	10.679	52.2590	44.6965	171.9250	10.4518	11.4865	149.0262	320.9512	106.9837
P	36	1.867	0.867	11.546	32.6931	42.7966	154.6170	6.5386	7.1859	156.2121	320.8291	106.9430
P	36	1.867	0.867	12.413	32.0620	40.3571	155.2335	6.4124	7.0472	163.2593	318.4929	106.1643
P	36	1.84	0.84	13.253	31.473346	37.1219	142.789221	6.2946692	6.9178415	170.1772	312.9664	104.3221369

## **DATA TANAH**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

KAMPUS ITS SUKOLLO TELP. 596094 SURABAYA (60111)

PROJECT : PT. TELKOM.  
LOCATION : BLIMBING - MALANG.

BORING NO : 8-1  
DATE : 28-Agus-1995

LEGEND :

	CLAY		SILT		SAND		GRAVEL		SHELL
--	------	--	------	--	------	--	--------	--	-------

DEPTH ( m )	BOR LOG	SOIL DESCRIPTION	S P T (N) NUMBER OF STROKS/FEET		
			20	30	50
- 0.00		- Lempung berlanau (Coklat kehitaman)		11	
- 5.00		- Pasir+lanau berlempung. (Coklat)		10	
				19	
- 10.00		- Pasir + lanau / padat (Coklat)			> 60
					> 60
- 15.00		- Pasir + Lanau / padat (Coklat)			> 60
					> 60
- 20.00					> 60

PROJECT : PT. TELKOM (PERSERO)  
 LOCATION : MALANG  
 BOR. NO : B - 1

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

TABLE - 3.1

Depth (m)	Grading		Atterberg Limits (L)	Sieve No. (L)	Soil Class (C)	Natural State USCS	Unconfine Direct Shear Test		Consolidation Test		Koefision of Permea- bility (k)																
	Sieve % Passing	Hidrometer					Vane Value	Consolidation Time (sec)	Coef. S <sub>c</sub>	Coef. C <sub>c</sub>																	
16	S	56	10	40	200	LL	PL	PI	55	Wt.	MC	VS	e	n	Se	q <sub>u</sub>	q <sub>ult</sub> C <sub>c</sub>	D <sub>c</sub>	I	P <sub>p</sub>	E <sub>c</sub>	Coef. S <sub>c</sub> (cal/sec)					
15.50-2.00	0	12	68	100	90	83	57.40	37.14	29.26	MH	2.567	1.551	55.11	1.019	1.519	30.29	93.20	10.296	+	+	+	0.299	11.536	0.259	4.87E-04	1.34E-08	
13.50-4.00	0	13	82	100	97	82	52.50	36.70	16.10	MH	2.546	1.456	74.92	0.833	2.053	67.30	92.60	10.550	+	+	+	0.365	11.707	0.356	5.88E-04	4.79E-09	
15.50-5.00	12	29	43	66	57	43	49.80	30.60	19.80	MH	2.610	1.717	59.63	1.231	1.127	52.99	92.07	1.6	+	0.00	34.00	+	+	+	0.365	6.93E-05	
17.50-3.00	19	58	27	73	55	23	45.90	33.40	12.50	MS	2.643	1.760	44.00	1.222	1.163	53.77	109.1	+	+	0.00	36.00	+	+	+	+	9.16E-05	
17.50-10.00	167	20	13	30	23	13	39.90	27.78	12.12	LS	2.581	1.781	42.97	1.245	1.152	53.55	100.1	+	+	0.00	37.00	+	+	+	+	2.40E-05	
11.50-12.00	47	37	14	42	25	16	35.70	25.10	10.60	SM	2.591	1.357	36.19	1.763	0.974	49.34	106.1	+	+	0.00	36.00	+	+	+	+	4.00E-04	
13.50-14.30	8	69	32	85	61	32	36.50	23.00	13.50	SM	2.557	1.895	32.38	1.432	0.863	46.32	109.1	+	+	0.00	38.00	+	+	+	+	1.21E-04	
12.50-16.00	7	55	40	90	67	40	39.50	27.94	11.56	SL	2.791	1.867	33.52	1.377	0.952	47.03	169.1	+	+	0.00	38.00	+	+	+	+	6.49E-05	
17.50-18.50	60	70	10	92	67	10	1	NP	NP	NP	1.52	2.673	1.849	37.57	1.343	0.981	42.77	100.1	+	+	0.00	36.00	+	+	+	+	1.23E-04
N <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

NOTES :

B = BEVELL	G = SPECIFIC GRAVITY	C = COHESION (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> = UNCONFINED (UNDISTURBED) (kg/cm <sup>2</sup> )
S = SAND	Y = WET DENSITY (gr/cc)	g = ANGLE OF INTERNAL FRICITION (degrees, minutes, sec)	q <sub>u</sub> = UNDEFINED (RESIDUAL)
S+C = SILT + CLAY	Wc = WATER CONTENT (%)	q <sub>u</sub> = PECONSOLIDATION PRESSURE (kg/cm <sup>2</sup> )	S <sub>c</sub> = SENSITIVITY RATIO (q <sub>u</sub> /q <sub>ult</sub> )
L.L. = LIQUID LIMIT	Yd = DRY DENSITY (gr/cc)	C <sub>c</sub> = COMPRESSION INDEX	C <sub>u</sub> = UNCHANGED COHESION (kg/cm <sup>2</sup> )
PL = PLASTIC LIMIT	e = VOID RATIO	C <sub>v</sub> = COEFFICIENT OF CONSOLIDATION (cm <sup>2</sup> /sec)	t = NOT TESTED
P <sub>i</sub> = PLASTICITY INDEX	n = POROSITY (%)	T = TORQUE (kg/cm)	t <sub>c</sub> = NOT TESTED (CUTTER)
N <sup>2</sup> = NON PLASTIC	SR = SATURATION (%)		

LAMAIJAHU SEMARAKA TROPIS  
 JLR. TERNIH SIPIL FISIP - ITS  
 Kampus IV Sekeloa Surabaya

# **DATA TIANG PANCANG DAN CRANE**

# Pancang Wik

nu  
Pile

anjang  
ion

roduksi  
turing Process

gan Standard  
l Splice

Standard  
I Dimension

Tiang Pancang Beton Pratekan  
Prestressed Concrete Pile

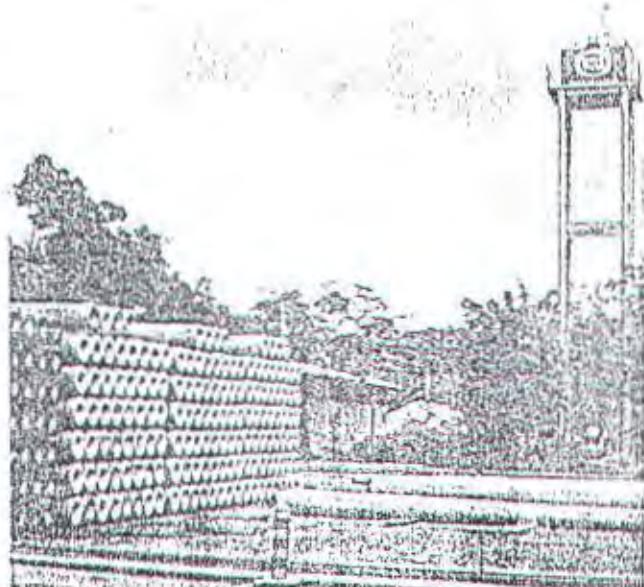
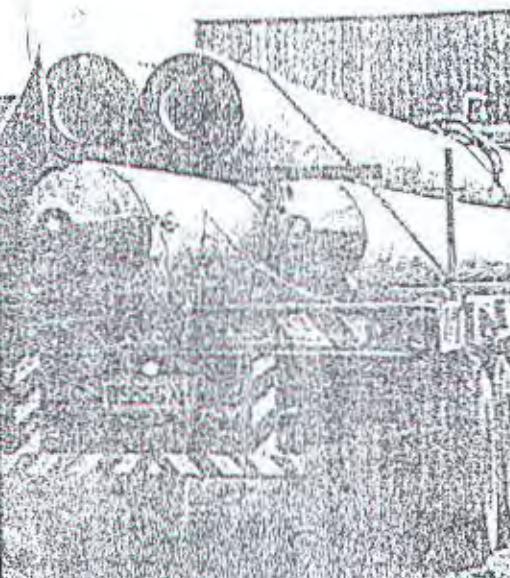
Bentuk Berongga  
Round Hollow

Sistem Sentrifugal  
Centrifugal Casted

Plat Sambung baja dilas  
Welded steel Joint Plate

Diameter Diameter (mm)	Tebal Thickness (mm)	Berat Satuan Unit Weight (kg/m)	Panjang per Segmen Length of Each Section (m)
350	70	148	6 - 20 ✓
400	75	195	6 - 20
450	80	237	6 - 20
500	90	296	6 - 18
600	100	400	6 - 18

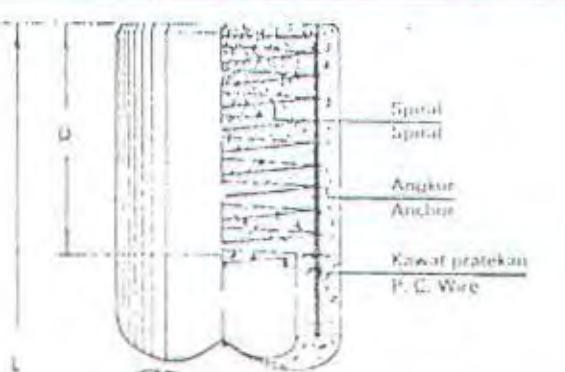
\* Kelipatan 1 m  
1 m interval



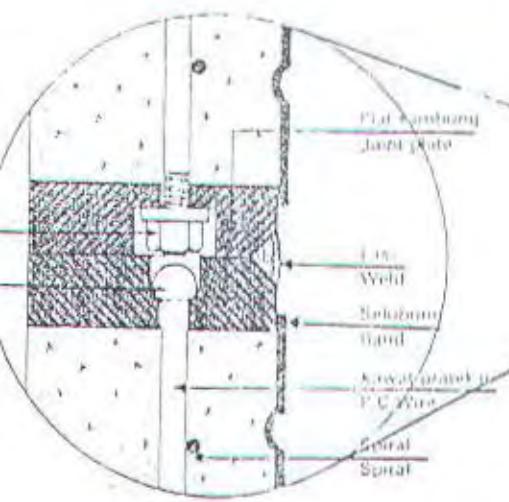
# ungan Dan Sepatu

# Splice & Shoe

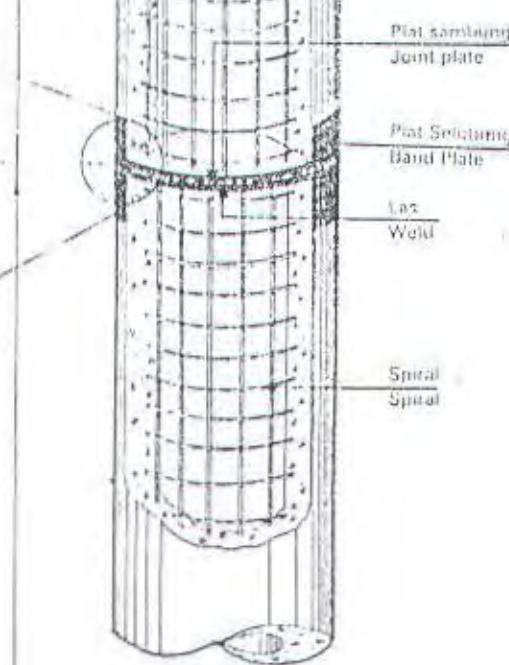
## KEPALA PANCANG PILE HEAD



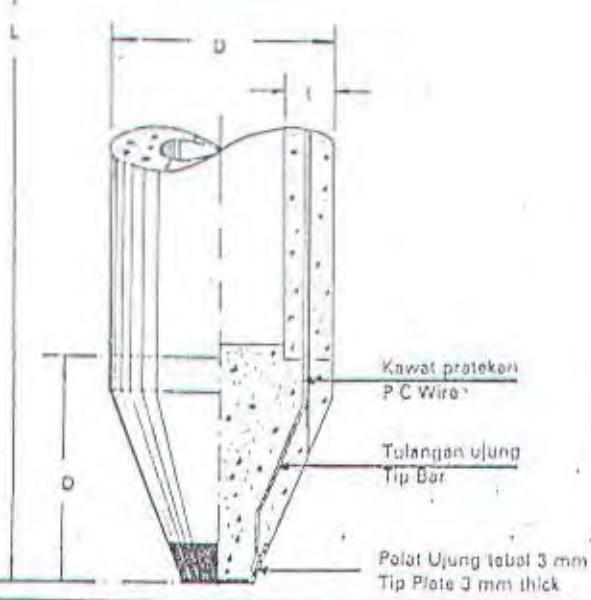
## SAMBUNGAN SPLICE



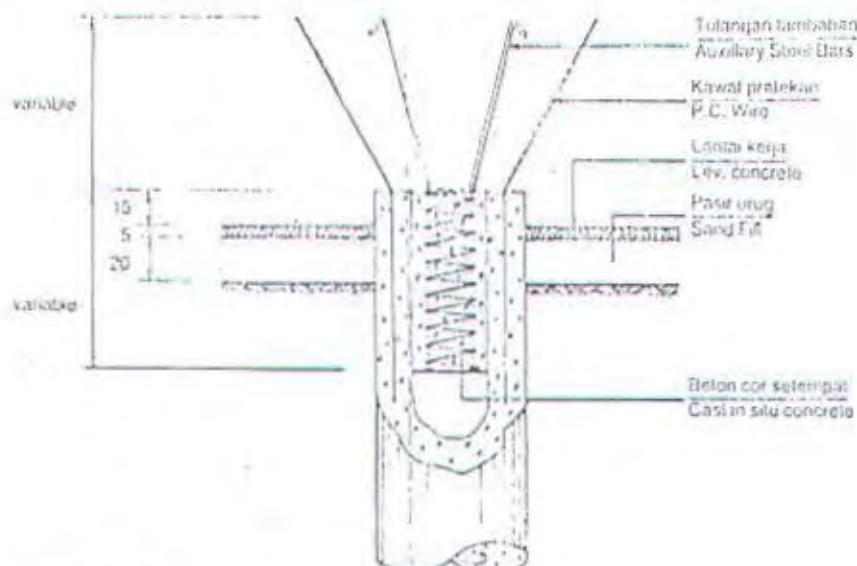
dur berkekuatan tinggi atau pembenaman kepala  
heavy duty nut or button head



ER TIANG AMETER (mm)	TEBAL LAS WELD THICKNESS (mm)
50	10
00	10
50	10
00	10
00	11

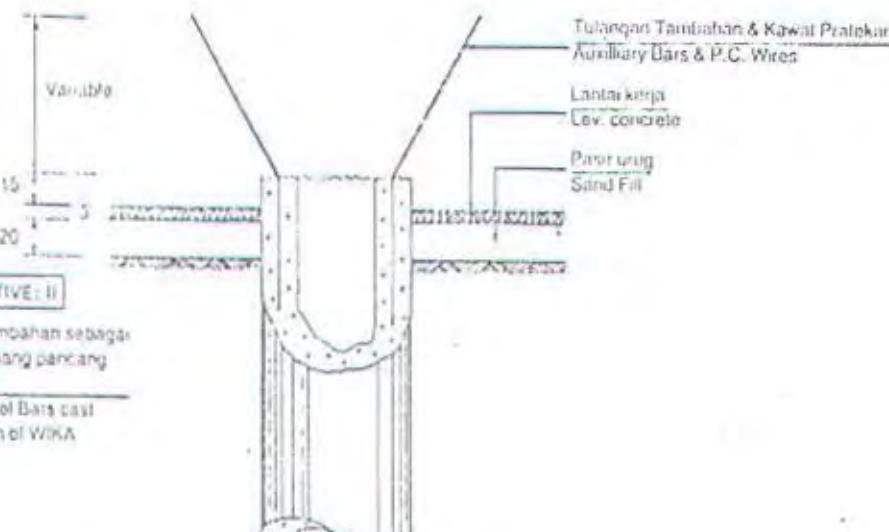
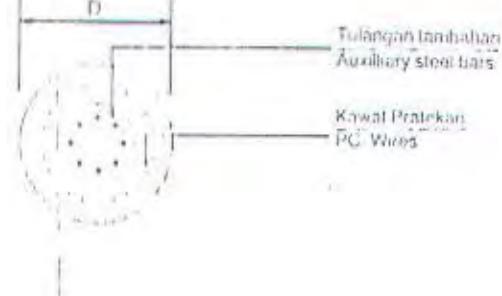


## SEPATU PANCANG PILE SHOE



**ALTERNATIVE I**

Beton cor setempat dengan tulangan tambahan  
Cast in situ concrete with auxiliary steel bars



**ALTERNATIVE II**

Tulangan tambahan sebagai bagian dari tang pancang WIKA  
Auxiliary Steel Bars cast in top section of WIKA Pile

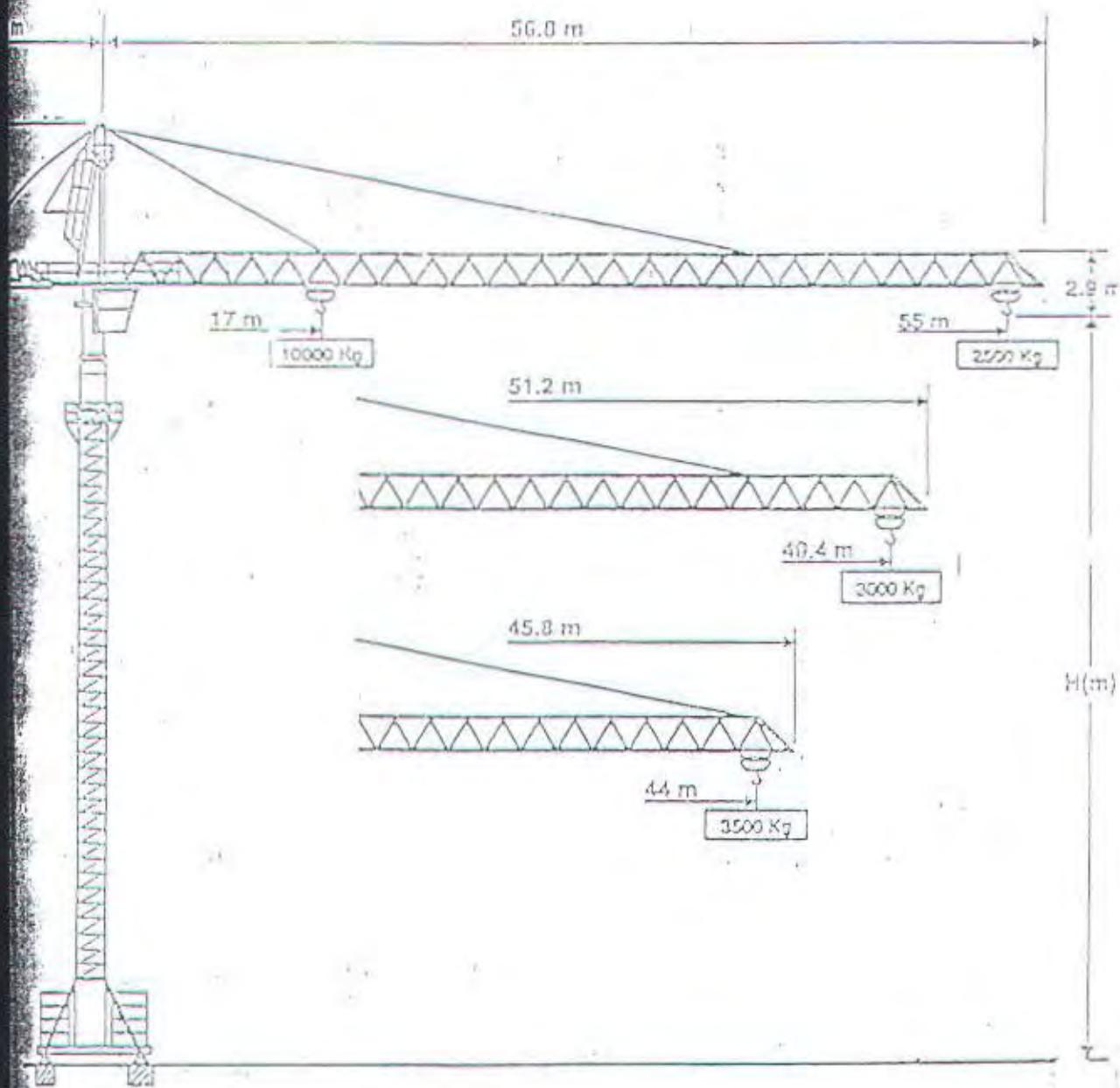
Ukuran  
Units : cm

12/67

## PILE CLASSIFICATION

12/022

Pile Type	Thickness [mm]	Class	PG WIRE		Area of steel [cm <sup>2</sup> ]	Area of Concrete [cm <sup>2</sup> ]	Section Modulus [cm <sup>3</sup> ]	Effective Prestress [kg/cm <sup>2</sup> ]	Allowable Axial Load N (t)	Bending Moment	
			D [mm]	Gumb [cm <sup>2</sup> ]						Crack [Nm]	M <sup>2</sup> UI [Nm <sup>2</sup> ]
0	70	A1	7	8	3.08	615.75	3711.17	46.74	92.15	3.50	5.25
		A3	7	12	4.62	615.75	3734.91	60.67	80.89	4.20	6.30
		B	7	16	6.16	615.75	3750.65	84.46	85.97	5.00	9.00
		C	9	12	7.63	615.75	3784.43	100.95	83.20	6.00	12.00
0	75	A2	7	12	4.62	765.77	5405.79	55.25	112.87	5.50	8.25
		A3	7	16	6.16	765.77	5432.93	70.73	109.71	6.50	9.75
		B	9	12	7.63	765.77	5458.95	80.16	107.79	7.50	13.50
		C	7	20	7.70	765.77	5460.06	84.04	106.83	7.50	13.50
			9	16	10.18	765.77	5503.81	105.53	102.62	9.00	18.00
0	80	A1	7	12	4.62	929.91	7399.79	46.49	139.23	7.50	11.25
		A2	7	16	6.16	929.91	7532.03	59.97	135.90	8.50	12.75
		A3	9	12	7.63	929.91	7562.96	67.46	134.04	10.00	15.00
			7	20	7.70	929.91	7564.27	72.49	132.79	10.00	15.00
		B	7	24	9.24	929.91	7596.51	84.08	129.92	11.00	19.00
		C	9	20	12.72	929.91	7650.56	108.52	123.85	12.50	25.00
0	90	A1	7	16	6.16	1159.25	10362.44	49.45	172.66	10.50	15.75
		A2	7	20	7.70	1159.25	10399.83	60.19	169.34	12.50	18.75
			9	12	7.63	1159.25	10398.31	56.02	170.63	12.50	18.75
		A3	7	24	9.24	1159.25	10437.22	79.32	166.21	14.00	21.00
		B	7	28	10.78	1159.25	10474.61	80.48	163.08	15.00	27.00
		C	9	24	15.27	1159.25	(0383.74)	104.56	155.64	17.00	34.00
0	100	A1	7	20	7.70	1570.80	17255.62	46.00	235.40	17.00	25.50
		A2	7	24	9.24	1570.80	17303.38	54.13	232.00	19.00	28.50
		A3	9	20	12.72	1570.80	17411.51	66.82	226.69	22.00	33.00
			7	32	12.32	1570.80	17393.99	61.38	225.62	22.00	33.00
		B	9	24	15.27	1570.80	17400.53	80.13	221.02	25.00	45.00
		C	9	32	20.36	1570.80	17643.44	102.89	211.00	29.00	58.00



ograms

25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	45	47	49.4	51	53	55	m
7000	6500	6000	5000	4000	4350	4000	3000	3600	3400	3300	3200	3000	2800	2750	2600	2500	Kg



25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	45	47	49.4	m
7000	6300	6000	5200	4050	4500	4150	3900	3650	3450	3400	3250	3100	3000	Kg



25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	m
1250	5700	6150	5500	5000	4000	4300	4100	3750	3600	3500	Kg



## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan gedung (SK SNI 1991)
2. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983
3. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1983
4. Peraturan Muatan Indonesia 1970 NI – 18
5. PCI Design Hand Book, *Precast and Prestress Concrete*, Fourth Edition, PCI, Chicago, Illinois, 1992
6. PBI 1971 NI – 2
7. Chu-Kia Wang & C.G. Salmon, *Desain Beton Bertulang*, Jilid I dan II, Edisi keempat, Airlangga, 1990
8. Robert Park, PhD, *A Perspective on The Seismic Design of Precast Concrete Structure in New Zealand*, PCI Journal, May-June 1995
9. Robert E. Englekirk, *Concepts for The Development of Earthquake Resistant Ductile Frames of Precast Concrete*, PCI Journal, January-February 1987
10. Istimawan Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*, Cetakan Kedua, Gramedia, Jakarta, 1996