

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. PERSIAPAN

Tahapan persiapan merupakan rangkaian kegiatan awal sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahap persiapan ini, disusun hal-hal yang harus dilakukan dengan tujuan agar penulisan tugas akhir ini menjadi sistematis, teratur dan terstruktur, sehingga waktu pekerjaan penulisan tugas akhir ini menjadi efektif dan efisien. Tahap persiapan meliputi kegiatan-kegiatan berikut :

1. Studi pustaka terhadap objek dan elemen-elemen yang akan didesain untuk menentukan garis besar perencanaan struktur.
2. Pembuatan proposal penyusunan tugas akhir.
3. Perencanaan jadwal perancangan desain struktur.

Persiapan diatas harus dilakukan secara cermat dan tepat untuk menghindari pekerjaan yang berulang-ulang sehingga tahap penyusunan tugas akhir menjadi efisien dan optimal.

### 3.2. PENGUMPULAN DATA

Dalam membuat suatu analisa, diperlukan data-data sebagai bahan acuan. Untuk dapat melakukan analisis yang baik, maka diperlukan data yang mencakup informasi dan teori konsep dasar yang berkaitan dengan objek yang akan dianalisis. Data – data tersebut dapat diklasifikasikan dalam dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

#### 3.2.1. Data Primer

Data Primer adalah data yang diperoleh dari lapangan maupun hasil survey yang dapat langsung dipergunakan sebagai sumber dalam analisa struktur. Data Primer antara lain adalah sebagai berikut :

1. Data Proyek
  - Nama Proyek : Gedung Kantor BPS Provinsi Jawa Tengah
  - Fungsi Bangunan : Perkantoran
  - Jumlah Lantai : 7 lantai
  - Lokasi : Jl. Pahlawan no. 6 Semarang

Struktur Bangunan : Konstruksi Struktur Beton Bertulang  
Struktur Atap : Konstruksi Atap baja  
Bahan Bangunan : Struktur Beton

2. Data spesifikasi bahan, digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan yang dipergunakan dalam struktur. Yaitu sebagai berikut :

Pelat :  $f^c = 35$  MPa  
Balok :  $f^c = 35$  MPa  
kolom :  $f^c = 35$  MPa  
Pondasi :  $f^c = 25$  MPa  
Tulangan :  $f_y = 400$  MPa, untuk tulangan utama  
 $f_y = 240$  MPa, untuk tulangan sengkang  
 $f_y = 550$  MPa, untuk tulangan *strand* dan PC-wire

3. Data Tanah

Data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan dan pengujian tanah oleh Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil UNDIP, terdiri atas :

- *Boring*
- *Direct Shear Test*
- *Liquid Plastic Limit Test*
- *Sondir*
- *Grain Size Accumulation Curve*

Dari data tanah di atas dapat dianalisis karakteristik tanah yang diperlukan untuk perencanaan dan perancangan struktur bangunan bawah (pondasi).

### 3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang berasal dari peraturan-peraturan atau ketentuan-ketentuan serta referensi kepustakaan yang ada untuk digunakan dalam menganalisa suatu struktur. Data sekunder merupakan data penunjang yang diperlukan dalam analisa struktur ini. Yang termasuk dalam klasifikasi data sekunder ini antara lain adalah literatur-literatur penunjang, grafik, tabel dan peta/tanah.

### 1. Data Teknis

Data teknis merupakan data yang berhubungan langsung dengan perencanaan struktur gedung seperti data tanah, bahan bangunan yang digunakan, data beban rencana yang bekerja, dan sebagainya.

### 2. Data Non Teknis

Adalah data yang berfungsi sebagai penunjang dan perencanaan, seperti kondisi dan letak lokasi proyek. Data yang harus dilengkapi baik berupa data berdasarkan jenisnya (primer dan sekunder) dalam perencanaan struktur antara lain terdiri dari :

- a. Lokasi/letak bangunan
- b. Kondisi/sistem struktur bangunan sekitar
- c. Data pembebanan
- d. Data tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah
- e. Mutu bahan yang digunakan
- f. Wilayah gempa dimana bangunan itu didirikan
- g. Metode analisis yang digunakan
- h. Standar dan referensi yang digunakan dalam perencanaan.

Langkah yang dilakukan setelah mengetahui data-data yang diperlukan adalah menentukan metode pengumpulan datanya. Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan adalah :

#### 1. Observasi

Adalah pengumpulan data melalui peninjauan dan pengamatan langsung dilapangan.

#### 2. Studi Pustaka

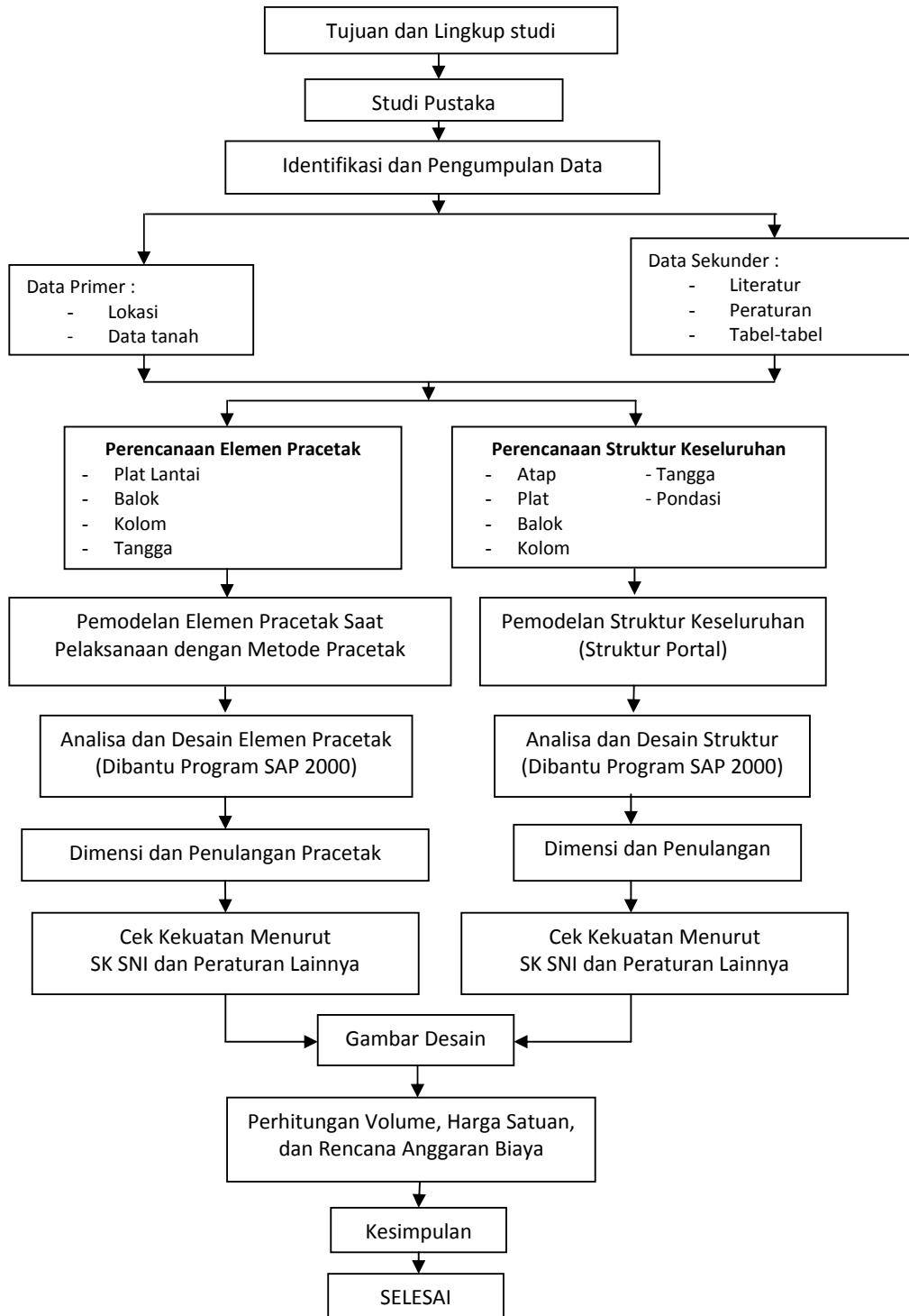
Adalah pengumpulan data dengan data-data dari hasil penyelidikan, penelitian, tes atau uji laboratorium, pedoman, bahan acuan, maupun standar yang diperlukan dalam perencanaan bangunan melalui perpustakaan ataupun instansi-instansi pemerintah yang terkait.

Setelah diperoleh data yang diperlukan, maka selanjutnya dapat dilakukan proses perhitungan.

### 3.3. METODE ANALISIS

Dalam tugas akhir ini, perencanaan hanya meliputi perencanaan struktur atas kaitannya dengan analisa struktur dengan metode pracetak. Struktur atas adalah struktur bangunan dalam hal ini adalah bangunan gedung yang secara visual berada di atas tanah yang terdiri dari struktur sekunder seperti pelat, tangga, dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok dan kolom.

Proses perencanaan struktur gedung dalam laporan tugas akhir ini ditampilkan dalam bagan alir (*flowchart*). *Flow chart* ini dimulai dari penentuan dari fungsi bangunan yang akan didirikan, dalam hal ini bangunan yang di rencanakan berfungsi sebagai gedung BPS. Kemudian dilanjutkan dengan mempelajari dan menentukan dasar-dasar teori yang dipakai, setelah itu mengidentifikasi bangunan yang direncanakan yang disertai dengan pengumpulan data yang dibutuhkan.



**Flowchart 3.1.** Penyusunan Tugas Akhir

Langkah selanjutnya adalah penentuan model dan bentuk struktur, dari struktur yang sudah ada ini kemudian dianalisa lalu dihitung. Setelah dihitung kemudian dicek, apakah struktur tersebut aman atau tidak. Bila struktur tersebut aman maka desain strukturnya bisa di gambar, namun bila struktur tersebut tidak aman, maka perlu di cek lagi dari penentuan model dan bentuk struktur sampai struktur tersebut benar – benar aman.

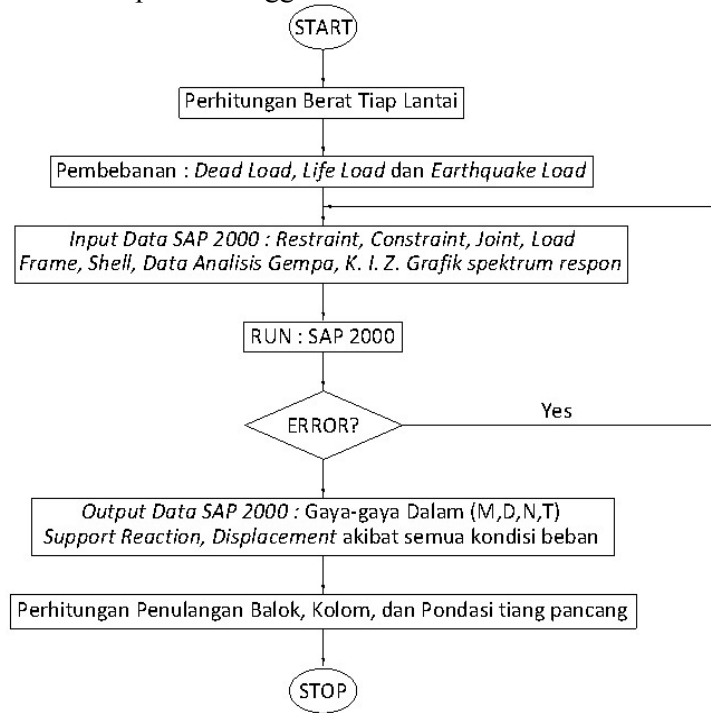
Hasil desain berupa dimensi dan penulangan elemen struktur untuk selanjutnya ditinjau ulang dengan pemodelan yang mengacu pada metode pelaksanaan pracetak. Metode pelaksanaan ini mengakibatkan pemodelan struktur saat pemasangan elemen beton jadi berbeda bila digunakan metode konvensional. Dari pemodelan tersebut dianalisa dan kemudian dihitung untuk selanjutnya dicek kapasitas atau kekuatan elemen pracetak saat pemasangan. Bila sudah aman, maka desain terakhir yaitu yang paling besar yang dipakai dalam pelaksanaan nantinya.

#### **3.4. PERENCANAAN STRUKTUR KESELURUHAN**

Struktur atas terdiri dari struktur portal yang merupakan kesatuan antar balok, kolom, pelat. Perencanaan struktur portal berdasarkan SNI 03-1728-2002 (*Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*). Prosedur perhitungan mekanika/analitis struktur untuk struktur portal dilakukan secara 3 dimensi (3D), dengan bantuan program komputer *Structural Analysis Program (SAP) 2000 V10*.

Khusus untuk kolom, kolom dalam gedung BPS ini direncanakan menggunakan kolom pracetak, sehingga perilakunya pertemuan balok kolomnya maupun kolom kolom, tidak seperti struktur konvensional biasa (*cast in place*) yang sambungan bersifat monolit. Antar kolom disambung oleh *strand* yang dimasukkan ke dalam pipa (berada di kolom selanjutnya yang terletak di bagian bawah kolom) yang kemudian akan di *grouting* untuk memberikan tambahan kekuatan. Saat permodelan SAP 2000, elemen kolom akan di *release* yang akan menyebabkan momen di kolom bagian bawah akan bernilai 0. Hal ini dilakukan karena sambungan antar kolom pracetak tidak bersifat jepit murni sehingga permodelan pada SAP 2000 diharapkan mendekati perilaku yang sebenarnya di lapangan. Tapi untuk analisa sambungan didasarkan oleh

P axial tarik kolom (berasal dari momen saat sambungan bersifat jepit murni) dan geser. Dengan bantuan program komputer ini akan didapatkan *output* program berupa gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur akibat semua kombinasi beban yang ada termasuk beban gempa. Adapun diagram alir (*flow chart*) perhitungan mekanika portal menggunakan SAP 2000 :



**Flowchart 3.2.** Perhitungan Mekanika Portal 3D

Untuk analisa gempa SAP 2000 menggunakan analisis dinamik struktur dengan Metode Analisis Ragam Spektrum Respon. Dengan metode yang dipakai oleh SAP 2000 ini akan didapatkan besarnya gaya gempa yang terjadi beserta nilai *displacement* (perpindahan) dari struktur portal tersebut.

### 3.5. PERENCANAAN STRUKTUR PORTAL UTAMA

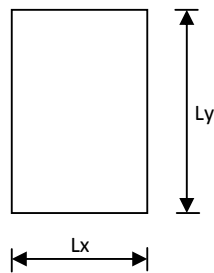
#### 3.5.1. Perencanaan Pelat

Pelat adalah struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit dengan tinggi yang kecil dibandingkan dengan dimensi struktur lainnya. Untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi harus juga ukuran dan syarat-syarat dan peraturan yang

ada. Pada perencanaan ini digunakan tumpuan terjepit penuh untuk mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir.

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek  $\leq 3$ , maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat menjadi suatu pelat yang melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek  $> 3$ , balok yang lebih panjang akan memikul beban yang lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah). Langkah-langkah perencanaan pelat adalah:

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan beban-beban yang bekerja.
3. Menentukan tebal pelat.



$$h_{\min} \geq \frac{Ln \left( 0.8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$h_{\max} \geq \frac{Ln * \left( 0.8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36} \dots\dots\dots (3.2)$$

dan tebal tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana:  $\beta = Ly / Lx$ ,

$\beta > 3$  : one way slab

$\beta \leq 3$  : two way slab

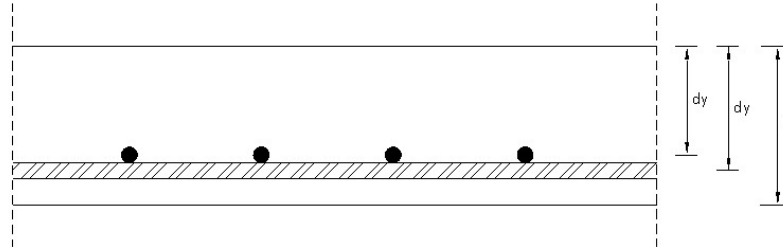
$Ln$  = panjang sisi terpanjang

4. Menentukan momen yang bekerja pada pelat (berasal dari output SAP 2000)
5. Struktur beton tidak menahan tarik. Oleh sebab itu pada daerah tersebut dibutuhkan tulangan untuk menahan tarik. Cara-cara untuk menentukan tulangan pada daerah tarik :

- a. Menetapkan tebal penutup beton



- b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
- c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.



Gambar 3.1. Tinggi Efektif Pelat

- d. Membagi Mu dengan b x d<sup>2</sup>

$$\left( \frac{Mu}{b \times d^2} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana b = lebar pelat per meter panjang  
 d = tinggi efektif

- e. Mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\left( \frac{Mu}{b \times d^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left( 1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'c} \right) \dots\dots\dots (3.4)$$

Memeriksa syarat rasio penulangan (ρ<sub>min</sub> < ρ < ρ<sub>mak</sub>)

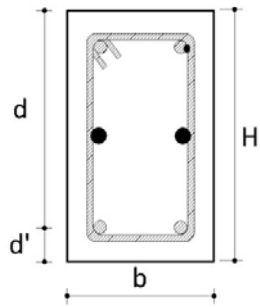
$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\rho_{mak} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \dots\dots\dots (3.6)$$

Mencari luas tulangan yang dibutuhkan: As = ρ b d ..... (3.7)

**3.5.2. Perencanaan Balok**

Dalam pra desain tinggi balok menurut SKSNI 03-1726-2002 merupakan fungsi dan bentang dan mutu beton yang digunakan. Secara umum pra desain tinggi balok direncanakan L/10 - L/15, dan lebar balok diambil 1/2H - 2/3H dimana H adalah tinggi balok. Perhitungan gaya-gaya dalam pada balok menggunakan *software* SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan.



$$d' = p + \text{\textcircled{O}}\text{sengkang} + \frac{1}{2} \text{\textcircled{O}} \text{ tulangan utama}$$

$$d = h - (p + \text{\textcircled{O}}\text{sengkang} + \frac{1}{2} \text{\textcircled{O}} \text{ tulangan utama})$$

Analisis gaya – gaya dalam berupa momen, gaya geser, gaya normal, maupun torsi yang terjadi pada balok dihitung dengan bantuan SAP 2000 V.10. Hasil output analisis gaya – gaya dalam yang terjadi digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pokok, tulangan geser (sengkang), dan tulangan torsi.

1. Perhitungan tinggi efektif balok

$$d = h - (p + \text{\textcircled{O}}\text{sengkang} + 1/2 \text{\textcircled{O}} \text{ tul.utama})$$

$$c = \frac{d * \epsilon_c}{\epsilon_c + \frac{f_y}{E_s}} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$a = \beta_1 * c \dots \dots \dots (3.9)$$

2. Perhitungan  $\rho_{min}$  dan  $\rho_{max}$

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

$$\rho_{max} = \frac{\beta_1 * 450 * 0,85 * f'c}{600 + f_y} \frac{1}{f_y}$$

Syarat rasio tulangan :  $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$

**Menghitung Tulangan Utama Balok**

1. Perhitungan tulangan utama daerah tumpuan dan daerah lapangan:

Mu = Momen yang terjadi (Diketahui dari Output SAP 2000)

$$A_s = \frac{M_u}{0,8 * f_y (d - \frac{a}{2})} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} \dots \dots \dots (3.11)$$

Syarat rasio tulangan :  $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$

Apa bila  $\rho$  memenuhi syarat dipakai tulangan single kemudian dipasang Tulangan tariknya. Tulangan tarik akan di cek momen nominalnya terhadap momen luar yang terjadi.

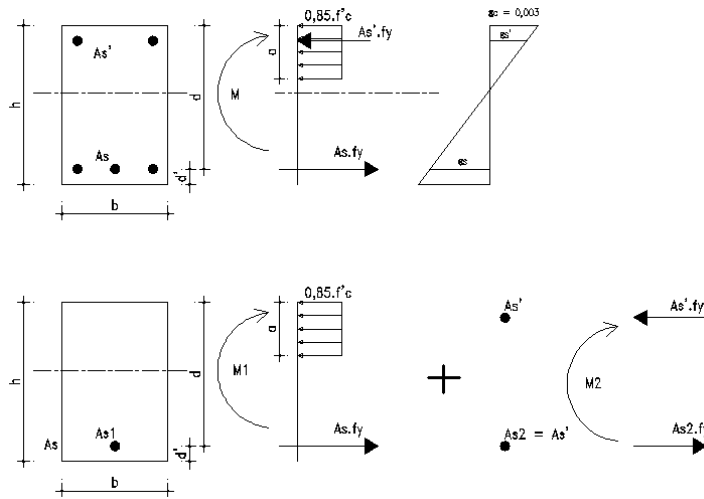
$$M_n = A_s * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Checking :  $M_n > M_u$  ... (AMAN !)

a. Check Tulangan Tekan

Perhitungan tulangan utama daerah tumpuan :

Dipasang tulangan tekan minimum sebanyak 2 buah.



**Gambar 3.2.** Diagram Pemecahan Perhitungan Tulangan

Momen yang ditahan tulangan tekan :

$$M_2 = A_s' * \phi * f_y * (d - d') \dots\dots\dots(3.12)$$

Momen yang harus ditahan tulangan tarik :

$$M_1 = M_u - M_2 \dots\dots\dots(3.13)$$

As<sub>1</sub> yang dibutuhkan :

$$A_{s1} = \frac{M_1}{\phi * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right)} \dots\dots\dots(3.14)$$

As yang dibutuhkan :

$$As = As_1 \text{ yg dibutuhkan} + As_2 \dots\dots\dots(3.15)$$

Checking rasio penampang :

$$\rho \text{ terpasang} = \frac{As}{b * d} \dots\dots\dots(3.16)$$

$\rho \text{ min} < \rho \text{ terpasang} < \rho \text{ max} \dots(\text{AMAN})$

$$M_1 = \phi * (As \text{ terpasang} - As') * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots(3.17)$$

Cek kapasitas penampang :

$$M_n = M_1 + M_2 \dots\dots\dots(3.18)$$

Checking :  $M_n > M_u \dots (\text{AMAN !})$

2. Pengaruh Geser

Perencanaan penampang geser harus didasarkan pada :

$$V_u \leq V_c + V_s \dots\dots\dots(3.19)$$

Kuat geser yang disumbangkan beton sebesar (SNI 03-1728-2002 pasal 13.3.1) :

$$V_c = \phi * \frac{\sqrt{f_c}}{6} * b * d \dots\dots\dots(3.20)$$

Jika  $V_u > V_c$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = V_u - V_c \dots\dots\dots(3.21)$$

Checking penampang (SNI 03-1728-2002 pasal 13.5.6) :

$$V_s < V_{s \text{ max}} \dots\dots\dots(3.22)$$

$$V_{s \text{ max}} = \phi * \frac{2}{3} * \sqrt{f_c} * b * d \dots\dots\dots(3.23)$$

Jika  $V_s < V_{s \text{ max}}$ , maka penampang aman.

Didapatkan tulangan geser (ganda) untuk sengkang per meter sebesar (SNI 03-1728-2002 pasal 13.5.6) :

$$A_v = \frac{V_s * s}{f_y * d * \phi} \text{ dan } A_v \text{ min} = \frac{1}{3} * \frac{b * s}{f_y} \dots\dots\dots(3.24)(3.25)$$

Jika  $A_v > A_v \text{ min}$ , maka dipakai tulangan geser sebesar  $A_v$ .

3. Pengaruh Torsi

Perencanaan penampang geser harus didasarkan pada :

$$T_u \leq T_c + T_s \dots\dots\dots(3.26)$$

Besar torsi yang disumbang penampang sebesar (SNI 03 – 1728 – 2002 pasal 13.6.2) :

$$T_c = \phi * \frac{\sqrt{f_c}}{3} * \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots(3.27)$$

Dimana :

$$A_{cp} = b * h$$

$$P_{cp} = 2 * (b + h)$$

Karena  $T_u > T_c$ , maka dibutuhkan tulangan puntir.

Checking penampang melintang (SNI 03 – 1728 – 2002 pasal 13.6.3) :

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b * d} \right)^2 + \left( \frac{T_u * P_h}{1,7 * A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi * \left( \frac{V_c}{b * d} + \frac{2 * \sqrt{f_c}}{3} \right) \dots\dots\dots(3.28)$$

Dimana :  $A_{oh} = b' * h'$   
 $P_h = 2 * (b' + h')$

a. Tulangan Torsi (senggang)

$$T_s = T_u - T_c \dots\dots\dots(3.29)$$

Tulangan torsi (senggang) per meter yang dibutuhkan (tunggal) :

$$A_t = \frac{T_s * s}{2 * A_o * f_{yv}} * \cot \Phi \dots\dots\dots(3.30)$$

Dimana :

$$A_o = 0,85 * A_{oh}$$

$$\Phi = 45$$

$$f_{yv} = 240 \text{ MPa (tegangan leleh tulangan senggang)}$$

Maka tulangan senggang yang dibutuhkan (ganda) :

$$A_v + 2A_t \dots\dots\dots(3.31)$$

b. Tulangan Torsi (memanjang)

$$A_l = \frac{A_t}{s} * P_h * \left( \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) * \cot^2 \Phi \dots\dots\dots(3.32)$$

Dimana :

$$Ph = 2 * (b'+h')$$

$$fyv = 240 \text{ MPa (tegangan leleh tulangan sengkang)}$$

$$fyt = 400 \text{ MPa (tegangan leleh tulangan torsi memanjang)}$$

**3.5.3. Perencanaan Struktur Kolom**

Elemen kolom menerima beban lentur dan beban aksial, menurut SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.3.2.2. untuk perencanaan kolom yang menerima beban lentur dan beban aksial ditetapkan koefisien reduksi bahan 0,65 sedangkan pembagian tulangan pada kolom (berpenampang segiempat) dapat dilakukan dengan memasang tulangan simetris pada dua sisi kolom (*two faces*) atau memasang tulangan pada empat sisi kolom (*four faces*).

Pada perencanaan gedung rusunawa ini dipakai perencanaan kolom dengan menggunakan tulangan pada empat sisi penampang kolom (*four faces*).

Perhitungan gaya-gaya dalam pada kolom menggunakan program SAP 2000 V.10. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan berdasarkan SNI Beton 2002.

1. Menghitung Tulangan Utama Kolom

a. Menghitung kekakuan kolom (EI) :

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{Ec * I_g / 2,5}{1 + \beta} \dots\dots\dots(3.33)$$

b. Menghitung kekakuan balok (EI):

$$EI_{\text{balok}} = \frac{Ec * I_g / 5}{1 + \beta} \dots\dots\dots(3.34)$$

Dimana :  $Ec$  = modulus elastisitas beton =  $4700 * \sqrt{f'c}$

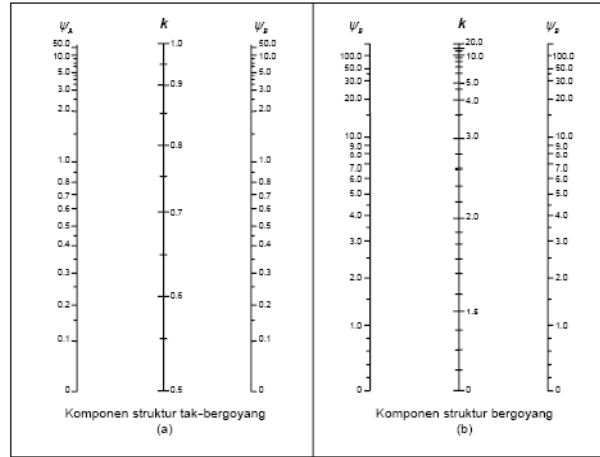
$I_g$  = momen inersia penampang

$$\beta_d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L} \approx 0,5$$

c. Derajat Kebebasan Kolom

$$\text{Ujung bawah : } \psi = \frac{\sum EI_{\text{kolom}} / L_k}{\sum EI_{\text{balok}} / L_b}, \quad \text{Ujung atas } \psi = \frac{\sum EI_{\text{kolom}} / L_k}{\sum EI_{\text{balok}} / L_b} \dots\dots\dots(3.35)(3.36)$$

Dari nomogram struktur tidak bergoyang diperoleh nilai k1



Gambar 3.3. Faktor Panjang Efektif (k)

$$P_{c1} = \frac{\pi^2 * EI_{kolom}}{(k1 * L_u)^2} \dots\dots\dots (3.37)$$

$$\delta_b = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{\phi * P_{c1}}} \dots\dots\dots (3.38)$$

Dari nomogram struktur tidak bergoyang diperoleh nilai k2

$$P_{c2} = \frac{\pi^2 * EI_{kolom}}{(k2 * L_u)^2} \dots\dots\dots (3.39)$$

$$\Sigma P_u = \Sigma P_u \text{ kolom tengah} + \Sigma P_u \text{ kolom tepi} \dots\dots\dots (3.40)$$

$$\phi \Sigma P_{c2} = 0,6 * (\Sigma P_{c2} \text{ kolom tengah} + \Sigma P_{c2} \text{ kolom tepi}) \dots\dots\dots (3.41)$$

$$C_m = 1$$

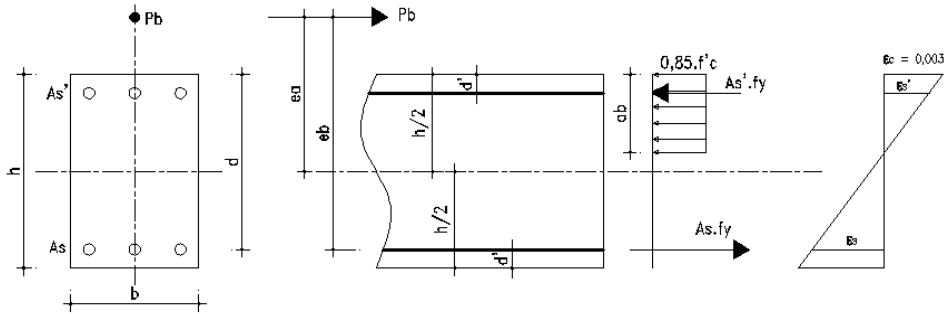
$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\phi * \Sigma P_{c2}}} \dots\dots\dots (3.42)$$

$$M_c = \delta_b * M_{2b} + \delta_s * M_{2s} \dots\dots\dots (3.43)$$

$$e_t = \frac{M_c}{P_u} \dots\dots\dots (3.44)$$

$$e_{t \min} = 15 + 0,03.h \dots\dots\dots (3.45)$$

Pada penampang persegi dalam keadaan balanced dan untuk tulangan simetris  $A_s = A_s'$  berlaku,



**Gambar 3.4.** Penampang Persegi Tertekan Eksentris, Keadaan Balance

$$P_b = 0,85 f'c a_b b + T_s' + T_s \dots \dots \dots (3.46)$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 c \\ &= \beta_1 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \frac{f_y}{E_s}} d \\ &= \beta_1 \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} d \times \frac{200000}{200000} \\ &= \beta_1 \frac{600}{600 + f_y} d \dots \dots \dots (3.47) \end{aligned}$$

$$M_b = P_b e_b \text{ (terhadap tulangan tarik)}$$

$$e_b = M_b/P_b$$

$$M_b = (0,85 f'c a_b b) (d-d/2) + A_s' f_y (d-d')$$

$$P_b e_b = (0,85 f'c a_b b) (d-a_b/2) + A_s' f_y (d-d')$$

$$A_s = A_s' = \frac{(P_b e_b) - (0,85 f'c a_b b) \left( d - \frac{a_b}{2} \right)}{f_y (d - d')} \dots \dots \dots (3.48)$$

Tinjauan penampang dalam keadaan balance terhadap beban axial P terfaktor ( $P_n$ ),

$$P_n e = (0,85 f'c a_b b) (d-a_b/2) + A_s' f_y (d-d')$$

$$A_s = A_s' = \frac{(P_n e) - (0,85 f'c a_b b) \left( d - \frac{a_b}{2} \right)}{f_y (d - d')} \dots \dots \dots (3.49)$$

Dimana  $e = e_a + h/2 - d'$

$$e_a = M_n/P_n \quad e_a > e_{min} = 15 + 0,03h$$

$$P_n = P_u/\phi = P/0,8$$



$$M_n = Mu/\phi = M/0,65$$

Untuk perhitungan luas tulangan pada penampang kolom, ditinjau terlebih dahulu keadaan penampang,

- a. Jika eksentrisitas besar maka penampang lebih banyak yang tertarik

$e > e_b$  maka  $a < a_b$  digunakan rumus :

$$A_s = A_s' = P_n \frac{\left[ e - d - \frac{P}{2 * 0,85 f_c b} \right]}{f_y (d - d')} \dots\dots\dots(3.50)$$

- b. Jika eksentrisitas kecil maka penampang lebih banyak yang tertekan

$e < e_b$  maka  $a > a_b$ , digunakan rumus :

$$A_s = A_s' = \frac{(P_n e) - (0,85 f_c a_b b) \left( d - \frac{a_b}{2} \right)}{f_y (d - d')} \dots\dots\dots(3.51)$$

jika  $A_s = A_s' =$  negatif maka digunakan keadaan tekan aksial sentris

$$P_n = 0,85 f_c A_g + A_{stot} f_y$$

$$A_s = A_s' = \frac{P_n - 0,85 f_c A_g}{f_y} \dots\dots\dots(3.52)$$

$$A_{stot} = 4 A_s$$

Luas tulangan utama komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0.01 ataupun lebih dari 0.08 kali luas bruto penampang  $A_g$ . Jumlah minimum batang tulangan utama pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segiempat atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segitiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dilingkupi oleh spiral.

2. Menghitung Tulangan Geser dengan Gaya Aksial

Berdasarkan SNI 03-1728-2002 pasal 13.1 perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada,

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(3.53)$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial (SNI 03-1728-2002 pasal 13.3.2)

$$V_c = \phi \left( 1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c}}{6} \right) b d \dots\dots\dots(3.54)$$

Dan tidak boleh lebih dari,

$$V_c \text{ maks} = \phi 0,3 \sqrt{f_c} . b . d \sqrt{1 + \frac{0,3 . P_u}{A_{gr}}} \dots\dots\dots(3.55)$$

Diambil nilai terkecil.

Jika  $V_u < V_c$ , penampang tidak perlu tulangan geser, maka digunakan luas tulangan geser minimum permeter (SNI 03-1728-2002 pasal13.5.5)

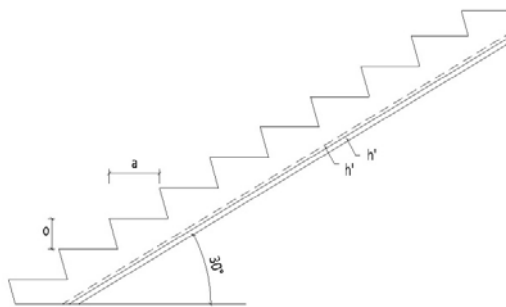
$$A_{v \text{ min}} = \frac{75 \sqrt{f_c}}{1200} \frac{b_s}{f_y} \geq A_v = \frac{1}{3} \frac{b_s}{f_y} \dots\dots\dots(3.56)$$

$A_v$  terpasang = Luas tulangan \* (1000/jarak sengkang)

$A_v$  terpasang >  $A_v$  .....OK

**3.5.4. Perencanaan Tangga**

Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dan satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin. Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan struktur tangga adalah tinggi antar balok, tinggi antrede, jumlah anak tangga, kemiringan tangga, tebal pelat beton, tinggi optrede, lebar bordes, lebar anak tangga, tebal selimut beton, tebal pelat tangga. Struktur gedung ini menggunakan tangga tipe K, terbuat dari pelat beton. Untuk gedung rusunawa ini tinggi tangga untuk lantai dasar ke lantai ke satu adalah  $h_1 =$  m, sedangkan untuk lantai ke satu dengan lantai selanjutnya adalah  $h_2 =$  m.



**Gambar 3.5.** Pendimensionian Tangga

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tangga seluruhnya dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000. Untuk perhitungan penulangan pelat tangga dapat mengikuti prosedur yang sama dengan penulangan pelat lantai setelah didapat gaya - gaya dalam yang ada dalam output SAP 2000.

### 3.6. PERENCANAAN STRUKTUR PRACETAK

Beton Pracetak (*Pre-Cast*) merupakan elemen atau komponen tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan. Dalam tugas akhir ini elemen struktur kolom, balok dan plat direncanakan menggunakan beton pracetak. Elemen-elemen beton pracetak tersebut akan membentuk suatu kesatuan struktur rangka kaku yang mampu menahan momen atau gaya lateral yang bekerja pada struktur. Ada dua hal penting yang harus diperhatikan dalam menganalisa dan merencanakan beton pracetak ini, yaitu:

#### 1. Perencanaan elemen-elemen pracetak

Elemen-elemen pracetak harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekekangan deformasi mulai dari saat pabrikasi awal, hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan. Dalam tugas akhir ini hanya akan dilakukan pendekatan perencanaan pada saat ereksi atau pengangkatan dan dalam kondisi beban layan.

#### 2. Perencanaan sambungan (joint) elemen-elemen pracetak

Sifat natural dari elemen pracetak yang digabungkan menjadi kesatuan struktur, menyebabkan struktur beton pracetak tidak dapat mencapai kondisi monolit, seperti bila beton dicor di tempat. Untuk itu perlu diperhatikan pendetailan titik kumpul atau *joint* pada elemen-elemen ini sehingga mencapai kondisi sama seperti monolit (*monolithic emulation*).

Analisa beton pracetak secara khusus ditinjau dalam tiga kondisi, yaitu saat elemen pracetak diangkat, dipasang pada tumpuannya (*erection*), dan saat semua elemen telah menyatu secara monolit dalam satu kesatuan sistem struktur (pada masa layan). Hal-hal yang dibahas pada bab ini akan berguna dalam proses

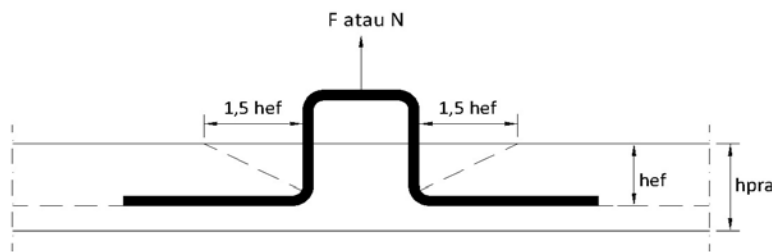
analisis maupun desain struktur yang akan dibuat dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

**3.6.1. PELAT PRACETAK**

Pelat pracetak dianalisa secara menyeluruh, yaitu dianalisa dalam kondisi pelaksanaan dan dalam kondisi beban layan. Analisa saat pelaksanaan dilakukan pada kondisi saat diangkat dan dipasang pada masing-masing tumpuan. Desain tebal dan jumlah tulangan yang dipakai adalah desain yang mampu menahan kombinasi beban yang bekerja dalam semua kondisi tersebut atau yang terbesar.

**3.6.1.1. Penentuan Tebal Pelat Pracetak**

Penentuan tebal pelat pracetak ditentukan berdasarkan analisa tebal pelat terhadap gaya geser pons akibat beban pengangkatan yang disalurkan melalui angkur pengangkatan. Rencana bentuk angkur pengangkatan yang ditanam dalam pelat precetak adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.6.** Bentuk Angkur Pengangkatan dan Bidang Geser Kritis

- Keterangan :
- $h_{pra}$  = tebal pelat pracetak (mm)
  - $h_{ef}$  = kedalaman efektif (mm)
  - F atau N = Gaya angkat (KN)

1. Untuk menghitung tebal pelat pracetak digunakan rumus :

$$h_{pra} = h_{total} - h_{topping}$$

dimana  $h_{topping}$  minimum adalah 50 mm, sehingga

$$h_{ef} = h_{pra} - \text{selimut beton (diambil 20 mm)}$$

2. Sedangkan untuk menghitung gaya angkat digunakan rumus :

$$F = \frac{W_{pelat}}{n} \dots\dots\dots(3.57)$$

- Dimana, F = Gaya geser pons kritis yang terjadi (KN)  
 $W_{pelat}$  = Berat pelat (KN)

$$N = 4 \text{ jumlah titik angkat}$$

3. Bila .....(3.58)

- Dimana,  $V_n$  = Kekuatan nominal beton (KN)
- $V_c$  = Kekuatan yang disumbangkan oleh beton (KN)
- $f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)
- $b_o$  = Keliling daerah retak (mm)
- $d$  = tinggi efektif (mm)

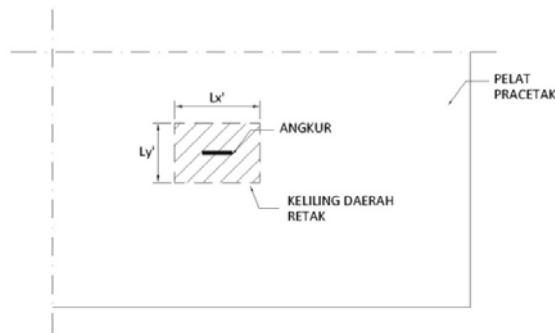
4. Menghitung keliling retak ( $b_o$ ) pada pelat digunakan rumus :

$$b_o = 2L_x' + 2L_y'$$

$$L_x' = (2 \cdot 1,5 \cdot h_{ef}) + \text{panjang angkur (bagian atas arah x)}$$

$$L_y' = (2 \cdot 1,5 \cdot h_{ef}) + \text{panjang angkur (bagian atas arah y)}$$

Dimana,  $L_x', L_y'$  = panjang retak (mm)



Gambar 3.7. Keliling Daerah Retak yang terjadi pada saat Pengangkatan Angkur

### 3.6.1.2. Penentuan Diameter Angkur

Gaya tarik nominal yang pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$N_n \leq N_{sa}$$

$$N_n = n \cdot A_s \cdot f_{uta} \dots\dots\dots(3.59)$$

$$F_{uta} = 1,9 f_{ya}$$

Dimana,  $N_n$  = Gaya tarik pada angkur ( N )

$N_{sa}$  = Kekuatan baja angkur ( N )

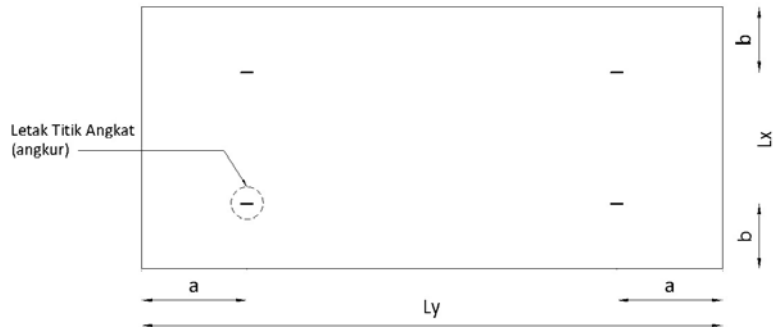
$N$  = Jumlah angkur yang ditanam, dalam satu titik pengangkatan

$F_{uta}$  = Kekuatan tarik angkur baja ( MPa )

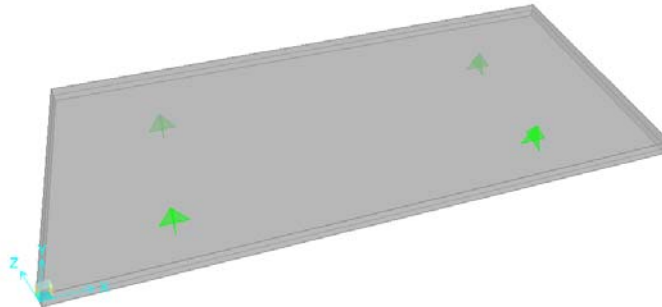
$F_{ya}$  = Kekuatan leleh tarik angkur baja ( MPa )

### 3.6.1.3. Analisa Elemen Plat Beton Pracetak Saat Pengangkatan

Kondisi pertama adalah saat plat pracetak diangkat dengan *crane*. Beban-beban yang bekerja pada plat adalah berat sendiri plat pracetak. Pada kondisi ini, pelat pracetak dimodelkan sebagai struktur *shell* yang diberi tumpuan sendi di empat titik. Permodelan dengan menggunakan program SAP 2000.



**Gambar 3.8.** Letak Titik Angkat Plat Pracetak



**Gambar 3.9.** Permodelan Beban Plat Pracetak Saat Pengangkatan

Penentuan letak titik angkat pelat pracetak adalah dengan cara coba-coba, dengan melakukan perbandingan terhadap setiap letak titik angkat. Diambil titik angkat yang menghasilkan momen-momen terkecil dan nilai momen lapangan momen tumpuan relatif sama baik pada arah 11 maupun arah 22. Berdasarkan momen yang terjadi dihitung jumlah tulangan yang dibutuhkan.

#### 3.6.1.4. Analisa Elemen Pelat Saat Pemasangan

Analisa elemen saat pemasangan meliputi ketika pelat pracetak ditumpu di balok dan saat beton topping. Beban yang berkarja adalah berat pelat pracetak itu sendiri.

#### 3.6.1.5. Analisa Elemen Pelat Pada Masa Layan

Perhitungan momen pada masa layan diperlukan untuk menentukan jumlah tulangan pada dipasang pada pelat pracetak. Analisa perhitungan berdasarkan struktur secara keseluruhan.

Pemakaian tulangan yang digunakan di pelat pracetak disesuaikan dengan hasil tulangan dari perhitungan saat pengangkatan, saat pemasangan dan struktur keseluruhan (masa layan). Digunakan tulangan yang mampu menahan beban paling besar.

### 3.6.2. BALOK PRACETAK

#### 3.6.2.1. Analisa dan Perencanaan Balok Pracetak

Sama halnya seperti pelat pracetak, balok pracetak juga dianalisa secara menyeluruh, yaitu dianalisa dalam kondisi pelaksanaan dan dalam kondisi beban layan. Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pemasangan dan analisa balok pracetak saat pengangkatan.

##### 1. Penentuan Tebal Balok Pracetak

Penentuan tebal balok pracetak ditentukan berdasarkan analisa balok pracetak saat pelaksanaan konstruksi pemasangan elemen pracetak, karena dalam kondisi tersebut balok pracetak mengalami kombinasi beban yang terbesar selama proses konstruksi.

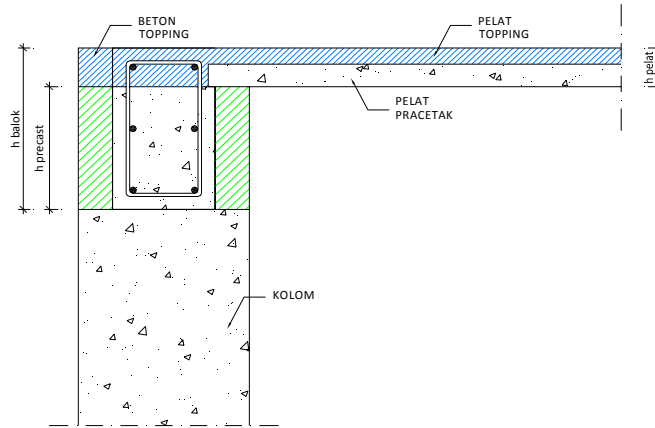
Dimensi balok (B x H) diasumsikan sebelumnya ( $H = L/10 - L/15$ , dan lebar balok diambil  $1/2H - 2/3H$ ), sehingga tebal balok pracetak dapat dicari dengan rumus berikut :

$$h_{\text{pracetak}} = h_{\text{total}} - h_{\text{pelat}}$$

Dimana,  $h_{\text{pracetak}}$  = tinggi balok pracetak

$$h_{\text{total}} = \text{tinggi total balok (penuh)}$$

$$h_{\text{pelat}} = \text{tinggi pelat penuh}$$

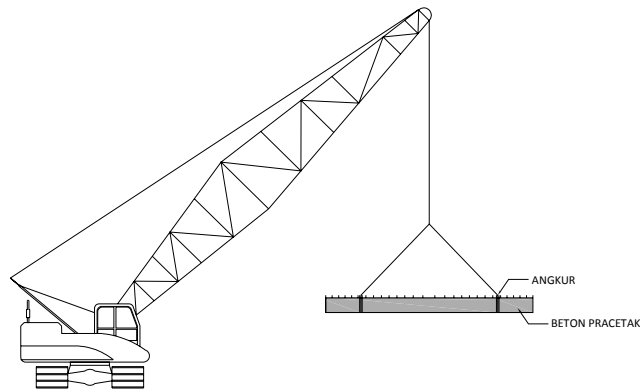


**Gambar 3.10.** Penentuan Tebal Pracetak

Tebal balok pracetak akan diperiksa kekuatannya pada kondisi pengangkatan dan pada saat pemasangan beton *topping* baik *topping* yang dari pelat maupun balok itu sendiri. Kemudian akan direncanakan tulangan yang dibutuhkan.

### 3.6.2.2. Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan

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

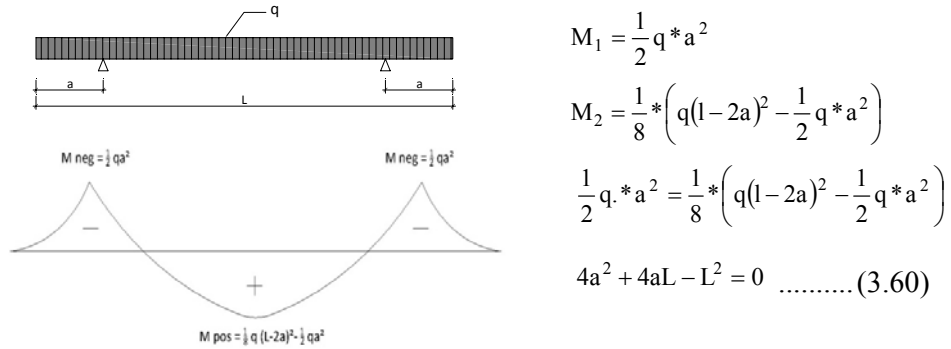


**Gambar 3.11.** Pengangkatan Balok Pracetak



1. Letak Titik Angkat

Untuk menentukan letak titik angkat (a), kita dapat memodelkan balok dengan model seperti berikut ini.



Gambar 3.12. Model Pembebanan dan Bidang Momen Pada Balok

Dengan model seperti itu, bidang momen akibat sejarak "a" dapat diketahui. Bidang momen di tumpuan dan di tengah bentang di substitusi sehingga didapatkan jarak "a" tersebut. Setelah jarak "a" sudah ditentukan, pengangkatan balok tersebut dimodelkan di SAP 2000 untuk melihat gaya-gaya dalam (M,D,N) sehingga luas tulangan yang dibutuhkan (As) dapat diketahui.

3.6.2.3. Analisa Balok Pracetak Saat Pemasangan

Saat pemasangan elemen pracetak ini, balok pracetak mengalami kondisi pembebanan sebagai berikut :

1. Berat sendiri balok pracetak, termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
2. Beban pelat pracetak yang menumpu pada balok, termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
3. Beban pekerja

Struktur dianalisa dengan *software* SAP 2000, sehingga berat sendiri elemen pracetak, gaya-gaya dalam (M,D,N), dan *displacment* akibat semua kondisi beban dapat dihitung.

3.6.3. KOLOM PRACETAK

Elemen kolom pracetak merupakan elemen vertikal yang menyalurkan beban dari balok ke tanah melalui pondasi. Pada permukaan atas kolom terdapat bagian *strand* yang muncul keluar yang berfungsi sebagai tulangan utama joint

yang menyalurkan gaya dari kolom ke kolom. Sedangkan bagian bawah terdapat beberapa buah lubang (pipa) untuk tempat masuknya *strand*. Sama halnya seperti pelat pracetak dan balok pracetak, kolom pracetak juga dianalisa secara menyeluruh, yaitu dianalisa dalam kondisi pelaksanaan dan dalam kondisi beban layan. Dalam proses perhitungan perencanaan elemen kolom pracetak ini meliputi analisa kolom pracetak saat pengangkatan dan analisa kolom pracetak saat pemasangan.

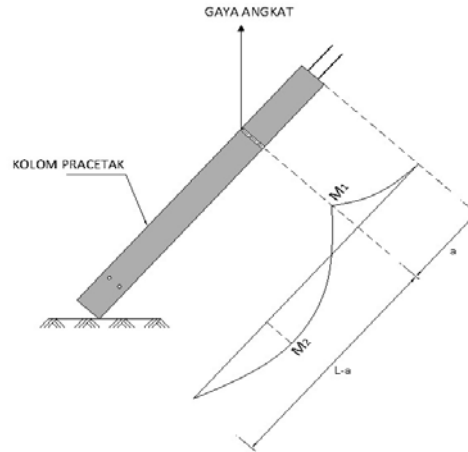
**3.6.3.1. Analisa Kolom Pracetak Saat Pengangkatan**

Sama seperti balok pracetak, saat pengangkatan kolom pracetak, beban yang bekerja adalah berat sendiri kolom pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen. Dan ada dua hal juga yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.

1. Letak Titik Angkat

Untuk menentukan letak titik angkat (a), kita dapat memodelkan balok dengan model seperti gambar 3.14 berikut.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{1}{2} * q * a \\
 M_2 &= \frac{1}{2} q(L - a) - \left( \frac{\frac{1}{2} L^2 - 2aL}{(L - a)} \right)^2 \\
 &= \left( \frac{qL^2 - 2q * a * L}{2(L - a)} \right) \\
 M_1 &= M_2 \\
 \frac{1}{2} * qa^2 &= \frac{1}{2} * q \left( \frac{L^2 - 2aL}{2(L - a)} \right) \\
 2a^2 - 4aL + L^2 &= 0 \dots\dots\dots(3.61)
 \end{aligned}$$



**Gambar 3.13.** Model Pembebanan dan Bidang Momen Pada Kolom

Dengan model seperti itu, bidang momen akibat sejarak "a" dapat diketahui. Bidang momen yang dihasilkan di substitusi sehingga didapatkan jarak "a" tersebut.

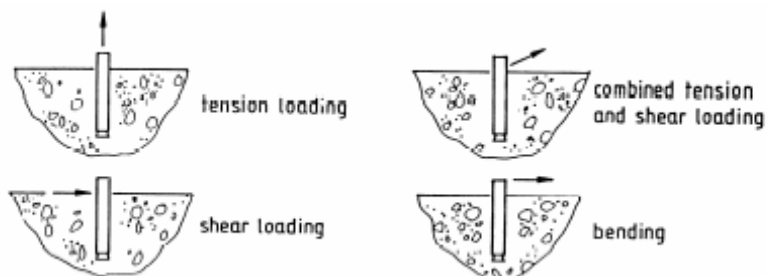
Setelah jarak "a" sudah ditentukan, pengangkatan kolom tersebut dimodelkan di SAP 2000 untuk melihat gaya-gaya dalam (M,D,N) sehingga luas tulangan yang dibutuhkan ( $A_s$ ) kolom dapat dihitung.

**3.6.3.2. Analisa Kolom Pracetak Saat Pemasangan**

Saat pemasangan elemen pracetak ini, kolom pracetak mengalami kondisi pembebanan yang berasal dari pelat yang menumpu pada balok, dan balok yang menumpu pada kolom ditambah beban *topping* pada pelat dan balok serta berat beton *gouting* pada joint sambungan.

**3.6.3.3. Analisa Strand**

Beban yang bekerja pada strand adalah gaya tarik, gaya geser, kombinasi gaya tarik dan geser, serta momen lentur. Perhitungan *Strand* menggunakan *output* gaya-gaya (dari SAP 2000) tersebut.



**Gambar 3.14.** Beban yang bekerja pada *Strand*

**3.6.4. Perhitungan Tumpuan**

Pada saat balok pracetak maupun pelat pracetak diletakkan di atas tepi ujung tumpuan, ada kemungkinan terjadinya keretakan beton pada kolom akibat geser. Untuk itu diperlukan pengecekan terhadap kekuatan tumpuan dalam menahan gaya tekan maupun geser yang terjadi pada tumpuan. Tumpuan pelat pracetak ditinjau terhadap kekuatan nominal tumpuan dengan rumus dan persyaratan sebagai berikut :

1. Kekuatan Nominal Tumpuan ( $B_n$ ) (*SNI Beton 2002 pasal 12.17*):

$$B_n = \phi \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot A_t \dots\dots\dots (3.62)$$

Dimana :  $B_n$  = kekuatan nominal tumpuan terhadap tekan (N)  
 $f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)  
 $A_t$  = luas tumpuan ( $\text{mm}^2$ )

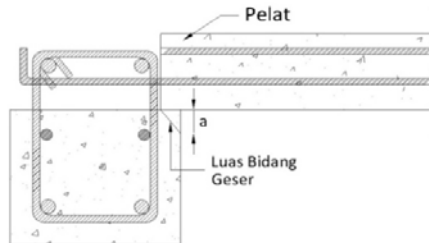
Besarnya gaya reaksi pada tumpuan harus lebih kecil daripada kekuatan nominal tumpuan ( $V_u \leq B_n$ ).

2. Cek Tegangan Tumpuan

Berdasarkan SNI Beton 2002 Pasal 25.3, tegangan tumpu =  $0,3 \cdot f'_c$

Tegangan yang terjadi pada daerah tumpuan ( $\sigma_t$ ) =  $\frac{V_u}{A_t} < 0,3 \cdot f'_c \dots\dots (3.63)$

3. Cek Tegangan Geser Pada daerah Tumpuan



Luas bidang geser ( $\text{m}^2$ ) =  
 Tegangan geser ijin beton tanpa tulangan:

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.64)$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$v = \frac{V_u}{A_{geser}} < \tau_p \dots\dots\dots (3.65)$$

**3.7. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya ( RAB )**

RAB dalam penyusunan laporan ini hanya meninjau perkiraan biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan bagian struktur saja. Secara khusus hanya

akan menguraikan perkiraan biaya pelaksanaan beton bila menggunakan metode pelaksanaan beton pracetak.

Secara rinci perhitungan RAB meliputi:

1. Perhitungan volume pekerjaan
2. Analisa harga satuan upah
3. Analisa harga satuan bahan material
4. Analisa harga satuan pekerjaan
5. Analisa harga sewa alat bantu kerja
6. Daftar harga satuan pekerjaan
7. Daftar RAB.

### **3.8. Penyajian Laporan Dan Format Penggambaran**

Penyajian Laporan Tugas Akhir ini disesuaikan dengan Pedoman Pembuatan Laporan Tugas Akhir yang diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang yang terdiri dari sistematika penulisan, penggunaan bahasa dan bentuk laporan. Sedangkan format penggambaran disesuaikan dengan Peraturan dan Tata Cara Menggambar Teknik Struktur Bangunan dengan menggunakan program Auto CAD 2007.