

# **PERENCANAAN ULANG GEDUNG PERKULIAHAN POLITEKNIK ELEKTRONIKA NEGERI SURABAYA ( PENS ) DENGAN MENGGUNAKAN METODE PRACETAK**

Nama Mahasiswa : Whisnu Dwi Wiranata  
NRP : 3110100125  
Jurusan : Teknik Sipil  
Dosen Konsultasi : 1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DE.A  
2. Ir. Kurdian Suprpto, M.S

## **ABSTRAK**

*Beton pracetak banyak menawarkan keunggulan dibandingkan dengan metode konstruksi konvensional atau cor setempat dalam hal kontrol kualitas, pengurangan jumlah pekerja dan pekerjaan yang dilakukan dilapangan lebih memerlukan waktu yang singkat. Bentuk komponen strukturnya sederhana dan ringkas sehingga memudahkan dalam hal fabrikasi dan transportasi. Sehingga metode beton pracetak merupakan salah satu metode yang dapat menunjang proses pembangunan gedung dengan cepat, selain itu beton pracetak dapat mengurangi penggunaan bekisting, serta tidak membutuhkan site yang cukup luas karena pengerjaan beton pracetak berada di workshop.*

*Perencanaan ulang gedung PENS (Politeknik Elektronika Negeri Surabaya) ini, selain dibutuhkan perencanaan yang kuat dan aman perencanaan ini haruslah diselesaikan dengan cepat. Selain itu mempertimbangkan perencanaan gedung PENS yang ada pada gambar rencana (arsitektutural) yang tipikal ukurannya. Pembangunan gedung di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya ini direncanakan ulang menggunakan beton pracetak yang memiliki ketinggian keseluruhan setinggi 50,9 meter. Pada gedung tersebut yang di modifikasi pada balo primer, balok sekunder, serta pelat, sedangkan untuk elemen kolom serta tangga menggunakan metode cor di tempat (cor in situ).*

*Perhitungan pembebanan dari beban gravitasi menggunakan PPIUG 1987. Sedangkan untuk beban lateral seperti beban gempa menggunakan SNI 03-1726-2012. Untuk perhitungan penulangan lentur maupun geser dan torsi elemen pracetak menggunakan ketentuan dari SNI 03-2847-2002. Serta gaya-gaya dalam yang terjadi akibat proses pengangkatan elemen pracetak dihitung menggunakan PCI Design Handbook Fifth Edition.*

*Tujuan akhir dalam modifikasi perencanaan gedung ini adalah gedung ini harus mampu menerima gaya gravitasi serta gaya gempa sesuai zona gempa gedung ini berada.*

*Kata kunci : PENS , Pracetak , SRPMM*

# **RE-DESIGN OF THE ELECTRONIC ENGINEERING INSTITUTE OF SURABAYA (PENS) BUILDING BY USING PRECAST METHOD**

Name of Student : Whisnu Dwi Wiranata  
Identity Number : 3110100125  
Department : Civil Engineering  
Supervisor : 1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DE.A  
2. Ir. Kurdian Suprpto, M.S

## **ABSTRACT**

*Comparing to cast in site or conventional construction method, precast concrete offers many more advantages in term of quality control, the reduction of the total of workers involved and of the time taken for completing works in the field. Also, the form of structure component is plain and concise. Thus, it eases the fabrication and transportation process. As a result, precast concrete method becomes one of the methodes which can support the process of constructing a building in relatively shorter time. Besides, precast concrete can decrease the use of formworks and it does not require huge sites since the production takes place in the workshop.*

*The re-design of the Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (PENS) building involves study and secure design that should be done promptly. Considering the design of Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (PENS) building on the planning figure (architectural) which has typical size should be done as well. The re-design was done by using precast concrete with overall height of 50,9 meters. Primary and secondary beams and the plate were modified while the column element and the ladder used cast in site method.*

*The calculation of the gravity load used PPIUG 1987. Meanwhile, the lateral load such as earthquake load used SNI 03-1726-2012. Additionally, the calculoation of the flexure and shear*

*reinforcement and the torque of precast element used the requirements of SNI 03-2847-2002. Furthermore, the internal forces as a result of the precast element lifting process used PCI Design Handbook Fifth Edition.*

*The final purpose of the modification of the building redesign aimed at making the building receive the force of gravity and of an earthquake according to the earthquake zone where the building is located.*

*Keyword : PENS , Precast , SRPMM*

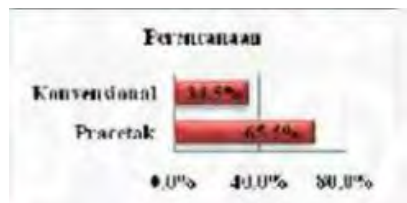
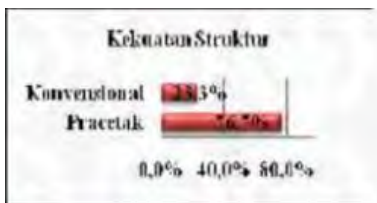
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Pracetak merupakan suatu proses produksi komponen struktur/arsitektural bangunan pada suatu tempat atau lokasi yang berbeda dengan tempat/lokasi dimana komponen struktur/arsitektural tersebut akan digunakan (Ervianto, 1999). Sedangkan menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 3.16 beton pracetak merupakan elemen yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan. Dalam hal seperti ini beton pracetak tidaklah berbeda dengan beton biasa. Yang membedakannya adalah beton pracetak dicetak ditempat khusus (secara fabrikasi) sedangkan beton biasa dibuat langsung di tempat (*cor in-situ*).

Sistem pracetak memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan beton cor setempat. Beberapa keunggulan yang telah diteliti sebelumnya dapat dilihat pada gambar 2.1





Gambar 2.1 Perbandingan tingkat kepuasan kontraktor menggunakan metode pracetak dengan cor setempat dengan berbagai macam kriteria

(Sumber : Khakim, Anwar, dan Hasyim, 2011)

## 2.2 Karakteristik Resiko Gempa Wilayah

Pada SNI 03-1726-2012 dalam perencanaan desai seismik gempa, bangunan gedung dan non gedung di kategorikan beberapa jenis (pasal 4.1), serta diklasifikasikannya situs tanah yang nantinya akan dihitung respon spektral yang terjadi pada daerah tersebut.

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Pembebanan gempa didesain sesuai dengan kategori resiko bangunan gedung, situs tanah, serta parameter percepatan gempa.

Tabel 2.1 Kategori risiko gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Tabel 2.1 Kategori risiko gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Dari tabel diatas akan didapatkan kategori resiko bangunan gedung dan non gedung tersebut, akan didapatkan faktor keutamaan gempa.

Tabel 2.2 faktor keutamaan gempa

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

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah

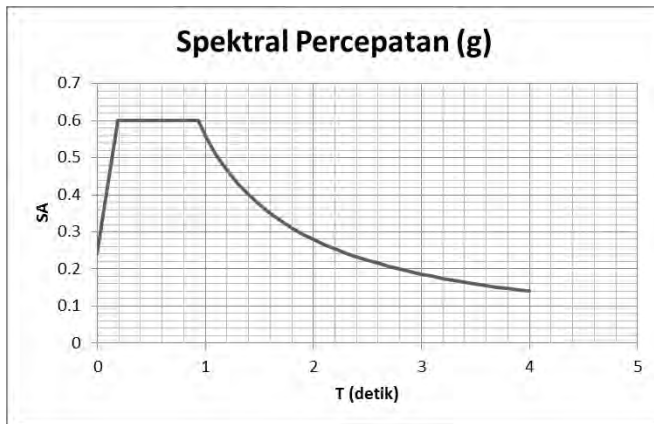
Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{60}$	$\sigma_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100



Tabel 2.3 Klasifikasi tanah (lanjutan)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{60}$	$\bar{\sigma}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir, $\bar{\sigma}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah teresementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{\sigma}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai



Gambar 2.2 Respon spectrum rencana

## 2.3 Sistem Struktur dan Struktur Gedung

### 2.3.1 Sistem Struktur

Pada Perencanaan suatu gedung, sistem struktur yang digunakan merupakan hal yang perlu diperhatikan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2010 pasal 23.2 suatu bangunan gedung diharuskan memiliki sistem struktur yang sesuai dengan faktor daya tahan terhadap gempa. Berikut adalah pembagian sistem struktur menurut wilayah gempanya :

1. Wilayah gempa 1 dan 2 (resiko gempa rendah).  
Desain dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan dinding struktur dengan beton biasa.
2. Wilayah gempa 3 dan 4 (resiko gempa sedang).  
Desain dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB) dengan beton tanpa detailing khusus.
3. Wilayah gempa 5 dan 6 (resiko gempa tinggi).  
Desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktur Khusus dengan beton khusus.

### **2.3.2 Struktur Gedung**

Suatu gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan apabila memenuhi ketentuan SNI 03-1726-2010. Jika gedung tidak memenuhi ketentuan tersebut maka ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan.

### **2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah**

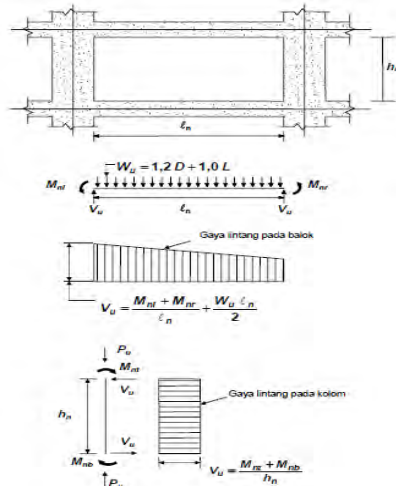
Untuk memikul gaya-gaya akibat gempa yang terjadi di daerah gempa resiko menengah hendaknya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah pada SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10. Pada pasal tersebut salah satunya menyatakan bahwa kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

1. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung

bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban grafitasi terfaktor.

2. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E, dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahap gempa.

Tujuan persyaratan-persyaratan pada Pasal 23.10 adalah untuk mengurangi kegagalan geser sewaktu terjadi gempa.



Gambar 2.3 Gaya lintang untuk SRPMM

## 2.5 Elemen Struktur Pracetak

### 1. Pelat

Pelat dianggap sebagai diafragma yang sangat kaku untuk mendistribusikan gempa yang terjadi. Pada waktu pengangkatan atau sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi saat pelat sudah komposit (Wiryanto Dewobroto, 2007).

Ada beberapa jenis umum pelat pracetak yang sering digunakan, yaitu :

- a. Pelat pracetak berlubang (Hollow core slab).
- b. Pelat pracetak tanpa lubang (Solid Slab)
- c. Pelat pracetak Double Tees dan Single Tees

## 2. Balok

Balok berfungsi untuk memikul beban-beban semisal beban pelat dan berat balok itu sendiri serta beban-beban lain yang bekerja pada struktur tersebut.

Ada 3 jenis balok pracetak, yaitu :

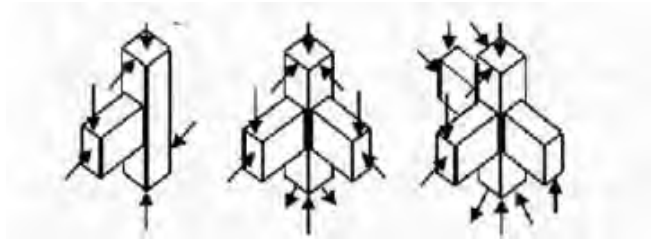
- a. Balok berpenampang L (L-shaped beam)
- b. Balok berpenampang T terbalik (Inverted Tee Beam)
- c. Balok berpenampang persegi (rectangular beam)

Keuntungan dari balok jenis ini adalah pada saat fabrikasi memudahkan dalam bekisting, selain itu lebih ekonomis.

## 2.6 Perencanaan Sambungan

Dalam perencanaan beton pracetak baik komponen pelat lantai, balok, kolom harus memperhatikan sambungan. Sambungan memiliki beberapa fungsi diantaranya adalah menyalurkan beban-beban yang bekerja, menyatukan masing-masing komponen beton pracetak tersebut menjadi satu kesatuan yang monolit sehingga dapat mengupayakan stabilitas struktur bangunannya (Muh. Syarif BP, 2011).

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 18.6 gaya-gaya boleh disalurkan antara komponen-komponen struktur dengan menggunakan *grouting*, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi dari cara-cara tersebut.



Gambar 2.4 Macam-macam arah gaya di sambungan balok – kolom

(sumber : Paulay, T., Priestley, MJ.N dalam Muh. Syarif BP, 2011)

Sambungan pada komponen beton pracetak dibagi 2 macam, yaitu sambungan basah serta sambungan kering. Sambungan basah merupakan sambungan dengan menggunakan cor setempat (*in situ concrete joint*). Untuk sambungan kering dapat menggunakan sambungan las ataupun sambungan baut.

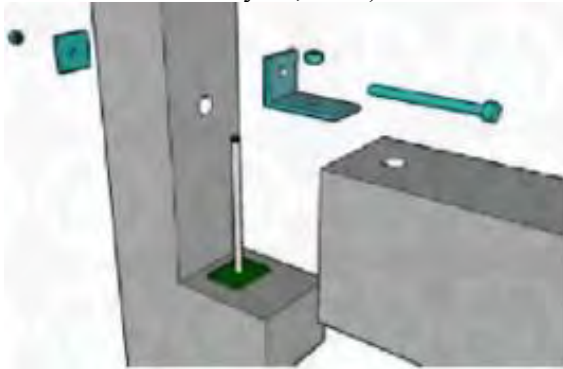
a. Sambungan Basah (*In-situ concrete joint*)

Pada komponen beton pracetak terdapat besi tulangan yang keluar dari bagian ujungnya, dimana antar tulangan pada komponen beton pracetak nantinya akan dihubungkan dengan bantuan *mechanical joint*, *mechanical coupled*, *splice sleeve*, maupun panjang penyaluran. Kemudian pada bagian sambungan dilakukan pengecoran beton.

Sambungan basah dapat berfungsi untuk mengurangi penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut, serta perubahan suhu. Selain itu sambungan basah dianjurkan untuk bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing-masing komponen beton pracetak menjadi monolit. (M. Abduh dalam H Wahyudi, 2010)

b. Sambungan Kering (*Dry connection*)

Pada sambungan kering digunakan pelat besi sebagai penghubung antar komponen beton pracetak, dan antara pelat besi dan komponen beton pracetak tersebut dilakukan pengelasan atau pembautan. Penggunaan sambungan kering diperlukan perhatian khusus dalam analisa dan pemodelan komputer, karena antar elemen struktur bangunan dapat berperilaku tidak monolit. (M. Abduh dalam H Wahyudi, 2010)



Gambar 2.5 Ilustrasi sambungan kering menggunakan baut  
(Sumber : H Wahyudi, 2010)

- Sambungan Menggunakan Las

Ochs dan Ehsani (1993) mengusulkan dua sambungan ditempatkan pada lokasi sendi plastis pada permukaan kolom sesuai konsep *Strong Column Weak Beam*.

- Sambungan Menggunakan Baut

DPCF System (Ductile Precast Concrete Frame System) merupakan suatu sistem penyambungan daktail yang telah dikembangkan oleh Englekirk dan Nakaki, Inc. Irvine California dan Dywidag System International USA, Inc. Long Beach California. Penyambungan ini dilakukan

menggunakan baut untuk menghubungkan elemen satu dengan elemen yang lain.

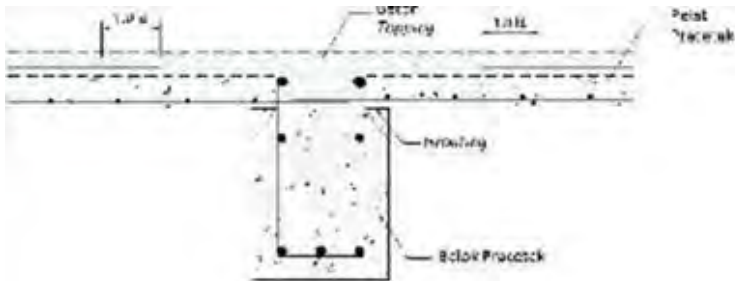
Berikut adalah tabel 2.4 perbandingan antara sambungan basah dan sambungan kering (sumber : Ervianto dalam A'mar Maruf, 2011):

Deskripsi	Sambungan Basah	Sambungan Kering
Keutuhan Struktur	Monolit	Tidak Monolit
Waktu agar sambungan berfungsi secara efektif	Perlu <i>setting time</i>	Segera dapat berfungsi
Ketinggian Bangunan	-	Max. 25 meter
Waktu Pelaksanaan	Lebih lama karena membutuhkan waktu untuk <i>setting time</i>	Lebih cepat 25% - 40% dari <i>in-situ concrete joint</i>
Toleransi Dimensi	Lebih tinggi dari sambungan baut dan las	Rendah, sehingga dibutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan <i>erection</i>

## 2.7 Tipe Sambungan

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada setiap elemen-elemen beton pracetak maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja tersalurkan dengan benar. Maka dari itu perlu adanya tipe sambungan yang nantinya akan bekerja pada struktur tersebut. Tipe – tipe sambungan tersebut diantaranya adalah :

- a. Sambungan antara Pelat Pracetak dengan Balok Pracetak  
 Pada sambungan antara pelat pracetak dengan balok pracetak perlu diperhatikan gaya – gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok sehingga dapat menghasilkan sambungan yang kaku, monolit serta terintegrasi.

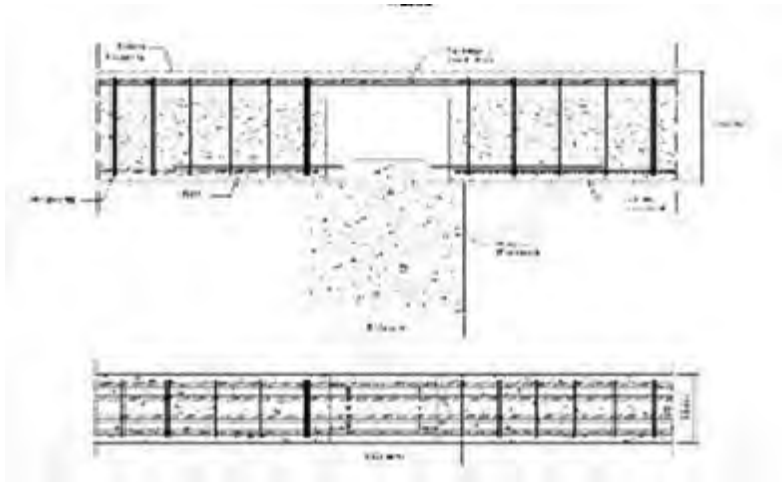


Gambar 2.6 Sambungan antara pelat pracetak dengan balok pracetak

(Sumber : PCI design handbook 4<sup>th</sup> edition, 1992)

- b. Sambungan antar Balok Pracetak  
 Pada sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus direncanakan dengan teliti. Selain balok – kolom merupakan struktur utama, sambungan balok – kolom harus bersifat kaku atau monolit sehingga sambungan tersebut memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat.





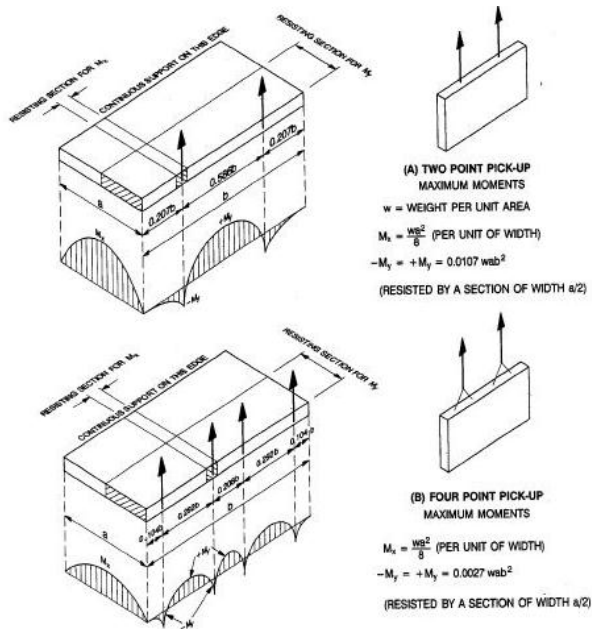
Gambar 2.7 Sambungan antar balok pracetak  
(Sumber : PCI design handbook 4<sup>th</sup> edition, 1992)

## 2.8 Pengangkatan Elemen Pracetak

Untuk menjamin agar elemen pracetak tidak mengalami kerusakan /keretakan elemen pracetak harus diperhatikan dengan pada saat proses pengangkatan maupun penyimpanan. Setelah dilakukan perencanaan struktur sekunder perlu dilakukan kontrol pengangkatan, dimana dalam pelaksanaan pekerjaan beton pracetak erection atau pengangkatan elemen pracetak dari site ke tempat pemasangan beton pracetak harus diperhatikan dengan teliti.

Berikut adalah beberapa tata cara mengangkat pelat pracetak sesuai PCI design handbook 5<sup>th</sup> edition, 1999.

a. Titik angkat untuk pelat beton pracetak pada tepi plat



Gambar 2.8 Titik angkat untuk beton pracetak pada tepi plat

- Momen maksimum pada saat pengangkatan menggunakan 2 titik.

$$M_x = \frac{wa^2}{8} \text{ (per unit of width)}$$

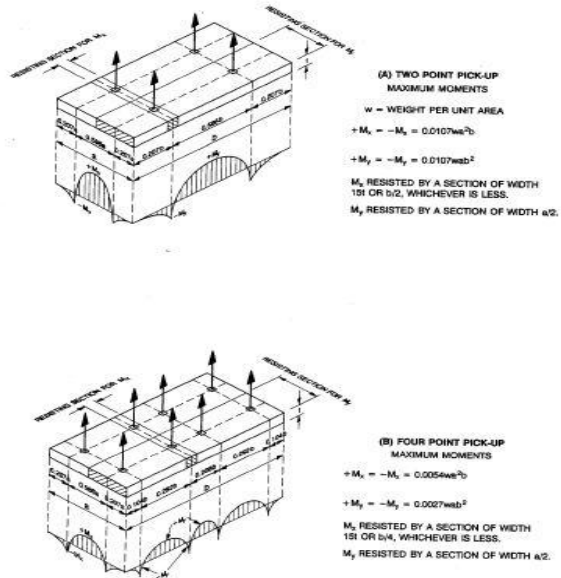
$$-M_y = +M_y = 0,0107 wab^2$$

- Momen maksimum pada saat pengangkatan menggunakan 4 titik.

$$M_x = \frac{wa^2}{8} \text{ (per unit of width)}$$

$$-M_y = +M_y = 0,0027 wab^2$$

b. Titik angkat untuk pelat beton pracetak pada lantai plat



Gambar 2.9 Titik angkat untuk pelat beton pracetak pada lantai plat

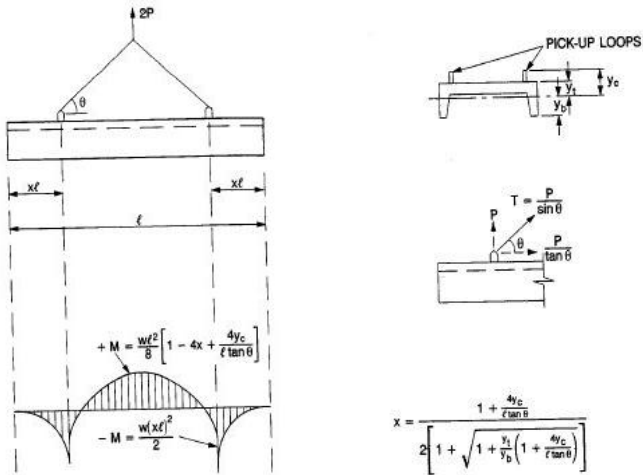
- Momen maksimum pada saat pengangkatan menggunakan 2 titik.
 
$$+M_x = -M_x = 0,0107 wa^2b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0107 wab^2$$
- Momen maksimum pada saat pengangkatan menggunakan 4 titik.
 
$$M_x = \frac{wa^2}{8} \text{ (per unit of width)}$$

$$-M_y = +M_y = 0,0027 wab^2$$

Dimana :  $w$  = Weight per unit area

## c. Titik angkat untuk balok beton pracetak



Gambar 2.10 Titik angkat untuk balok beton pracetak pada lantai plat

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

## 2.9 Pondasi Dalam

Dikatakan pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman pondasi ( $D$ ) dengan diameternya ( $B$ ) adalah lebih besar sama dengan 10 atau  $D/B \geq 10$  (Wahjudi, 1999). Menurut bahannya, type pondasi dalam dapat dibedakan menjadi :

- Pondasi kayu (bambu)

- Pondasi beton
- Pondasi baja

Yang paling sering digunakan sebagai pondasi permanen dari ketiga type diatas adalah pondasi tiang beton dan baja. Ujung bawah atau dasar dari pondasi memiliki dua type, diantaranya adalah type tertutup (*Closed-end*) dan type terbuka (*Open-ended*).

$$Q_L = Q_S + Q_P$$

Di dalam memprediksi harga  $Q_L$ , harga  $Q_P$  dan  $Q_S$  tidak harus selalu ada. Apabila memakai type friction pile (dasar pondasi tidak mencapai lapisan relatif keras), maka harga  $Q_P = 0$ . Sebaliknya apabila pondasi tiang murni mengandalkan aspek poin bearing (pondasi melintasi lapisan very soft clay dan menumpu langsung diatas lapisan tanah keras), maka  $Q_S = 0$ .

## 2.10 Daya Dukung Pondasi Berdasarkan Standart Penetration Test (S.P.T)

### 1. Prinsip

Setelah lubang digali, sebuah tabung silinder baja standart dimasukkan hingga ke dasar lubang dan dipancang sedalam  $\pm 15$  cm pada "Undisturbed Soil". Catat jumlah pukulan N untuk pemancangan berikutnya sedalam  $\pm 30$ cm, dst.

Tabel 2.5 SPT Cohesionless

Tabel : SPT Cohesionless (J.E. BOWLES, 1984)

		Cohesionless Soil / Sol Pulvérulent				
N	(blows)	0 - 3	4 - 10	11 - 30	31 - 50	> 50
$\gamma$	(KN/m <sup>3</sup> )	-	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23
$\phi$	(°)	-	25 - 32	28 - 35	30 - 40	> 35
State		Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr	(%)	0 - 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
		Cohesive Soil / Sol Cohérent				
N	(blows)	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
$\gamma$	(KN/m <sup>3</sup> )	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
$q_u$	(kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Consistency		Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

## 2. Harga N Koreksi

Harga N dibawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan (Terzaghi & Peck) :

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Dimana :

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk dibawah muka air tanah

## 3. Daya Dukung Tiang Pancang

### a) Metode Meyerhof

$$Q_L = Q_S + Q_P = 4 \cdot N \cdot A_p + \frac{\pi \cdot B \cdot D}{50} \cdot N_{ul}$$

WIKA memodifikasi persamaan diatas menjadi :

$$Q_L = 40 \cdot N \cdot A_p + (A_s \cdot N_{av})/5$$

Dimana :

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum (ton)

N = Harga SPT di dasar pondasi

$N_{av}$  = Harga N rata-rata disepanjang tiang yang terbenam (D)

$A_p$  = Arae of pile base ( $m^2$ ) =  $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$

$A_s$  = Gross surface area of shaft ( $m^2$ )

B = Diameter tiang pondasi

$$Q_{ad} = Q_L / F, \text{ dengan } F = 2$$

### b) Metode Luciano Decourt

$$Q_L = Q_S + Q_P$$

- $Q_P = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$

- $Q_S = q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Dimana :

NP = harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

$$= \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

B = diameter dasar pondasi

K = koefisien karakteristik tanah :

12 t/m<sup>2</sup> = 117.7 kPa (lempung)

20 t/m<sup>2</sup> = 196 kPa (lanau berlempung)

25 t/m<sup>2</sup> = 245 kPa (lanau berpasir)

40 t/m<sup>2</sup> = 392 kPa (pasir)

A<sub>p</sub> = luas penampang dasar tiang

q<sub>p</sub> = tegangan diujung tiang

N<sub>s</sub> = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan  $3 \leq N_s \leq 50$

A<sub>s</sub> = luas selimut tiang

q<sub>s</sub> = tegangan akibat lekatan lateral t/m<sup>2</sup>

$\alpha$  dan  $\beta$  = koefisien berdasarkan tipe pondasi dan jenis tanah

## 2.11 Metode Membangun dengan Konstruksi Pracetak

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam membangun suatu konstruksi beton pracetak adalah sebagai berikut (Rahman, 2005):

- a) Rangkaian kegiatan yang dilakukan pada proses produksi:
  1. Pembuatan rangka tulangan
  2. Pembuatan cetakan
  3. Pembuatan campuran beton
  4. Pengecoran beton
  5. Perawatan beton (*curing*)
  6. Penyempurnaan akhir
  7. Penyimpanan

b) Transportasi dan alat angkat

Transportasi merupakan kegiatan pengangkutan elemen pracetak dari pabrik ke lokasi pemasangan. Sistem transportasi ini sangat berpengaruh terhadap waktu, efisiensi konstruksi dan biaya. Yang harus diperhatikan dalam sistem transportasi ini adalah :

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

Alat angkat adalah alat untuk memindahkan elemen beton pracetak dari tempat penumpukan ke posisi perakitan. Alat angkat dikategorikan sebagai berikut :

1. Mobile Crane
2. Telescopic Crane
3. Tower Crane
4. Portal Crane

c) Pelaksanaan konstruksi (*Erection*)

Metode dan jenis ereksi yang terjadi pada pelaksanaan konstruksi pracetak diantaranya :

1. Dirakit per elemen
2. *Lift – Slab System*  
*Lift – Slab System* merupakan pengikatan elemen lantai ke kolom dengan menggunakan dongkrak hidrolis.
3. *Slip – Form System*  
Sistem ini beton dituangkan diatas cetakan baja yang dapat bergerak memanjat ke atas mengikuti penambahan ketinggian dinding yang bersangkutan.
4. *Push – Up/ Jack – Block System*  
Sistem ini lantai teratas atap di cor terlebih dahulu kemudian diangkat dengan *hydraulic – jack* yang dipasang di bawah elemen pendukung vertikal.



5. *Box System*

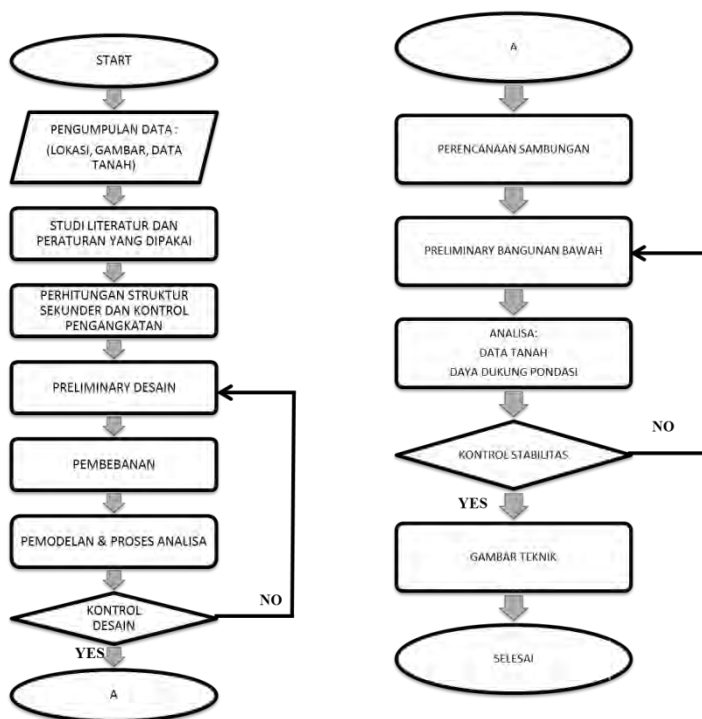
Sistem yang menggunakan dimensional berupa modul – modul kubus beton.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

### BAB III

## METODOLOGI

Guna memperlancar Tugas Akhir, maka diperlukan alur dari setiap tahapan perencanaan. Tahapan-tahapan yang akan digunakan untuk merencanakan Gedung perkuliahan PENS pada Tugas Akhir ini adalah. :



Gambar 3.1 Diagram Alir pengerjaan tugas akhir

### 3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan merupakan data lapangan yang digunakan dalam perencanaan. Data tersebut berupa data tanah, bahan, dan data gedung yang digunakan sebagai objek perencanaan ulang dalam hal ini gedung perkuliahan PENS, seperti siteplan, denah, pembalokan, serta data-data lain yang diperlukan.

- Data Umum Gedung :
  - Nama Gedung : Gedung Perkuliahan PENS
  - Lokasi Gedung : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
  - Fungsi Gedung : Gedung Perkuliahan
  - Jumlah Lantai : 12 Lantai ( 1 lantai semi basement, 11 Lantai utama)
  - Tinggi Total Gedung : 50,9 meter
- Data Bahan :
  - Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 35 MPa
  - Mutu Baja ( $f_y$ ) : 400 MPa
- Data Tanah : Terlampir

### 3.2 Studi Literatur dan Peraturan yang Dipakai

Mencari literatur dan Peraturan yang digunakan dalam perencanaan ulang yang akan menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Adapun beberapa literatur serat peraturan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. SNI 03-2847-2002
2. SNI 03-1726-2012
3. PCI 5<sup>th</sup>
4. PPIUG 1987
5. Purwono, Rahmat. 2005. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya : ITS Press.

6. Wahyudi, Herman. 1999. Daya Dukung Pondasi Dalam, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

### 3.3 Perhitungan Struktur Sekunder

Perhitungan struktur sekunder ini meliputi pelat, balok anak, tangga. Dalam pendetailan penulangan pelat dapat melihat berapa besarnya gaya momen yang bekerja pada pelat tersebut. Beban-beban yang diterima oleh pelat akan diteruskan ke balok anak. Beban tersebut dihitung sebagai beban ekuivalen trapesium, segitiga dan dua segitiga yang selanjutnya akan diperoleh gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok anak untuk digunakan dalam merencanakan tulangan lentur dan geser.

#### 3.3.1 Perencanaan Pelat

##### 3.3.1.1 Perencanaan dimensi pelat

Dalam merencanakan dimensi pelat harus sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2002 sebagai berikut :

Tabel 3.1 Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, $h$			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$\ell/16$	$\ell/18,5$	$\ell/21$	$\ell/8$
<p><b>CATATAN</b>            Panjang bentang dalam mm.            Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal (<math>w_c = 2\ 400\ \text{kg/m}^3</math>) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:            (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis di antara <math>1\ 500\ \text{kg/m}^3</math> sampai <math>2\ 000\ \text{kg/m}^3</math>, nilai tadi harus dikalikan dengan <math>[1,65 - (0,000\ 3)w_c]</math> tetapi tidak kurang dari <math>1,09</math>, dimana <math>w_c</math> adalah berat jenis dalam <math>\text{kg/m}^3</math>.            (b) Untuk <math>f_y</math> selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan <math>(0,4 + f_y/700)</math>.</p>				

(Sumber : SNI 03- 2847-2002 Tabel 8)

### 3.3.1.2 Perencanaan Tulangan Pelat

Perhitungan keperluan tulangan lentur dapat ditempuh dengan langkah-langkah sebagai berikut :

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

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

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

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times \beta \times f'c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Nilai  $\beta$  tergantung dari nilai  $f'c$ .

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

Rasio keperluan tulangan yang digunakan :

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

Jika  $\rho < \rho_{min}$  maka  $\rho_{pakai} = \rho_{min}$ , apabila  $\rho > \rho_{max}$  maka  $\rho_{pakai} = \rho_{max}$ ,  $\rho_{pakai}$  tersebut nantinya dipakai digunakan untuk menghitung tulangan yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus :

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d$$

Tulangan geser direncanakan berdasar SNI-2847-2002 pasal 23.10.6.

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi :

$$V_{vh} = T = C = A_s \cdot f_y$$

- Kuat geser horisontal menurut SNI 03-2847-2002, pasal 19.5 adalah :

$$\phi \times V_{nhc} = \phi \times 0,6 \times b_v \times l_{vh}$$

- SNI 03-2847-2002 pasal 13.7.4. tulangan geser horisontal perlu :

$$A_{vh} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$$

- Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 14 adalah sebagai berikut :

- Panjang penyaluran  $l_d \geq 300$  mm
- Untuk batang ulir atau kawat ulir,  $l_d/d_b$

Tabel 3.2 Penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan  atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f'_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f'_c}}$

Faktor-faktor yang digunakan pada persamaan-persamaan untuk penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik pada pasal 14 adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 faktor-faktor pengali pada penyaluran tulangan tarik

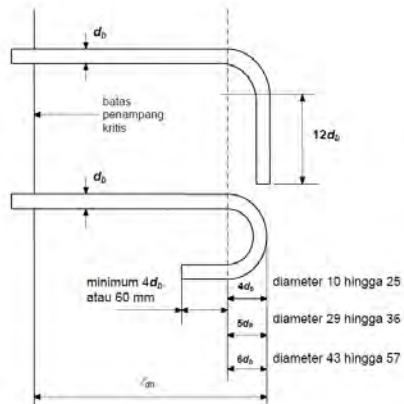
$\alpha$ = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
$\beta$ = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ , atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

Walaupun demikian, hasil perkalian  $\alpha\beta$  tidak perlu diambil lebih besar dari 1,7.

$\gamma$ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0
$\lambda$ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila $f'_c$ disyaratkan, maka $\lambda$ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f'_{cr})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0



➤ Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik



Gambar 3.2 Detail kaitan untuk penyaluran kait standard (SNI 03-2847-2002, gambar 17)

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 14.5 panjang penyaluran  $l_h > 8d_b$  atau 1500 mm, serta panjang penyaluran dasar :

$$l_{dh} = \frac{100 d_b}{\sqrt{f_c f}}$$

Tabel 3.4 Faktor pengali penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik

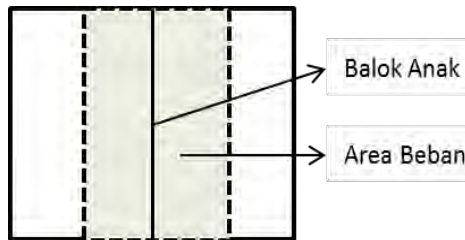
Kondisi	Faktor
Mutu Tulangan, batang selain $f_y = 400$	$F_y / 400$
Selimit beton, batang D-36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimit samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm dan untuk kait $90^\circ$ dengan tebal selimit terhadap kait tidak kurang dari 50 mm	0,70
Senggang, batang D-36 dan yang lebih kecil yang secara vertikal atau horisontal dilindungi oleh senggang yang dipasang sepanjang $l_{dh}$ dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$	0,8
Beton ringan	1,30
Tulangan berpoksi	1,20

### 3.3.2 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan tangga, perhitungan penulangan bordes serta pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol).

### 3.3.3 Perencanaan Balok Anak

Beban pelat yang diteruskan ke balok dihitung sebagai beban persegi panjang. Beban diambil dari setengah area pertama ditambah setengah area ke dua.



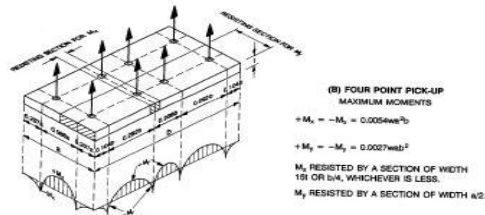
gambar 3.3 area beban yang diterima oleh balok anak

### 3.3.4 Kontrol Pengangkatan Elemen Pracetak

Setelah dilakukan perencanaan struktur sekunder perlu dilakukan kontrol pengangkatan, dimana dalam pelaksanaan pekerjaan beton pracetak erection atau pengangkatan elemen pracetak dari site ke tempat pemasangan beton pracetak harus diperhatikan dengan teliti.

Dari berbagai macam dan jenis pengangkatan elemen beton pracetak yang ada, maka dalam tugas akhir ini akan menggunakan metode pengangkatan beton pracetak dengan 4 titik pengangkatan.

a. Titik angkat untuk pelat beton pracetak pada lantai plat



Gambar 3.4 Titik angkat untuk pelat beton pracetak pada lantai pelat

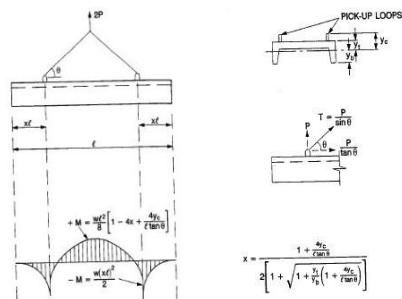
- Momen maksimum pada saat pengangkatan menggunakan 4 titik.

$$M_x = \frac{wa^2}{8} \text{ (per unit of width)}$$

$$-M_y = +M_x = 0,0027 wab^2$$

Dimana : w = Weight per unit area

b. Titik angkat untuk balok beton pracetak pada lantai pelat



Gambar 3.5 Titik angkat untuk balok beton pracetak pada lantai pelat

### 3.4 Preliminary desain

Preliminary desain merupakan perencanaan dimensi elemen-elemen struktur yang mencakup balok anak, balok induk, kolom, dan pelat. Tahapan ini diperlukan dalam panduan perhitungan struktur dan analisa pada perencanaan dari gedung ini.

#### 3.4.1 Perencanaan Balok Induk

Penentuan tinggi balok minimum,  $h_{min}$  dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.2.3b, dimana bila persyaratan ini telah dipenuhi maka tidak dilakukan kontrol terhadap lendutan.

$$H_{min} = \frac{1}{16} L$$

- a. Untuk struktur ringan dengan berat jenis  $1500 \text{ Kg/m}^3 - 2000 \text{ Kg/m}^3$ , nilai diatas harus dilakukan dengan  $(1,65 - (0,0003) Wc)$  tetapi tidak kurang dari 1,09
- b. Untuk  $f_y$  selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$

Dimana :  $L$  = Panjang bentang

$Wc$  = Berat jenis beton

$f_y$  = Mutu baja

#### 3.4.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Pada SNI 03-2847-2002 untuk komponen struktur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat, maka  $\phi = 0,7$ , tapi  $\phi$  tersebut hanya memperhitungkan akibat gaya aksial saja. Maka agar kolom juga mampu memikul gaya momen diambil  $\phi = 0,65$ .

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

- Dimana :
- W = Beban aksial yang diterima kolom
  - $f_c'$  = Kuat tekan beton karakteristik
  - A = Luas penampang kolom

### 3.5 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan. Berikut adalah analisa pembebanan yang akan dipakai :

- **Beban Gravitasi**  
Beban yang bekerja pada struktur bangunan atas dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.5 Jenis Pembebanan

Jenis Beban	Beban	Besar Beban	Sumber
Mati	Berat volume beton bertulang	2400 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987
	Penutup lantai ubin, per cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987
	Spesi dari campuran semen, per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987
	Plafon asbes tebal 4 mm dengan rangka dan penggantung dari kayu	18 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987

	Pipa-pipa dan ducting untuk pekerjaan mekanikal dan elektrik	30 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987
	pasangan dinding setengah bata	250 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987
Hidup	Beban Hidup pada perkantoran	250 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987
	Beban hidup pekerja	100 kg/m <sup>2</sup>	PPIUG 1987

- **Beban Gempa**

Sesuai dalam SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Pembebanan gempa didesain sesuai dengan kategori resiko bangunan gedung, situs tanah, serta parameter percepatan gempa.

Untuk kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Untuk gempa rencana, faktor keutamaan, serta kategori risiko struktur bangunan diatur dalam SNI 03-1726-2012 pasal 4.1.1 dan pasal 4.1.2.

Penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs guna memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan dituangkan dalam SNI 03-1726-2012 pasal 5.1, perumusan dari kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu.

Tabel 3.6 Kategori risiko gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Tabel 3.6 Kategori risiko gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Dari tabel diatas akan didapatkan kategori resiko bangunan gedung dan non gedung tersebut, akan didapatkan faktor keutamaan gempa.

Tabel 3.7 faktor keutamaan gempa

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

Tabel 3.8 Klasifikasi tanah

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{60}$	$\sigma_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100



Tabel 3.8 Klasifikasi tanah (lanjutan)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{60}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

- Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam proses perhitungan struktur menggunakan kombinasi beban untuk metode ultimate sesuai SNI 03-1726-2010 pasal 4.2.2, yaitu sebagai berikut :

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L
- 1,2 D + 1,0 L + 1,0E
- 1,2 D + 1,0 L - 1,0E
- 0,9 D + 1,0 E
- 0,9 D - 1,0 E

Keterangan :     D     : Beban Mati  
                           L     : Beban Hidup  
                           E     : Beban Gempa

### 3.6 Pemodelan dan Analisa Struktur

Pada saat pekerjaan pemasangan, balok dimodelkan sebagai balok sederhana diatas dua tumpuan. Sedangkan saat akhir konstruksi balok dimodelkan sebagai balok menerus (setelah diberi topping). Pelat lantai dimodelkan sebagai

diafragma kaku yang berfungsi untuk mendistribusikan gaya gempa yang terjadi pada unsur penahan beban berupa frame balok dan kolom. Untuk struktur utama dimodelkan sebagai momen resisting frame system.

Model struktur dibuat mendekati seperti kondisi aslinya yaitu menyatukan struktur utama serta struktur sekunder. Komponen-komponen struktur utama dan sekunder akan dimodelkan dalam SAP 2000. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisa struktur utama diantaranya adalah :

- Bentuk gedung.
- Dimensi tiap-tiap elemen struktur yang telah dicari dari perhitungan preliminary desain.
- Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanannya.

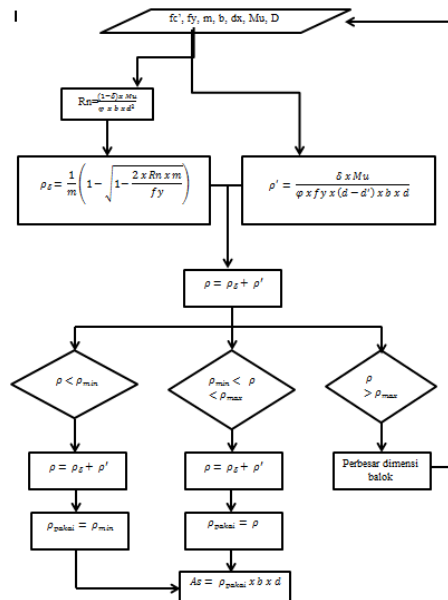
### 3.7 Kontrol Desain

Pada tahapan ini, perlu dikontrol terlebih dahulu sebelum memasuki tahapan selanjutnya. Kontrol ini berupa kontrol terhadap geser, lendutan, serta lentur.

Gaya dalam yang diperoleh dari analisa struktur yang menggunakan program bantu SAP 2000 akan digunakan untuk pendetailan elemen-elemen struktur utama. Pendetailan ini untuk merencanakan tulangan lentur maupun geser pada balok dan kolom.

- Tata cara perhitungan penulangan pada komponen balok harus memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.1.

○ Penulangan Lentur



Gambar 3.6 Diagram alir perhitungan penulangan komponen struktur lentur

○ Penulangan Geser

Pada perhitungan kebutuhan tulangan geser dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Hitung  $V_u$  pada titik berjarak  $d$  dari ujung perletakan
  - Cek  $V_u \leq \phi \left( V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d \right)$
  - Bila tidak memenuhi maka perbesar penampang
- Kriteria kebutuhan tulangan geser :
- a.  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$  (tidak perlu penguatan geser).

- b.  $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$  (dipakai tulangan geser minimum).
- c.  $\phi (V_c + V_{s_{min}}) < V_u \leq \phi (V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} . bw . d)$   
(perlu tulangan geser).

dimana :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} . bw . d$$

$$V_s = \sqrt{\frac{f'c'}{3}} . bw . d$$

$$\Phi = 0,6 \text{ (untuk geser)}$$

Keterangan :

$V_c$  = Kekuatan geser Nominal yang diakibatkan oleh beton

$V_s$  = Kekuatan geser Nominal yang diakibatkan oleh tulangan geser

$V_n$  = Kekuatan geser Nominal ( $V_c + V_s$ )

$V_u$  = Gaya geser berfaktor

- o Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3.4

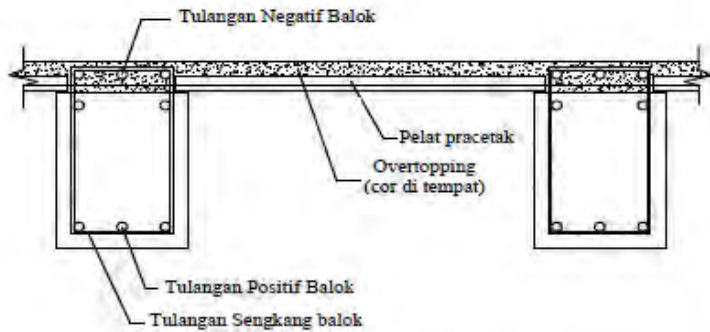
Jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak boleh melebihi :  
( $d/2$ )

- Komponen kolom harus memenuhi persyaratan penulangan kolom yang tercantum pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.2 dan perhitungan tulangan geser pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.5.

### 3.8 Perencanaan Sambungan

Perencanaan yang akan digunakan dalam perencanaan gedung perkuliahan PENS adalah sambungan basah dengan sistem rigid.

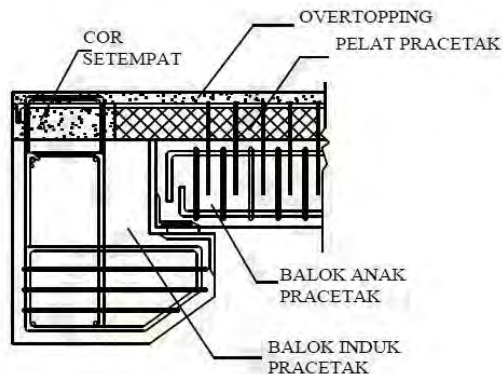
- Sambungan Pelat Pracetak dengan Balok Induk Pracetak.  
Sambungan pelat pracetak dengan balok induk pracetak yaitu diberi overtopping.



Gambar 3.7 Sambungan Pelat Pracetak dengan Balok Induk Pracetak

- Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

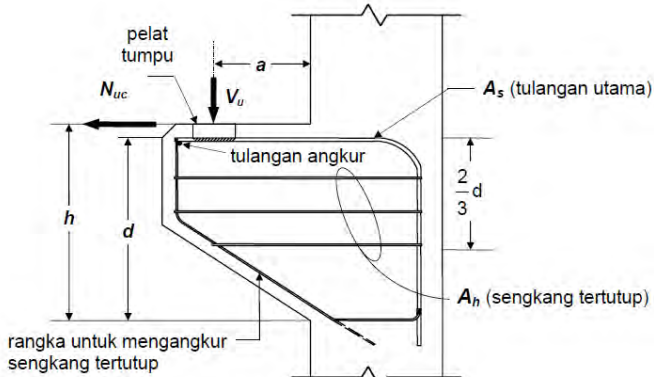
Pada balok induk telah difabrikasi dengan ada konsolnya. Konsol pendek haruslah direncanakan sesuai kebutuhan. Balok induk tersebut akan dipasang di kolom, setelah balok induk tersebut terpasang dengan baik barulah balok anak dipasang dibalok induk.



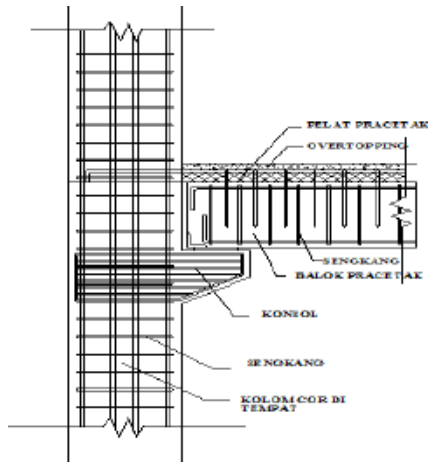
Gambar 3.8 sambungan balok induk dengan sambungan balok anak

- Sambungan Balok Kolom

Pada perencanaan sambungan balok dan kolom ini akan digunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek yang ada pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Ketentuan mengenai perencanaan konsol tersebut tertuang pada SNI 03-2847-2002 pasal 13.9 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.



Gambar 3.9 Parameter Geometri Konsol Pendek



Gambar 3.10 Sambungan balok induk dengan kolom

### 3.9 Perencanaan Bangunan Bawah

Perencanaan bawah ini berupa perencanaan pondasi yang ada pada proyek pembangunan gedung tersebut. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 tentang jenis-jenis tanah berdasarkan hasil SPT :

1. Tanah rata-rata bila  $N_{\text{rata-rata}} \geq 50$
2. Tanah sedang bila  $15 \leq N_{\text{rata-rata}} < 50$
3. Tanah lunak bila  $N_{\text{rata-rata}} < 15$

#### 3.9.1 Perencanaan Pondasi

Pondasi direncanakan menggunakan tiang pancang. Perhitungan daya dukung pondasi didasarkan pada *Standart Penetration Test* (SPT) terlampir.

- Persamaan Luciano Decourt (1982)

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana:  $Q_L$  = daya dukung tanah maximum pada pondasi

$Q_p$  = resistance ultime di dasar pondasi

$Q_s$  = resistance ultime akibat lekatan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p \cdot \alpha = (N_p \cdot K) A_p \cdot \alpha$$

$$Q_s = q_s \cdot A_s \cdot \beta = (N_s/3 + 1) A_s \cdot \beta$$

Keterangan :

$NP$  = harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

$$= \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

$B$  = diameter dasar pondasi

K = koefisien karakteristik tanah :

$$12 \text{ t/m}^2 = 117.7 \text{ kPa} \quad (\text{lempung})$$

$$20 \text{ t/m}^2 = 196 \text{ kPa} \quad (\text{lanau berlempung})$$

$$25 \text{ t/m}^2 = 245 \text{ kPa} \quad (\text{lanau berpasir})$$

$$40 \text{ t/m}^2 = 392 \text{ kPa} \quad (\text{pasir})$$

$A_p$  = luas penampang dasar tiang

$q_p$  = tegangan diujung tiang

$N_s$  = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan  $3 \leq N_s \leq 50$

$A_s$  = luas selimut tiang

$q_s$  = tegangan akibat lekatan lateral t/m<sup>2</sup>

$\alpha$  dan  $\beta$  = koefisien berdasarkan tipe pondasi dan jenis tanah

### 3.9.2 Daya Dukung Grup Tiang Pancang

Di saat sebuah tiang merupakan bagian dalam grup tiang pancang, daya dukungnya mengalami modifikasi, karena pengaruh dari grup tiang tersebut. Untuk kasus daya dukung pondasi, kita harus memperhitungkan sebuah faktor koreksi, yang menjadi efisiensi dari grup tiang pancang tersebut (*Wahyudi, 1999*).

$$Q_{L(\text{grup})} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times C_e$$

Dimana:

$Q_L$  = daya dukung tiang pancang

$n$  = jumlah tiang dalam grup

$C_e$  = efisiensi grup tiang pancang



### 3.9.3 Perumusan Efisiensi Grup Tiang Pancang

#### 1. *Conversi – Labarre*

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{d}{s}\right)}{90} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Dimana :

- m = Jumlah baris tiang dalam grup
- n = Jumlah kolom tiang dalam grup
- d = Diameter sebuah tiang pondasi
- s = Jarak as ke as tiang dalam grup

#### 2. *Los Angeles*

$$C_e = 1 - \frac{B}{L} * \frac{1}{\pi m \cdot n} * \frac{(m(n-1) + n(m-1))}{\sqrt{2(m-1)(n-1)}}$$

Dimana :

- B = Lebar grup tiang
- L = Panjang grup tiang

3. Di sisi lain *Terzaghi* telah memberikan perumusan untuk menghitung daya dukung grup untuk lempung

$$Q_G = \alpha^2 C_u N_c + 4\alpha C_u D$$

$$\alpha = (n-1)s + d$$

Dimana :

- D = Kedalaman tiang pondasi
- s = Jarak as ke as tiang dalam grup
- $C_u$  = Kohesi *Undrained*
- n = Jumlah tiang dalam grup
- d = Diameter tiang

Untuk grup tiang pancang pada tanah tanpa kohesi, pemakaian praktis harga koefisien efisiensi  $C_e$  adalah sebagai berikut :

- Pasir lepas →  
Untuk tiang-tiang pendek :  
 $C_e = 1.5$  (untuk  $s = 2d$ ) hingga 1 (untuk  $s = 4d$ )  
Untuk tiang-tiang panjang:  
 $C_e = 2$  (untuk  $s = 2d$ ) hingga 1 (untuk  $s = 6d$ )
- Pasir padat →  
 $C_e = 0.7$  (untuk  $s = 3d$ ) hingga 1 (untuk  $s = \pm 8d$ )

### 3.9.4 Perencanaan Pile Cap Pondasi Grup Tiang Pancang

Dalam perancangan *pile cap* pada tugas akhir ini gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur yang akan ditinjau.

#### 3.9.4.1 Kontrol Geser Pons

*Pile cap* harus mampu menyebarkan beban dari kolom ke pondasi, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser pons untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Perencanaan geser pons pada *pile cap* sesuai ketentuan SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1. Dalam perencanaan tebal *pile cap*, syarat bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

$$\phi V_c = \phi \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b_o \cdot d$$

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{3} f'_c \cdot b_o \cdot d$$

Dimana :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada *pile cap*

$b_o = 2 (b_k + d) + 2 (h_k + d)$

dengan :

$b_k$  = lebar penampang kolom

$h_k$  = tinggi penampang kolom

$d$  = tebal efektif *pile cap*

### 3.9.4.2 Penulangan Pile Cap

Penulangan lentur pada *pile cap*, *pile cap* dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit di kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah serta berat sendiri dari *pile cap*. Perhitungan gaya dalam *pile cap* didapat dari perhitungan mekanika statis tertentu.

### 3.9.5 Perencanaan Poer

Poer atau *pile cap* memiliki fungsi untuk menerima beban dari kolom yang kemudian terus disebarkan ke tiang pancang. Pada perencanaan poer perlu adanya kontrol kuat geser pons yang terjadi untuk memastikan kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2.1 dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{a. } V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \\ \text{b. } V_c &= \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \\ \text{c. } V_c &= \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \end{aligned}$$

Keterangan :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat

$b_o$  = keliling dari penampang kritis poer

$$= 2(b_k + d) + 2(h_k + d)$$

Dengan :  $b_k$  = lebar penampang kolom

$h_k$  = tinggi penampang kolom

$d$  = lebar efektif poer

- $\alpha_s = 40$  (untuk kolom dalam)
- $= 30$  (untuk kolom tepi)
- $= 20$  (untuk kolom sudut)

Ketebalan dan ukuran poer harus memenuhi persyaratan :

$$\phi V_c > \Sigma Pt$$

### 3.9.6 Perencanaan Sloof Pondasi

Sloof berfungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi sehingga bila terjadi penurunan maka penurunan tersebut akan terjadi secara bersamaan. Beban yang dipikul oleh sloof adalah berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai dasar, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

### 3.10 Gambar Teknik

Setelah tahapan perhitungan struktur selesai, hasil perhitungan tersebut dituangkan dalam gambar kerja yang meliputi :

- Gambar awal (eksisting) sebelum dilakukan perhitungan dengan memperhatikan perubahan yang terjadi.
- Gambar struktur primer
- Gambar struktur sekunder
- Gambar struktur bangunan bawah
- Gambar detail.

## BAB IV

### PRELIMINARY DESAIN

Dalam perencanaan suatu gedung, diperlukan tahapan perencanaan dimensi terlebih dahulu.

#### 4.1 Perencanaan Dimensi Balok

Balok yang digunakan adalah balok pracetak berpenampang persegi. Balok tersebut nantinya akan dicor setempat untuk membantu suatu aksi komposit. Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahapan, yaitu :

- a. Tahap 1 : Balok pracetak dibuat dulu di pabrik (*fabrikasi*).
- b. Tahap 2 : Balok dipasang dengan pengangkatan ke *site* lalu dilakukan *over-topping* (cor *in-site*) setelah sebelumnya dipasang pelat pracetak.

Penentuan tinggi balok minimum ( $h_{\min}$ ) dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 pada tabel 8 untuk  $f_y = 400$  MPa :

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times Lb$$

sedangkan untuk lebar dari balok dihitung :

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

Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

L = Panjang kotor balok

$f_y$  = mutu tulangan baja

a. Dimensi Balok Induk

- Dimensi balok induk memanjang dan melintang untuk bentang  $\ell = 7,2$  m dan 3,6 m

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 720 \text{ cm} = 45 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

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

Maka dimensi pada balok induk memanjang dan balok induk melintang untuk bentang 7,2 m dan 3,6 m adalah 40/60 cm.

b. Dimensi Balok Anak

- Dimensi balok anak memanjang untuk bentang  $l = 7,2$  m

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times 720 \text{ cm} = 34,29 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times 40 \text{ cm} = 26,67 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Maka dimensi pada balok anak memanjang dan balok induk melintang untuk bentang 7,2 m adalah 30/40 cm.

## 4.2 Perencanaan Tebal Pelat

Pada perencanaan pelat digunakan metode *Half-Slab*, karena ditemukan beberapa kesulitan dalam pemasangan di proyek konstruksi, seperti beratnya beban pelat pracetak pada saat pengangkatan.

*Half-Slab* yang menggunakan beton pracetak sebagai dasarnya dan beton cor setempat sebagai *topping*/penutupnya. Karena *half-slab* merupakan metode yang baru baik di Indonesia maupun di luar Indonesia maka belum ada peraturan yang spesifik yang mengatur penggunaan *half-slab*.

Direncanakan pelat pracetak menggunakan metode *half-slab* memiliki dimensi sebagai berikut :

- Ukuran pelat : 320 cm x 360 cm
- Tebal pelat : 8 cm

- Overtopping : 6 cm

#### 4.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan kolom, pemilihan yang dilakukan adalah kolom yang memikul pembebanan terbesar, dalam perencanaan ini kolom yang memikul beban terbesar dipikul pada bentang 720 x 720.

Pada SNI 03-2847-2002 kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.

Kolom yang akan direncanakan memiliki dimensi 105 cm x 105 cm yang memikul beban pada luasan pelat ukuran 360 x 360. Beban-beban yang terjadi berdasarkan PPIUG 1983 yang ditabelkan ada tabel 4.6 dan 4.7.

Data Beton :

- Mutu beton = 35 MPa  $\rightarrow$  1MPa = 10 kg/cm<sup>2</sup>
- $\sigma_{ijin}$  =  $\frac{1}{3} \times 35$  MPa  
= 11,67 MPa
- $\frac{2}{3} \sigma_{ijin}$  =  $\frac{2}{3} \times 11,67$  MPa  
= 7,78 MPa  
= 77,8 Kg/cm<sup>2</sup>
- Lantai Semi Basement dan Lantai 1
  - Beban Mati

Tabel 4.1 Beban mati pada kolom

	(m)	(kg)
Pelat	6,15x6,15x0,14x2400x11tingkat	79881,12
Penggantung	6,15x6,15x7x11 tingkat	2912,3325
Plafond	6,15x6,15x11x11 tingkat	4576,5225
Balok Induk	(6,15x6,15)x0,4x0,6x2400x11 tingkat	77932,8
Balok Anak	(6,6+6,6)x0,5x(0,3x0,4)x2400x11 tingkat	19483,2
Dinding	(6,15+6,15)x4,2x250x11 tingkat	142065
Kolom	1,05x1,05x4,2x2400x11 tingkat	122245,2
Tegel (2 cm)	6,15x6,15x24x2x11 tingkat	19970,28
Spesi (2 cm)	6,15x6,15x21x2x11 tingkat	17473,995
Aspal (1 cm)	7,2x7,2x14x1	725,76
Plumbing	6,15x6,15x10x11 tingkat	4160,475
Pipa & ducting	6,15x6,15x15x11 tingkat	6240,7125
<b>DL TOTAL</b>		<b>497667,4</b>



## - Beban Hidup

Tabel 4.2 Beban hidup pada kolom

	(m)	(kg)
Atap	7,2x7,2x100x1 tingkat	5184
Lantai	7,2x7,2x250x11 tingkat	142560
<b>QL TOTAL</b>		<b>147744</b>

Koefisien reduksi untuk beban hidup (PPIUG 1987 Tabel 4 – Ruang Kuliah/Sekolah) = 0,9. Jadi beban untuk beban hidup :

$$\begin{aligned}
 LL &= 0,9 \times QL \text{ Total} \\
 &= 0,9 \times 147744 \text{ kg} \\
 &= 132969,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Jadi berat total (W) :

$$\begin{aligned}
 W &= 1,2 QD + 1,6 LL \\
 &= 1,2 \times 497667,4 \text{ kg} + 1,6 \times 132969,6 \text{ kg} \\
 &= 809952,237 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Dimensi :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{W}{\left(\frac{2}{3} \times \sigma_{ijin}\right)} \\
 &= \frac{809952,237}{\left(\frac{2}{3} \times 77,78\right)} = 10413,672 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$A = b \times h$  dengan penampang persegi  $b = h$  maka didapat dimensi kolom  $h = 102,047$  cm. Sehingga dimensi kolom yang direncanakan sebesar  $105 \times 105$  dapat memenuhi sebagai desain preliminary kolom.

## **BAB V**

### **PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER**

Struktur gedung dibagi menjadi dua yaitu struktur utama dan struktur sekunder. Struktur sekunder tidak menahan beban secara keseluruhan namun tetap mengalami tegangan – tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang bekerja secara langsung terhadap bagian – bagian struktur sekunder tersebut, maupun akibat dari perubahan struktur utama. Struktur sekunder meliputi tangga, pelat lantai, balok anak, balok lift. Pada bab ini akan dibahas mengenai perencanaan struktur sekunder.

#### **5.1 Perencanaan Pelat**

Pada tahap preliminary desain pelat direncanakan menggunakan *half-slab* dengan ketebalan 8 cm untuk pelat pracetak serta untuk pelat cor setempat menggunakan tebal 6 cm. Peraturan yang digunakan sebagai patokan menentukan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1987 (PPIUG 1987).

Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan dilapangan yang terjadi, yaitu :

1. Sebelum komposit, keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan biasa yaitu pelat tertumpu pada dua perletakan (sendi-rol).
2. Sesudah komposit, keadaan yang dimana topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Pada permodelan pelat, perletakan saat sebelum komposit maupun setelah komposit memiliki peranan untuk perhitungan tulangan pelat. Pelat pada saat awal pemasangan atau sebelum komposit diasumsikan memiliki perletakan bebas dengan tulangan lapangan saja, sehingga digunakan pelat satu arah.

Sedangkan setelah komposit, pelat diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis. Penulangan akhir nantinya merupakan gabungan dari dua keadaan tersebut. Selain memperhitungkan tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai dengan pemasangan pelat pracetak dilapangan.

### 5.1.1 Pembebanan Pelat

#### ▪ Pembebanan Pelat Lantai

##### Sebelum Komposit

- **Beban Mati (DL)**

Berat Sendiri	=	$0,08m \times 2400kg/m^3$	=	$192 kg/m^2$
Berat topping	=	$0,06m \times 2400kg/m^3$	=	$\frac{144 kg/m^2}{336 kg/m}$
- **Beban Hidup (LL)**

Beban kerja	=	20% x berat topping
	=	20% x 336 kg/m <sup>2</sup>
	=	67,2 kg/m <sup>2</sup>

##### Sesudah Komposit

- **Beban Mati (DL)**

Berat sendiri	=	$0,14 \times 2400 kg/m^3$	=	$336 kg/m^2$
Plafond+Pengantung	=	11 +7	=	$18 kg/m^2$
Ubin (t=2cm)	=	$0,02 \times 2400 kg/m^3$	=	$48 kg/m^2$
Spesi (t=2cm)	=	$0,02 \times 2100 kg/m^3$	=	$42 kg/m^2$
Ducting Ac + Pipa	=		=	$\frac{40 kg/m^2}{484 kg/m^2}$

➤ Beban Hidup (LL)  
 Beban Kerja = 250 kg/m<sup>2</sup>

▪ **Pembebanan Pelat Atap**

Sebelum Komposit

➤ Beban Mati (DL)  
 Berat Sendiri = 0,08m x 2400kg/m<sup>3</sup> = 192 kg/m<sup>2</sup>  
 Berat topping = 0,06m x 2400kg/m<sup>3</sup> = 144 kg/m<sup>2</sup> +  
 336 kg/m

➤ Beban Hidup (LL)  
 Beban kerja = 20% x berat topping  
 = 20% x 336 kg/m<sup>2</sup>  
 = 67,2 kg/m<sup>2</sup>

Sesudah Komposit

➤ Beban Mati (DL)  
 Berat sendiri = 0,14 x 2400 kg/m<sup>3</sup> = 336 kg/m<sup>2</sup>  
 Plafond+Pengantung = 11 +7 = 18 kg/m<sup>2</sup>  
 Aspal (t=1cm) = 0,01 x 1400 kg/m<sup>3</sup> = 14 kg/m<sup>2</sup>  
 Spesi (t=2cm) = 0,02 x 2100 kg/m<sup>3</sup> = 42 kg/m<sup>2</sup>  
 Ducting Ac + Pipa = 40 kg/m<sup>2</sup> +  
 450 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup (LL)  
 Beban Kerja = 100 kg/m<sup>2</sup>

▪ **Kombinasi Pembebanan Pelat**

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 11.2 didapatkan kombinasi pembebanan berupa :

$$Q_u = 1,2 D_L + 1,6 q_L$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan pelat lantai:

▪ Keadaan 1, ada beban kerja  
 $Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 67,2 = 337,92 \text{ kg/m}^2$

- Keadaan 2, topping telah terpasang  
 $Q_u = 1,2 \times 336 + 1,6 \times 0 = 403,2 \text{ kg/m}^2$
  - Keadaan 3, setelah komposit  
 $Q_u = 1,2 \times 484 + 1,6 \times 250 = 980,8 \text{ kg/m}^2$
- Serta perhitungan kombinasi pembebanan pelat atap :
- Keadaan 1, ada beban kerja  
 $Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 67,2 = 337,92 \text{ kg/m}^2$
  - Keadaan 2, topping telah terpasang  
 $Q_u = 1,2 \times 336 + 1,6 \times 0 = 403,2 \text{ kg/m}^2$
  - Keadaan 3, setelah komposit  
 $Q_u = 1,2 \times 450 + 1,6 \times 100 = 700 \text{ kg/m}^2$

### 5.1.2 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan pelat digunakan pelat dengan ukuran 3,2 m x 3,6 m yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.

Berikut adalah contoh perhitungan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat :

- Data - Data Perencanaan Pelat:
  - Dimensi pelat = 320 cm x 360 cm
  - Tebal pelat pracetak = 80 mm
  - Tebal overtopping = 60 mm
  - Tebal decking = 20 mm
  - Diameter tul. rencana = 10 mm
  - Mutu tul. Baja ( $f_y$ ) = 400 MPa
  - Mutu beton ( $f'_c$ ) = 35 MPa
  - Kondisi sebelum komposit :

$$d_x = 80 - 20 - \frac{10}{2} = 55 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit :

$$d_x = 140 - 20 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :  
Berdasarkan SNI 03-2847-2002 ps 12.2.7.3 harga dari  $\beta$  adalah :
 

$\beta_1 = 0,85$	jika $f'c \leq 30$ MPa
$\beta_1 = 0,85-0,008(f'c-30)$	jika $30 \text{ MPa} \leq f'c \leq 55$ MPa
$\beta_1 = 0,65$	jika $f'c \geq 55$ MPa

Karena  $f'c = 35$  MPa, maka :

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85-0,008(f'c-30) \\ &= 0,85-0,008(35-30) \\ &= 0,81\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,036$$

Seusai SNI 03-2847-2002 psl 12.3.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1 \sqrt{f'c}}{4 f_y} = \frac{1 \sqrt{35}}{4 \times 400} = 0,0037 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2, tulangan susut dan suhu untuk pelat menggunakan batang tulangan ulir dengan mutu baja 400 MPa :

$$\rho_{susut} = 0.002$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} = \frac{400}{0.85 \times 35} = 13,445$$

Penulangan pelat digunakan penulangan satu arah, dimana penulangan tersebut diarahkan sepanjang pelat arah terpanjang. Penulangan pada tumpuan sama dengan pada lapangan, namun letak dari tulangan tariknya berbeda. Untuk daerah lapangan tulangan tarik berada di atas, sedangkan pada daerah lapangan tulangan tarik berada di bawah. Tulangan tumpuan dan tulangan lapangan direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter tulangan 10 mm ( $\phi$  10 mm,  $A_s = 78,54 \text{ mm}^2$ ).

▪ Perhitungan Penulangan Sebelum Komposit

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat :

$$Q_u = 337,92 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_{u \text{ Tumpuan}} &= \frac{1}{16} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 337,92 \times 3,6^2 \\ &= 273,715 \text{ kgm} \\ &= 2737152 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u \text{ Lap}} &= \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 337,92 \times 3,6^2 \\ &= 547,4304 \text{ kgm} \\ &= 5474304 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{2737152}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1,131$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$



$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,131}{400}} \right)$$

$$= 0,00288$$

$\rho_{\min} > \rho$ , maka :

$\rho_{\text{pakai}} = 0,00288$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{Perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00288 \times 1000 \times 55$$

$$= 203,365 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\phi 10}}}$$

$$= \frac{203,365}{78,5}$$

$$= 2,56 \approx 3 \text{ buah}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$S = \frac{1000}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000}{3}$$

$$= 333,333 \text{ mm.}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

**Jadi dipasang tulangan  $\phi 10 - 200 > A_s$  perlu.**

Perhitungan tulangan Lapangan:

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{5474304}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 2,26$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 2,26}{400}} \right)$$

$$= 0,00588$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ , dimana :

$0,0037 < 0,00588 < 0,027 \rightarrow$  (OK!), maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,00588$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 55 \\ &= 323,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{s\phi 10}} \\ &= \frac{323,9}{78,5} \\ &= 4,126 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{5} \\ &= 200 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3$  x tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

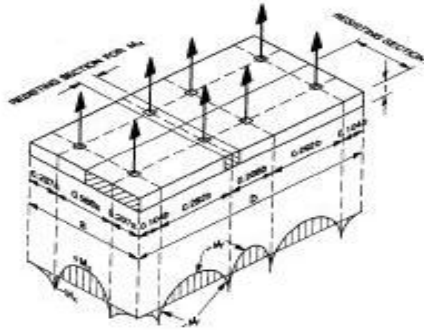
**Jadi dipasang tulangan  $\phi 10 - 200 > A_s$  perlu.**

- Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” figure 5.2.1. Dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, berikut perumusannya :

$$M_x = 0,0054 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0027 \times w \times a \times b^2$$



gambar 5.1 titik pengangkatan saat erection

Pada perencanaan pelat, digunakan tulangan satu arah yaitu pada arah x saja, maka perhitungan momen saat pengangkatan dihitung arah x.

Pada pelat tersebut diatas ( 360 x 320 cm), ditentukan :

$$a = 3,2 \text{ m}$$

$$b = 3,6 \text{ m}$$

$$w = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } M_x &= 0,0054 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0054 \times 192 \times 3,2^2 \times 3,6 \\ &= 38,22 \text{ kgm} \\ &= 382205,952 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{382205952}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,158$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,158}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0004$$

$$\rho_{\min} > \rho$$

0,0037 > 0,0004, maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 1000 \times 55 \\ &= 203,365 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{s\phi 10}} \\ &= \frac{203,365}{78,5} \\ &= 2,56 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{3} \\ &= 333,333 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

**Jadi dipasang tulangan  $\phi 10 - 200 > A_s$  perlu.**

- Perhitungan Penulangan Saat Overtopping  
Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat :

$$Q_u = 403,2 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{\text{Tumpuan}} &= \frac{1}{16} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 403,2 \times 3,6^2 \\ &= 326,592 \text{ kgm} \\ &= 3265920 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{\text{Lap}} &= \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 403,2 \times 3,6^2 \\ &= 653,184 \text{ kgm} \\ &= 6531840 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{3265920}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1,35$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,35}{400}} \right) \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho$$

$0,0037 > 0,0034$ , maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 1000 \times 55 \\ &= 203,365 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\phi 10}}} \\ &= \frac{203,365}{78,5} \\ &= 2,56 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{3} \\ &= 333,333 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

**Jadi dipasang tulangan  $\phi 10 - 200 > A_s$  perlu.**

Perhitungan tulangan Lapangan:

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{6531840}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 2,699$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 2,699}{400}} \right) \\ &= 0,007\end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$ , dimana :

$0,0037 < 0,007 < 0,027 \rightarrow$  (OK!), maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0262$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}AS_{\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,007 \times 1000 \times 55 \\ &= 389,689 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{AS_{\text{Perlu}}}{AS_{\emptyset 10}} \\ &= \frac{389,689}{78,5} \\ &= 4,964 \approx 5 \text{ buah}\end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned}S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{5} \\ &= 200 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

**Jadi dipasang tulangan  $\emptyset 10 - 200 > As$  perlu.**

- Perhitungan Penulangan Setelah Komposit  
Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat :

$$Qu = 980,8 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}Mu_{\text{Tumpuan}} &= \frac{1}{16} \times Qu \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 980,8 \times 3,6^2 \\ &= 794,448 \text{ kgm} \\ &= 7944480 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu_{Lap} &= \frac{1}{8} \times Qu \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 980,8 \times 3,6^2 \\
 &= 1588,896 \text{ kgm} \\
 &= 15888960 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$Rn = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{7944480}{0,8 \times 1000 \times 115^2} = 0,751$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,751}{400}} \right) \\
 &= 0,0019
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} > \rho$$

0,0037 > 0,0019, maka digunakan  $\rho_{pakai} = 0,0037$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}
 AS_{perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0037 \times 1000 \times 115 \\
 &= 425,22 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{AS_{perlu}}{AS_{\emptyset 10}} \\
 &= \frac{425,22}{78,5} \\
 &= 5,42 \approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000}{6} \\
 &= 166,67 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

**Jadi dipasang tulangan  $\emptyset 10 - 150 > As$  perlu.**

Perhitungan tulangan Lapangan:

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{15888960}{0,8 \times 1000 \times 115^2} = 1,502$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,502}{400}} \right) \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$  , dimana :

$0,0037 < 0,0038 < 0,027 \rightarrow$  (OK!), maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0038$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0038 \times 1000 \times 55 \\ &= 443,251 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\phi 10}}} \\ &= \frac{443,251}{78,5} \\ &= 5,646 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{6} \\ &= 166,67 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.5 “ Jarak Tulangan Utama  $\leq 3 \times$  tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

**Jadi dipasang tulangan  $\phi 10 - 150 > A_s$  perlu.**

Dari berbagai kondisi diatas maka pelat yang direncanakan menggunakan  $\phi 10-150$  mm.



### 5.1.3 Kontrol Lendutan dan Retak

#### ▪ Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai pada perencanaan gedung ini lebih besar dari tebal minimum pelat seperti yang telah disyaratkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3, maka dari itu tidak perlu dilakukan kontrol terhadap lendutan.

#### ▪ Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa agar dapat membatasi retak lentur yang terjadi. Untuk tegangan leleh  $f_y$  pada tulangan tarik apabila melebihi 500 MPa penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus diproporsikan sedemikian hingga nilai  $Z$  yang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4 :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} < 30 \text{ MN/m}$$

Dimana :

$f_s$  = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja.

$f_s$  dapat diambil  $0,6 f_y$

$$= 0,6 \times 400 \text{ MPa} = 240 \text{ MPa}$$

$d_c$  = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan

$$= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

$$= 20 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 10$$

$$= 25 \text{ mm}$$

$A$  = Luas efektif beton tarik disekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan ( dalam hal ini diambil selebar 1 m ) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1 meter tersebut.

Kontrol Retak :

$$A = 2 \times d_c \times s$$

$$= 2 \times 0,025 \times 0,05$$

$$= 0,0025 \text{ m}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{0,025 \cdot 0,0025}$$

$$= 9,524 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \dots\dots \text{ ( OK )}$$

#### 5.1.4 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Dalam panjang penyaluran, harus disediakan cukup tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran sesuai dengan SNI 03-2847-2002 :

1.  $l_{dh} > 8 d_b = 8 \times 10 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$  ( pasal 14.5.1 )
2.  $l_{dh} > 150 \text{ mm}$  ( pasal 14.5.1 )
3.  $l_{hb} = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f_{c'}}} = \frac{100 \times 10}{\sqrt{35}} = 169,03 \text{ mm}$  , untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  ( pasal 14.5.2 ).

Maka untuk panjang penyaluran digunakan 200 mm.

#### 5.1.5 Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingatkan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (*erection*). Sehingga perlu direncanakan pula tulangan angkat untuk pelat.

Gaya yang bekerja pada pengangkatan pelat :

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan ke dua arah horisontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 100cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ( $k=1,2$ ) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,08 \times 3,2 \times 3,6 \times 2400 = 2211,84 \text{ kg}$

Berikut adalah contoh perhitungan pelat dengan dimensi pelat 3,2 m x 3,6 m dengan empat titik pengangkatan (*four point pick-up*).

$$\text{Beban ultimate} = 1,2 \times 1,4 \times 2211,84 \text{ kg} = 3725,89 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya angkat (Tu) setiap tulangan} = \frac{3725,89}{8} = 465,736 \text{ kg}$$

Sesuai PPBBI pasal 2.2.2, tegangan torsi ijin baja :

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{4000}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 465,736}{\pi \times 2666,67}} = 0,472 \text{ cm}$$

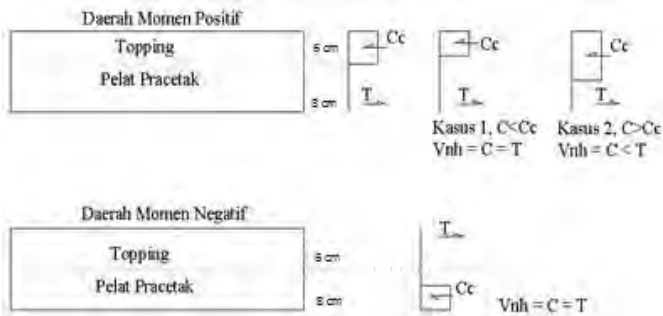
Maka digunakan tulangan  $\varnothing 8 \text{ mm}$ .

### 5.1.6 Penulangan Stud Pelat

Pada perencanaan pracetak yang menggunakan topping cor di tempat, transfer gaya regangan horizontal yang terjadi harus mampu dipikul oleh seluruh penampang. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka digunakan tulangan stud. Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antara elemen pracetak serta elemen topping yang mampu mentransfer gaya-gaya yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban yang terjadi.

Di dalam SNI, gaya geser horizontal dapat dicek dengan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik. Gaya geser yang terjadi pada penampang komposit terdapat dua macam kasus, yaitu :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Gambar 5.2 Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot A_{\text{topping}} \\
 &= 0,85 \times 35 \times 60 \times 1000 \\
 &= 1785000 \text{ N} = 1785 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Direncanakan dipasang tulangan stud  $\varnothing 10$  mm

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,539 \text{ mm}^2$$

$$V_{nh} = C = T$$

$$= A_s \times f_y$$

$$= 78,539 \times 400$$

$$= 31415,93 \text{ N} = 31,416 \text{ kN}$$

$$0,6A_c = 0,6 \times b_v \times d$$

$$= 0,6 \times 1000 \times 60$$

$$= 36000 \text{ N} = 36 \text{ kN} > V_{nh}$$

Pada SNI 03-2847-2002 pasal 19.5.2.2 disebutkan bahwa jika dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan pasal 19.6 dan bidang kontakny bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser  $V_{nh}$  tidak boleh diambil lebih dari  $0,6 \times b_v \times d$  dalam Newton. Selain itu pada pasal 19.6.1 sengkang pengikat dipasang untuk menyalurkan gaya geser horisontal, maka luas sengkang pengikat tidak boleh kurang daripada luas yang diperlukan oleh pasal 13.5.5.3 serta spasi sengkang pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang didukung ataupun 600 mm.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.5.3 :

$$A_{v \text{ min}} = \frac{0,35 \times b \times s}{f_y}$$

$$= \frac{0,35 \times 1000 \times 200}{400} = 175 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang stud  $\varnothing 10 - 200$  ( $A_v = 392,7 \text{ mm}^2$ )

Tabel 5.1 Tulangan terpasang pada pelat

Ukuran Pelat	Tulangan Terpasang (mm <sup>2</sup> )
3,2 m x 3,6 m	Arah X
	$\varnothing 10 - 150$ 471

## 5.2 Perencanaan Tangga

### 5.2.1 Data-data Perencanaan Tangga

Tinggi antar lantai	= 420 cm
Tinggi bordes	= 210 cm
Panjang tangga	= 330 cm
Panjang bordes	= 165 cm
Lebar bordes	= 285 cm
Tebal bordes	= 10 cm
Lebar injakan trap tangga	= 30 cm
Tinggi injakan trap tangga	= 17,5 cm
Tebal tangga	= 25 cm
Tebal pelat trap tangga	= 10 cm
Dacking tulangan	= 2 cm
Mutu beton ( $f'c$ )	= 30 MPa
	= 300 kg/cm <sup>2</sup>
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
	= 4000 kg/cm <sup>2</sup>

### 5.2.2 Perencanaan Pelat Tangga

Persyaratan perhitungan jumlah tanjakan dan jumlah injakan tangga sesuai dengan rumus berikut:

$$\text{Jumlah tanjakan (n)} = \frac{\text{Tinggi Bordes}}{\text{Tinggi Injakan}}$$

dengan tinggi injakan = 17,5 cm . Maka didapatkan :

$$\text{Jumlah tanjakan (n)} = \frac{210}{17,5} = 12 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Injakan} &= n - 1 \\ &= 12 - 1 = 11 \text{ buah.} \end{aligned}$$

$\alpha = \arctg \left( \frac{210}{30 \times 11} \right) = 32,471^\circ$ , memenuhi persyaratan yaitu  $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$  ..... (OK).

### 5.2.3 Pembebanan Tangga dan Bordes

- Pembebanan Pelat Tangga
  - Beban Mati

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,25 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2}{\cos 32,471^\circ} = 711,184 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2cm)} = 2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tegel (t = 2cm)} = 2 \times 24 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Pegangan} = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{DT} = 831,184 \text{ kg/m}^2$$

○ Beban Hidup

$$q_{LT} = 300 \text{ kg/m}^2$$

○ Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} q_{DU} &= 1,2 q_{DT} + 1,6 q_{DL} \\ &= 1,2 (831,184) + 1,6 (300) \\ &= 1477,421 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

▪ Pembebanan Bordes

○ Beban Mati

$$\text{Pelat bordes} = 0,10 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 240 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2cm)} = 2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tegel (t = 2cm)} = 2 \times 24 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Pegangan} = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{DT} = 330 \text{ kg/m}^2$$

○ Beban Hidup

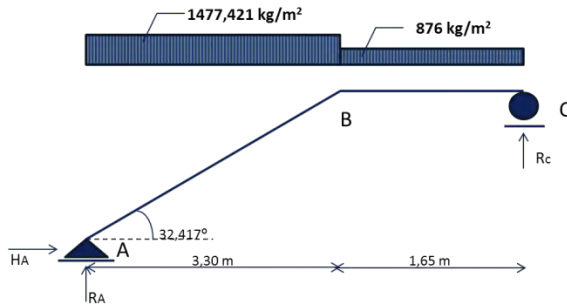
$$q_{LT} = 300 \text{ kg/m}^2$$

○ Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} q_{DU} &= 1,2 q_{DT} + 1,6 q_{DL} \\ &= 1,2 (330) + 1,6 (300) \\ &= 876 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

#### 5.2.4 Perhitungan Gaya Pada Tangga

Perhitungan struktur tangga menggunakan mekanika teknik statis dimana permasalahan perletakan menggunakan sendi – rol, dengan pembebanan tangga serta hasil output perhitungan gaya pada tangga sebagai berikut :



Gambar 5.3 Pemodelan struktur tangga  
Perhitungan Reaksi Pada Tangga

$$\Sigma M_C = 0$$

$$R_a \times 4,95 - \{(876 \times 1,65) (0,5 \times 1,65)\} - \{(1477,421 \times 3,30) ((0,5 \times 3,30) + 1,65)\} = 0$$

$$R_a = \frac{17281,570}{4,95}$$

$$R_a = 3491,226 \text{ kg (}\uparrow\text{)}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_C \times 4,95 - \{(876 \times 1,65) (0,5 \times 1,65) + 3,30\} - \{(1477,421 \times 3,30) (0,5 \times 3,30)\} = 0$$

$$R_C = \frac{14006,832}{4,95}$$

$$R_C = 2829,663 \text{ kg (}\uparrow\text{)}$$

Kontrol :

$$\Sigma V = 0$$

$$2829,663 + 3491,226 - (876 \times 1,65) - (1477,421 \times 3,30) = -0,0003 \rightarrow \text{Hasil perhitungan mendekati 0 (OK.)}$$

- Perhitungan Gaya Dalam Pada Tangga

- Gaya Normal

Potongan  $x_1$

$$N_{x_1} = 0$$

Potongan  $x_2$

$$\begin{aligned} x_2 = 0 \text{ m} \rightarrow N_A &= -R_A \sin 32,471^\circ + H_A \cos 32,471^\circ \\ &= -3491,226 \cdot \sin 32,471^\circ + 0 \\ &= -1874,344 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 = 3,30 \text{ m} \rightarrow N_B &= N_B + q \cdot 3,30 \sin 32,471^\circ \\ &= -1874,344 + 1477,421 \cdot 3,30 \sin 32,471^\circ \\ &= 743,173 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Gaya Lintang

Potongan  $x_1$

$$D_{x_1} = R_c - q_1 \cdot x_1 = 2829,663 - (876 \cdot x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \rightarrow D_c = 2829,663 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} x_1 = 1,65 \text{ m} \rightarrow D_B &= 2829,663 - (876 \cdot 1,65) \\ &= 1384,263 \text{ kg} \end{aligned}$$

Potongan  $x_2$

$$D_{x_2} = -R_A + q_2 \cdot x_2 = -3491,226 + (1477,421 \cdot x_2)$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \rightarrow D_A = -3491,226 \text{ kg}$$



$$\begin{aligned}
 x_2 = 3,30 \text{ m} \rightarrow D_B &= -3491,226 + (1477,421 \cdot 3,30) \\
 &= 1384,263 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

▪ Momen

Potongan  $x_1$

$$M_{x_1} = R_C \cdot x_1 - \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot x_1^2$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad M_C = 0$$

$$\begin{aligned}
 x_1 = 1,65 \text{ m} \rightarrow M_B &= 2829,663 \cdot 1,65 - \frac{1}{2} \cdot 876 \cdot 1,65^2 \\
 &= 3476,489 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Potongan  $x_2$

$$M_{x_2} = R_A \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot q_2 \cdot x_2^2$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad M_A = 0$$

$$\begin{aligned}
 x_2 = 3,30 \text{ m} \rightarrow M_B &= 3491,226 \cdot 3,30 - \frac{1}{2} \cdot 1477,421 \cdot 3,30^2 \\
 &= 3476,489 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

**Pada tangga momen maksimum terjadi pada saat :**

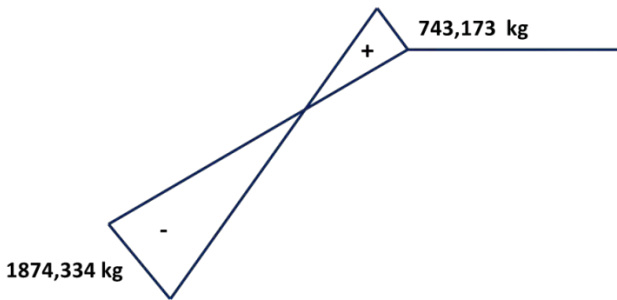
$$\text{Persamaan : } 3491,226 \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot 1477,421 \cdot x_2^2$$

$$Dx_2 = 0 \rightarrow 3491,226 - 1477,421 \cdot x_2 = 0$$

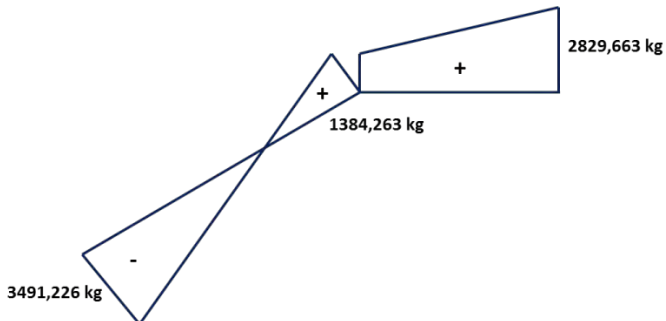
$$x_2 = \frac{3491,226}{1477,421} = 2,363 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= 3491,226 x_2 - 1/2 \cdot 1477,421 \cdot x_2^2 \\
 &= 3491,226 \cdot 2,363 - 1/2 \cdot 1477,421 \cdot 2,363^2 \\
 &= 4124,978 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

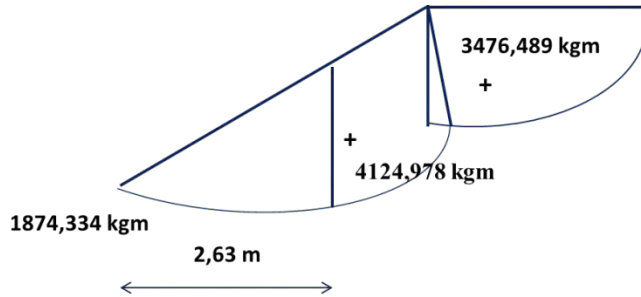
Berikut adalah gambar-gambar gaya dalam pada tangga hasil perhitungan diatas :



Gambar 5.4 Gaya Normal



Gambar 5.5 Bidang Geser



Gambar 5.6 Bidang Momen

### 5.2.5 Perhitungan Tulangan Tangga

- Data Perencanaan Penulangan Tangga

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\phi_{\text{tul}} = 16 \text{ mm}$$

$$d_x = 100 - 20 - (16/2) \\ = 72 \text{ mm}$$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{600+400} = 0,0325$$

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

$$= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

- Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

$$M_u = 4124,978 \text{ kgm} = 41249780 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{41249780}{0,8 \times 1000 \times 72^2} = 9,946$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 9,946}{400}} \right)$$

$$= 0,034$$

$\rho > \rho_{\max}$ , maka gunakan  $\rho_{\max}$ .

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{Perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0244 \times 1000 \times 72$$

$$= 1756,8 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur  $\emptyset 16 - 100$  ( $A_{S_{\text{Pakai}}} = 2011 \text{ mm}^2$ )

As tulangan bagi = 20% .  $A_s = 0,2 \times 1756,8 = 351,36 \text{ mm}^2$

Digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 125$  ( $A_{S_{\text{Pakai}}} = 402 \text{ mm}^2$ )

#### ■ Penulangan Pelat Bordes

$$M_u = 3476,489 \text{ kgm} = 34764890 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{34764890}{0,8 \times 1000 \times 72^2} = 8,383$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 8,383}{400}} \right)$$

$$= 0,0264$$

$\rho > \rho_{\max}$ , maka gunakan  $\rho_{\max}$ .

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{Perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0244 \times 1000 \times 72$$

$$= 1756,8 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur  $\emptyset 16 - 100$  ( $A_{S_{\text{Pakai}}} = 2011 \text{ mm}^2$ )

As tulangan bagi = 20% .  $A_s = 0,2 \times 1756,8 = 351,36 \text{ mm}^2$

Digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 125$  ( $A_{S_{\text{Pakai}}} = 402 \text{ mm}^2$ ).

#### ■ Penulangan Balok Bordes

Digunakan dimensi balok bordes sebesar 25/35

Beban Mati (DL) :

- Pelat Bordes =  $240 \text{ kg/m}^2 \times 1,65 \text{ m}$   
=  $396 \text{ kg/m}$
- Berat Balok =  $0,25 \times 0,35 \times 2400$   
=  $210 \text{ kg/m}$
- $q_{DT}$  =  $396 + 210$   
=  $606 \text{ kg/m}$

Beban Hidup (LL) :

$$q_{LT} = 300 \text{ kg/m}^2 \times 1,65 \text{ m}$$

$$= 495 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Pembebanan :

$$Q_u = 1,2 q_{DT} + 1,6 q_{LT}$$

$$= 1,2 \cdot 606 \text{ kg/m} + 1,6 \cdot 495 \text{ kg/m}$$

$$= 1519,2 \text{ kg/m}$$

$$M_u = -\frac{1}{10} \times Q_u \times l^2$$

$$= -\frac{1}{10} \times 1519,2 \times 2,85^2$$

$$= 1233,970 \text{ kgm}$$

$$d = 350 - 40 - 0,5 \times 16 - 8$$

$$= 294 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{12339700}{0,8} = 15424625 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{15424625}{250 \times 72^2} = 0,714 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,714}{400}} \right)$$

$$= 0,0018$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ , maka gunakan  $\rho_{\text{min}}$ .

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{Perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 250 \times 294$$

$$= 257,25 \text{ mm}^2$$

Dipasang 2D16 ( $A_{S_{\text{Pakai}}} = 402 \text{ mm}^2$ )

Digunakan tulangan tekan praktis 2 D16 ( $A_{s\text{pakai}} = 402 \text{ mm}^2$ ).

Jarak Sengkang (S) :

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - 2 \cdot \phi_{\text{sengkang}} - 2 \cdot \text{cover} - n \cdot \phi_{\text{tul utama}}}{n - 1} \geq 25 \text{ mm} \\ &= \frac{250 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 40 - 4 \cdot 16}{2 - 1} \geq 25 \text{ mm} \\ &= 90 \geq 25 \text{ mm} \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

### 5.3 Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi panjang biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada di balok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

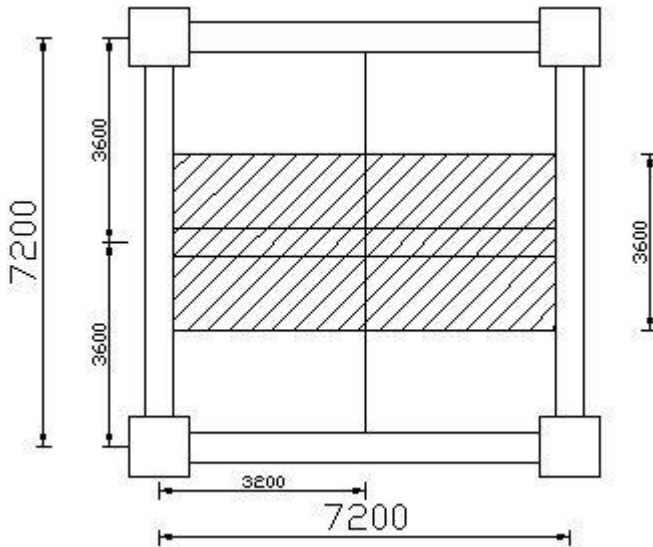
#### 5.3.1 Data-Data Perencanaan Balok Anak

Dimensi	: 30 cm x 40 cm
$f'c$	: 30 MPa
$f_y$	: 400 MPa
Tul. Lentur	: D19
Tul. Sengkang	: $\phi 10$

#### 5.3.2 Pembenan Balok Anak

Beban yang bekerja pada balok anak merupakan berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat.

Beban yang diterima oleh balok anak berupa jumlah beban merata yang terjadi di sepanjang setengah bentang pelat sisi satu dengan sisi lainnya.



gambar 5.7 denah pembebanan balok anak

Berikut adalah beban – beban yang bekerja pada balok anak :

▪ Sebelum Komposit :

Beban Mati :

$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri} &= 0,3\text{m} \times 0,24\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \\ &= 172,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Pelat sebelum komposit} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_{\text{pelat}} &= 192 \times 3,6 \\ &= 691,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DL} &= 172,8 + 691,2 \\ &= 864 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup :

$$\begin{aligned} \text{Beban pekerja dan OP (LL)} &= 20\% \times \text{Beban mati pelat} \\ &= 67,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{LL}} &= 67,2 \times 3,6 \\ &= 241,92 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 (787,2) + 1,6 (241,92) \\
 &= 1423,872 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Setelah Komposit :

Beban Mati :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Sendiri} &= 0,3\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \\
 &= 288 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat Pelat setelah komposit} = 336 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{Pelat}} &= 336 \times 3,6 \\
 &= 1209,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DL &= 228 + 1209,6 \\
 &= 1497,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup :

$$\text{Beban Hidup} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{Beban Hidup}} &= 250 \times 3,6 \\
 &= 900 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 (1497,6) + 1,6 (900) \\
 &= 3237,12 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

### 5.3.3 Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 10.3.3.5

- Momen dan Gaya Geser Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Tump}} &= -\frac{1}{16} \times (1423,872) \times 7,2^2 \\
 &= -4613,345 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Lap}} &= \frac{1}{10} \times (1423,872) \times 7,2^2 \\
 &= 7381,35 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \times (1423,872) \times 7,2 \\
 &= 5125,94 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



- Momen dan Gaya Geser Setelah Komposit

$$\begin{aligned} M_{\text{Tump}} &= -\frac{1}{16} \times (3237,12) \times 7,2^2 \\ &= -10488,27 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{Lap}} &= \frac{1}{10} \times (3237,12) \times 7,2^2 \\ &= 16781,23 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \times (3237,12) \times 7,2 \\ &= 11653,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 5.3.4 Perhitungan Tulangan Lentur

- Data Perencanaan Penulangan Balok Anak  
Dimensi Balok anak 30/26

$$\text{Tebal selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{\textcircled{ø} tulangan utama} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{\textcircled{ø} tulangan sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_{\text{sebelum komposit}} = 260 - 20 - 10 - \frac{1}{2}(22) = 219 \text{ mm}$$

$$d_{\text{setelah komposit}} = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(22) = 339 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \\ &= 0,85 - 0,008(35 - 30) \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps1 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,036$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

▪ Penulangan Sebelum Komposit

○ Tulangan Lapangan

$$Mu = 7381,35 \text{ kgm} = 73813524 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 73813524}{0,8 \times 300 \times 219^2} = 5,13$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 5,13}{400}} \right) \\ &= 0,014 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ dimana :}$$

$0,0037 < 0,014 < 0,027 \rightarrow (\text{OK!})$ , maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,014$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,014 \times 300 \times 219 \\ &= 931,384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\phi 10}}} \\ &= \frac{931,384}{379,94} \\ &= 2,45 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 4D22 ( $A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$ )

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 931,384 = 465,69 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D22 (  $A_s = 759,88 \text{ mm}^2$  )

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1519,76}{300 \times 219} = 0,023 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{1519,76 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 68,112 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 1519,76 \times 400 \left( 219 - \frac{68,112}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 89.942.438,02 \text{ Nmm} > M_u = 73.813.524 \text{ Nmm} \text{ (OK).}$$

o Tulangan Tumpuan

$$M_u = 4613,345 \text{ kgm} = 46133452,8 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 46133452,8}{0,8 \times 300 \times 219^2} = 5,13$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 5,13}{400}} \right) \\ &= 0,0000006 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} > \rho \delta$  , maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 300 \times 219 \\ &= 229,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\phi 10}}} \\ &= \frac{229,95}{379,94} \\ &= 0,605 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 2D22 (  $A_s = 759,88 \text{ mm}^2$  )

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 229,95 = 114,98 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D22 (  $As = 759,88 \text{ mm}^2$  )

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{As}{b \times d} = \frac{759,88}{300 \times 219} = 0,011 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{759,88 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 34,056 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 759,88 \times 400 \left( 219 - \frac{34,056}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 49111804,71 \text{ Nmm} > Mu = 46133452,8 \text{ Nmm}$$

(OK).

■ Penulangan Setelah Komposit

○ Tulangan Lapangan

$$Mu = 16781,23 \text{ kgm} = 167812300,8 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 167812300,8}{0,8 \times 300 \times 339^2} = 4,867$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 4,867}{400}} \right)$$

$$= 0,0134$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}, \text{ dimana :}$$

$$0,0037 < 0,0134 < 0,027 \rightarrow (\text{OK!}), \text{ maka digunakan}$$

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0134$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$As_{\text{Perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0134 \times 300 \times 339$$

$$= 1359,79 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 5D22 (  $As = 1899,7 \text{ mm}^2$  )

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 1359,79 = 679,89 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D22 (  $As = 759,88 \text{ mm}^2$  )

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{As}{b \times d} = \frac{1899,7}{300 \times 339} = 0,0186 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{1899,7 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 85,14 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 1359,79 \times 400 \left( 339 - \frac{85,14}{2} \right)$$

$$\phi Mn = 180200795 \text{ Nmm} > Mu = 167812300,8 \text{ Nmm}$$

(OK).

o Tulangan Tumpuan

$$Mu = 10488,269 \text{ kgm} = 104882688 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 104882688}{0,8 \times 300 \times 339^2} = 2,28$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 2,28}{400}} \right)$$

$$= 0,0059$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ dimana :}$$

$$0,0037 < 0,0059 < 0,027 \rightarrow (\text{OK!}), \text{ maka digunakan}$$

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0059$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

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

$$= 0,0059 \times 300 \times 3399$$

$$= 604,238 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 5D22 (  $As = 1899,7 \text{ mm}^2$  )

$$As' = 0,5 \times As = 0,5 \times 604,238 = 302,12 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D22 (  $A_s = 759,88 \text{ mm}^2$  )

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1899,7}{300 \times 339} = 0,0187 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{1899,7 \times 400}{0,85 \times 300 \times 35} = 85,14 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 1899,7 \times 400 \left( 339 - \frac{85,14}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 107252315 \text{ Nmm} > M_u = 104882688 \text{ Nmm}$$

(OK).

### 5.3.5 Perhitungan Tulangan Geser

Pada perhitungan tulangan geser ini, dipakai tulangan geser dengan diameter 10 mm. Berikut perhitungan tulangan geser :

- Perhitungan Tulangan Geser Sebelum Komposit

$$V_u = 5125,94 \text{ kg}$$

$$= 51,26 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 219$$

$$= 64781,07 \text{ N} = 64,78 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 64,78 = 38,87 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 0,5 \times 38,87 = 19,434 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > 0,5 \phi V_c$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}$$

$$= \frac{51,26}{0,75} = 68,35 \text{ kN}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Senggang :

$$S_{\text{Max}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{157 \times 400 \times 219}{68346}$$

$$= 201,229 \text{ mm}$$

$$S_{\text{Max}} \leq d/2 = \frac{219}{2} = 109,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{Max}} \leq 600 \text{ mm}$$

Jadi dipakai sengkang  $\emptyset 10 - 100$ .

- Perhitungan Tulangan Geser Setelah Komposit

$$\begin{aligned} V_u &= 11653,63 \text{ kg} \\ &= 116,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 33 \end{aligned}$$

9

$$= 100277,55 \text{ N} = 100,28 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_c = 0,6 \times 100,28 = 60,167 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \emptyset V_c = 0,5 \times 60,167 = 30,08 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > 0,5 \emptyset V_c$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\emptyset} \\ &= \frac{116,54}{0,75} = 155,382 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Sengkang :

$$\begin{aligned} S_{\text{Max}} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{157 \times 400 \times 219}{155382} \\ &= 137,012 \text{ mm} \end{aligned}$$

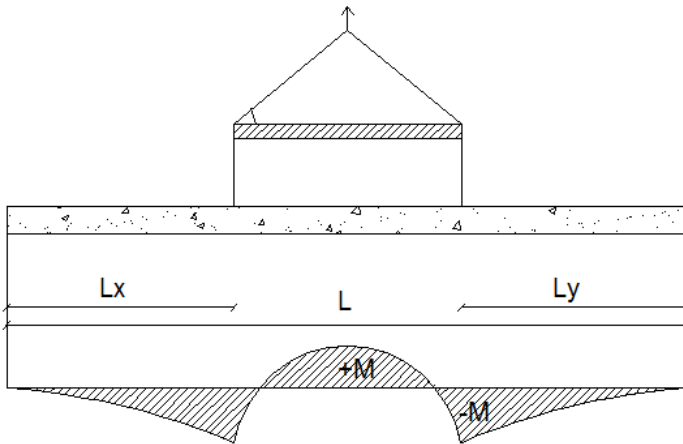
$$S_{\text{Max}} \leq d/2 = \frac{339}{2} = 169,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{Max}} \leq 600 \text{ mm}$$

Jadi dipakai sengkang  $\emptyset 10 - 100$ .

### 5.3.6 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak dibuat secara pracetak, maka elemen balok anak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan serta kekuatan tulangan angkat harus dapat menjamin keamanan elemen balok anak tersebut dari kerusakan yang mungkin akan terjadi.



Gambar 5.8 Pengangkatan balok anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4x + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{W \cdot x^2 \cdot L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg} \theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Ya}{Yb} \left( 1 + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg} \theta} \right)} \right)}$$

Diketahui : balok induk 40/60 dengan bentang 720 cm

$$Ya = Yb = \frac{40-14}{2} = 13 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} Yc &= Ya + 3'' \rightarrow 3'' = 0,0762 \text{ m} \\ &= 0,13 + 0,0762 \\ &= 0,2062 \text{ m} \end{aligned}$$

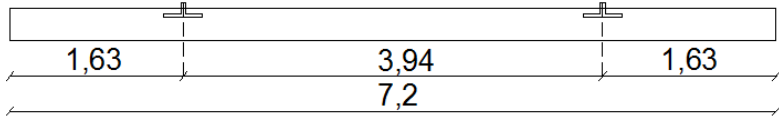
Maka :

$$\begin{aligned} X &= \frac{1 + \frac{4 \times 0,2062}{7,20 \times \text{tg} 45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{0,13}{0,13} \left( 1 + \frac{4 \times 0,2062}{7,20 \times \text{tg} 45^\circ} \right)} \right)} \\ &= 0,227 \end{aligned}$$



$$X \cdot L = 0,227 \times 7,2 = 1,63 \text{ m}$$

$$L - 2(X \cdot L) = 7,2 - 2 \times 1,63 = 3,94 \text{ m}$$



Gambar 7.8 Jarak tulangan angkat

Data – data profil baja :

- Panjang tekuk = 388,8 cm
- Mutu baja BJ 36
- Profil WF 100 x 100 x 6 x 8
 

$A = 21,9 \text{ cm}^2$	$i_s = 4,18 \text{ cm}$
$i_y = 2,47 \text{ cm}$	$w = 17,2 \text{ kg/m}$

Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Balok} &= 0,3 \times 0,4 \times 7,2 \times 2400 = 2073,6 \text{ kg} \\ \text{Balok profil} &= 17,2 \times 7,2 = 123,84 \text{ kg} \\ &= 2197,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T \sin \theta = P &= \frac{1,2 \times k \times Wt}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2197,44}{2} \\ &= 1582,157 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{1582,157}{\sin 45^\circ} = 2237,507 \text{ kg.}$$

### Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 2237,507 \text{ kg}$$

Menurut PBTI pasal 2.2.2 tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  adalah  $\frac{f_y}{1,5}$ .

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{4000}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{tarik ijin}} \times \pi}}$$

$$\varnothing_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{2237,507}{2666,67 \times \pi}}$$

$$\varnothing_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,51 \text{ cm.}$$

Digunakan tulangan  $\varnothing$  10 mm

### Momen yang terjadi :

- Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok Profil} &= 17,2 &= \underline{17,2 \text{ kg/m}} \\ & &= 305,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan suatu faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2.

- Momen Lapangan

$$\begin{aligned} +M &= \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4 \cdot X + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg}\theta} \right) \times 1,2 \\ &= \left( \frac{305,2 \times 7,2^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,227 + \frac{4 \times 0,2062}{7,2 \cdot \text{tg}45} \right) \right) \times 1,2 \\ &= 490,205 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\begin{aligned} f &= \frac{M}{Wt} = \frac{490,205 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 400^2} \\ &= 0,61 \text{ Mpa} \leq f^r = 0,7\sqrt{f^r c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Momen Tumpuan

$$\begin{aligned} -M &= \left( \frac{W \cdot X^2 L^2}{2} \right) \times 1,2 \\ &= \left( \frac{305,2 \cdot 0,227^2 \cdot 7,2^2}{2} \right) \times 1,2 \\ &= 489,162 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\begin{aligned} f &= \frac{M}{Wt} = \frac{489,162 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 400^2} \\ &= 0,61 \text{ Mpa} \leq f^r = 0,7\sqrt{f^r c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan  $f'$  akibat momen positif maupun momen negatif berada dibawah nilai  $f'_{rijin}$  pada usia beton 3 hari. Jadi dapat disimpulkan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan yang diakibatkan dari proses *erection* atau pengangkatan.

## 5.4 Perencanaan Balok Lift

Lift berfungsi untuk mengangkut orang/barang menuju ke lantai yang berbeda ketinggian atau elevasi. Perencanaan balok lift ini diantaranya adalah balok-balok yang ada di sekeliling ruang lift maupun mesin lift, yaitu balok penggantung lift dan balok penumpu lift. Dalam perencanaan balok lift diperlukan spesifikasi dari lift yang akan digunakan, dalam Tugas Akhir ini lift yang akan digunakan diproduksi dari *Mitsubishi Corporation* dengan spesifikasi :

- Merk : Mitsubishi
- Kecepatan : 1,75 m/s
- Kapasitas : 750 kg
- Lebar pintu : 1200 mm
- Dimensi Sangkar (car size) :
- Dimensi Ruang Luncur : 2300 x 2570 mm<sup>2</sup>
- Dimensi Ruang Mesin : 3000 X 4000 mm<sup>2</sup>
- Beban reaksi ruang mesin
  - $R_1 = 2750 \text{ kg} \rightarrow$  Berat Mesin Penggerak + Beban Kereta + Perlengkapan.
  - $R_2 = 2580 \text{ kg} \rightarrow$  Berat Bandul Pemberat + Perlengkapan.

### 5.4.1 Perencanaan Awal Dimensi Balok Lift

- Balok Penggantung Lift
  - Panjang balok penggantung lift = 200 cm
  - $h = \frac{L}{16} = \frac{200}{16} = 12,5 \rightarrow$  diambil  $h = 40 \text{ cm}$
  - $b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 26,67 \text{ cm} \rightarrow$  diambil  $b = 30 \text{ cm}$

Maka diperoleh dimensi balok penggantung lift 30/40.

- Balok Penumpu Lift

Panjang balok penumpu lift = 200 cm

$$h = \frac{L}{16} = \frac{200}{16} = 12,5 \rightarrow \text{diambil } h = 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 26,67 \text{ cm} \rightarrow \text{diambil } b = 30 \text{ cm}$$

Maka diperoleh dimensi balok penumpu lift 30/40.

#### 5.4.2 Pembebanan Balok Lift

- Beban yang bekerja pada balok penumpu

Beban yang bekerja pada balok penumpu adalah beban yang diakibatkan dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, serta akibat bandul pemberat + perlengkapan.

- Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pada PPIUG 1983 pasal 3.3.(3) dinyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan karena induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana, beban keran tersebut harus dikalikan dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus :

$$\psi = (1+k_1k_2v) \geq 1,15$$

Dimana :

$\psi$  = Koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

$v$  = Kecepatan angkat maksimum dalam m/dtk pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang

paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/dtk.

$k_1$  = Koefisien yang bergantung pada kekuatan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka pada umumnya nilainya diambil sebesar 0,6.

$k_2$  = Koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, diambil sebesar 1,3.

Maka beban yang bekerja pada balok adalah :

$$\begin{aligned} P &= \sum R. \psi \\ &= (2750 + 2580) .(1 + 0,6.1,3.1) \\ &= 9487,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

a. Pembebanan Balok Penggantung Lift

Beban Mati ( $q_D$ )

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok} &= 0,3 \times 0,4 \times 2400 \\ &= 288 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat plat beton} &= 0,12 \times 2,00 \times 2400 \\ &= 576 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal (t= 2cm)} &= 2 \times 2,00 \times 14 \\ &= 56 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_D &= 288 + 576 + 56 \\ &= 920 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup ( $q_L$ )

$$q_L = 250 \text{ kg/m}$$

Baban berfaktor

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2.920 + 1,6.250 \\ &= 1504 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Baban terpusat lift,  $P = 9487,4 \text{ kg}$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \cdot 1504,2,00 + \frac{1}{2} \cdot 9487,4 \\
 &= 6247,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 1504,2,00^2 + \frac{1}{4} \cdot 9487,4 \cdot 2,00 \\
 &= 5495,7 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

b. Pembebanan Balok Penumpu Lift

Beban Mati ( $q_D$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri balok} &= 0,3 \times 0,4 \times 2400 \\
 &= 288 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat plat beton} &= 0,12 \times 2,00 \times 2400 \\
 &= 576 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat aspal (t= 2cm)} &= 2 \times 2,00 \times 14 \\
 &= 56 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_D &= 288 + 576 + 56 \\
 &= 920 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup ( $q_L$ )

$$q_L = 250 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\
 &= 1,2 \cdot 920 + 1,6 \cdot 250 \\
 &= 1504 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban terpusat lift, P = 9487,4 kg

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1504,2,00 + \frac{1}{2} \cdot 9487,4
 \end{aligned}$$

$$= 6247,7 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\ &= \frac{1}{8} \cdot 1504 \cdot 2,00^2 + \frac{1}{4} \cdot 9487,4 \cdot 2,00 \\ &= 5495,7 \text{ kgm} \end{aligned}$$

### 5.4.3 Penulangan Balok Lift

#### a. Penulangan Balok Penggantung Lift

- Data Perencanaan :

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Tul. Balok diameter (D-16)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. Sengkang diameter } (\emptyset-8) = 8 \text{ mm}$$

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

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} d' &= h' + \emptyset_{\text{Sengkang}} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 40 + 8 + 0,5 \cdot 16 \\ &= 56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 400 - 56 = 344 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,008(f_c' - 30) \\ &= 0,85 - 0,008(35 - 30) \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,036$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \rightarrow (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

▪ Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{54957000}{0,8 \times 300 \times 344^2} = 1,935$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,935}{400}} \right) \\ &= 0,005 \end{aligned}$$

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

$0,0037 < 0,005 < 0,027 \rightarrow (\text{OK!})$ , maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,005$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005 \times 300 \times 344 \\ &= 516 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\emptyset 10}}} \\ &= \frac{516}{201,061} \\ &= 2,566 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 3D16 (603,185 mm<sup>2</sup>)

$$S = \frac{bw - 2\phi_{\text{sengkang}} - 2 \cdot \text{decking} - n \cdot \phi_{\text{tul.utama}}}{n-1} \geq 25 \text{ mm}$$



$$= \frac{300 - 2 \cdot (8) - 2 \cdot (40) - 3 \cdot (16)}{3 - 1} = 78 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$$

▪ Perhitungan Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_u &= 6247,7 \text{ kg} \\ &= 62477 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 344 \\ &= 101756,57 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 101756,57 = 61053,943 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s \min} &= 0,6 \cdot 1/3 \cdot 300 \cdot 344 \\ &= 20640 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c + \phi V_{s \min} = 81693,943 \text{ N}$$

Penulangan geser masuk persyaratan rumus :

$\phi V_c < V_u < \phi V_c + \phi V_{s \min} \rightarrow$  Perlu tulangan geser.

Syarat  $S_{\max} < d/2 = 344/2 = 172 \text{ mm}$ , dan  $S_{\max} < 600 \text{ mm}$ .

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 100,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pasang  $\emptyset 8$ -160mm.

Kontrol  $V_s$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{S} \\ &= \frac{100,53 \times 400 \times 344}{160} \\ &= 86455,8 \text{ N} > V_s \end{aligned}$$

Sehingga dalam penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser sebagai berikut:

- Tulangan lentur : 3D16
- Tulangan geser :  $\emptyset 8$ -160

b. Penulangan Balok Penumpu Lift

- Data Perencanaan :

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Tul. Balok diameter (D-16)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. Sengkang diameter } (\phi\text{-8}) = 8 \text{ mm}$$

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

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d' = h' + \phi_{\text{Sengkang}} + \frac{1}{2} \cdot \phi_{\text{Tul. utama}}$$

$$= 40 + 8 + 0,5 \cdot 16$$

$$= 56 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 56 = 344 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c' - 30)$$

$$= 0,85 - 0,008(35 - 30) = 0,81$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,036$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \rightarrow (\text{SNI 03-2847-2002 ps}$$

12.5.1)

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

- Perhitungan Tulangan Lentur

$$Rn = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{54957000}{0,8 \times 300 \times 344^2} = 1,935$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,935}{400}} \right) \\ &= 0,005 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$  , dimana :

$0,0037 < 0,005 < 0,027 \rightarrow$  (OK!), maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,005$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005 \times 300 \times 344 \\ &= 516 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\phi 10}}} \\ &= \frac{516}{201,061} \\ &= 2,566 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 3D16 (603,185 mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} S &= \frac{bw - 2\phi_{\text{sengkang}} - 2 \cdot \text{decking} - n \cdot \phi_{\text{tul.utama}}}{n-1} \geq 25 \text{ mm} \\ &= \frac{300 - 2 \cdot (8) - 2 \cdot (40) - 3 \cdot (16)}{3-1} = 78 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### ▪ Perhitungan Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_u &= 6247,7 \text{ kg} \\ &= 62477 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 344 \\ &= 101756,57 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 101756,57 = 61053,943 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s \text{ min}} &= 0,6 \cdot 1/3 \cdot 300 \cdot 344 \\ &= 20640 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c + \phi V_{s \text{ min}} = 81693,943 \text{ N}$$

Penulangan geser masuk persyaratan rumus :

$\phi V_c < V_u < \phi V_c + \phi V_{s \min} \rightarrow$  Perlu tulangan geser.

Syarat  $S_{\max} < d/2 = 344/2 = 172$  mm, dan  $S_{\max} < 600$  mm.

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 100,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pasang  $\emptyset 8$ -160mm.

Kontrol  $V_s$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{S} \\ &= \frac{100,53 \times 400 \times 344}{160} \\ &= 86455,8 \text{ N} > V_s \end{aligned}$$

Sehingga dalam penulangan balok penumpu lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser sebagai berikut:

- Tulangan lentur : 3D16
- Tulangan geser :  $\emptyset 8$ -160

## **BAB VI**

### **PERENCANAAN PEMBEBANAN GEMPA**

#### **6.1 Perencanaan Pembebanan Gempa**

Struktur utama merupakan komponen utama di dalam analisa struktur yang mana kekakuan pada struktur utama mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Pada bab ini beban gempa direncanakan sesuai dengan kontrol-kontrol peraturan gempa SNI 03-1726-2012.

#### **6.2 Data-Data Perencanaan**

Data-data perencanaan Gedung Perkuliahan PENS ini adalah sebagai berikut :

Mutu beton ( $f_c'$ )	:	35MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	:	400 MPa
Fungsi bangunan	:	Perkuliahan
Tinggi bangunan	:	50,9 m
Jumlah tingkat	:	12 Lantai
• 1 lantai semi basement	=	3,90 m
• Lantai 1	=	4,80 m
• Lantai 2-10	=	4,20 m
• Lantai 11	=	4,15 m
Dimensi kolom	:	105 x105
Dimensi balok	:	40/60

Zona Gempa : 3

Faktor keutamaan : 1

### 6.3 Perhitungan Berat Struktur

Untuk bisa melakukan analisa terhadap beban gempa diperlukan data luas lantai, tinggi struktur, panjang total balok induk dan panjang balok anak untuk keseluruhan lantai guna mencari berat keseluruhan dari gedung. Berikut data-data yang diperlukan yang tersaji dalam tabel dibawah ini :

**Tabel 6.1. Tabel luas per lantai**

luas per lantai	(m <sup>2</sup> )
Basement	1931,04
Lantai 1	1931,04
Lantai 2-4	1931,04
Lantai 5-6	1725,84
Lantai 7-11	1033,2
Lantai Atap	1033,2

**Tabel 6.2. Tabel tinggi per lantai**

tinggi per lantai	(m)
Basement	3,9
Lantai 1	4,8
Lantai 2-4	4,2
Lantai 5-6	4,2
Lantai 7-10	4,2
Lantai 11	4,15

**Tabel 6.3. Tabel panjang balok induk per lantai**

panjang balok induk per lantai	(m)
Basement	856,6
Lantai 1	856,6
Lantai 2-4	856,6
Lantai 5-6	786,4
Lantai 7-11	560,8
Lantai Atap	560,8

**Tabel 6.4. Tabel panjang balok anak per lantai**

panjang balok anak per lantai	(m)
Basement	433,8
Lantai 1	433,8
Lantai 2-4	433,8
Lantai 5-6	433,8
Lantai 7-11	297,8
Lantai atap	297,8

**Tabel 6.5. Jumlah kolom per lantai**

jumlah kolom	buah
Basement-4	62
Lantai 5-6	56
Lantai 7-11	36

Dari data tersebut, maka didapatkan perhitungan berat bangunan per lantai sebagai berikut :



## a. Berat lantai Basement

Lantai basement		
Beban mati		
Berat Pelat	1931,04x2400x0,14	648829,44
Berat Penggantung	1931,04x7	13517,28
Berat Plafon	1931,04x11	21241,44
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x856,6	493401,6
Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x433,8	124934,4
Berat Balok Lift	0,3x0,4x2400x64	18432
Tegel (keramik)	1931,04x24	46344,96
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x1290,4	48390
ME	1931,04x8	15448,32
Berat Spesi (2 cm)	1931,04x2100x0,02	81103,68
Berat Aspal (1cm)	1931,04x1400x0,01	27034,56
Berat Kolom	1,05x1,05x2400x3,9x62	639802,8
Jumlah Beban Mati		2178480,48
Beban hidup		

Beban Hidup Lantai	1931,04x250	482760
Jumlah Beban Hidup		482760
Beban lantai basement		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	3386592.58

## b. Berat lantai 1

Lantai 1		
Beban mati		
Berat Pelat	1931,04x2400x0,14	648829,44
Berat Penggantung	1931,04x7	13517,28
Berat Plafon	1931,04x11	21241,44
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x856,6	493401,6
Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x433,8	124934,4
Berat Balok Lift	0,3x0,4x2400x64	18432
Tegel (keramik)	1931,04x24	46344,96
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x1290,4	48390
ME	1931,04x8	15448,32
Berat Spesi (2 cm)	1931,04x2100x0,02	81103,68
Berat Aspal (1cm)	1931,04x1400x0,01	27034,56
Berat Kolom	1,05x1,05x2400x4,8x62	787449,6
Jumlah Beban Mati		2326127,28

Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1931,04x250	482760
Jumlah Beban Hidup		482760
Beban lantai 1		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	3563768,736

## c. Berat lantai 2-4

Lantai 2-4		
Beban mati		
Berat Pelat	1931,04x2400x0,14	648829,44
Berat Penggantung	1931,04x7	13517,28
Berat Plafon	1931,04x11	21241,44
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x856,6	493401,6
Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x433,8	124934,4
Berat Balok Lift	0,3x0,4x2400x64	18432
Tegel (keramik)	1931,04x24	46344,96
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x1290,4	48390
ME	1931,04x8	15448,32
Berat Spesi (2 cm)	1931,04x2100x0,02	81103,68

Berat Aspal (1cm)	1931,04x1400x0,01	27034,56
Berat Kolom	1,05x1,05x2400x4,2x62	689018,4
Jumlah Beban Mati		2227696,08
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1931,04x250	482760
Jumlah Beban Hidup		482760
Beban lantai 2-4		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	3445651,30

## d. Berat lantai 5-6

Lantai 5		
Beban mati		
Berat Pelat	1725,84x2400x0,14	579882,24
Berat Penggantung	1725,84x7	12080,88
Berat Plafon	1725,84x11	18984,24
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x786,4	452966,4

Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x433,8	124934,4
Berat Balok Lift	0,3x0,4x2400x64	18432
Tegel (keramik)	1725,84x24	41420,16
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x1220,2	45757,5
ME	1725,84x8	13806,72
Berat Spesi (2 cm)	1725,84x2100x0,02	72485,28
Berat Aspal (1cm)	1725,84x1400x0,01	24161,76
Berat Kolom	1,05x1,05x2400x4,2x56	622339,2
Jumlah Beban Mati		2027250,78
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1725,84x250	431460
Jumlah Beban Hidup		431460
Beban lantai 5		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	3123036,94

## e. Berat lantai 7-10

Lantai 7-10		
Beban mati		
Berat Pelat	1033,2x2400x0,14	347155,2
Berat Penggantung	1033,2x7	7232,4
Berat Plafon	1033,2x11	11365,2
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x560,4	322790,4
Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x560,4	161395,2
Berat Balok Lift	0,3x0,4x2400x64	18432
Tegel (keramik)	0,6x0,9x2400x18x4	24797,76
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x858,2	32182,5
ME	1033,2x8	8265,6
Berat Spesi (2 cm)	1033,2x2100x0,02	43394,4
Berat Aspal (1cm)	1033,2x1400x0,01	14464,8
Berat Kolom	1,05x1,05x2400x4,2x36	400075,52

Jumlah Beban Mati		1391550,98
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1033,2x250	258300
Jumlah Beban Hidup		258300
Beban lantai 7-11		
Beban Mati + Beban Hidup	(kg)	2083141,18

## f. Berat lantai 11

Lantai 7-10		
Beban mati		
Berat Pelat	1033,2x2400x0,14	347155,2
Berat Penggantung	1033,2x7	7232,4
Berat Plafon	1033,2x11	11365,2
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x560,4	322790,4
Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x560,4	161395,2
Berat Balok	0,3x0,4x2400x64	18432

Lift		
Tegel (keramik)	0,6x0,9x2400x18x4	24797,76
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x858,2	32182,5
ME	1033,2x8	8265,6
Berat Spesi (2 cm)	1033,2x2100x0,02	43394,4
Berat Aspal (1cm)	1033,2x1400x0,01	14464,8
Berat Kolom	1,05x1,05x2400x4,15x36	395312,4
Jumlah Beban Mati		1372323,06
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1033,2x250	258300
Jumlah Beban Hidup		258300
Beban lantai 11		
Beban Mati + Beban Hidup	(kg)	2060067,67



## g. Berat lantai Atap

Lantai Atap		
Beban mati		
Berat Pelat	1033,2x2400x0,14	347155,2
Berat Penggantung	1033,2x7	7232,4
Berat Plafon	1033,2x11	11365,2
Berat Balok Induk	0,4x0,6x2400x560,4	322790,4
Berat Balok Anak	0,3x0,4x2400x560,4	161395,2
Berat Balok Lift	0,3x0,4x2400x64	18432
Tegel (keramik)	0,6x0,9x2400x18x4	24797,76
Dinding (1/2 bata)	0,15x250x858,2	32182,5
ME	1033,2x8	8265,6
Berat Spesi (2 cm)	1033,2x2100x0,02	43394,4
Berat Aspal (1cm)	1033,2x1400x0,01	14464,8
Jumlah Beban Mati		991475,46
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1033,2x100	103320

Jumlah Beban Hidup		103320
Beban lantai atap		
Beban Mati + Beban Hidup	(kg)	1355082,55

Maka akan didapatkan beban total per lantai sebagai berikut :

Total beban lantai	W (kg)
Basement	3386592,58
Lantai 1	3563768,74
Lantai 2	3445651,30
Lantai 3	3445651,30
Lantai 4	3445651,30
Lantai 5	3123036,94
Lantai 6	3123036,94
Lantai 7	2083141,18
Lantai 8	2083141,18
Lantai 9	2083141,18
Lantai 10	2083141,18
Lantai 11	2060067,67
Lantai Atap	1355082,55
	35281104,04

## 6.4 Prosedur Analisis Beban Seismik

Pada struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah, dimana struktur bangunan gedung tersebut harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Berikut langkah-langkah analisis beban seismik berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 untuk bangunan gedung :

- Gedung perkuliahan PENS merupakan kategori resiko bangunan gedung dan non gedung yang berupa gedung sekolah dan fasilitas pendidikan. Gedung tersebut masuk pada kategori resiko IV.
- Dari kategori gedung dapat ditemukan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ). Pada perencanaan ini kategori resiko masuk pada kategori resiko IV sehingga faktor keutamaan diperoleh 1,50.
- Penentuan kelas situs berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah dan lapangan dan di laboratorium.

Tabel 6.6 Klasifikasi Situs

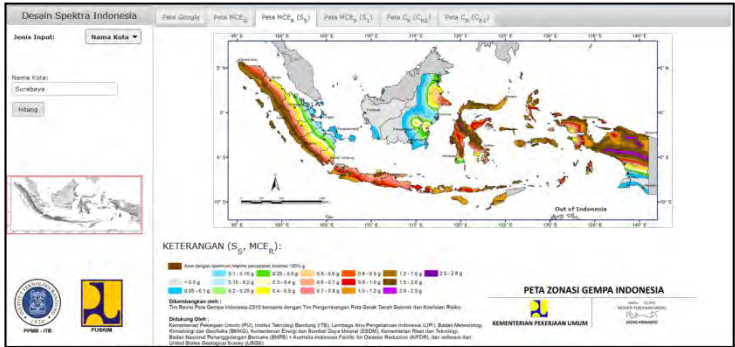
Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:			
1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ ,			
2. Kadar air, $w \geq 40\%$ ,			
3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa			

- Parameter Percepatan Percepatan Gempa

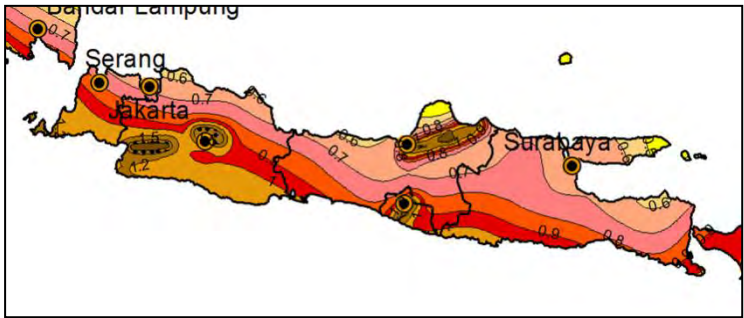
Parameter percepatan terpetakan

Parameter yang digunakan adalah  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) serta parameter  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik). Parameter tersebut harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah

seismik ( $MCE_R$ ) dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun.



Gambar 6.1 Peta  $MCE_R$  untuk  $S_S$  ( $T = 0,2$  s)  
 (Sumber : <http://puskim.pu.go.id/>)



Gambar 6.2 Peta  $MCE_R$ - $S_S$  Kota Surabaya  
 (Sumber : <http://puskim.pu.go.id/>)

Dari gambar di atas didapatkan  $MCE_R$ - $S_S$  ( $T = 0,2$  s) untuk wilayah Surabaya  $S_S = 0,6$ .



e. Penentuan Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$ Tabel 6.7 Koefisien situs  $F_a$ 

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_T$				
	$S_T \leq 0,25$	$S_T = 0,5$	$S_T = 0,75$	$S_T = 1,0$	$S_T \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

(a) Untuk nilai-nilai antara  $S_T$  dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

Dari tabel diatas untuk  $S_S = 0,6$  dengan kelas situs SE dengan interpolasi didapatkan nilai  $F_a = 1,5$ .

Tabel 6.8 Koefisien situs  $F_v$ 

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_T$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

(a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

Dari tabel diatas untuk  $S_1 = 0,3$  dengan kelas situs SE dengan interpolasi didapatkan nilai  $F_a = 2,8$ .

## f. Parameter percepatan spektral respons

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S = 1,5 \cdot 0,6 = 0,9$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 2,8 \cdot 0,3 = 0,84$$

## g. Parameter percepatan spektral desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,9 = 0,6$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,84 = 0,56$$

## h. kategori desain seismik

Tabel 6.9 kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{DS}$ )

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

Dari tabel diatas untuk  $S_{DS} = 0,6$  dengan kategori risiko IV termasuk dalam kategori desain seismik D.

Tabel 6.10 kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik ( $S_{D1}$ )

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

Dari tabel diatas untuk  $S_{D1} = 0,56$  dengan kategori risiko IV termasuk dalam kategori desain seismik D.

i. Kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda  
Menentukan faktor R,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa.

Tabel 6.11 Faktor R,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$   
untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya gempa	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>e</sup>
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI

j. Prosedur analisis gaya lateral  
o Respon Spectrum gempa Rencana :

$$T_0 = \frac{0,2 \cdot S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,2 \cdot 0,56}{0,6} = 0,187 \text{ detik}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,56}{0,6} = 0,933 \text{ detik}$$

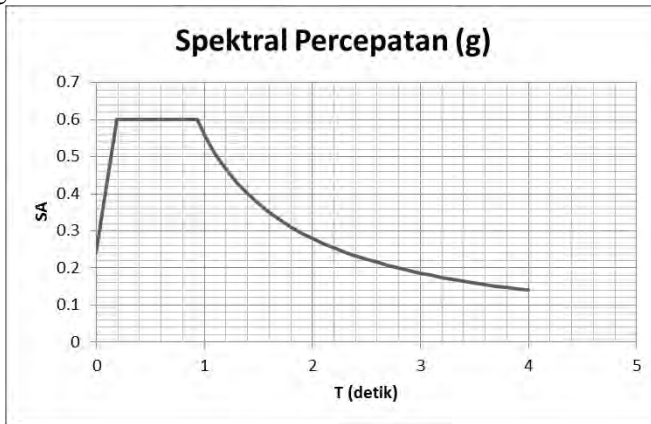
Pada  $T = 0$  detik,

$$\begin{aligned} S_A &= S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,6 \left( 0,4 + 0,6 \frac{0}{0,187} \right) = 0,24 \text{ g} \end{aligned}$$

Pada  $T > T_S$ ,

$$S_A = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dari perumusan di atas maka akan didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 6.5 Respon spectrum rencana untuk tanah lunak

o Periode getar struktur pendekatan

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

dimana :

$h_n$  = Ketinggian struktur (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur



Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel dibawah ini :

Tabel 6.12 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>2</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>2</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>2</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>2</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>2</sup>	0,75

(sumber : SNI 03-1726-2012)

Maka :

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \cdot h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 54,35^{0,9} \\
 &= 1,698 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

o Periode getar struktur maksimum

$$T_{\max} < C_u \cdot T_a$$

Tabel 6.13 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang hilang

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

(sumber : SNI 03-1726-2012)

Maka,

$$\begin{aligned}
 T_{\max} &< C_u \cdot T_a \\
 &< 1,4 \times 1,698 \\
 &< 2,377 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

o Koefisien respon gempa

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6}{\left(\frac{5}{1,5}\right)} = 0,18$$

dimana :

$S_{DS}$  = Percepatan respon spectral rencana

$R$  = Faktor modifikasi respon

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Kontrol nilai  $C_S$

$$C_{S \max} = \frac{S_{D1}}{T_a \left( \frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0.56}{1.698 \left( \frac{5}{1.5} \right)} = 0.099$$

$$\begin{aligned} C_{S \min} &= 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0.044 \cdot 0.6 \cdot 1.5 \\ &= 0.0396 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S \min} &\geq 0.01 \\ 0.0396 &\geq 0.01 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

Nilai  $C_S$  tidak boleh lebih besar dari  $C_{S \max}$  dan tidak boleh lebih kecil dari  $C_{S \min}$

$$\begin{aligned} C_{S \min} &< C_S < C_{S \max} \\ 0,0396 &< 0,18 > 0,099 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $C_S = 0.099$

o Perhitungan beban gempa statik ekivalen

$$V = C_S \cdot W$$

dimana :

$C_S$  = Koefisien respon seismik

$W$  = Berat seismik efektif / berat total bangunan

Maka,

$$\begin{aligned} V &= 0.099 \cdot 33695411,25 \\ &= 3335845,714 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pada SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1 disebutkan apabila kombinasi respons untuk gaya dasar ragam (Vt) lebih kecil 85 persen dari gaya geser dasar (V) menggunakan gaya lateral ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan oleh suatu fakto sebesar  $0,85V/Vt$ .

$$0,85V = 0,85 \times 3335845,714 \text{ kg} = 2835468,86 \text{ kg}$$

Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 didadaptkan hasil sebagai berikut :

Tabel 6.14 Gaya geser dasar ragam (Vt)

Tipe Beban Gempa	Fx (kg)	Fy (kg)
Gempa R.Spektrum X	1482140	983744
Gempa R.Spektrum Y	983508	1237542

$$F_x = V_{xt} = 1482140 \text{ kg}$$

$$F_y = V_{yt} = 1237542 \text{ kg}$$

Maka untuk arah x :

$$0,85V = 2835468,86 \text{ kg} > 1482140 \text{ kg} \rightarrow (\text{Not Ok})$$

Maka untuk arah y :

$$0,85V = 2835468,86 \text{ kg} > 1237542 \text{ kg} \rightarrow (\text{Not Ok})$$

Dari hasil analisa diatas, didapatkan bahwa gaya geser dasar ragam (Vt) lebih kecil daripada gaya deser (V) sehingga gaya geser tingkat nominal akibat gempa rencana struktur gedung hasil analisa harus dikalikan suatu faktor skala sebesar  $0,85V/V_t$ .

$$\text{Arah x : } \frac{0,85 V}{V_t} = \frac{2835468,86}{1482140} = 2$$

$$\text{Arah x : } \frac{0,85 V}{V_t} = \frac{2835468,86}{1237542} = 2,3$$

Setelah didapatkan faktor skala tersebut, selanjutnya analisa struktur diulang dengan menalikan skala faktor tersebut pada define reponse spektrum. Kemudian dilakukan running ulang. Maka akan didapatkan hasil :

Tabel 6.15 Gaya geser dasar ragam (Vt) setelah dikalikan faktor skala

Tipe Beban Gempa	Fx (kg)	Fy (kg)
Gempa R.Spektrum X	2964279	1967487
Gempa R.Spektrum Y	2262069	2846345

$$F_x = V_{xt} = 2964279 \text{ kg}$$

$$F_y = V_{yt} = 2846345 \text{ kg}$$

Maka untuk arah x :

$$0,85V = 2835468,86 \text{ kg} > 2964279 \text{ kg} \rightarrow (\text{Ok})$$

Maka untuk arah y :

$$0,85V = 2835468,86 \text{ kg} > 2846345 \text{ kg} \rightarrow (\text{Ok})$$

Gaya geser dasar ragam gempa telah memenuhi syarat, sehingga dapat digunakan sebagai beban gempa desain.

### 6.5 Kontrol Drift (Simpangan Antar Lantai)

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar lantai akibat beban gempa rencana. Batas simpangan ini dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, serta membatasi peretakan pada beton secara berlebihan.

Nilai dari simpangan antar lantai dihitung dengan aplikasi program bantu stuktur yang selanjutnya batasan simpangan tersebut dinyatakan dengan perumusan sesuai dengan SNI 03-1726-2012, pasal 7.12.1.1 dimana simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi  $\Delta_a/\rho$ , dimana  $\rho$  sesuai pasal 7.3.4.2 sebesar 1,3:

Tabel 6.16 Simpangan antar lantai ijin

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

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,010 h_n \\ &= 0,010 \times 4200 \\ &= 42 \text{ mm} \\ \Delta &= \frac{\Delta_a}{\rho} = \frac{42}{1,3} = 32,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari kedua hasil perhitungan batas drift diambil nilai batas drift terkecil sebesar 22,9 mm. Hasil analisa simpangan menggunakan *software* SAP 2000 v.14 simpangan per lantai disajikan dalam bentuk tabel :

Tabel 6.17 Simpangan per lantai arah x

Lantai	Tinggi (m)	Akumulasi (m)	X (mm)	Syarat Drift (mm)	Keterangan
11	4,15	50,65	19,9	31,9	OK
10	4,2	46,5	19	32,3	OK
9	4,2	42,3	17,9	32,3	OK
8	4,2	38,1	16,5	32,3	OK
7	4,2	33,9	14,7	32,3	OK
6	4,2	29,7	12,8	32,3	OK
5	4,2	25,5	10,7	32,3	OK
4	4,2	21,3	8,5	32,3	OK
3	4,2	17,1	6,3	32,3	OK
2	4,2	12,9	4,2	32,3	OK
1	4,8	8,7	2,2	36,9	OK
Semi Base ment	3,9	3,9	0,5	30	OK

Tabel 6.18 Simpangan per lantai arah y

Lantai	Tinggi (m)	Akumulasi (m)	X (mm)	Syarat Drift (mm)	Keterangan
11	4,15	50,65	16,8	31,9	OK
10	4,2	46,5	16,2	32,3	OK

9	4,2	42,3	15,4	32,3	OK
8	4,2	38,1	14,3	32,3	OK
7	4,2	33,9	12,9	32,3	OK
6	4,2	29,7	11,4	32,3	OK
5	4,2	25,5	9,6	32,3	OK
4	4,2	21,3	7,7	32,3	OK
3	4,2	17,1	5,8	32,3	OK
2	4,2	12,9	3,9	32,3	OK
1	4,8	8,7	2,1	36,9	OK
Semi Base ment	3,9	3,9	0,5	30	OK

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa simpangan yang terjadi pada gedung yang direncanakan ini baik simpangan arah x maupun arah y telah memenuhi syarat drift yang telah ditentukan. Sehingga struktur gedung tersebut telah memenuhi kinerja batas layan struktur.

## 6.6 Perhitungan Kuat Geser

Perhitungan kuat geser dilakukan untuk mengecek kebutuhan dinding geser atau dinding struktur pada bangunan. Perhitungan yang dilakukan ini sebagai kontrol luas penampang kolom terhadap kuat geser yang bekerja pada komponen strukturm khususnya kolom. Gaya geser terbesar yang bekerja pada struktur beton terdapat pada struktur kolom ialah 39091,98 kg.

Gaya geser terbesar yang bekerja pada irisan penampang kolom dimisalkan sebagai tegangan geser ( $\tau$ ). Tegangan geser tersebut akan dibandingkan dengan kemampuan beton

memikul beban geser  $V_c$ . Perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\tau = \frac{3V}{2A}$$

dimana :

$\tau$  = tegangan geser yang terjadi pada kolom

$V$  = gaya geser yang bekerja pada kolom akibat beban

$A$  = luas penampang kolom sesuai dengan [reliminary design.

Sedangkan kekuatan bahan dalam menerima tegangan geser dibagi menjadi dua. Kedua tegangan tersebut adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton dan kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Kuat geser yang disumbangkan oleh beton pada komponen struktur adalah sebagai berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \sqrt{\frac{f'c}{6}}$$

Dimana :

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan beton

$N_u$  = beban aksial berfaktor yang diterima struktur

$A_g$  = Luas kolom tanpa rongga

$f'c$  = mutu beton dalam Mpa

Perhitungan tegangan geser yang terjadi pada kolom :

$$\tau = \frac{3V}{2A} = \frac{3 \times 39091,98}{2(105 \times 105)} = 5,32 \text{ kg/cm}^2 = 0,532 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \sqrt{\frac{f'c}{6}} \\ &= \left(1 + \frac{620469}{14 \times (105 \times 105)}\right) \cdot \sqrt{\frac{35}{6}} \\ &= 12,12 \text{ Mpa} > \tau \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga dalam perencanaan struktur gedung PENS tidak memerlukan dinding geser (*shear wall*).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB VII

### ANALISA STRUKTUR PRIMER

#### 7.1 Perencanaan Balok Induk

##### 7.1.1 Penulangan Lentur Balok Induk

Dalam perencanaan ini, balok induk yang direncanakan menggunakan sistem pracetak. Maka dari itu, penulangan lentur balok induk tersebut harus memperhatikan dua kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan kondisi setelah komposit. Dengan adanya dua kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk tersebut. Berikut adalah data perencanaan dari balok induk tersebut :

- Mutu Beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa
- Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) : 400 MPa
- Dimensi Balok Induk : 40/60 cm<sup>2</sup>

##### a. Penulangan Lentur Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, balok pracetak dimodelkan sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Beban-beban yang digunakan untuk menghitung tulangan pada kondisi sebelum komposit adalah beban pelat yang sudah overtopping serta berat balok induk sendiri. Di dalam perhitungannya, beban-beban merata yang diterima oleh balok induk dihitung seluas setengah area pelat pertama ditambah setengah area pelat lainnya.

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dan beban hidup dari pelat pracetak, balok anak, serta berat dari balok induk itu sendiri. Dimensi balok induk sebelum komposit = 40/46. Bentang balok induk = 7,2 m.

Beban pada balok anak :

- **Beban Mati**  
 Berat balok anak =  $0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$   
 Berat Pelat =  $0,08 \times 2400 \times 3,6 = 691,2 \text{ kg/m}$   
 Total Beban mati balok anak ( $Q_d$ )  
 = Berat balok anak + Berat pelat  
 =  $288 + 691,2 = 979,2 \text{ kg/m}$
  - **Beban Hidup**  
 Beban Pekerja =  $20\% \times Q_d$   
 =  $0,2 \times 979,2$   
 =  $195,84 \text{ kg/m}$
- $$Q_U = 1,2D + 1,6L$$
- $$= 1,2(979,2) + 1,6(195,84)$$
- $$= 1488,384 \text{ kg/m}$$

Selanjutnya, beban merata pada balok anak ( $Q_u$ ) akan disalurkan ke balok induk dalam bentuk terpusat ( $P_u$ ).

$$P_u = 1488,384 \times 7,2$$

$$= 10716,365 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada tiap balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban terbagi rata pelat.

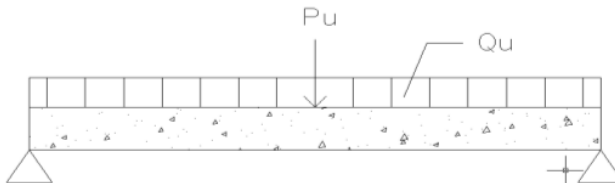
$$\text{Berat balok induk} = 0,4 \times 0,46 \times 2400 = 441 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,4D$$

$$= 1,4 \times 441$$

$$= 617,4 \text{ kg/m}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit sebagai berikut :



Gambar 7.1 Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= \left(\frac{1}{8} \times Q \times L^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times P \times L^2\right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 617,46 \times 7,2^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times 10716,365 \times 7,2\right) \\
 &= 42580,055 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen ultimate (Mu) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan balok induk sebelum komposit adalah 42580,055 kgm.

### Perhitungan Tulangan Lentur

Dimensi balok induk 40/60

Bentang balok induk 7,2 m

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 25 mm.

$$\rho_{\max} = 0,027$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\text{Mu} = 42580,055 \text{ kgm} = 42580550 \text{ Nmm}$$

Pada saat sebelum komposit, perletakan dianggap sendi dan rol, maka momennya adalah nol. Namun tetap diberikan penulangan sebesar tulangan lapangan.

$$d_x = 600 - 140 - 40 - 16 - \frac{1}{2} \times 25$$

$$= 391,5 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{0,8 \times b \times d^2} \\
 &= \frac{42580550}{0,8 \times 400 \times 391,5^2} \\
 &= 0,86 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 35} \\
 &= 13,445
 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,86}{400}} \right)$$

$$= 0,0022$$

$\rho < \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho = 0,0035$ . Sehingga didapatkan:

$$A_{S_{\text{Perlu}}} = 0,0035 \times 400 \times 339$$

$$= 474,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan 2D25 ( $A_s = 981,74 \text{ m}^2$ ).

Tulangan Tumpuan dipakai 2D22 ( $A_s = 981,74 \text{ m}^2$ ).

### b. Penulangan Lentur Sesudah Komposit Balok Melintang

Data Perencanaan Balok Induk Melintang :

- Dimensi Balok Induk = 40/60
- Panjang Balok Induk = 7,2 m
- Diameter Tulangan Utama = 25 mm
- Diameter Tulangan Senggang = 10 mm
- Tebal Decking = 40 mm

$$d_x = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 539 \text{ mm}$$

$$d'_y = 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 = 61 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$$

$$= 0,85 - 0,008(35 - 30)$$

$$= 0,81$$

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

(SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3)

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,036$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

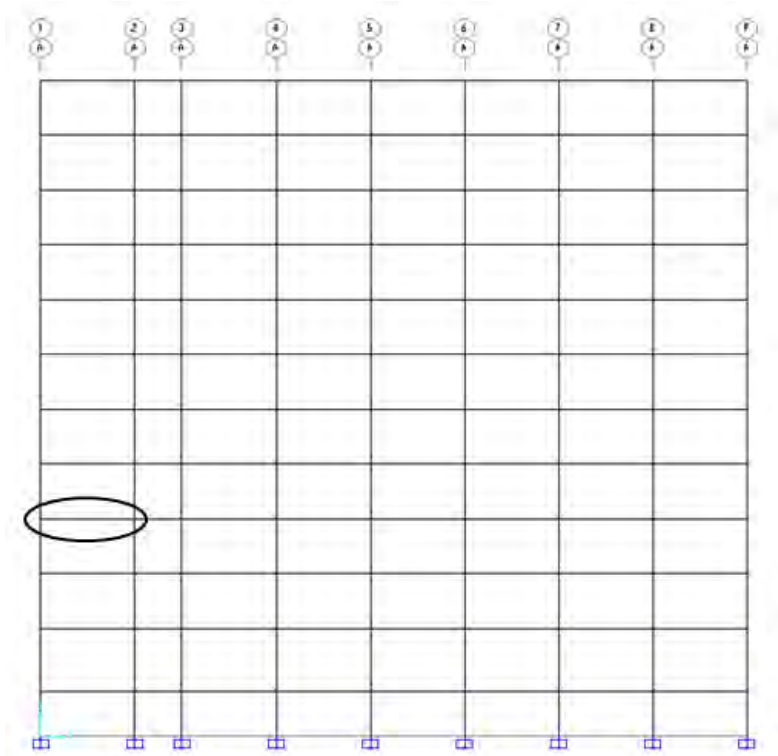
$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

Pada perencanaan kali ini, desain balok induk menggunakan tulangan rangkap, dimana dalam mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa bolak-balik (kiri dan kanan atau arah x dan arah y) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap dengan mengambil jumlah tulangan yang paling besar. Berikut adalah tabel dari hasil analisa *software* SAP 2000, didapatkan momen yang tersaji dalam tabel :

- Balok Melintang Eksterior



Gambar 7.2 balok melintang eksterior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 530948930 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 150820534 \text{ Nmm}$
- $dx = 539 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$M_u = - 530948930 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 530948930}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 3,43$$

$$\begin{aligned}\rho \delta &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m X Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 3,43}{400}} \right) \\ &= 0,009\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (a-d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 530948930}{0,8 \cdot 400 \cdot (539-61') \cdot 400 \cdot 539} \\ &= 0,0064\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,009 + 0,0064 \\ &= 0,0156\end{aligned}$$

Karena,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0037 < 0,0156 < 0,027 \rightarrow$ (OK!), maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0156$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0156 \times 400 \times 539 \\ &= 3356,19 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{S\phi 22}} \\ &= \frac{330948930}{490,625} \\ &= 6,84 \approx 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 8D25 ( $A_s = 3925 \text{ mm}^2$ ).

$$\begin{aligned}A_{s'} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0064 \times 400 \times 539 \\ &= 1499,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D25 ( $A_s = 1962,5 \text{ mm}^2$ ).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3925}{400 \times 539} = 0,018 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{3925 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 131,93 \text{ mm} \\ \phi Mn &= \phi \times A_s \times fy \cdot (d - \frac{a}{2})\end{aligned}$$

$$= 0,8 \times 3925 \times 400 \left( 539 - \frac{131,93}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 594.130.218 \text{ Nmm} > M_u = 530.948.930 \text{ Nmm}$$

(OK).

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b w x d} = \frac{3925}{400 \times 539} = 0,018$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b w x d} = \frac{1962,5}{400 \times 539} = 0,009$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600-400}$$

$$0,009 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600-400}$$

$$0,009 \geq 0,020 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f_c' \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y \times d} \right| \leq f_y$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,009) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$$f's = 145,47 \leq f_y \rightarrow \text{(Tulangan masih dalam kondisi tekan).}$$

Diambil  $f's = 140,364 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f's}{0,85 \times f_c' \times b w}$$

$$= \frac{3925 \times 400 - 1962,5 \times 145,47}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$= 107,942 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f's) \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f's \times (d - d')$$

$$= (3925 \times 400 - 1962,5 \times 145,47) \times \left( 539 - \frac{107,942}{2} \right) +$$

$$1962,5 \times 145,47 \times (539 - 61)$$

$$= 759488856,8 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 846628390,8 \text{ Nmm}$$

$$= 607591085,5 \text{ Nmm} > 530948930 \text{ Nmm} \rightarrow \text{(OK!)}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$b_{e1} = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 720 = 180 \text{ cm}$$

$$b_{e1} = b_w \times 16t = 40 + 16 \times 14 = 264 \text{ cm}$$



$$be_1 = \frac{1}{2} \times (L_b - bw) = \frac{1}{2} \times (720 - 40) = 340 \text{ cm}$$

$$b = be = 180 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$Mu = + 150820534 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 150820534}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 1,3$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 1,3}{400}} \right)$$

$$= 0,0033$$

$$\rho' = \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d}$$

$$= \frac{0,4 \times 150820534}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61) \cdot 400 \cdot 539}$$

$$= 0,0009$$

$$P = \rho \delta + \rho'$$

$$= 0,0036 + 0,0009$$

$$= 0,0042$$

Karena,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0037 < 0,0042 < 0,0018$  maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0046$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

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

$$= 0,0042 \times 400 \times 539$$

$$= 912,70 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 3D25 ( $As = 1471,875 \text{ mm}^2$ ).

$$As' = \rho' \times b \times d$$

$$= 0,0009 \times 400 \times 539$$

$$= 194,04 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D25 ( $As = 981,25 \text{ mm}^2$ ).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1471,875}{400 \times 539} = 0,0068 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{1471,875 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 49,47 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,8 \times 1471,875 \times 400 \left( 539 - \frac{49,47}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 242217687 \text{ Nmm} > M_u = 150820534 \text{ Nmm}$$

(OK).

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1471,875}{400 \times 539} = 0,0068$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{981,25}{400 \times 539} = 0,0046$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0022 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0022 < 0,020 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,0022) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$f'_s = 1259,437 > f_y \rightarrow$  (Tulangan tekan dalam kondisi tarik). Maka diambil  $f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$ .

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w} = \frac{1471,875 \times 400 - 981,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$= 16,491 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (1471,875 \times 400 - 981,25 \times 400) \times (539 - \frac{16,491}{2}) +$$

$$981,25 \times 400 \times (539 - 61)$$

$$= 291775570,6 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 291775570,6$$

$$= 233420456,5 \text{ Nmm} > 150820534 \text{ Nmm.}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 1471,875 \cdot 400 \\
 &= 588750 \text{ N} \\
 C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot h_f \\
 &= 0,85 \cdot 35 \cdot 4000 \cdot 140 \\
 &= 16660000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena  $C > T$ , maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b_e$ .

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{1471,875 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 4000} \\
 &= 4,947 \text{ mm} < t = 140 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

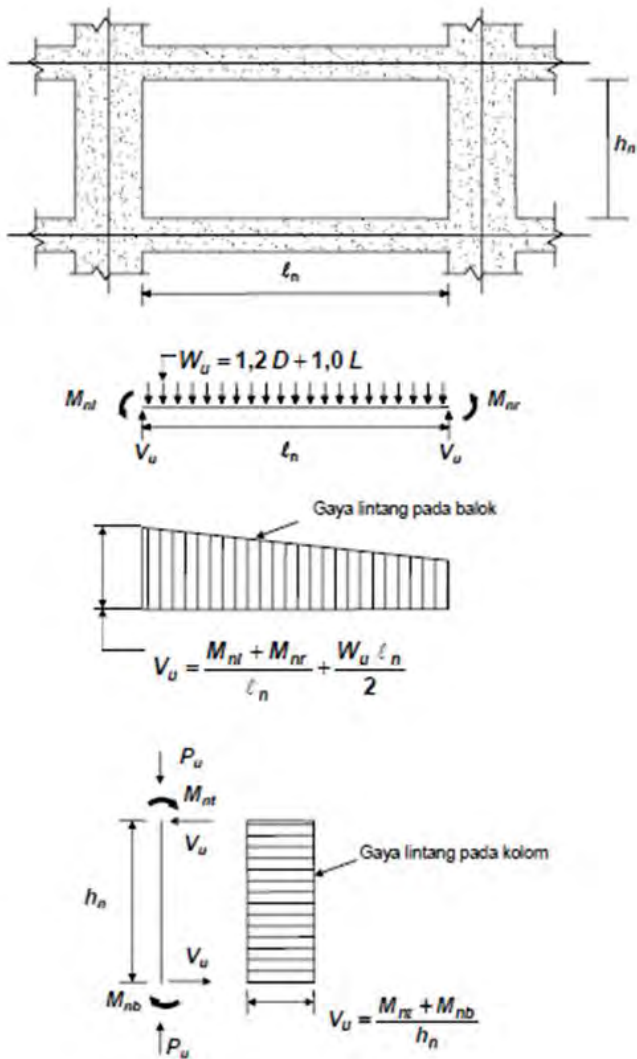
$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b_w \cdot d} \\
 &= \frac{1471,875}{1800 \cdot 539} \\
 &= 0,001 < \rho_{\text{min}} = 0,0037
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,8 \cdot 1471,875 \cdot 400 \cdot \left(539 - \frac{4,947}{2}\right) \\
 &= 252703981,5 \text{ Nmm} > 150820534 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Penulangan geser balok induk pada sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) didasarkan pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3 dimana nilai gaya geser rencana yang digunakan untuk perencanaan desain bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, namun harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa dimana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan taha gempa.



Gambar 7.3 Gaya lintang rencana pada struktur (SNI)

Berikut adalah perumusan perhitungan gaya lintang pada balok :

$$V_u = \frac{Mn_1 + Mn_2}{l_n} + \frac{Wu + l_n}{2}$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

#### Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Melintang Eksterior

$$\text{Balok Induk} = 40/60$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$Mn_1 = Mn_2 = 742664950 \text{ Nmm} = 742,665 \text{ kNm}$$

$$L_n = 7,2 \text{ m}$$

$$W_u = 10,97 \text{ kN}$$

$$V_{uTump} = \frac{742,665 + 742,665}{7,2} + \frac{10,97 \times 7,2}{2}$$

$$= 245,787 \text{ kN}$$

Daru hasil SAP 2000 v 14 didapatkan  $V_u = 255,978 \text{ kN}$ . Sehingga nilai  $V_u$  yang menentukan ialah  $255,978 \text{ kN}$ .

#### Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$V_u = 255,978 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 212584,467 \text{ N}$$

$$= 212,584 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 212,584$$

$$= 159,438 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya

gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{Vu}{\phi} - V_c \\ &= \frac{255,978}{0,75} - 212,584 \\ &= 128,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser  $2\phi 12 \text{ mm}$  ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ).

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{128720} = 378,866 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm}$

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis  $s = 200 \text{ mm}$ .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{200} \\ &= 243838,21 \text{ N} \\ &= 243,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= 0,75 \times 243,84 \\ &= 182,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_s) &= 159,438 + 182,88 \\ &= 342,318 \text{ kN} > 255,978 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Sengkang yang dipasang  $2\phi 12 \text{ mm}$  sejarak  $100 \text{ mm}$  dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2 sebagai berikut :

- $S_{\max}$  sepanjang sendi plastis diujung balok  $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$ .
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari  $50 \text{ mm}$  dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$\begin{aligned} V_{S_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c} \\ &= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35} \\ &= 850337,867 \text{ N} \\ &= 850,38 \text{ kN} > 255,978 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga sengkang 2 $\phi$ 12-200 dapat digunakan.

### Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1200 mm ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 146,469 \text{ kN} \rightarrow (\text{dari SAP 2000 v.14})$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539 \\ &= 212584,467 \text{ N} \\ &= 212,584 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 212,584 \\ &= 159,438 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 159,438 \\ &= 79,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

0,5.  $\phi V_c < V_u < \phi V_c$  , maka digunakan tulangan geser minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.5.1

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{b_w \times S}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser 2 $\phi$ 12 mm (  $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{b_w} = \frac{3 \times 400 \times 226,195}{400} = 678,585 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\emptyset = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- 300 mm

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.4 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{539}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis  $s = 250 \text{ mm}$ .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{250}$$

$$= 195070,568 \text{ N}$$

$$= 195,07 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 195,07$$

$$= 146,30 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 159,438 + 146,30$$

$$= 305,738 \text{ kN} > 146,469 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35}$$

$$= 850337,867 \text{ N}$$

$$= 850,38 \text{ kN} > 146,469 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga sengkang 2 $\emptyset$ 12-250 dapat digunakan.

### Perencanaan Torsi

Perencanaan torsi pada SNI 03-2847-2002 bab 13 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :



$$T_u \pm \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

$\Phi$  = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

$T_n$  = Kuat momen torsi ( $T_c + T_s > T_{u_{\min}}$ )

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$T_c$  = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

$A_o$  = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser,  $\text{mm}^2$ .

$A_t$  = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak  $s$ ,  $\text{mm}^2$ .

$f_{yv}$  = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

$s$  = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{\min}} = \frac{\phi \sqrt{f_{c'}}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6(2.2.1)}$$

Dimana :

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$f_{c'}$  = kuat tekan beton (Mpa)

$A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

$P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton (mm).

### Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/60

$T_u$  = 6250548,66 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.(2(a)) karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f'c}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.(2.2.1)}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{35}}{3} \cdot \left( \frac{(400 \times 600)^2}{2 \times (400 + 600)} \right)$$

$$6250548,66 \text{ Nmm} < 42595774,44 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

### Kontrol Lentutan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 tabel 8, syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

- a. Balok dengan dua tumpuan

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

- b. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

- c. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$ .

### Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana ( $f_y$ ) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai  $Z$  yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{dc \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4}$$

$Z$  tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

$f_s$  = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja,  $f_s$  dapat diambil 0,6  $f_y$ .

$D_c$  = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$A$  = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot z \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

$n$  = jumlah batang tulangan per lebar balok  $b$

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot z \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{3} = 16666,667 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 16666,667}$$

$$= 24328,808 \text{ N/mm} = 24,33 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

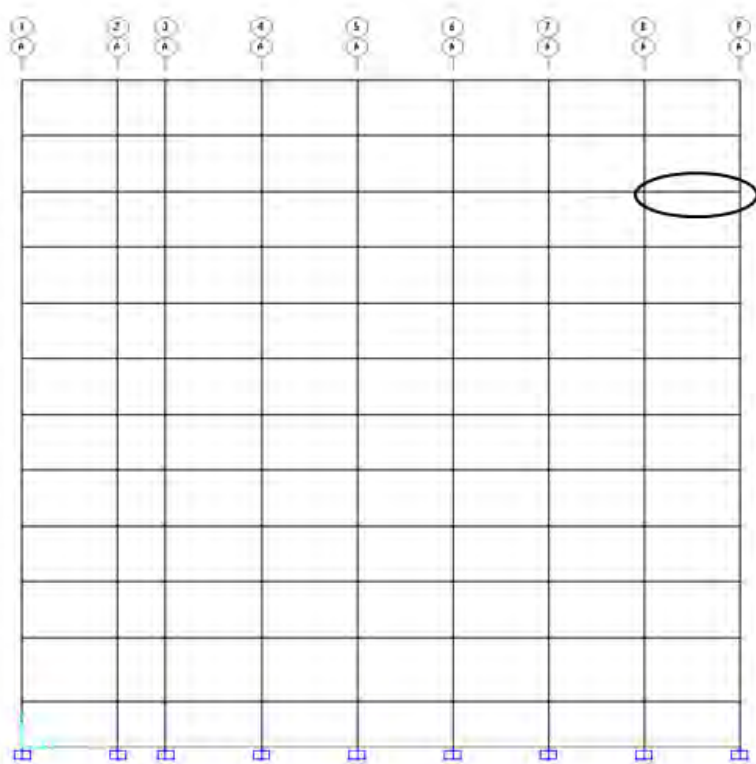
$$A = \frac{b \cdot z \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{8} = 6250 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 6250}$$

$$= 17544,10 \text{ N/mm} = 17,54 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

- **Balok Melintang Interior**



Gambar 7.4 Balok melintang interior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 573288360 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 243990030 \text{ Nmm}$
- $dx = 539 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$M_u = - 573288360 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 573288360}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 3,699$$

$$\begin{aligned}\rho \delta &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m X Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 3,699}{400}} \right) \\ &= 0,0099\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 573288360}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61') \cdot 400 \cdot 539} \\ &= 0,0069\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,009 + 0,0069 \\ &= 0,0169\end{aligned}$$

Karena,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0037 < 0,0169 < 0,027 \rightarrow$ (OK!), maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0193$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0169 \times 400 \times 539 \\ &= 3635,81 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\emptyset 22}}} \\ &= \frac{3635,81}{490,625} \\ &= 7,41 \approx 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 8D25 ( $A_s = 3925 \text{ mm}^2$ ).

$$\begin{aligned}A_{s'} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0069 \times 400 \times 539 \\ &= 1499,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D25 ( $A_s = 1962,5 \text{ mm}^2$ ).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3925}{400 \times 539} = 0,018 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{3925 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 131,933 \text{ mm} \\ \emptyset Mn &= \emptyset \times A_s \times fy \cdot (d - \frac{a}{2})\end{aligned}$$

$$= 0,8 \times 3925 \times 400 \left( 539 - \frac{131,933}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 594130218 \text{ Nmm} > M_u = 573288360 \text{ Nmm}$$

(OK).

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b w x d} = \frac{3925}{400 \times 539} = 0,018$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b w x d} = \frac{1962,5}{400 \times 539} = 0,009$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600-400}$$

$$0,009 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600-400}$$

$$0,009 \geq 0,020 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f_c' \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y \times d} \right| \leq f_y$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,009) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$$f's = 145,47 \leq f_y \rightarrow \text{(Tulangan masih dalam kondisi tekan).}$$

Diambil  $f's = 140,364 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f's}{0,85 \times f_c' \times b w}$$

$$= \frac{3925 \times 400 - 1962,5 \times 145,47}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$= 107,942 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f's) \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f's \times (d - d')$$

$$= (3925 \times 400 - 1962,5 \times 145,47) \times \left( 539 - \frac{107,942}{2} \right) +$$

$$1962,5 \times 145,47 \times (539 - 61)$$

$$= 759488856,8 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 846628390,8 \text{ Nmm}$$

$$= 607591085,5 \text{ Nmm} > 530948930 \text{ Nmm} \rightarrow \text{(OK!)}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$b_{e1} = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 720 = 180 \text{ cm}$$

$$b_{e1} = b_w \times 16t = 40 + 16 \times 14 = 264 \text{ cm}$$

$$be_1 = \frac{1}{2} \times (L_b - bw) = \frac{1}{2} \times (720 - 40) = 340 \text{ cm}$$

$$b = be = 180 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$Mu = + 243990030 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 243990030}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 2,099$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 2,099}{400}} \right)$$

$$= 0,0054$$

$$\rho' = \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d}$$

$$= \frac{0,4 \times 243990030}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61) \cdot 400 \cdot 539}$$

$$= 0,0014$$

$$\rho = \rho \delta + \rho'$$

$$= 0,0054 + 0,0014$$

$$= 0,0069$$

Karena,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0037 < 0,0069 < 0,0018$  maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0046$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

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

$$= 0,0069 \times 400 \times 539$$

$$= 1493,73 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\emptyset 22}}$$

$$= \frac{1493,73}{490,625}$$

$$= 3,045 \approx 4 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur 4D25 ( $As = 1962,5 \text{ mm}^2$ ).

$$As' = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0014 \times 400 \times 539$$

$$= 319,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D25 (  $A_s = 981,25 \text{ mm}^2$ ).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1962,5}{400 \times 539} = 0,0091 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{1962,5 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 65,966 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 1962,5 \times 400 \left( 539 - \frac{65,966}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 317778555 \text{ Nmm} > M_u = 243990030 \text{ Nmm}$$

(OK).

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times w \times d} = \frac{1962,5}{400 \times 539} = 0,0091$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \times w \times d} = \frac{981,25}{400 \times 539} = 0,0045$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0046 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0046 < 0,020 \text{ ( tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,0046) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$f'_s = 289,296 < f_y \rightarrow$  (Tulangan masih dalam kondisi tekan). Maka diambil  $f'_s = 289,296 \text{ Mpa}$ .

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b \times w}$$

$$= \frac{1962,5 \times 400 - 981,25 \times 289,296}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$= 42,11 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (1962,5 \times 400 - 981,25 \times 289,296) \times (539 - \frac{42,11}{2}) +$$

$$981,25 \times 400 \times (539 - 61)$$



$$\begin{aligned}
 &= 447171897,3 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= 0,8 \times 447171897,3 \\
 &= 357737517,9 \text{ Nmm} > 243990030 \text{ Nmm.}
 \end{aligned}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 1962,5 \cdot 400 \\
 &= 785000 \text{ N} \\
 C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot h_f \\
 &= 0,85 \cdot 35 \cdot 4000 \cdot 140 \\
 &= 16660000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena  $C > T$ , maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b_e$ .

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{1962,5 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 4000} \\
 &= 6,597 \text{ mm} < t = 140 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b_w \cdot d} \\
 &= \frac{1962,5}{1800 \cdot 539} \\
 &= 0,002 < \rho_{\text{min}} = 0,0037
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,8 \cdot 1962,5 \cdot 400 \cdot \left(539 - \frac{6,597}{2}\right) \\
 &= 336420542 \text{ Nmm} > 243990030 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Melintang Interior

$$\text{Balok Induk} = 40/60$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$Mn_1 = Mn_2 = 742664950 \text{ Nmm} = 742,665 \text{ kNm}$$

$$L_n = 7,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 W_u &= 21,94 \text{ kN} \\
 V_{u_{\text{Tump}}} &= \frac{742,665 + 742,665}{7,2} + \frac{21,94 \times 7,2}{2} \\
 &= 285,279 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Daru hasil SAP 2000 v 14 didapatkan  $V_u = 371,23 \text{ kN}$ .  
 Sehingga nilai  $V_u$  yang menentukan ialah  $371,23 \text{ kN}$ .

### Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 V_u &= 371,23 \text{ kN} \\
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539 \\
 &= 212584,467 \text{ N} \\
 &= 212,584 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times 212,584 \\
 &= 159,438 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{371,23}{0,75} - 212,584 \\
 &= 282,389 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser  $2\phi 12 \text{ mm}$  ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ).

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{282389} = 172,697 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm}$

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis  $s = 150$  mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{150}$$

$$= 325117,613 \text{ N}$$

$$= 325,117 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 325,117$$

$$= 243,838 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 159,438 + 243,838$$

$$= 403,276 \text{ kN} > 371,23 \text{ kN.}$$

Sengkang yang dipasang  $2\phi 12$  mm sejarak 100mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2 sebagai berikut :

- $S_{\max}$  sepanjang sendi plastis diujung balok  $2h = 2 \times 600 = 1200$  mm.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50mm dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$V_{S_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35}$$

$$= 850337,867 \text{ N}$$

$$= 850,38 \text{ kN} > 371,23 \text{ kN}$$

Sehingga sengkang  $2\phi 12-150$  dapat digunakan.

### Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1200 mm ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 123,825 \text{ kN} \rightarrow (\text{dari SAP 2000 v.14})$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539 \\ &= 212584,467 \text{ N} \\ &= 212,584 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 212,584 \\ &= 159,438 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 159,438 \\ &= 79,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

$0,5 \cdot \phi V_c < V_u < \phi V_c$  , maka digunakan tulangan geser minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.5.1

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{bw \times s}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser  $2\phi 12$  mm (  $A_v = 226,195$  mm<sup>2</sup>), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{bw} = \frac{3 \times 400 \times 226,195}{400} = 678,585 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75$  mm
- $8 D = 8 \times 25 = 200$  mm
- $24\phi = 24 \times 12 = 288$  mm
- 300 m

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.4 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{539}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis  $s = 250$  mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis  $s = 250$  mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{250}$$

$$= 195070,568 \text{ N}$$

$$= 195,07 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 195,07$$

$$= 146,30 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 159,438 + 146,30$$

$$= 305,738 \text{ kN} > 123,825 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35}$$

$$= 850337,867 \text{ N}$$

$$= 850,38 \text{ kN} > 123,825 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga sengkang 2 $\phi$ 12-250 dapat digunakan.

- Penulangan Torsi

Perencanaan torsi pada SNI 03-2847-2002 bab 13 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \pm \phi V_n$$

Dimana :  $V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

$V_n$  = Kuat geser nominal yang ditinjau.

$$V_n = V_c + V_s$$

$\Phi$  = faktor reduksi geser (0,75)

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser nominal tulangan geser

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \pm \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

$\Phi$  = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

$T_n$  = Kuat momen torsi ( $T_c + T_s > T_{u_{\min}}$ )

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$T_c$  = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

$A_o$  = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser,  $\text{mm}^2$ .

$A_t$  = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak  $s$ ,  $\text{mm}^2$ .

$f_{yv}$  = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

$s$  = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{\min}} = \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6(2.2.1)}$$

Dimana :

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$f_c'$  = kuat tekan beton (Mpa)

$A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

$P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton (mm).

### Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/60

$T_u$  = 4331499,73 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.(2(a)) karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.(2.2.1)}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{35}}{3} \cdot \left( \frac{(400 \times 600)^2}{2 \times (400 + 600)} \right)$$

$$4331499,73 \text{ Nmm} < 42595774,44 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

### **Kontrol Lendutan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 tabel 8, syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

d. Balok dengan dua tumpuan

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

e. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

f. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$ .

### **Kontrol Retak**

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana ( $f_y$ ) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai  $Z$  yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4}$$

$Z$  tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

$F_s$  = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja,  $f_s$  dapat diambil 0,6  $f_y$ .

$D_c$  = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.utama}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot z \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot z \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{4} = 12500 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 12500}$$

$$= 22104,189 \text{ N/mm} = 22,10 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

$$A = \frac{b \cdot z \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{8} = 6250 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 6250}$$

$$= 17544,10 \text{ N/mm} = 17,54 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

### c. Penulangan Lentur Sesudah Komposit Balok Memanjang

Data Perencanaan Balok Induk Melintang :

- Dimensi Balok Induk = 40/60
- Panjang Balok Induk = 7,2 m
- Diameter Tulangan Utama = 25 mm
- Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm
- Tebal Decking = 40 mm



$$\begin{aligned}
 dx &= 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 539 \text{ mm} \\
 d' &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 = 61 \text{ mm} \\
 b &= 400 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 - 0,008(f'c - 30) \\
 &= 0,85 - 0,008(35 - 30) \\
 &= 0,81
 \end{aligned}$$

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

(SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times 0,81 \times 30 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} \\
 &= 0,036
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

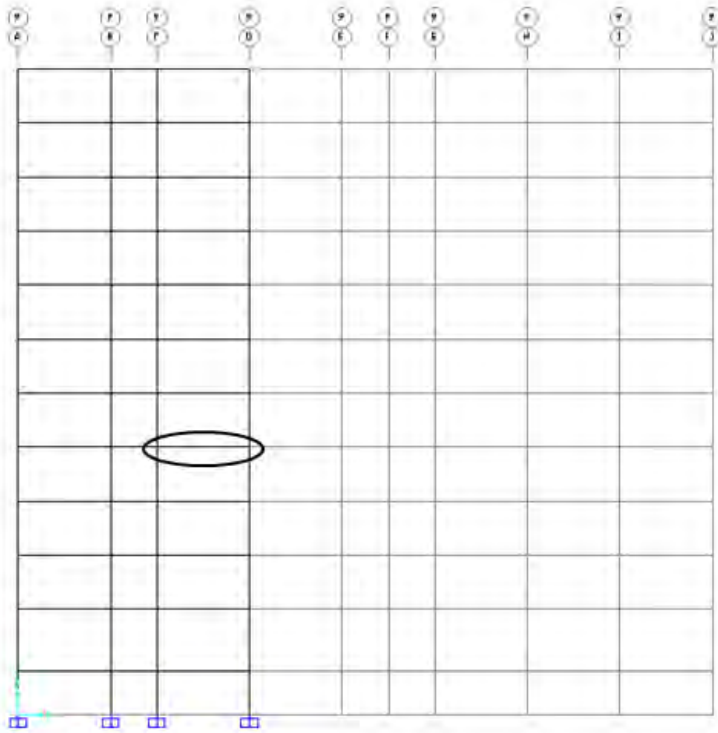
$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

Pada perencanaan kali ini, desain balok induk menggunakan tulangan rangkap, dimana dalam mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa bolak-balik (kiri dan kanan atau arah x dan arah y) yang akan menghasilkan momen

positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap dengan mengambil jumlah tulangan yang paling besar. Berikut adalah tabel dari hasil analisa *software* SAP 2000, didapatkan momen yang tersaji dalam tabel :

- Balok Memanjang Eksterior



Gambar 7.5 Balok memanjang eksterior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 614177588 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 40679063,86 \text{ Nmm}$
- $dx = 539 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$M_u = - 614177588 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 614177588}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 3,96$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 3,96}{400}} \right) \\ &= 0,0106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 614177588}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61) \cdot 400 \cdot 539} \\ &= 0,0074 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,0106 + 0,0074 \\ &= 0,0181 \end{aligned}$$

Karena,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0037 < 0,0181 < 0,027 \rightarrow (\text{OK!})$ , maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0156$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0181 \times 400 \times 539 \\ &= 3907,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\phi 25}}} \\ &= \frac{3907,83}{490,625} \\ &= 7,96 \approx 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 9D25 (  $A_s = 4415,625 \text{ mm}^2$  ).

$$\begin{aligned} A_{s'} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0074 \times 400 \times 539 \\ &= 1606,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D25 (  $A_s = 1962,5 \text{ mm}^2$  ).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{4415,625}{400 \times 539} = 0,020 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{4415,625 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 148,42 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,8 \times 4415,625 \times 400 \left( 539 - \frac{148,42}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 656745183 \text{ Nmm} > M_u = 614177588 \text{ Nmm} \text{ (OK).}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{4415,625}{400 \times 539} = 0,020$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{1962,5}{400 \times 539} = 0,009$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600-400}$$

$$0,011 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600-400}$$

$$0,011 \geq 0,020 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,011) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 562,81 > f_y \rightarrow \text{(Tulangan dalam kondisi tarik).}$$

Diambil  $f'_s = 400 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'c \times b_w} \\ &= \frac{4415,625 \times 400 - 1962,5 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 82,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\ &= (4415,625 \times 400 - 1962,5 \times 400) \times (539 - \frac{82,45}{2}) + \\ &\quad 1962,5 \times 400 \times (539 - 61) \\ &= 863671718,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 863671718,8 \text{ Nmm}$$

$$= 690937375 \text{ Nmm} > 614177588 \text{ Nmm} \rightarrow \text{(OK!)}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 720 = 180 \text{ cm}$$

$$be_1 = bw \times 16t = 40 + 16 \times 14 = 264 \text{ cm}$$

$$be_1 = \frac{1}{2} \times (L_b - bw) = \frac{1}{2} \times (720 - 40) = 340 \text{ cm}$$

$$b = be = 180 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$Mu = + 40679063,86 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 40679063,86}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 0,35$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,35}{400}} \right) \\ &= 0,00088 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 40679063,86}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61') \cdot 400 \cdot 539} \\ &= 0,0002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,00088 + 0,0002 \\ &= 0,0011 \end{aligned}$$

Karena,  $\rho < \rho_{\min}$  maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$ .

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} As_{\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 400 \times 539 \\ &= 797,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 3D25 ( $As = 1471,875 \text{ mm}^2$ ).

$$As' = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0002 \times 400 \times 539$$

$$= 53,189 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D25 (  $A_s = 981,25 \text{ mm}^2$ ).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1471,875}{400 \times 539} = 0,0068 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{1471,875 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 49,47 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 1471,875 \times 400 \left( 539 - \frac{49,47}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 242217687 \text{ Nmm} > M_u = 150820534 \text{ Nmm}$$

(OK).

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1471,875}{400 \times 539} = 0,0068$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{981,25}{400 \times 539} = 0,0046$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0022 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0022 < 0,020 \text{ ( tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,0022) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$f'_s = 1259,437 > f_y \rightarrow$  (Tulangan tekan dalam kondisi tarik). Maka diambil  $f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$ .

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$= \frac{1471,875 \times 400 - 981,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$= 16,491 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$\begin{aligned}
 &= (1471,875 \times 400 - 981,25 \times 400) \times (539 - \frac{16,491}{2}) + \\
 &\quad 981,25 \times 400 \times (539 - 61) \\
 &= 291775570,6 \text{ Nmm} \\
 \phi \text{ Mn} &= 0,8 \times 291775570,6 \\
 &= 233420456,5 \text{ Nmm} > 150820534 \text{ Nmm}.
 \end{aligned}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 1471,875 \cdot 400 \\
 &= 588750 \text{ N} \\
 C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot e \cdot h_f \\
 &= 0,85 \cdot 35 \cdot 4000 \cdot 140 \\
 &= 16660000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena  $C > T$ , maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b_e$ .

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot e} = \frac{1471,875 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 4000} \\
 &= 4,947 \text{ mm} < t = 140 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b \cdot w \cdot d} \\
 &= \frac{1471,875}{1800 \cdot 539} \\
 &= 0,001 < \rho_{\text{min}} = 0,0037
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ Mn} &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 0,8 \cdot 1471,875 \cdot 400 \cdot (539 - \frac{4,947}{2}) \\
 &= 252703981,5 \text{ Nmm} > 150820534 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Memanjang Eksterior

$$\text{Balok Induk} = 40/60$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi

tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$Mn_1 = Mn_2 = 820935337 \text{ Nmm} = 820,935 \text{ kNm}$$

$$L_n = 7,2 \text{ m}$$

$$W_u = 10,97 \text{ kN}$$

$$Vu_{\text{tump}} = \frac{820,935+820,935}{7,2} + \frac{10,97 \times 7,2}{2}$$

$$= 267,53 \text{ kN}$$

Daru hasil SAP 2000 v 14 didapatkan  $Vu = 169,495 \text{ kN}$ . Sehingga nilai  $Vu$  yang menentukan ialah  $267,53 \text{ kN}$ .

#### Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$Vu = 267,53 \text{ kN}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 212584,467 \text{ N}$$

$$= 212,584 \text{ kN}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 212,584$$

$$= 159,438 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$= \frac{267,53}{0,75} - 212,584$$

$$= 144,123 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser  $2\phi 12 \text{ mm}$  ( $Av = 226,195 \text{ mm}^2$ ).

$$S = \frac{As \times fy \times d}{Vs} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{144123} = 338,375 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :



- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\emptyset = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- $300 \text{ m}$

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis  $s = 200 \text{ mm}$ .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{200}$$

$$= 243838,21 \text{ N}$$

$$= 243,84 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 243,84$$

$$= 182,88 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 159,438 + 182,88$$

$$= 342,318 \text{ kN} > 267,53 \text{ kN}.$$

Sengkang yang dipasang  $2\phi 12 \text{ mm}$  sejarak  $100 \text{ mm}$  dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2 sebagai berikut :

- $S_{\max}$  sepanjang sendi plastis diujung balok  $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$ .
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari  $50 \text{ mm}$  dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$V_{S_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35}$$

$$= 850337,867 \text{ N}$$

$$= 850,38 \text{ kN} > 267,53 \text{ kN}$$

Sehingga sengkang  $2\phi 12-200$  dapat digunakan.

### Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari  $1200 \text{ mm}$  ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur

dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 169,495 \text{ kN} \rightarrow (\text{dari SAP 2000 v.14})$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539 \\ &= 212584,467 \text{ N} \\ &= 212,584 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 212,584 \\ &= 159,438 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 159,438 \\ &= 79,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\min}} &= 0,75 \times \frac{1}{3} \times bw \times d \\ &= 0,75 \times \frac{1}{3} \times 400 \times 539 \\ &= 53900 \text{ N} = 53,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{35} \times 400 \times 539 \\ &= 425168,934 \text{ N} = 425,168 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_{s_{\min}}) &= 159,438 + 53,9 \\ &= 213,338 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_{s_{\max}}) &= 159,438 + 425,168 \\ &= 584,606 \text{ kN} \end{aligned}$$

$\phi V_c < V_u < \Phi(V_c + V_{s_{\min}})$ , digunakan tulangan geser minimum :

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{bw \times S}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser  $2\phi 12 \text{ mm}$  ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{bw} = \frac{3 \times 400 \times 226,195}{400} = 678,585 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\emptyset = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm}$

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.4 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{539}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis  $s = 250 \text{ mm}$ .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{250}$$

$$= 195070,568 \text{ N}$$

$$= 195,07 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 195,07$$

$$= 146,30 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 159,438 + 146,30$$

$$= 305,738 \text{ kN} > 169,495 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35}$$

$$= 850337,867 \text{ N}$$

$$= 850,38 \text{ kN} > 169,495 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga sengkang  $2\phi 12-250$  dapat digunakan.

- Penulangan Geser dan Torsi

Perencanaan geser dan torsi pada SNI 03-2847-2002 bab 13 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \leq \phi V_n$$

Dimana :  $V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

$V_n$  =Kuat geser nominal yang ditinjau.

$$V_n = V_c + V_s$$

$\Phi$  = faktor reduksi geser (0,75)

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser nominal tulangan geser

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \leq \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

$\Phi$  = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

$T_n$  = Kuat momen torsi ( $T_c + T_s > T_{u_{\min}}$ )

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$T_c$  = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

$A_o$  = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser,  $\text{mm}^2$ .

$A_t$  = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak  $s$ ,  $\text{mm}^2$ .

$f_{yv}$  = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

$s$  = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{\min}} = \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6(2.2.1)}$$

Dimana :

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$f_c'$  = kuat tekan beton (Mpa)

$A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

$P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton (mm).

### Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/60

$T_u$  = 6509946,56 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.(2(a)) karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f'_{c'}}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.(2.2.1)}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{35}}{3} \cdot \left( \frac{(400 \times 600)^2}{2 \times (400 + 600)} \right)$$

$$6509946,56 \text{ Nmm} < 42595774,44 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

### **Kontrol Lendutan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 tabel 8, syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

g. Balok dengan dua tumpuan

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

h. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

i. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$ .

### Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana ( $f_y$ ) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai  $Z$  yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4}$$

$Z$  tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

$F_s$  = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja,  $f_s$  dapat diambil 0,6  $f_y$ .

$D_c$  = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$A$  = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

$n$  = jumlah batang tulangan per lebar balok  $b$

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{3} = 16666,667 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 16666,667}$$

$$= 24328,808 \text{ N/mm} = 24,33 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

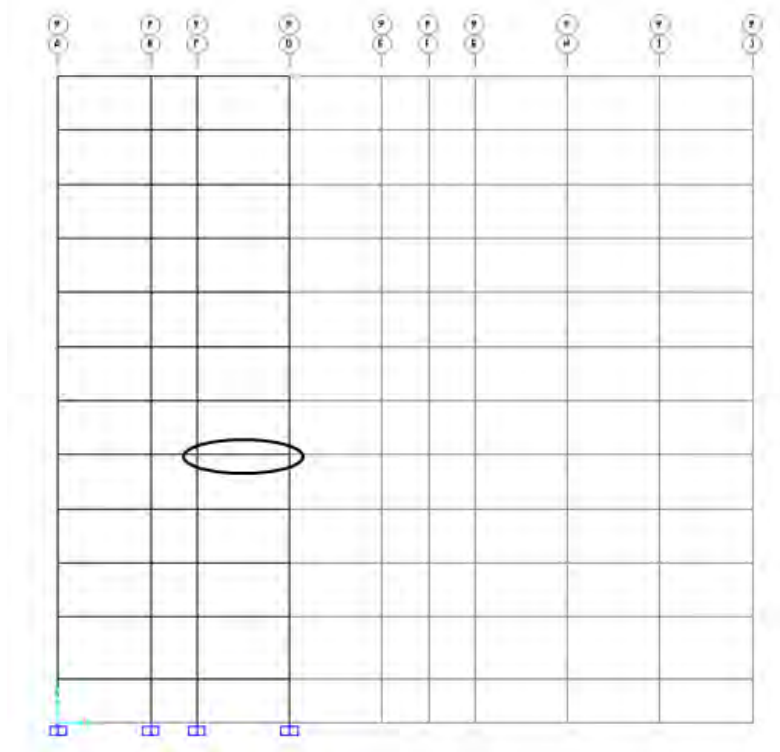
$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot dc}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{9} = 5555,556 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 5555,556}$$

$$= 16868,654 \text{ N/mm} = 16,87 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

- **Balok Memanjang Interior**



Gambar 7.6 Balok memanjang Interior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 522512992 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 34587528,38 \text{ Nmm}$
- $dx = 539 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$M_u = - 522512992 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 522512992}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 3,372$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 3,372}{400}} \right) \\ &= 0,0089 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 522512992}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61') \cdot 400 \cdot 539} \\ &= 0,0063 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,0089 + 0,0063 \\ &= 0,0153 \end{aligned}$$

Karena,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0037 < 0,0153 < 0,027 \rightarrow (\text{OK!})$ , maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0153$ . Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0153 \times 400 \times 539 \\ &= 3300,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 8D25 (  $A_s = 3925 \text{ mm}^2$  ).

$$\begin{aligned} A_{s'} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0063 \times 400 \times 539 \\ &= 1366,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D25 (  $A_s = 1962,5 \text{ mm}^2$  ).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3925}{400 \times 539} = 0,018 > \rho_{\min}$$



$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{3925 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 131,933 \text{ mm} \\
 \phi Mn &= \phi \times As \times fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,8 \times 3925 \times 400 \left(539 - \frac{131,933}{2}\right) \\
 \phi Mn &= 594130218 \text{ Nmm} > Mu = 522512992 \text{ Nmm} \\
 &\text{(OK).}
 \end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{As}{bw \times d} = \frac{3925}{400 \times 539} = 0,018 \\
 \rho' &= \frac{As'}{bw \times d} = \frac{1962,5}{400 \times 539} = 0,009 \\
 \rho - \rho' &\geq \frac{0,85 \times f'c \times \beta \times d'}{fy \times d} \times \frac{600}{600-400} \\
 0,009 &\geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600-400} \\
 0,009 &\geq 0,020 \text{ (tulangan tekan belum leleh)} \\
 f's &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'c}{(\rho - \rho') \times fy} \times \frac{d'}{d} \right| \leq fy \\
 f's &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,009) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq fy \\
 f's &= 145,47 \leq fy \rightarrow \text{(Tulangan masih dalam kondisi} \\
 &\text{tekan).}
 \end{aligned}$$

Diambil  $f's = 140,364 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy - A's \times f's}{0,85 \times f'c \times bw} \\
 &= \frac{3925 \times 400 - 1962,5 \times 145,47}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 107,942 \text{ mm} \\
 Mn &= (As \times fy - A's \times f's) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A's \times f's \times (d - d') \\
 &= (3925 \times 400 - 1962,5 \times 145,47) \times \left(539 - \frac{107,942}{2}\right) + \\
 &\quad 1962,5 \times 145,47 \times (539 - 61) \\
 &= 759488856,8 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= 0,8 \times 846628390,8 \text{ Nmm} \\
 &= 607591085,5 \text{ Nmm} > 530948930 \text{ Nmm} \rightarrow \text{(OK!)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 720 = 180 \text{ cm}$$

$$be_1 = bw \times 16t = 40 + 16 \times 14 = 264 \text{ cm}$$

$$be_1 = \frac{1}{2} \times (L_b - bw) = \frac{1}{2} \times (720 - 40) = 340 \text{ cm}$$

$$b = be = 180 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$Mu = + 34587528,38 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 34587528,38}{0,8 \times 400 \times 539^2} = 0,297$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,297}{400}} \right) \\ &= 0,00074 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 34587528,38}{0,8 \cdot 400 \cdot (539 - 61) \cdot 400 \cdot 539} \\ &= 0,00020 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,00074 + 0,00020 \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

Karena,  $\rho_{\min} > \rho$ , maka digunakan  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$ .

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 400 \times 539 \\ &= 797,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 3D25 (  $A_s = 1962,5 \text{ mm}^2$  ).

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0002 \times 400 \times 539 \end{aligned}$$

$$= 45,224 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D25 (  $A_s = 981,25 \text{ mm}^2$  ).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1471,875}{400 \times 539} = 0,0068 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{1471,875 \times 400}{0,85 \times 400 \times 35} = 49,47 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 1471,875 \times 400 \left( 539 - \frac{49,47}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 242217687 \text{ Nmm} > M_u = 34587528,38 \text{ Nmm} \text{ (OK).}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1471,875}{400 \times 539} = 0,0068$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{981,25}{400 \times 539} = 0,0046$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0022 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,81 \times 61}{400 \times 539} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,0022 < 0,020 \text{ ( tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 35}{(0,0022) \times 400} \times \frac{61}{539} \right| \leq f_y$$

$f'_s = 1259,437 > f_y \rightarrow$  (Tulangan tekan dalam kondisi tarik). Maka diambil  $f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$ .

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w} = \frac{1471,875 \times 400 - 981,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$= 16,491 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (1471,875 \times 400 - 981,25 \times 400) \times (539 - \frac{16,491}{2}) +$$

$$981,25 \times 400 \times (539 - 61)$$

$$= 291775570,6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,8 \times 291775570,6 \\ &= 233420456,5 \text{ Nmm} > 150820534 \text{ Nmm}.\end{aligned}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned}T &= A_s \cdot f_y \\ &= 1471,875 \cdot 400 \\ &= 588750 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot h_f \\ &= 0,85 \cdot 35 \cdot 4000 \cdot 140 \\ &= 16660000 \text{ N}\end{aligned}$$

Karena  $C > T$ , maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b_e$ .

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{1471,875 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 4000} \\ &= 4,947 \text{ mm} < t = 140 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b_w \cdot d} \\ &= \frac{1471,875}{1800 \cdot 539} \\ &= 0,001 < \rho_{\text{min}} = 0,0037\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,8 \cdot 1471,875 \cdot 400 \cdot \left(539 - \frac{4,947}{2}\right) \\ &= 252703981,5 \text{ Nmm} > 150820534 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK}).\end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Memanjang Interior

$$\text{Balok Induk} = 40/60$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$M_{n1} = M_{n2} = 742664950 \text{ Nmm} = 742,665 \text{ kNm}$$

$$L_n = 7,2 \text{ m}$$

$$W_u = 21,94 \text{ kN}$$

$$V_{u_{\text{Tump}}} = \frac{742,665 + 742,665}{7,2} + \frac{21,94 \times 7,2}{2}$$

$$= 285,279 \text{ kN}$$

Daru hasil SAP 2000 v 14 didapatkan  $V_u = 144,114 \text{ kN}$ .  
Sehingga nilai  $V_u$  yang menentukan ialah  $285,279 \text{ kN}$ .

#### Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$V_u = 285,279 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 212584,467 \text{ N}$$

$$= 212,584 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 212,584$$

$$= 159,438 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{285,279}{0,75} - 212,584$$

$$= 167,788 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser  $2\phi 12 \text{ mm}$  ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ).

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{167788} = 290,65 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- $300 \text{ m}$

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis  $s = 150$  mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{150}$$

$$= 325117,613 \text{ N}$$

$$= 325,117 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 325,117$$

$$= 243,838 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 159,438 + 243,838$$

$$= 403,276 \text{ kN} > 285,279 \text{ kN.}$$

Sengkang yang dipasang  $2\phi 12$  mm sejarak 100 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2 sebagai berikut :

- $S_{\max}$  sepanjang sendi plastis diujung balok  $2h = 2 \times 600 = 1200$  mm.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50mm dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35}$$

$$= 850337,867 \text{ N}$$

$$= 850,38 \text{ kN} > 285,279 \text{ kN}$$

Sehingga sengkang  $2\phi 12-150$  dapat digunakan.

### Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1200 mm ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 144,114 \text{ kN} \rightarrow (\text{dari SAP 2000 v.14})$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539 \\ &= 212584,467 \text{ N} \\ &= 212,584 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 212,584 \\ &= 159,438 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 159,438 \\ &= 79,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

0,5.  $\phi V_c < V_u < \phi V_c$  , maka digunakan tulangan geser minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.5.1

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{bw \times S}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser 2 $\phi$ 12 mm (  $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{bw} = \frac{3 \times 400 \times 226,195}{400} = 678,585 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- 300 mm

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.4 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{539}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis  $s = 250 \text{ mm}$ .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis  $s = 250 \text{ mm}$ .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{250} \\
 &= 195070,568 \text{ N} \\
 &= 195,07 \text{ kN} \\
 \phi V_s &= 0,75 \times 195,07 \\
 &= 146,30 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi(V_c + V_s) &= 159,438 + 146,30 \\
 &= 305,738 \text{ kN} > 144,114 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.6.

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \\
 &= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35} \\
 &= 850337,867 \text{ N} \\
 &= 850,38 \text{ kN} > 144,114 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Sehingga sengkang 2 $\phi$ 12-250 dapat digunakan.

- Penulangan Torsi

Perencanaan torsi pada SNI 03-2847-2002 bab 13 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \pm \phi V_n$$

Dimana :  $V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

$V_n$  = Kuat geser nominal yang ditinjau.

$$V_n = V_c + V_s$$

$\Phi$  = faktor reduksi geser (0,75)

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser nominal tulangan geser

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \pm \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :



$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

$\Phi$  = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

$T_n$  = Kuat momen torsi ( $T_c + T_s > T_{u_{\min}}$ )

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$T_c$  = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

$A_o$  = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser,  $\text{mm}^2$ .

$A_t$  = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak  $s$ ,  $\text{mm}^2$ .

$f_{yv}$  = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

$s$  = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{\min}} = \frac{\Phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6(2.2.1)}$$

Dimana :

$\Phi$  = faktor reduksi kekuatan

$f_c'$  = kuat tekan beton (Mpa)

$A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

$P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton (mm).

### Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/60

$T_u$  = 4331499,73 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.(2(a)) karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\Phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.(2.2.1)}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{35}}{3} \cdot \left( \frac{(400 \times 600)^2}{2 \times (400 + 600)} \right)$$

$$6282654,56 \text{ Nmm} < 42595774,44 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

### Contoh Perhitungan Penulangan Geser

$$\text{Balok Induk} = 40/60$$

Daerah Tumpuan :

$$V_{u_{\text{Tump}}} = 144113,86 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{tul.sengkang} - \frac{1}{2} \text{tul lentur} \\ &= 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 \\ &= 537,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = 144113,86 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 537,5 \\ &= 211992,86 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 211992,86 \\ &= 158994,644 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 158994,644 \\ &= 79497,322 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\min}} &= 0,75 \times \frac{1}{3} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,75 \times \frac{1}{3} \times 400 \times 537,5 \\ &= 53750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 537,5 \\ &= 423985,718 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_{s_{\min}}) &= 158994,644 + 53750 \\ &= 212744,644 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_{s_{\max}}) &= 158994,644 + 423985,718 \\ &= 582980,362 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena  $\phi V_c < V_u \leq \Phi(V_c + V_{s_{\min}})$ , maka digunakan tulangan geser minimum, maka harus dihitung sesuai SNI 03-2847-2002 Pasal 13.5.5.1

$$\begin{aligned} A_v &= 2\emptyset 10 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2. \\ S &= \frac{3 \times A_v \times f_y}{\frac{bw}{400}} \\ &= \frac{3 \times 157,08 \times 400}{400} \\ &= 471,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.3.3.2, jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi :

$$S \leq d/2 = 537,5/2 = 268,75 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$S \leq 24\emptyset = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ m}$$

Sehingga dipasang tulangan geser  $\emptyset 10$ -200.

### **Kontrol Lentutan**

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 tabel 8, syarat tebal minimum balok apabila lentutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

- j. Balok dengan dua tumpuan

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

- k. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

- l. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lentutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$ .

### Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana ( $f_y$ ) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai  $Z$  yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4}$$

$Z$  tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

$F_s$  = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja,  $f_s$  dapat diambil 0,6  $f_y$ .

$D_c$  = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$A$  = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

$n$  = jumlah batang tulangan per lebar balok b

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{3} = 16666,667 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 16666,667}$$

$$= 24328,808 \text{ N/mm} = 24,33 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot dc}{n}$$

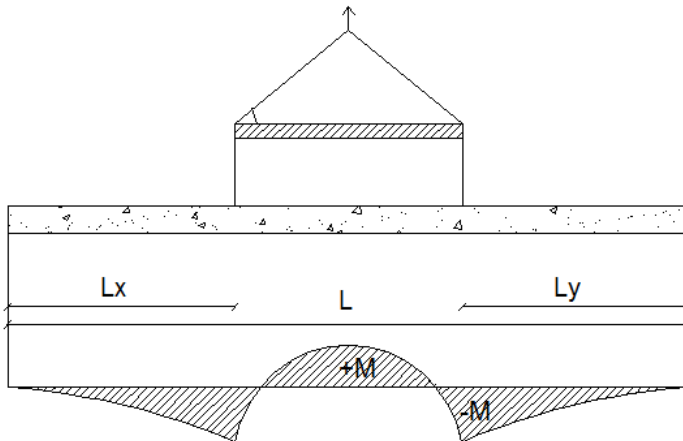
$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{8} = 6250 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 6250}$$

$$= 17544,10 \text{ N/mm} = 17,54 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

### 7.1.2 Pengangkatan Elemen Balok

Balok induk diproduksi secara pracetak, sehingga perlu dikontrol pada saat pengangkatan.



Gambar 7.7 Pengangkatan balok pracetak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4x + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg}\theta} \right)$$

$$-M = \frac{W \cdot X^2 L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg}\theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Ya}{Yb} \left( 1 + \frac{4Yc}{L \cdot \text{tg}\theta} \right)} \right)}$$

Diketahui : balok induk 40/60 dengan bentang 720 cm

$$Y_a = Y_b = \frac{60-14}{2} = 23 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_a + 5 = 28 \text{ cm}$$

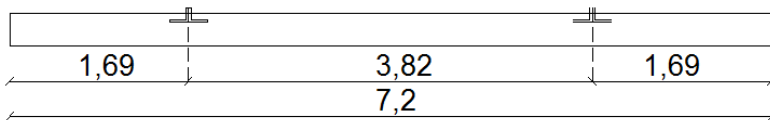
Maka :

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 18}{720 \times \text{tg } 45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{13}{13} \left( 1 + \frac{4 \times 18}{720 \times \text{tg } 45^\circ} \right)} \right)}$$

$$= 0,234$$

$$X \cdot L = 0,234 \times 720 = 168,5 \text{ cm} = 1,69 \text{ m}$$

$$L - 2(X \cdot L) = 7,2 - 2 \times 1,69 = 3,82 \text{ m}$$



Gambar 7.8 Jarak tulanng angkat

Data – data profil baja :

- Panjang tekuk = 388,8 cm
  - Mutu baja BJ 36
  - Profil WF 100 x 100 x 6 x 8
- $$A = 21,9 \text{ cm}^2 \quad i_s = 4,18 \text{ cm}$$
- $$i_y = 2,47 \text{ cm} \quad w = 17,2 \text{ kg/m}$$

Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,4 \times 0,6 \times 7,2 \times 2400 = 4147,2 \text{ kg}$$

$$\text{Balok profil} = 17,2 \times 7,2 = \underline{123,84 \text{ kg}}$$

$$= 4271,04 \text{ kg}$$

$$T \sin \theta = P = \frac{1,2 \times k \times W t}{1,2 \times 1,2 \times 4271,04}$$

$$= \frac{2}{3075,15} \text{ kg}$$

$$T = \frac{3075,15}{\sin 45^\circ} = 4348,92 \text{ kg}$$

### Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 4348,92 \text{ kg}$$

Menurut PBTI pasal 2.2.2 tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  adalah  $\frac{f_y}{1,5}$ .

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{4000}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{tarik ijin}} \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{4348,92}{2666,67 \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,72 \text{ cm.}$$

Digunakan tulangan  $\emptyset 10 \text{ mm}$

### Momen yang terjadi :

- **Pembebanan**

$$\text{Balok} = 0,5 \times 0,46 \times 2400 = 552 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok Profil} = 17,2 = \underline{17,2 \text{ kg/m}_+}$$

$$= 569,2 \text{ kg/m}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan suatu faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2.

- **Momen Lapangan**

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Yc}{L.t.g\theta} \right) \times 1,2$$

$$= \left( \frac{569,2 \times 7,2^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,234 + \frac{4 \times 0,28}{7,2.t.g45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 971,775 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{wt} = \frac{971,775 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 400 \times 460^2}$$

$$= 0,68 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK})$$

- **Momen Tumpuan**

$$-M = \left( \frac{W \cdot X^2 L^2}{2} \right) \times 1,2$$

$$= \left( \frac{569,2 \cdot 0,234^2 \cdot 7,2^2}{2} \right) \times 1,2$$

$$= 969,422 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

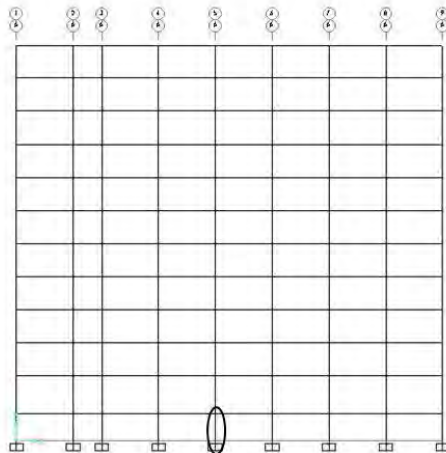
$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{969,422 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 400 \times 460^2}$$

$$= 0,687 \text{ Mpa} \leq f^r = 0,7\sqrt{f'c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK})$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan  $f^r$  akibat momen positif maupun momen negatif berada dibawah nilai  $f^r_{ijin}$  pada usia beton 3 hari. Jadi dapat disimpulkan, balok induk tersebut aman dalam menerima tegangan yang diakibatkan dari proses *erection* atau pengangkatan.

## 7.2 Perencanaan Kolom

### 7.2.1 Perencanaan Kolom Eksterior Lantai Semi Basement



Gambar 7.9. Potongan Rangka As-A

Pada perencanaan Tugas akhir ini, kolom yang akan direncanakan diambil yang memiliki gaya aksial terbesar. pada



kasus ini gaya aksial terbesar pada kolom eksterior terjadi di as A/5. Berikut adalah data perencanaan kolom tersebut :

- Mutu Beton : 35 MPa
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi Kolom : 105/105 cm
- Tebal decking : 40 mm
- Diameter tul. Utama((D) : 25 mm
- Diameter tul sengkang : 12 mm
- $d = h - c_c - \phi - \frac{1}{2}D$   
 $= 1050 - 40 - 12 - 12,5$   
 $= 985,5 \text{ mm}$

Dengan menggunakan software SAP 2000 v14.0.0 diperoleh besarnya gaya pada kolom atas sebesar :

$$M_u = 1296,213 \text{ kNm}$$

$$P_u = 9682,443 \text{ kN}$$

$$V_u = 198,93 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.2 jika komponen struktur SRPMM memenuhi gaya aksial tekan terfaktor  $\geq A_g \times \frac{f_c}{10}$  maka harus memenuhi ketentuan pasal 23.10.4, didapatkan gaya aksial tekan terfaktor terbesar sebesar 9682,443 kN.

$$9682,443 \text{ kN} \geq 1050 \times 1050 \times \frac{35}{10}$$

$$9682,443 \text{ kN} \geq 3858750 \text{ N} = 3858,75 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

#### a. Penulangan Memanjang

Kolom yang direncanakan dihitung menggunakan *software* bantu yaitu *spColumn* dengan menggunakan prosentase kolom yang sesuai dengan syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.4.2.2 yaitu sebesar 1%-6% dengan memberikan tulangan 32D22.

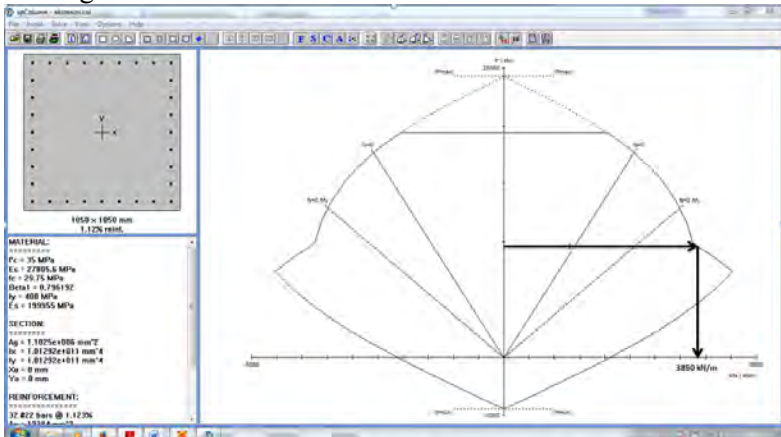
Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.5.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis truktur.

$$\begin{aligned}\phi P_{n \max} &= 0,8 \times \phi \times 0,85 [0,85 \times f'c \times (Ag - Ast) + fy \times Ast] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 [0,85 \times 35 \times (1102500 - 12164,247) + \\ &\quad 400 \times 12164,247] \\ &= 92139853,02 \text{ N} \\ &= 92139,853 \text{ kN} > 9682,443 \text{ kN} \\ &\text{Jadi 24D25 dapat digunakan.}\end{aligned}$$

### b. Persyaratan Terhadap Gaya Geser

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3, gaya geser rencana ( $V_e$ ) pada komponen struktur tidak boleh kurang dari :

- Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinyakuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.



Gambar 7.10 Diagram interaksi kolom

Dari gambar diagram interaksi kolom diatas didapatkan momen nominal kolom sebesar 3850 kNm,  $M_{nt} = M_{nt} = 3850 \text{ kNm}$ .

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \\
 &= \frac{3850 + 3850}{3,4} \\
 &= 2264,705 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Besarnya gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban dengan pengaruh nilai beban gempa dengan kombinasi terbesar dari aplikasi SAP 2000 v14, didapatkan gaya geser sebesar 198,93 kN.

Maka diambil gaya geser terbesar dari kedua perhitungan diatas, sebesar 2264,705 kN

### c. Pengekangan Kolom pada Daerah Sendi Plastis

Panjang pengekangan kolom di daerah sendi plastis menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.1 adalah :

- Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $l$ , dari muka hubungan balok – kolom adalah  $s_o$ . Spasi  $s_o$  tersebut tidak boleh melebihi :
  - Delapan kali diameter tulangan *longitudinal* terkecil.
  - 24 kali diameter sengkang ikat
  - Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
  - 300 mm
- Panjang  $l_o$  harus lebih besar dari :
  - Seperenam tinggi bersih kolom =  $3400/6 = 566,67$
  - Dimensi terbesar penampang kolom = 1050 mm
  - 500mm

Maka digunakan panjang sendi plastis sebesar 1050 mm.

Kekuatan geser yang disumbangkan beton untuk komponen kolom sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot bw \cdot d \\
 &= \left(1 + \frac{1310434,32}{14 \times 1102500}\right) \cdot \frac{\sqrt{30}}{6} \cdot 400 \cdot 987
 \end{aligned}$$

$$= 390999,59 \text{ kg}$$

$$= 390,99 \text{ kN}$$

Dimana :

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan beton

$N_u$  = beban aksial terfaktor yang diterima struktur

$A_g$  = Luas kolom tanpa rongga

$f'_c$  = Mutu beton dalam Mpa

Cek persyaratan kebutuhan penulangan geser :

$$0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$0,5 \times 0,75 \times 390,99 < 198,93 < 0,75 \times 390,99$$

$$146,62 < 198,93 < 293,24 \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga digunakan tulangan geser minimum dengan nilai sebesar :

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 400 \times 987$$

$$= 778556,86 \text{ N}$$

$$= 778,6 \text{ kN}$$

Dipasang tulangan geser  $2\phi 12-100$  mm dengan nilai  $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ .

$$V_{s \text{ pakai}} = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 987}{100}$$

$$= 893017,86 \text{ N}$$

$$= 893,02 \text{ kN} > V_{s \text{ perlu}} = 778,6 \text{ kN}.$$

### Kontrol Jarak Tulangan Transversal Maksimum Kolom

Spasi maksimum sengkang ikat pada rentang  $l_0$  dari muka hubungan balok kolom adalah  $s_o$ . Spasi tersebut tidak boleh melebihi :

- Delapan kali diameter tulangan *longitudinal* terkecil.  
 $S < 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- 24 kali diameter sengkang ikat  
 $S < 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,

$$S < 0,5 \times 1050 = 535 \text{ mm}$$

- 300 mm

Sehingga dipakai tulangan sengkang  $2\phi 12-200$  di daerah sendi plastis dapat digunakan.

Sengkang pertama harus dipasang tidak melebihi 0,5 muka HBK, yaitu sebesar  $0,5 \times 200 = 100 \text{ mm}$ .

d. **Pengekangan di Luar Sendi Plastis**

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.5.4, spasi sengkang ikat di seluruh penampang kolom tidak boleh lebih dari :

$$2s_o = 2 \times 200 = 400 \text{ mm}$$

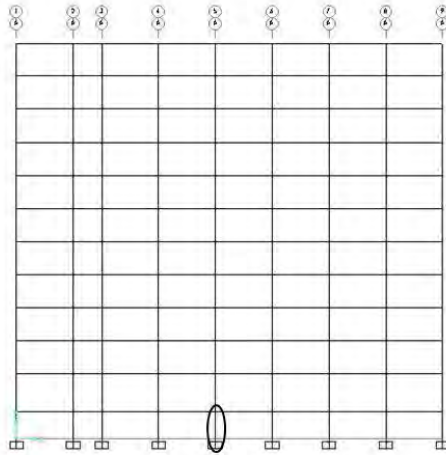
Dicoba untuk daerah di luar sendi plastis dipasang, maka dipasang  $2\phi 12-300$ , maka :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 987}{300} \\ &= 297672,62 \text{ N} \\ &= 297,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 0,75 \times (390,99 + 297,67)$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 516,495 \text{ kN} > V_u = 198,93 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

## 7.2.2 Perencanaan Kolom Interior Lantai Semi Basement



Gambar 7.11. Potongan Rangka As-B

Pada perencanaan Tugas akhir ini, kolom yang akan direncanakan diambil yang memiliki gaya aksial terbesar. pada kasus ini gaya aksial terbesar pada kolom eksterior terjadi di as A/5. Berikut adalah data perencanaan kolom tersebut :

- Mutu Beton : 35 MPa
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi Kolom : 105/105 cm
- Tebal decking : 40 mm
- Diameter tul. Utama((D) : 25 mm
- Diameter tul sengkang : 12 mm

$$\begin{aligned}
 d &= h - c_c - \phi - \frac{1}{2}D \\
 &= 1050 - 40 - 12 - 11 \\
 &= 987 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan software SAP 2000 v14.0.0 diperoleh besarnya gaya pada kolom atas sebesar :

$$Mu = 1364,05 \text{ kNm}$$

$$Pu = 12850,97 \text{ kN}$$

$$V_u = 266,49 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.2 jika komponen struktur SRPMM memenuhi gaya aksial tekan terfaktor  $\geq A_g \times \frac{f_c}{10}$  maka harus memenuhi ketentuan pasal 23.10.4, didapatkan gaya aksial tekan terfaktor terbesar sebesar 12850,97 kN.

$$12850,97 \text{ kN} \geq 1050 \times 1050 \times \frac{35}{10}$$

$$12850,97 \text{ kN} \geq 3858750 \text{ N} = 3858,75 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

#### e. Penulangan Memanjang

Kolom yang direncanakan dihitung menggunakan *software* bantu yaitu *spColumn* dengan menggunakan prosentase kolom yang sesuai dengan syarat SNI 03-2847-2002 pasal 13.4.2.2 yaitu sebesar 1%-6% dengan memberikan tulangan 32D22.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.5.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis truktur.

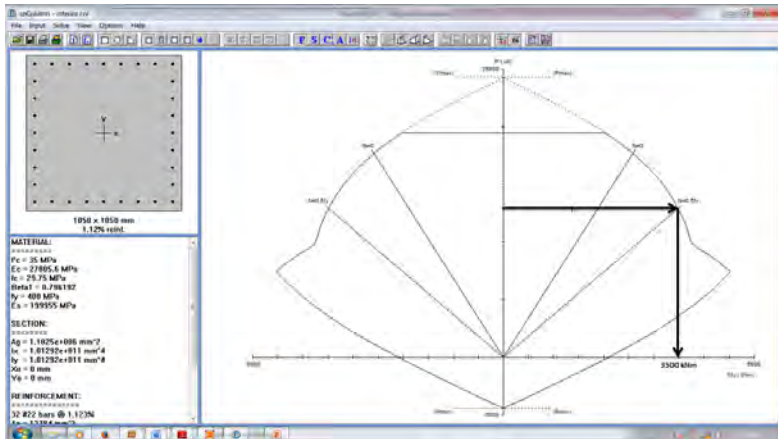
$$\begin{aligned} \phi P_{n \max} &= 0,8 \times \phi \times 0,85 [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 [0,85 \times 35 \times (1102500 - 12164,247) + \\ &\quad 400 \times 12164,247] \\ &= 92139853,02 \text{ N} \\ &= 92139,853 \text{ kN} > 12850,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi 32D25 dapat digunakan.

#### f. Persyaratan Terhadap Gaya Geser

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3, gaya geser rencana ( $V_e$ ) pada komponen struktur tidak boleh kurang dari :

- Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinyakuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.



Gambar 7.12. Diagram interaksi kolom

Dari gambar diagram interaksi kolom diatas didapatkan momen nominal kolom sebesar 3500 kNm,  $M_{ni} = M_{nt} = 3550$  kNm.

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \\ &= \frac{3500 + 3500}{3,4} \\ &= 2058,823 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Besarnya gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban dengan pengaruh nilai beban gempa dengan kombinasi terbesar dari aplikasi SAP 2000 v14, didapatkan gaya geser sebesar 266,486.

Maka diambil gaya geser terbesar dari kedua perhitungan diatas, sebesar 2058,823 kN

#### g. Pengekangan Kolom pada Daerah Sendi Plastis

Panjang pengekangan kolom di daerah sendi plastis menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.1 adalah :

- Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $l$ , dari muka hubungan balok – kolom adalah  $s_o$ . Spasi  $s_o$  tersebut tidak boleh melebihi :



- Delapan kali diameter tulangan *longitudinal* terkecil.
  - 24 kali diameter sengkang ikat
  - Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
  - 300 mm
- Panjang  $l_o$  harus lebih besar dari :
- Seperenam tinggi bersih kolom =  $3400/6 = 566,67$  mm
  - Dimensi terbesar penampang kolom = 1050 mm
  - 500m
- Maka digunakan panjang sendi plastis sebesar 1050 mm.

Kekuatan geser yang disumbangkan beton untuk komponen kolom sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot bw \cdot d \\
 &= \left(1 + \frac{1338917,98}{14 \times 11025}\right) \cdot \frac{\sqrt{30}}{6} \cdot 40 \cdot 98,7 \\
 &= 391664,674 \text{ N} \\
 &= 391,664 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dimana :

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan beton

$N_u$  = beban aksial terfaktor yang diterima struktur

$A_g$  = Luas kolom tanpa rongga

$f'_c$  = Mutu beton dalam Mpa

Cek persyaratan kebutuhan penulangan geser :

$$0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$0,5 \times 0,75 \times 391,664 < 198,93 < 0,75 \times 391,664$$

$$146,874 < 198,93 < 293,748 \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga digunakan tulangan geser minimum dengan nilai sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ perlu}} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times bw \times d \\
 &= \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 400 \times 987 \\
 &= 778556,86 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 778,6 \text{ kN}$$

Dipasang tulangan geser  $2\phi 12-100$  mm dengan nilai  $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ .

$$\begin{aligned} V_{s \text{ pakai}} &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 987}{100} \\ &= 893017,86 \text{ N} \\ &= 893,02 \text{ kN} > V_{s \text{ perlu}} = 778,6 \text{ kN}. \end{aligned}$$

### Kontrol Jarak Tulangan Transversal Maksimum Kolom

Spasi maksimum sengkang ikat pada rentang  $l_0$  dari muka hubungan balok kolom adalah  $s_0$ . Spasi tersebut tidak boleh melebihi :

- Delapan kali diameter tulangan *longitudinal* terkecil.  
 $S < 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- 24 kali diameter sengkang ikat  
 $S < 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,  
 $S < 0,5 \times 1050 = 535 \text{ mm}$
- 300 mm

Sehingga dipakai tulangan sengkang  $2\phi 12-200$  di daerah sendi plastis dapat digunakan.

Sengkang pertama harus dipasang tidak melebihi 0,5 muka HBK, yaitu sebesar  $0,5 \times 200 = 100 \text{ mm}$ .

#### h. **Pengekangan di Luar Sendi Plastis**

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.5.4, spasi sengkang ikat di seluruh penampang kolom tidak boleh lebih dari :

$$2s_0 = 2 \times 200 = 400 \text{ mm}$$

Dicoba untuk daerah di luar sendi plastis dipasang, maka dipasang  $2\phi 12-300$ , maka :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 987}{300} \\ &= 297672,62 \text{ N} \\ &= 297,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Phi(V_c+V_s) = 0,75 \times (391,664 + 297,67)$$

$$\Phi(V_c+V_s) = 517,00 \text{ kN} > V_u = 198,93 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

### 7.3 Perencanaan HBK

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 20.10.5.3, tulangan hubungan balok kolom untuk struktur SRPMM harus memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 03-2847-2002 pasal 13.11.2 dimana pada sambungan elemen portal ke kolom harus disediakan tulangan lateral dengan luas yang tidak kurang dari :

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f_y}}{1200} \times \frac{bw S}{f_y}$$

Dimana  $A_v$  tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= \frac{1}{3} \times \frac{bw S}{f_y} \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{1050 \times 100}{400} \\ &= 87,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{75 \sqrt{f'c}}{1200} \times \frac{bw x S}{f_y} \\ &= \frac{75 \sqrt{35}}{1200} \times \frac{1050 \times 100}{400} \\ &= 97,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga cukup digunakan  $2\phi 12 - 100$  ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ ) untuk dipasang di dalam Hubungan Balok Kolom.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB VIII**

### **PERENCANAAN SAMBUNGAN**

#### **8.1 Bahasan Umum**

Pada perencanaan gedung PENS ini, didesain dengan menggunakan metode sambungan basah. Sambungan basah memiliki kemudahan dalam pelaksanaannya apabila dibandingkan dengan sambungan kering yang menggunakan *mechanical connection* dan *welding connection*.

Untuk sambungan basah di daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran serta sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan untuk geser friksi. Geser friksi adalah geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat tersebut dapat bersifat monolit yang memiliki kesatuan integritas struktur.

Sambungan yang direncanakan ini berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain yang disebutkan diatas, sambungan juga digunakan untuk mendapatkan kestabilan struktur.

Dalam pelaksanaannya, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain hal tersebut, perlu juga ditinjau dari segi *serviceability*, kekuatan, serta produksinya. Faktor kekuatan yang ada pada sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban tersebut berupa beban gravitasi yang berupa beban mati dan beban hidup maupun berat sendiri struktur, beban gempa, serta kombinasi-kombinasi pembebanan tersebut. Sambungan antar elemen beton pracetak harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan serta dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang telah disyaratkan.

Berdasarkan UBC 1997 section 1916.6.2.2, jarak masukan (coakan) minimum sebagai tempat bertumpunya balok atau pelat pracetak terhadap elemen pendukungnya dihitung dari ujung balok atau pelat ke tepi elemen pendukungnya harus diambil sebesar :

- $d = \frac{1}{180} x L_n$  , dimana  $L_n$  = bentang bersih elemen pracetak tetapi tidak boleh kurang dari :
  - Untuk pelat solid/pelat berlubang  $\rightarrow 4d = 3$  in atau 51 mm.
  - Untuk balok  $\rightarrow 4d = 3$  in atau 76 mm

## 8.2 Kriteria Perencanaan Sambungan

Kriteria perencanaan sambungan disesuaikan dengan desain, karena ada perbedaan kriteria untuk masing-masing tipe sambungan. Persyaratan suatu sambungan dapat menjadi syarat yang tidak terlalu penting untuk sambungan lain, hal ini disebabkan karena perbedaan asumsi maupun anggapan spesifikasi dari pihak perencana ataupun pemilik struktur. Kriteria-kriteria perencanaan sambungan didasarkan pada :

- Kekuatan  
Sambungan harus mempunyai kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang terjadi sepanjang umur dari sambungan tersebut. Gaya-gaya tersebut disebabkan oleh gaya gravitasi maupun gempa.
- Daktilitas

Daktilitas didefinisikan sebagai kemampuan relatif struktur untuk menampung deformasi yang besar tanpa mengalami runtuh. Pada material struktur, daktilitas diukur dengan total deformasi yang terjadi pada saat leleh awal terhadap leleh batas (*ultimate failure*).

Daktilitas pada portal sering digabungkan dengan ketahanan terhadap momen, hal ini digunakan pada perencanaan gempa. Pada elemen sambungan tahan momen, tegangan torsi lentur ditahan oleh komponen baja. Dan kondisi runtuh akhir dapat terjadi karena kondisi putusnya baja, hancurnya beton atau

kegagalan dari sambungan baja serta beton. Pada perencanaan ini digunakan perhitungan daktilitas parsial.

- Daya Tahan

Di daerah sambungan perlu dilakukan pengawasan serta pemeliharaan. Sambungan yang diperkirakan akan langsung bersentuhan dengan cuaca harus dilakukan tindakan perlindungan dengan beton atau dengan cat (*galvanis*). Daya tahan yang buruk dari beton pracetak tersebut sering kali diakibatkan oleh retak, spelling beton, serta korosi. Korosi dari komponen baja elemen beton pracetak ini merupakan penyebab paling sering dialami oleh beton pracetak dalam hal menurunnya daya tahan sambungan.

- Ketahanan terhadap Kebakaran

Pada perencanaan sambungan beton pracetak ini harus memperhatikan ketahanan terhadap api atau kebakaran. Sambungan harus tidak mudah terpengaruh terhadap api, seperti pada perletakan pelat ataupun balok yang secara umum tidak memerlukan perlindungan secara khusus terhadap api. Apabila pelat diletakkan di atas *bearing pads* yang tidak memiliki ketahanan terhadap api (mudah terbakar), perlindungan khusus terhadap *bearing Pads* tidak diperlukan. Itu dikarenakan apabila terjadi pada *bearing pads* dan terjadi kondisi terburuk, *pads* tidak menyebabkan keruntuhan tetapi sesudah kebakaran *pads* harus diganti. Untuk sambungan yang tidak tahan api yang memerlukan perlindungan khusus memerlukan pelapisan beton, *gypsum wallboard* atau bahan lain yang tahan api.

- Perubahan Volume

Kombinasi pemendekan akibat rangkai, susut, serta penurunan suhu dapat menyebabkan beberapa tegangan pada elemen beton pracetak ataupun perletakannya. Tegangan ini dimasukkan dalam pendesainan.

- Kesederhanaan Sambungan

Dalam segala perencanaan diperlukan nilai ekonomis. Maka semakin sederhana sambungan tersebut diharapkan semakin ekonomis nilai sambungannya.

Kriteria penyederhanaan sambungan adalah sebagai berikut :

- Memakai bahan-bahan standar
- Menggunakan detail yang sama (berulang).
- Mempersiapkan cara-cara pergantian.
- Kesederhanaan Pemasangan

Kesederhanaan pemasangan elemen beton pracetak sangat menentukan keberhasilan pencapaian pencapaian tujuan penerapan konstruksi beton pracetak. Kesederhanaan pemasangan tidak lepas dari bentuk serta tipe dari sambungan yang dipilih. Kesederhanaan suatu sambungan biasanya menjamin dalam kemudahan pemasangan.

### 8.3 Konsep Desain Sambungan

#### 8.3.1 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 dengan melalui tahapan sebagai berikut :

- 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 di ujung balok diikat dengan las.



- c. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
- d. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
- e. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan/lekatan.

### 8.3.2 Stabilitas dan Keseimbangan

Pada perencanaan struktur beton pracetak biasanya memiliki permasalahan yang utama yaitu disebabkan oleh kesalahan perencanaan dan keseimbangan dari struktur dan komponen-komponennya, bukan hanya pada saat struktur telah terpasang ataupun juga pada saat fase pelaksanaan konstruksi. Sebagai contoh balok induk yang memiliki eksentrisitas beban pada balok akan terjadi torsi dan belok cenderung berputar pada perletakan. Jadi perencanaan perlu memperhatikan serta perlu memperhitungkan kondisi pada saat pemasangan.

### 8.3.3 Klasifikasi Sistem dan Sambungan

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan.

#### a. Lokasi Penyambungan

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau letak sendi daktailnya. Untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristiknya, digunakan istilah sebagai berikut :

- *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 pemancar energi.
- Lokasi sendi plastis

b. Jenis Alat Penyambungan

- *Shell* pracetak dengan bagian intinya di cor beton setempat.
- *Cold joint* yang diberi tulangan.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana *joint* digROUT.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana *joint* tidak digROUT.
- Sambungan-sambungan mekanik.

8.3.4 Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing-masing pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. PCI Design Handbook memberikan lima pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan dapped-end dari balok, yaitu sebagai berikut :

- a. Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung.
- b. Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung.
- c. Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok.
- d. Tarik diagonal pada ujung akhir
- e. Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada perencanaan ulang ini, digunakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian kekuatan penyambungan sebelum komposit agar dapat mencapai struktur yang monolit.

## 8.4 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan topping beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utama adalah :

- a. Menjamin lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- b. Agar distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata

c. Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan.

Tebal topping beton pada umumnya berkisar antara 50 mm hingga 100 mm.

Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan horizontal yang timbul tidak melampaui  $5,50 \text{ kg/cm}^2$ . Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tersebut tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak.

Kebutuhan baja tulangan pada topping dalam menampung geser horisontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \geq A_{vf \text{ min}}$$

dimana :

$A_{vf}$  = Luas tulangan geser friksi

$V_n$  = Luas geser nominal  $< 0,2 \cdot f_c \cdot A_c \rightarrow$  (Newton)

$< 5,5 A_c \rightarrow$  (Newton)

$A_c$  = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser.

$f_y$  = kuat leleh tulangan

$\mu$  = koefisien friksi (1)

$A_{vf \text{ min}} = 0,018 A_c \rightarrow$  untuk baja tulangan mutu 400 Mpa

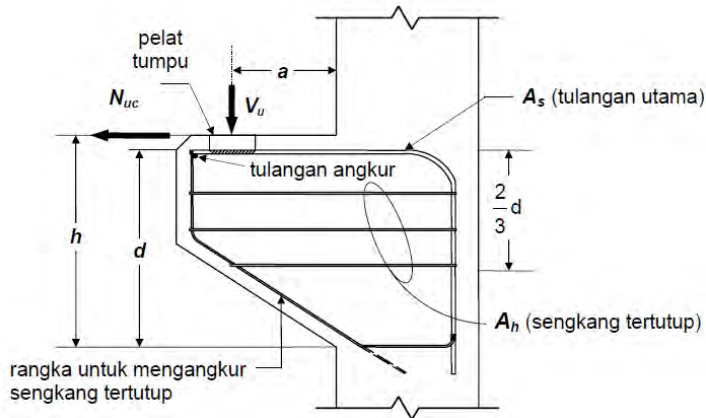
$= 0,0018 \frac{400}{f_y} \times A_c \rightarrow$  untuk tulangan  $f_y > 400 \text{ Mpa}$

diukur pada tegangan leleh  $0,35\%$  = dalam segala hal tidak boleh kurang dari  $0,0014 A_c$ .

## 8.5 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

### 8.5.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antar balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada kolom, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan.



Gambar 8.1 sistem penulangan konsol pendek

Ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut :

- a. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif  $a/d$  tidak lebih besar daripada satu, dan memikul gaya tarik horisontal  $N_{uc}$  yang tidak lebih besar daripada  $V_u$ . Jarak  $d$  harus diukur pada muka tumpuan.
- b. Tinggi konsol pada tepi luar daerah tumpuan tidak boleh kurang daripada  $0,5d$
- c. Penampang pada muka tumpuan harus direncanakan untuk memikul secara bersamaan suatu geser  $V_u$  suatu momen  $V_u \cdot a + N_{uc}(h - d)$ , dan suatu gaya tarik horisontal  $N_{uc}$ .
  1. Didalam semua perhitungan perencanaan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9, faktor reduksi kekuatan  $\phi$  harus diambil sebesar  $0,75$
  2. Perencanaan tulangan geser friksi  $A_{vf}$  untuk memikul geser  $V_u$  harus memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 13.7 :
    - Untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada  $0,2 \cdot f'c \cdot b_w \cdot d$  ataupun  $5,5 \cdot b_w \cdot d$  (dalam newton).

- Untuk beton ringan total atau beton ringan pasir, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil melebihi  $\left(0,2 - 0,007 \frac{a}{d}\right) f'_c \cdot b_w \cdot d$  ataupun  $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}\right) b_w d$  dalam newton.
  - Tulangan  $A_f$  untuk menahan momen  $[V_u \cdot a + N_{uc}(h - d)]$  harus dihitung menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.2 dan pasal 12.3
3. Tulangan  $A_n$  untuk menahan gaya tarik  $N_{uc}$  harus ditentukan dari  $N_{uc} \leq \emptyset \cdot A_n \cdot f_y$ , gaya tarik  $N_u$  tidak boleh diambil kurang daripada  $0,2V_u$  kecuali bila digunakan suatu cara khusus untuk mencegah terjadinya gaya tarik. Gaya tarik  $N_{uc}$  harus dianggap sebagai suatu beban hidup walaupun gaya tarik tersebut timbul akibat rangkak, susut, ataupun perubahan suhu.
  4. Luas tulangan tarik utama  $A_s$  harus diambil sama dengan nilai terbesar dari  $(A_f + A_n)$  atau  $\left(\frac{2 \cdot A_v f}{3} + A_n\right)$ .
  - d. Senggang tertutup atap atau senggang ikat yang sejajar dengan  $A_{s1}$  dengan luas total  $A_h$  yang tidak kurang daripada  $0,5 \cdot (A_s - A_n)$ , harus disebarakan secara merata dalam rentang batas duapertiga dari tinggi efektif konsol, dan dipasang bersebelahan dengan  $A_s$ .
  - e. Rasio  $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$  tidak boleh diambil kurang dari  $0,04 \cdot \frac{f'_c}{f_y}$ .
  - f. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama  $A_s$  harus diangkurkan sengan salah satu cara berikut :
  - g. Luas daerah penumpu beban pada konsol pendek tidak boleh melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama  $A_s$  dan tidak pula melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila dipasang).

Contoh perhitungan :

Dari perhitungan struktur utama sebelum komposit, didapatkan :

$$V_u = 75808,23 \text{ N}$$

Data Perencanaan :

Dimensi balok induk 40/60

Dimensi konsol :

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 40 - 25 = 335 \text{ mm}$$

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$a = 250 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{d} = \frac{250}{335} = 0,745 < 1 \rightarrow (\text{OK})$$

$$V_n = \frac{75808,23}{0,6} = 126347,05 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.9.3.2 syarat nilai kuat geser  $V_n$  untuk beton normal adalah :

$$0,2 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d = 0,2 \times 35 \times 400 \times 335 = 938000 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

$$5,5 \cdot b_w \cdot d = 5,5 \times 400 \times 335 = 737000 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

Luas tulangan geser friksi :

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien gesek  $\mu = 1,4$ .

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \\ &= \frac{126347,05}{400 \cdot 1,4} \\ &= 225,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur :

Perletakan yang digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horisontal, maka gaya horisontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9.3.4 akan digunakan  $N_{uc}$  minimum :

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u = 0,2 \times 75808,23 = 15161,646 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h-d) \\ &= 75808,23 \times 250 + 15161,646 \times (400-335) \end{aligned}$$

$$= 19937564,49 \text{ Nmm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c' \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} = 0,036$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 psl 12.3.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \cdot 1000 \cdot dx^2} = \frac{19937564,49}{0,8 \times 400 \times 335^2} = 0,555$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,555}{400}} \right) \\ &= 0,0014 < \rho_{\min} = 0,0037. \text{ Maka dipakai } \rho = 0,0037. \end{aligned}$$

$$A_{fl} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{19937564,49}{0,85 \times 0,65 \times 400 \times 335} = 269,3 \text{ mm}^2 \\
 A_{f2} &= \rho \cdot bw \cdot d \\
 &= 0,0037 \times 400 \times 335 \\
 &= 495,8 \text{ mm}^2 \\
 &\text{Jadi } A_f \text{ yang menentukan adalah } A_{f1} = 495,8 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

Tulangan Pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = \frac{15161,646}{0,65 \cdot 400} = 58,314 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\min}} &= 0,04 \times \left( \frac{f'c'}{f_y} \right) \times b \times d \\
 &= 0,04 \times \left( \frac{35}{400} \right) \times 400 \times 335 \\
 &= 469 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= (A_f + A_n) \\
 &= (495,8 + 58,314) \\
 &= 554,114 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{(menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \left( \frac{2 \cdot A_{vf}}{3} + A_n \right) \\
 &= \left( \frac{2 \times 225,62}{3} + 58,314 \right) \\
 &= 283,934 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan 4D16 ( $A_s = 804,248 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 A_h &= 0,5 \times (A_s - A_n) \\
 &= 0,5 \times (554,114 - 58,314) \\
 &= 247,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai sengkang 4D13 = 530,929 mm<sup>2</sup>.

Dipasang sepanjang  $\frac{2}{3}d = \frac{2}{3} \times 335 = 223,33 \text{ mm} = 220 \text{ mm}$   
(vertikal).

Luas Pelat Landasan :

$$V_u = \emptyset \cdot (0,85) \cdot f_c \cdot A_l$$

$$A_l = \frac{75808,23}{0,65 \times 0,85 \times 35} = 3920,27 \text{ mm}^2.$$

Dipakai pelat landasan  $250 \times 300 \text{ mm}^2 = 75000 \text{ mm}^2$  (tebal 15 mm).



### 8.5.2 Perhitungan Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik. Jadi dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$\begin{aligned}d_b &= 25 \text{ mm} \\A_s \text{ perlu} &= 3300,72 \text{ mm}^2 \\A_s \text{ terpasang} &= 3925 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Panjang penyaluran tulangan terpasang dalam tekan  
Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3 :

$$\begin{aligned}l_d &= l_{db} \times \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}} \\l_d &\geq 200 \text{ mm} \\l_d &\geq 0,04 \times d_b \times f_y \\&\geq 0,04 \times 25 \times 400 \\&\geq 400 \text{ mm} \\l_d &= \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{35}} \\&= \frac{25 \times 400}{4 \times \sqrt{35}} \\&= 422,58 \text{ mm} \\l_d &= 422,58 \times \frac{3300,72}{3925} \\&= 355,367 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipakai  $l_d = 355,367 \text{ mm} \approx 360 \text{ mm}$ .

- Panjang penyaluran kait standar dalam tarik.  
Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.5, maka :

$$\begin{aligned}l_{dh} &= l_{hb} \times \frac{f_y}{400} \\l_{dh} &\geq 8d_b \\&\geq 200 \text{ mm} \\l_{dh} &\geq 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_{hb} &= 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'c}} \\
 &= 100 \times \frac{25}{\sqrt{35}} \\
 &= 422,577 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= l_{hb} \times \frac{fy}{400} \\
 &= 422,577 \times \frac{400}{400} \\
 &= 422,577 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_{dh} \geq 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})$$

Maka dipakai  $l_{dh} = 422,6 \text{ mm} \approx 430 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar  $90^\circ$  sebesar  $12db = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$ .

## 8.6 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dengan balok anak digunakan sambungan dengan konsol pendek. Balok anak diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk yang nantinya akan dirangkai jadi satu kesatuan.

### 8.6.1 Perencanaan konsol pada balok induk

Dari analisis truktur sekunder didapatkan :

$$V_u = 51259,4 \text{ N}$$

Data Perencanaan :

Dimensi balok anak 30/40

Dimensi konsol :

$$bw = 300 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 100 - 15 - \left(\frac{1}{2} \times 19\right) \\
 &= 75,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$f'c = 35 \text{ MPa}$$

$$fy = 400 \text{ Mpa}$$

$$a = 70 \text{ mm}$$

$$a/d = \frac{70}{75,5} = 0,927 < 1 \rightarrow (\text{OK})$$

$$V_n = \frac{51259,4}{0,75} = 68345,867 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.9.3.2, syarat nilai kuat geser  $V_n$  untuk beton normal adalah :

$$0,2 \cdot f'c \cdot b_w \cdot d = 0,2 \cdot 35 \cdot 400 \cdot 75,5 = 211400 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

$$5,5 \cdot b_w \cdot d = 5,5 \times 400 \times 75,5 = 166100 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

#### Luas tulangan geser friksi :

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien gesek  $\mu = 1,4$ .

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \\ &= \frac{68345,867}{400 \cdot 1,4} \\ &= 122,046 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

#### Luas tulangan lentur :

Perletakan yang digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horisontal, maka gaya horisontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9.3.4 akan digunakan  $N_{uc}$  minimum :

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u = 0,2 \times 51259,4 = 10251,88 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h-d) \\ &= 51259,4 \times 70 + 10251,88 \times (100-75,5) \\ &= 3839329,06 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'c' \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} = 0,036$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 psl 12.3.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \quad (\text{SNI 03-2847-2002 ps 12.5.1})$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \cdot 1000 \cdot dx^2} = \frac{3839329,06}{0,8 \times 300 \times 75,5^2} = 2,806$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 2,806}{400}} \right) \\ &= 0,0074 > \rho_{\min} = 0,0037. \text{ Maka dipakai } \rho = 0,0074. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{f1} &= \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\ &= \frac{3839329,06}{0,85 \times 0,65 \times 400 \times 75,5} = 230,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{f2} &= \rho \cdot bw \cdot d \\ &= 0,0074 \times 300 \times 75,5 \\ &= 167,61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi  $A_f$  yang menentukan adalah  $A_{f1} = 230,1 \text{ mm}^2$ .

Tulangan Pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = \frac{10251,88}{0,65 \cdot 400} = 39,43 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\min}} &= 0,04 \times \left( \frac{f'c}{f_y} \right) \times b \times d \\ &= 0,04 \times \left( \frac{35}{400} \right) \times 300 \times 75,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 79,275 \text{ mm}^2 \\
 A_s &= (A_f + A_n) \\
 &= (230,1 + 39,43) = 269,53 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{menentukan})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \left( \frac{2 \cdot A_{vf}}{3} + A_n \right) \\
 &= \left( \frac{2 \times 122,046}{3} + 39,43 \right) \\
 &= 120,794 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan 4D13 ( $A_s = 530,66 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 A_h &= 0,5 \times (A_s - A_n) \\
 &= 0,5 \times (269,53 - 39,43) \\
 &= 115,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai sengkang 4D10 = 314 mm<sup>2</sup>.

$$\text{Dipasang sepanjang } \frac{2}{3}d = \frac{2}{3} \times 75,5 = 50 \text{ mm (vertikal).}$$

Luas Pelat Landasan :

$$\begin{aligned}
 V_u &= \emptyset \cdot (0,85) \cdot f_c \cdot Al \\
 Al &= \frac{51259,4}{0,65 \times 0,85 \times 35} = 2650,78 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

Dipakai pelat landasan 250 x 300 mm<sup>2</sup> = 75000 mm<sup>2</sup> (tebal 15 mm).

### 8.6.2 Perhitungan Sambungan Balok Induk

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik. Jadi dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$\begin{aligned}
 d_b &= 22 \text{ mm} \\
 A_s \text{ perlu} &= 604,238 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ terpasang} &= 1899,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Panjang penyaluran tulangan terpasang dalam tekan Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 14.3 :

$$l_d = l_{db} \times \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 0,04 \times d_b \times f_y$$

$$\geq 0,04 \times 22 \times 400$$

$$\geq 352 \text{ mm}$$

$$l_d = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{35}}$$

$$= \frac{22 \times 400}{4 \times \sqrt{35}}$$

$$= 371,868 \text{ mm}$$

$$l_d = 371,868 \times \frac{604,238}{1899,7}$$

$$= 118,28 \text{ mm}$$

Dipakai  $l_d = 118,28 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$ .

Maka dipakai  $l_d$  sebesar 200 mm.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.2, maka :

$$d_b = 22 \text{ mm}; \alpha = 1,3; \beta = 1,0; \lambda = 1,0$$

$$l_d = d_b \times \frac{3 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{5 \sqrt{f'c}}$$

$$= 22 \times \frac{3 \times 400 \times 1,3 \times 1,0 \times 1,0}{5 \sqrt{35}}$$

$$= 1160,23 \text{ mm}$$

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan tarik  $l_d = 1160,23 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$ .

- Panjang penyaluran kait standar dalam tarik.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 14.5, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \times \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b = 176 \text{ mm}$$

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

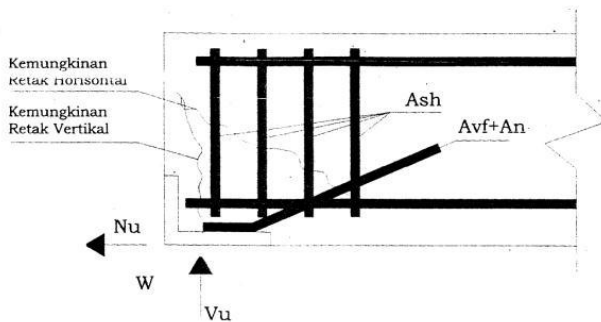
$$l_{hb} = 100 \times \frac{d_b}{\sqrt{f'c}}$$

$$= 100 \times \frac{22}{\sqrt{35}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 371,868 \text{ mm} \\
 l_{dh} &= l_{hb} \times \frac{f_y}{400} \\
 &= 371,868 \times \frac{400}{400} \\
 &= 371,868 \text{ mm} \\
 l_{dh} &\geq 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $l_{dh} = 371,868 \text{ mm} \approx 380 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar  $90^\circ$  sebesar  $12d_b = 12 \times 22 = 264 \text{ mm}$ .

### 8.6.3 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 8.2 Rencana tulangan pada balok induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada buku *PCI Design Handbook (fifth edition)* section 6.8 yaitu tentang concrete brackets or cobel. Karena dihitung dengan PCI maka satuan yang dipakai adalah :

- Lb atau kips untuk satuan gaya
- Inch untuk besaran panjang
- Psi untuk  $f_c'$
- Ksi untuk  $f_y$

Hal ini karena berkaitan dengan koefisien-koefisien yang akan dipakai. Menurut SNI 03-2847-2002, tentang *bearing strength on plain concrete* adalah :

$$\phi V_n = \phi C_r \cdot (0,8 \cdot f_c' \cdot A_s) \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \cdot f_c' \cdot A_1$$

Dimana :

$$\Phi = 0,7$$

$$C_r = \left( \frac{S_w}{200} \right) \left( \frac{N_u}{V_u} \right) = 1 \rightarrow \text{bila tidak ada goyangan horisontal yang berarti.}$$

$A_1$  = luas permukaan beton yang mendukung beton

$A_2$  = luas proyeksi permukaan  $A_1$ .

Batas searing strength adalah :

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w$$

jika  $V_u > \phi V_n$  hasil design *bearing strength on plain concrete* maka perlu tulangan *end bearing*. Penulangan *end bearing* berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

- Diasumsikan sudut retak adalah vertikal  $\theta = 0^0$ .
- Hitungan tulangan horisontal sebagai berikut :
- Sudut penanaman adalah  $15^0$  seperti yang disarankan pada referensi.

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} + \frac{N_u}{\phi \cdot f_y}$$

- Nilai  $\mu = 1,4 \cdot \lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$

- Perhitungan tulangan sengkang, disajikan sebagi berikut :

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}}$$

$$\text{Dimana : } \mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}$$

$A_{cr}$  = Id.b

b = lebar balok

ld = panjang penanaman

$f_{ys}$  = mutu baja sengkang  $A_{sh}$

- Nilai maksimum  $V_n$  dari PCI design handbook table 6.7.1 untuk beton cor monolit 1000.  $\lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu_{recomended} = 1,4 \cdot \lambda \cdot \mu_e$ . dimana  $\mu_{e \max} = 3,4$ .



Contoh perhitungan :

$$V_u = 116536,3 \text{ N} = 26,198 \text{ kips}$$

$$N_u = 0,2 \times V_u = 0,2 \times 26,198 = 5,24 \text{ kips}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} = 57970 \text{ Psi}$$

$$f_y = 35 \text{ MPa} = 5072 \text{ Psi}$$

dimensi balok anak sebelum komposit 30/26 cm<sup>2</sup>.

$$\text{Sehingga } h = 26 \text{ cm} = 10,23 \text{ in}$$

Dipakai pelat landasan :

$$b = 30 \text{ cm} = 11,80 \text{ in}$$

$$w = 15 \text{ cm} = 5,9 \text{ in}$$

$$A_{cr} = b \cdot h$$

$$= 11,80 \times 10,23 = 120,714 \text{ in}^2.$$

Cek  $V_{n \text{ max}}$  dari PCI Design Handbook fifth book figure 6.15.16 :

$$\phi V_n \leq \phi \cdot 1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr}$$

maka :

$$\phi V_n \leq \phi \cdot 1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr}$$

$$\phi V_n \leq 0,85 \times 1000 \times 1 \times (120,714)/1000$$

$$\leq 102,607 \text{ kips} > V_u = 26,198 \text{ kips} \rightarrow (\text{OK})$$

$$\mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{V_u}$$

$$= \frac{1000 \cdot 1 \cdot 120,714 \cdot 1}{26,198 \cdot 1000} = 4,607 > 3,4$$

Sehingga digunakan  $\mu_e = 3,4$ .

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu_e}$$

$$= \frac{26,198}{0,85 \cdot 57970 \cdot 3,4} = 0,156 \text{ in}^2$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi \cdot f_y} = \frac{5,24 \times 1000}{0,65 \times 57970} = 0,139 \text{ in}^2$$

$$A_{vf} + A_n = 0,156 + 0,139 = 0,295 \text{ in}^2$$

Dipakai 4D10 = 615,44 mm<sup>2</sup> = 0,663 in<sup>2</sup>

Panjang  $l_d$  sesuai dengan tabel design aid untuk  $f_c = 5000$  Psi dan tulangan D10 mm  $\approx$  #4

Dipakai  $l_d = 13 \text{ in} \approx 35 \text{ cm}$

$$A_{cr} = l_d \times b$$

$$= 13 \times 11,8 = 153,4 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned}\mu_e &= \frac{1000 \lambda \cdot Acr \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) f_y} \\ &= \frac{1000 \cdot 1 \cdot 120,714 \cdot 1,4}{(0,295) \times 57970} = 9,88 > 3,4\end{aligned}$$

Sehingga digunakan  $\mu_e = 3,4$ .

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}} = 0,236 \text{ in}^2$$

Dipakai 4D12 =  $452,389 \text{ mm}^2 = 0,701 \text{ in}^2$ .

### 8.7 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintang tegak lurus diatas balok ( menghubungkan stud-stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan dengan menggunakan stud-stud tersebut diberi overtopping dengan pengecoran *cast in site*.

## **BAB IX**

### **PERENCANAAN PONDASI**

#### **9.1 Umum**

Pada umumnya pondasi merupakan komponen struktur pendukung bangunan bawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perencanaannya, pondasi terdiri dua jenis yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dipakai apabila struktur yang dipikul oleh pondasi tersebut memiliki beban yang relatif kecil, sedangkan pada pondasi dalam dipakai untuk memikul beban yang relatif besar seperti pada gedung dengan jumlah lantai banyak. Apabila perbandingan antara kedalaman pondasi ( $D$ ) dengan diameter pondasi ( $B$ ) lebih besar sama dengan 10 ( $D/B \geq 10$ ), maka pondasi tersebut direncanakan menggunakan pondasi dalam. Pondasi dalam memiliki beberapa macam jenis antara lain pondasi tiang pancang, pondasi tiang bor (pondasi sumuran), pondasi *caisson* dan lain sebagainya.

Pada perencanaan kali ini, akan digunakan pondasi dalam dengan jenis pondasi tiang pancang.

#### **9.2 Data Tanah**

Sebelum merencanakan pondasi yang akan digunakan, perlu dilakukan penyelidikan tanah yang berfungsi untuk mengetahui jenis dari tanah tersebut, sehingga nantinya dapat dilakukan perencanaan pondasi yang sesuai dengan jenis tanah dan kemampuan daya dukung dari tanah tersebut. Perencanaan pondasi pada gedung ini sesuai dengan penyelidikan tanah di lapangan. Adapun data tanah yang telah tersedia untuk perencanaan ini meliputi data penyelidikan tanah hasil SPT (terlampir).

#### **9.3 Spesifikasi Tiang Pancang**

Pada perencanaan pondasi, spesifikasi dari tiang pancang memiliki peranan penting. Untuk perencanaan pondasi gedung

ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *pencil pile shoe* produk PT. Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang K-600 (*concrete cube compressive strength is 600 kg/cm<sup>2</sup> at 28 days*).

Berikut adalah spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan :

- Diameter luar (D) : 800 mm
- Tebal : 100 mm
- Kelas : C
- Cross section : 1570 mm<sup>2</sup>
- Modulus : 18263,4 cm<sup>2</sup>
- Bending momen crack : 29 tm
- Bending momen ultimate : 58 tm
- Allowable axial : 229 ton

## 9.4 Daya Dukung

### 9.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Pada perencanaan pondasi, daya dukung pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ) serta daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi ( $Q_p$ ). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan akan dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok.

Perhitungan daya dukung tiang pancang dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

$Q_L$  = daya dukung tanah maximum pada pondasi

$Q_p$  = *resistance ultime* di dasar pondasi

$Q_s$  = *resistance ultime* akibat lekatan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p \cdot \alpha = (N_p \cdot K) A_p \cdot \alpha$$

$$Q_s = q_s \cdot A_s \cdot \beta = (N_s/3 + 1) A_s \cdot \beta$$

Dimana :

$N_P$  = harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

$$= \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

$B$  = diameter dasar pondasi

$K$  = koefisien karakteristik tanah :

12 t/m<sup>2</sup> = 117.7 kPa (lempung)

20 t/m<sup>2</sup> = 196 kPa (lanau berlempung)

25 t/m<sup>2</sup> = 245 kPa (lanau berpasir)

40 t/m<sup>2</sup> = 392 kPa (pasir)

$A_p$  = luas penampang dasar tiang

$q_p$  = tegangan diujung tiang

$N_s$  = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan  $3 \leq N_s \leq 50$

$A_s$  = luas selimut tiang

$q_s$  = tegangan akibat lekatan lateral t/m<sup>2</sup>

$\alpha$  dan  $\beta$  = koefisien berdasarkan tipe pondasi dn jenis tanah.

Harga  $N$  dibawah muka air tanah harus di koreksi menjadi  $N'$  berdasarkan perumusan Terzaghi & Peck, berikut adalah perumusan  $N$  koreksi :

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Dimana :

$N$  = jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk dibawah muka air tanah.

#### 9.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi group, terlebih dahulu dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi  $C_e$ .

$$Q_{L\text{group}} = Q_L (1 \text{ tiang}) \times n \times C_e$$

Dengan :

$n$  = jumlah tiang dalam group

Untuk menghitung koefisien efisiensi  $C_e$ , digunakan cara Converse – Labarre :

$$C_e = 1 - \frac{\text{arc tan} \frac{\phi}{s}}{90^\circ} \times \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana :

$\emptyset$  = diameter tiang pondasi

$S$  = jarak as ke as antar tiang dalam group

$m$  = jumlah baris tiang dalam group

$n$  = jumlah kolom tiang dalam group

#### 9.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal ( $V$ ), horisontal ( $H$ ), dan momen ( $M$ ), maka besarnya beban vertikal ekuivalen ( $P_v$ ) yang bekerja pada sebuah tiang adalah :

$$P_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{maks}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{maks}}{\sum Y^2}$$

Dimana :

$P_v$  = beban vertikal ekuivalen

$v$  = beban vertikal dari kolom

$n$  = banyaknya tiang dalam group

$M_x$  = momen terhadap sumbu x

$M_y$  = momen terhadap sumbu y

$X_{maks}$  = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

$Y_{maks}$  = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang.

$\sum X^2$  = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang terhadap garis netral group

$\sum Y^2$  = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

Nilai  $x$  dan  $y$  positif jika arahnya sama dengan arah  $e$ , dan negative bila berlawanan dengan arah  $e$ .

## 9.5 Perhitungan Tiang Pancang

### 9.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari hasil data tanah yang didapatkan dari Testana Engineering, Inc digunakan contoh untuk kedalaman 27 m dengan diameter tiang pancang 600 mm.

Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan Luciano Decourt :

$$Q_N = Q_p + Q_s$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q_p &= (N_p \cdot K) \cdot A_p \\ &= (22,20 \times 25) \times 0,2826 \\ &= 156,843 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= (N_s/3 + 1) \cdot A_s \\ &= (12,696/3 + 1) \cdot 32,028 \\ &= 266,149 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_p + Q_s \\ &= 156,843 + 266,149 \\ &= 422,992 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$Q_u = P_{ijin \text{ 1 tiang}} = \frac{Q_L}{SF} = \frac{422,922}{3} = 141,00 \text{ ton}$$

Tabel 9.1 Hasil analisis SPT

Depth m	Qp						Qs				SF = 3	
	N lap	N' Koreksi	Np	K t/m2	Ap	Qp ton	Ns	Ns'	As m2	Qs ton	Qu ton	Qd ton
0	1	1	1.00	40	0.2826	11.304	3	3.000	0.000	0.000	11.304	3.77
1	1	1	1.00	16	0.2826	4.522	3	3.000	1.884	3.768	8.290	2.76
2	1	1	1.00	16	0.2826	4.522	3	3.000	3.768	7.536	12.058	4.02
3	1	1	1.00	16	0.2826	4.522	3	3.000	5.652	11.304	15.826	5.28
4	1	1	1.00	16	0.2826	4.522	3	3.000	7.536	15.072	19.594	6.53
5	1	1	1.00	40	0.2826	11.304	3	3.000	9.420	18.840	30.144	10.05
6	1	1	1.00	16	0.2826	4.522	3	3.000	11.304	22.608	27.130	9.04
7	1	1	1.00	16	0.2826	4.522	3	3.000	13.188	26.376	30.898	10.30
8	1	1	2.40	16	0.2826	10.852	3	3.000	15.072	30.144	40.996	13.67
9	1	1	5.30	16	0.2826	23.964	3	3.000	16.956	33.912	57.876	19.29
10	8	8	8.50	25	0.2826	60.053	8	3.455	18.840	40.535	100.587	33.53
11	16	15.5	11.90	16	0.2826	53.807	15.5	4.458	20.724	51.522	105.329	35.11
12	19	17	15.20	20	0.2826	85.910	17	5.423	22.608	63.476	149.387	49.80
13	21	18	16.90	20	0.2826	95.519	18	6.321	24.492	76.100	171.619	57.21
14	20	17.5	17.30	20	0.2826	97.780	17.5	7.067	26.376	88.506	186.286	62.10
15	18	16.5	18.20	20	0.2826	102.866	16.5	7.656	28.260	100.382	203.248	67.75
16	20	17.5	19.10	25	0.2826	134.942	17.5	8.235	30.144	112.892	247.834	82.61
17	28	21.5	20.40	25	0.2826	144.126	21.5	8.972	32.028	127.815	271.941	90.65
18	30	22.5	21.40	25	0.2826	151.191	22.5	10.056	33.912	147.580	298.771	99.59
19	33	24	21.50	25	0.2826	151.898	24	10.400	35.796	159.889	311.786	103.93
20	28	21.5	20.70	25	0.2826	146.246	21.5	10.929	37.680	174.943	321.188	107.06
21	21	18	19.70	20	0.2826	111.344	18	11.250	39.564	187.929	299.273	99.76
22	20	17.5	18.40	20	0.2826	103.997	17.5	11.522	41.448	200.632	304.629	101.54
23	20	17.5	17.70	20	0.2826	100.040	17.5	11.771	43.332	213.350	313.390	104.46
24	20	17.5	17.80	20	0.2826	100.606	17.5	12.000	45.216	226.080	326.686	108.90
25	21	18	18.10	20	0.2826	102.301	18	12.231	47.100	239.123	341.424	113.81
26	22	18.5	19.40	20	0.2826	109.649	18.5	12.463	48.984	252.479	362.128	120.71
27	23	19	22.20	25	0.2826	156.843	19	12.696	50.868	266.149	422.992	141.00
28	33	24	25.10	25	0.2826	177.332	24	13.086	52.752	282.860	460.191	153.40
29	48	31.5	26.75	25	0.2826	188.989	31.5	13.700	54.636	304.140	493.129	164.38
30	50	32.5	29.33	25	0.2826	207.240	32.5	14.306	56.520	326.054	533.294	177.76

Berdasarkan tabel 9.1 diatas, daya dukung 1 pondasi tiang pancang yang berdiameter 60 cm pada kedalaman 27 meter adalah 141 ton. Sehingga jumlah tiang pancang yang dibutuhkan :

$$N = \frac{P_n}{P_u} = \frac{620,531}{141,00} = 4,40 = 5 \text{ buah} \approx 9 \text{ buah.}$$



### 9.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Jumlah tiang pancang di desain jarakny sesuai dengan yang diijinkan. Tebal poer yang direncanakan pada tiang pancang group ini sebesar 1 meter.

a) Poer type A

Data-data perhitungan pondasi tiang pancang yang diperoleh dari software SAP 2000 v.14 :

$$P = 618,448 \text{ ton} = 6184480 \text{ N}$$

$$M_{ux} = 9,360 \text{ tm}$$

$$M_{uy} = 0,711 \text{ tm}$$

$$H_x = 0,038 \text{ ton}$$

$$H_y = 9,521 \text{ ton}$$

- Jarak antar tiang pancang

$$2,5D \leq S \leq 3D$$

$$2,5 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$150 \leq S \leq 180$$

Digunakan jarak antar tiang pancang 180 cm

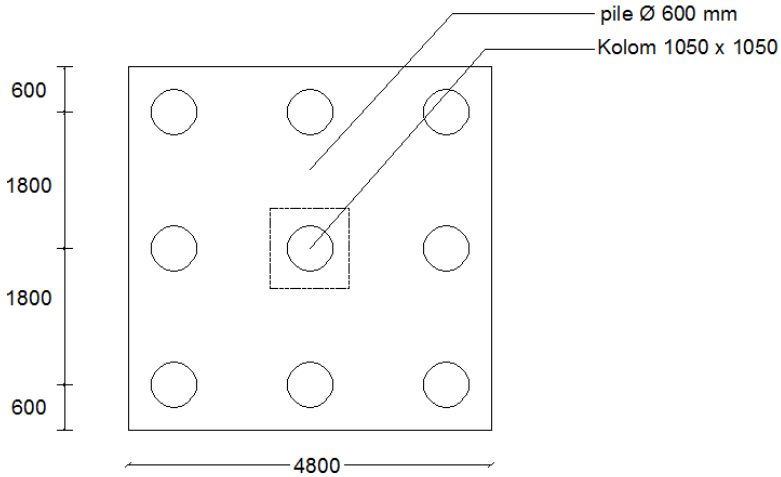
- Jarak tepi tiang pancang

$$1D \leq S \leq 2D$$

$$1 \times 60 \leq S \leq 2 \times 60$$

$$60 \leq S \leq 120$$

Digunakan jarak tiang pancang ke tepi 60 cm



Gambar 9.1 Denah Tiang Pancang

- Perhitungan daya dukung tiang kelompok  
Perhitungan koefisien  $C_e$   
Dengan menggunakan perumusan Converse – Laberre :

$$C_e = 1 - \frac{\text{arc tan} \frac{\phi}{s}}{90^\circ} \times \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana :

- $\phi$  = diameter tiang pondasi
- $s$  = jarak as ke as antar tiang dalam group
- $m$  = jumlah baris tiang dalam group
- $n$  = jumlah kolom tiang dalam group

$$\begin{aligned} C_e &= 1 - \frac{\text{arc tan} \frac{\phi}{s}}{90^\circ} \times \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \\ &= 1 - \frac{\text{arc tan} \frac{600}{1500}}{90^\circ} \times \left( 2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \right) \\ &= 0,677 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{L\text{group}} &= Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times C_e \\ &= 141,00 \times 9 \times 0,677 \\ &= 850,23 \text{ ton} \\ &= 850230 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Perhitungan beban Aksial Maksimum Pondasi Kelompok  
 Reaksi kolom = 618,448 ton  
 Berat poer =  $4,8 \times 4,8 \times 2,4$  = 55,296 ton  
 = 673,744 ton

Maka : berat total  $< Q_{L\text{ group}}$   
 $673,744 \text{ ton} < 850,23 \text{ ton} \rightarrow (\text{OK})$

### 9.5.3 Kontrol Beban Maksimum Tiang

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{\text{poer}}) \\ &= 9,360 + (9,521 \times 1) \\ &= 18,881 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= M_{uy} + (H_x \times t_{\text{poer}}) \\ &= 0,711 + (0,038 \times 1) \\ &= 0,749 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\sum x^2 = 6 \times (1,8)^2 = 19,44 \text{ m}$$

$$\sum y^2 = 6 \times (1,8)^2 = 19,44 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_v &= \frac{618,448}{9} + \frac{0,749 \times 1,8}{19,44} + \frac{18,881 \times 1,8}{19,44} \\ &= \text{ton} \end{aligned}$$

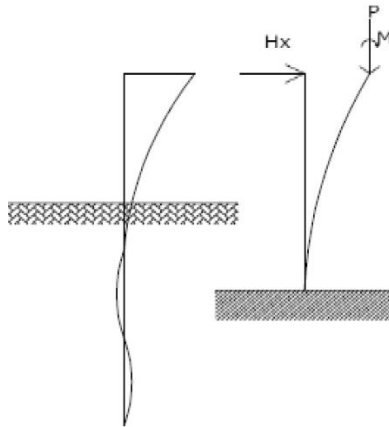
Jadi beban maksimum yang diterima oleh satu buah tiang pancang yang dikelompokkan dengan kepala poer adalah :

$$P_v = 70,53 \text{ ton} < Q_{\text{ijin}} = 141 \text{ ton}$$

### 9.5.4 Kontrol Kekuatan Tiang Pondasi

- Kontrol terhadap gaya aksial :  
 Untuk Ø60 cm kelas C pada Wika Piles Classification gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 211,6 ton  
 $P_{\text{max}} = 70,53 \text{ ton} < P_{\text{ijin}} = 141 \text{ ton} \rightarrow \text{OK!}$

- Kontrol kekuatan tiang terhadap gaya lateral:



Gambar 9.2 Diagram gaya Lateral Tiang Pondasi

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multilayer

$L_e$  = panjang jepitan

$$= 3 \times 0,6 \text{ m}$$

$$= 1,8 \text{ m} \rightarrow \text{(menentukan)}$$

Maka dipakai  $L_e = 1,8 \text{ m}$ .

$$M_x = L_e \times H_x$$

$$= 1,8 \times 0,038$$

$$= 0,0684 \text{ tm}$$

$$M_y = L_e \times H_y$$

$$= 1,8 \times 9,521$$

$$= 17,138 \text{ tm}$$

$$M_{\text{tiang}} = \frac{17,138}{9}$$

$$= 1,904 \text{ tm} < M_{\text{bending crack}} = 29 \text{ tm} \rightarrow (\text{OK})$$

## 9.6 Perencanaan Poer

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data Perencanaan :

n tiang pancang tiap group	= 9
Dimensi kolom	= 1050
Dimensi poer	= 4,8 x 4,8 x 1
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 35 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
Diameter tulangan	= 25 mm
Selimut beton	= 70 mm

Tinggi efektif :

$$D_x = 1000 - 70 - \frac{1}{2} \times 25 = 917,5 \text{ mm}$$

$$D_y = 1000 - 70 - \frac{1}{2} \times 25 = 917,5 \text{ mm}$$

- Kontrol geser pons pada poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6}\right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1.a}$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6}\right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1.b}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \rightarrow \text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1.c}$$

Dimana :

$$\beta_c = \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom} \\ = 1050/1050 = 1,00$$

$$B_0 = \text{keliling dari penampang kritis poer} \\ = 2 \times (b_{\text{kolom}} + d) + 2 \times (h_{\text{kolom}} + d) \\ = 2 \times (1050 + 917,5) + 2 \times (1050 + 917,5) \\ = 7870 \text{ mm}$$

$$\alpha_s = 30$$

$$\blacksquare V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6}\right)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \left(\frac{\sqrt{35} \times 7870 \times 917,5}{6}\right) \\ = 21359192,6 \text{ N}$$

$$\blacksquare V_c = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6}\right) \\ = \left(\frac{30 \times 917,5}{7870} + 2\right) \left(\frac{\sqrt{35} \times 7870 \times 917,5}{6}\right) \\ = 39140426,42 \text{ N} \rightarrow \text{Menentukan}$$

$$\blacksquare V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \\ = \frac{1}{3} \times \sqrt{35} \times 7870 \times 917,5 \\ = 14239461,73 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 39140426,42 \\ = 29355319,82 \text{ N}$$

$$= 29355,32 \text{ kN} > P_u = 6184,48 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

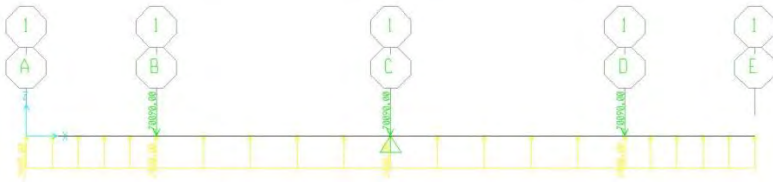
Jadi ketebalan dan ukuran poer yang direncanakan memenuhi syarat terhadap geser ponds.

- Penulangan poer

Penulangan lentur pada *poer* dianalisa menggunakan program bantu SAP 2000. Untuk beban yang bekerja merupakan beban terpusat (P) dari tiang pancang yang berasal dari gaya perlawanan tanah (beban ijin terpusat dari tiang) dan beban terbagi rata (q) yang berasal dari berat sendiri *poer*.

$$P_{\text{max}} = 70,09 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{poer}} = 2,4 \times 2,4 \times 1 = 5,76 \text{ ton/m}$$



Gambar 9.3 Analisa Poer menggunakan *Software* SAP 2000

Dari analisa program bantu SAP 2000, didapatkan :

$$M = 1017087032 \text{ Nmm}$$

$$D_x = 1000 - 70 - \frac{1}{2} \times 25 = 917,5 \text{ mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI } 03-2847-2002 \text{ psl } 10.4.3)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,036$$

Seusai SNI 03-2847-2002 psl 12.3.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,036 = 0,027$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{35}}{400} = 0,0037 \quad (\text{SNI } 03-2847-2002 \text{ ps } 12.5.1)$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar yaitu 0,0037.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \cdot b \cdot dx^2} = \frac{1017087032}{0,8 \times 4800 \times 917,5^2} = 0,315$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,445 \cdot 0,315}{400}} \right) \\ &= 0,0008 \end{aligned}$$

Karena,  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ , maka digunakan  $\rho_{\text{perlu}} = 0,0037$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 4800 \times 917,5 \\ &= 16294,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan D25} = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490,874 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tarik 34D25 – 140,  $A_s = 16689,72 \text{ mm}^2$ .



## **BAB X**

### **METODE PELAKSANAAN**

#### **10.1 Umum**

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, peranan yang paling merupakan metode pelaksanaan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Dalam perencanaan apalagi perencanaan beton pracetak harus diketahui struktur tersebut mampu dan dapat terlaksana. Tahap pelaksanaan juga sangat mempengaruhi analisa yang digunakan dalam merencanakan struktur.

Berikut adalah item-item pekerjaan dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan-penggunaan material beton pracetak :

- Proses pencetakan secara fabrikasi di industri pracetak  
Pada proses fabrikasi di industri pracetak, memiliki beberapa pertimbangan-pertimbangan yang harus diperhatikan, yaitu :
  - a. Diperlukan standar khusus sehingga produk pracetak tersebut dapat diaplikasikan secara umum.
  - b. Tebatasnya ukuran atau spesifikasi elemen pracetak.
  
- Proses pencetakan di lapangan/lokasi proyek  
Selain proses pencetakan secara fabrikasi di industri pracetak, elemen pracetak juga dapat dibuat di lapangan atau lokasi proyek. Maka dari itu diperlukan beberapa pertimbangan diantaranya :
  - a. Proses seperti ini sering digunakan pada proyek-proyek lokal.
  - b. Umur produksi elemen pracetak disesuaikan dengan umur proyek.
  - c. Proses ini lebih disukai ini dikarenakan standarisasi hasil pencetakan disesuaikan dengan keperluan proyek.

## 10.2 Proses Produksi Elemen Beton Pracetak

Setelah pelaksanaan pengecoran beton pracetak, perlu dilakukan curing beton untuk menghindari penguapan air semen secara drastis agar mutu beton yang direncanakan dapat terpenuhi. Pembukaan bekisting dari elemen pracetak tersebut dilakukan setelah beton berumur 3-7 hari pada suhu kamar.

Syarat-syarat dari cetakan elemen beton pracetak :

- Mudah ditangani dan tidak bocor
- Mudah untuk dipindahkan, ini khusus untuk pelaksanaan proses di lapangan
- Volume dari cetakan stabil untuk dicetak berulang-ulang.

## 10.3 Pengangkatan dan Penempatan *Tower Crane*

Pada pelaksanaan konstruksi beton pracetak erat kaitannya dengan pekerjaan pengangkatan elemen beton pracetak. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam hal pengangkatan elemen beton pracetak tersebut adalah :

- Kemampuan maksimum *Crane* yang digunakan
- Metode pengangkatan
- Letak titik pengangkatan pada elemen pracetak
- Momen yang ditimbulkan akibat pengangkatan elemen pracetak tidak boleh melampaui momen retak yang diijinkan.

Hal yang berkaitan dengan pengangkatan serta penentuan titik angkat telah dibahas pada bab-bab sebelumnya. Untuk perencanaan ini penulis menggunakan *crane* yang harus disesuaikan dengan kemampuan angkat dari *crane* dengan berat elemen beton pracetak yang diangkat.

Berikut adalah data-data *Crane* yang di gunakan :

- Jenis *crane* : TEREX Comedil CTL 630
- Jarak jangkauan maksimum 196 feet = 65 m dengan beban maksimum 9 ton
- Tinggi 70 m

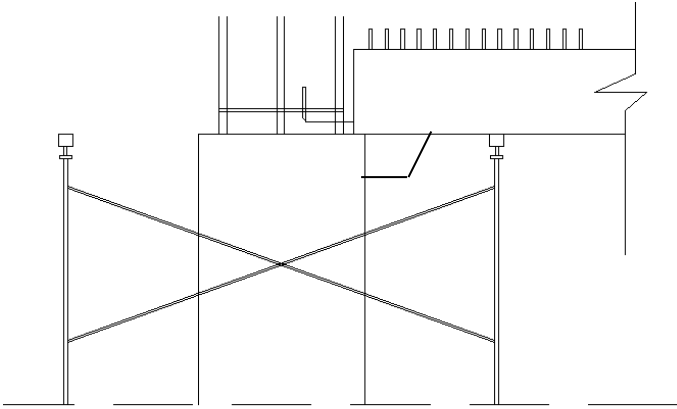
Elemen beton yang di pracetak :

- Balok Induk 40/60 (panjang = 7,2 m)  
 $W = 0,4 \times (0,6-0,14) \times 7,2 \times 2400 = 3179,52 \text{ kg}$
- Balok Anak 30/40 (panjang = 7,2)  
 $W = 0,3 \times (0,4-0,14) \times 7,2 \times 2400 = 1347,84 \text{ kg}$
- Pelat 3,6 x 3,2 m<sup>2</sup>  
 $W = 0,08 \times 3,6 \times 3,2 \times 2400 = 2211,84 \text{ kg}$

#### 10.4 Proses Pelaksanaan

Adapun tahapan pelaksanaan yang nantinya akan digunakan dalam perencanaan Gedung Perkuliahan Politeknik Elektronika Negeri Surabaya adalah sebagai berikut :

- a. Setelah dilakukan pemancangan serta pembuatan pile cap dan pembuatan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom serta tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang telah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.
- b. Balok induk yang hendak disatukan ke kolom, disangga menggunakan perancah. Balok diletakkan di posisi yang sejajar dengan kolom. Balok di tumpu oleh konsol sehingga panjang lewatan dapat masuk dan dicor bersamaan dengan pengecoran kolom.



Gambar 10.1 Pemasangan balok induk pracetak

- c. Balok anak pracetak dipasang di tengah bentang balok induk di bagian konsol balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang tiga perancah dengan posisi satu dibagian tengah dan dua di bagian tepi.
- d. Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan pengecoran tangga.
- e. Pemasangan pelat pracetak diatas balok induk dan balok anak.
- f. Setelah pelat terpasang, dilanjutkan proses *overtopping* atau pengecoran bagian atas pelat. Permukaan pelat pracetak dibuat kasar agar dapat monolit dengan *overtopping*. Topping digunakan setinggi 6 cm.
- g. Pada pekerjaan lantai berikutnya, urutan pelaksanaan dilakukan sama dengan penjelasan di atas.

## **BAB XI PENUTUP**

### **11.1 Ringkasan**

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perencanaan ulang struktur gedung perkuliahan PENS dengan menggunakan elemen pracetak didapatkan data-data perencanaan sebagai berikut :
  - Dimensi kolom = 105/105cm
  - Dimensi balok induk = 40/60 cm
  - Dimensi balok anak = 30/40 cm
  - Tebal pelat = 14 cm
  - Pile cap = D 60, H = 27 m
  - Dimensi Poer = 4,8 m x 4,8 m x 0,5m
2. Dalam melakukan perencanaan struktur gedung yang menggunakan elemen beton pracetak, terlebih dahulu direncanakan metode pelaksanaan yang akan digunakan. Ini dikarenakan dalam penganalisaan pembebanan serta permodelan struktur gedung perlu diketahui serta ditetapkan asumsi-asumsi dalam pelaksanaan pekerjaan struktur.
3. Permukaan pelat lantai yang terpasang di atas balok induk maupun balok anak dikasarkan, itu nantinya akan berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara bagian pracetak dan bagian topping agar dapat bersifat monolit dalam satu kesatuan struktur.
4. Penggunaan elemen beton pracetak pada struktur sosok digunakan pada gedung yang memiliki denah tipikal sehingga perencanaan dan pembuatan dapat dilakukan secara massal.
5. Sambungan antar elemen struktur , seperti halnya balok dan kolom serta balok induk dengan balok anak diusahakan sesuai dengan yang direncanakan.

6. Pelaksanaan metode pracetak diperlukan ketelitian dan keahlian dalam penggarapannya.

### **11.2 Saran**

Teknologi pracetak diperlukan pengembangan agar lebih efisien dalam penggunaannya. Selain itu diperlukan lagi metode-metode sambungan yang lebih mudah dalam pengaplikasiannya.



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

JUDUL

DATA GAMBAR  
MODIFIKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA.  
Ir. KURDIAN SUPRAPTO, MS.

MAHASISWA

WHISNU DWI WIRANATA  
3110 100 125

GAMBAR

TAMPAK DARI UTARA

SKALA

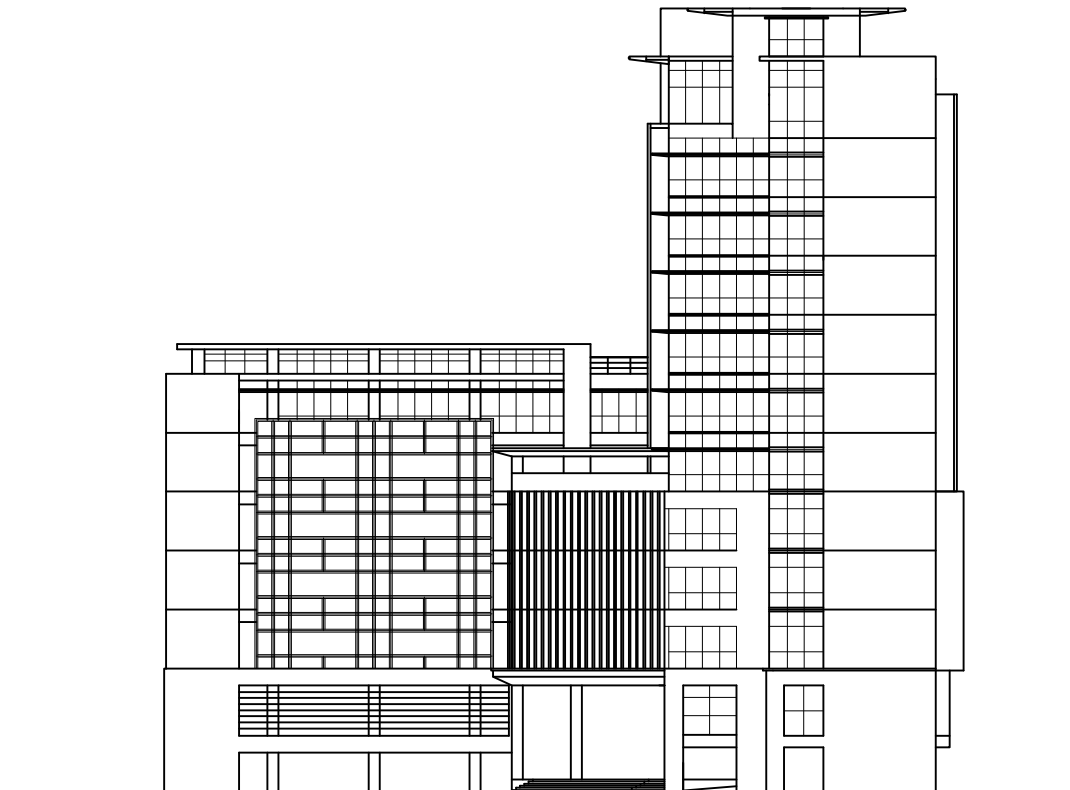
1 : 150

NO. GAMBAR

1

24

CATATAN



 **TAMPAK DARI UTARA** 01  
SKALA 1 : 150



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FTSP - ITS  
SURABAYA

JUDUL

DATA GAMBAR  
MODIFIKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA.  
Ir. KURDIAN SUPRAPTO, MS.

MAHASISWA

WHISNU DWI WIRANATA  
3110 100 125

GAMBAR

TAMPAK DARI TIMUR

SKALA

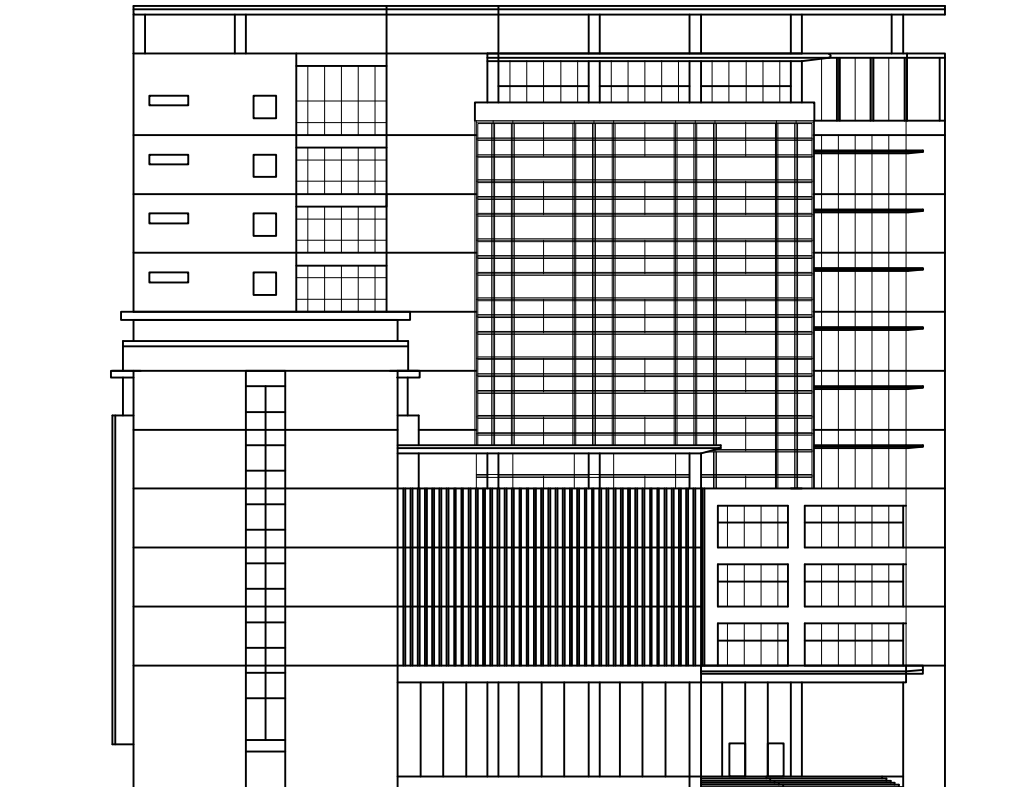
1 : 150

NO. GAMBAR

2

24

CATATAN



 **TAMPAK DARI TIMUR** 01  
SKALA 1 : 150



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Whisnu Dwi Wiranata, dilahirkan di Magetan, pada tanggal 16 Juni 1991. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Magetan 2, SMP Negeri 1 Magetan, dan SMA Negeri 1 Magetan. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Magetan pada tahun 2010,

penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri dan diterima di Program Sarjana Teknik Sipil FTSP – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Struktur. Pada masa perkuliahan penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh jurusan, fakultas, maupun institut. Penulis bisa dihubungi lewat *email* [whisnudwiranata@ymail.com](mailto:whisnudwiranata@ymail.com)