

## BAB IV

### PERHITUNGAN ELEMEN PRACETAK

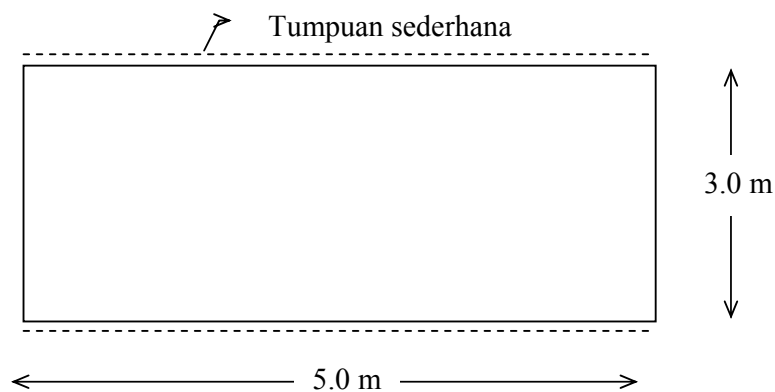
#### 4.1 PERHITUNGAN PELAT PRACETAK

Elemen pelat direncanakan menggunakan beton pracetak prategang dengan spesifikasi  $f'_c=40$  Mpa untuk beton pracetak dan baja tulangan dengan  $f_y = 400$  MPa. Perhitungan elemen pelat pracetak dianalisis terhadap dua kondisi, yaitu pada saat proses ereksi yang meliputi pengangkatan dan pemasangan atau penuangan beton baru di atas elemen pracetak. Asumsi pembuatan elemen pracetak adalah di lokasi proyek, sehingga tidak perlu alat transport mobil selain crane yang dipakai selama proses ereksi.

Dalam proses perhitungan perencanaan elemen pracetak ini meliputi analisa dan desain pelat pracetak prategang, dan analisa elemen pelat pracetak saat pengangkatan.

##### 4.1.1. Analisa dan Desain Pelat Pracetak Prategang

Pelat pracetak diletakkan di atas dua tumpuan, yang menumpu pada sisi arah y (terpanjang), sehingga dalam analisa strukturnya pelat ini dianggap bekerja sebagai pelat satu arah (*one way slab*) saat pelaksanaan.



**Gambar 4.1. Model Pelat Pracetak (*one way slab*)**

a. Analisa Tegangan Penampang Pelat Pracetak Prategang

Asumsi umur beton pracetak saat dipasang adalah 28 hari.

**Spesifikasi material beton pelat pracetak**

$$f_{c_{pre}} = 40.00 \text{ MPa}$$

$$f_c = -0.45 * f_{c_{pre}} = -18.00 \text{ MPa}$$

$$f_t = 0.5 \sqrt{f_{c_{pre}}} = 3.16 \text{ MPa}$$

**Spesifikasi Penampang pelat pracetak**

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 70.00 \text{ Mm}$$

$$A = 70000 \text{ mm}^2$$

$$I = 28583333.33 \text{ mm}^4$$

$$h_{topp} = 50 \text{ mm}$$

$$h_{comp} = 120 \text{ mm}$$

$$I_{comp} = 144000000 \text{ mm}^4$$

$$A_{composit} = 120000 \text{ mm}^2$$

$$LX = 3000 \text{ mm}$$

$$S_{precast} = 816666.67 \text{ mm}^3$$

$$S_{comp} = 2400000 \text{ mm}^3$$

$$e_{max} = 3.49 \text{ mm}$$

- Perhitungan momen eksternal dan tegangan pelat pracetak

Pelat ditinjau per meter lebar

Ditentukan gaya prategang yang diberikan tiap meter lebar pelat :

$$P_i = 157 \text{ kN} = 157000 \text{ N}$$

Gaya prategang efektif setelah *losses* saat umur pracetak mencapai 28 hari;

$$P_{eff} = 157000 * 0.8 = 125600 \text{ N}$$

Nilai eksentrisitas gaya prategang ( e )

$$e_{max} = 0.5h_{pra} - p - \emptyset_{tul} y - 0.5\emptyset_{strand}$$

$$e_{max} = 0.5 * 70 - 20 - 8 - 0.5 * 7.01 = 3.49 \text{ mm}$$

dipakai, e = 3 mm

- Tegangan akibat gaya prategang (Peff) dengan e = 3 mm

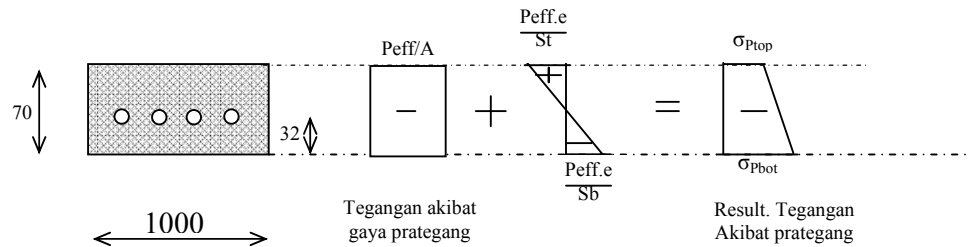
$$\sigma_{P_{top}} = -\frac{P_{eff}}{A_{pre}} + \frac{P_{eff} \cdot e}{St}$$

$$\sigma_{P_{top}} = -\frac{125600}{1000 * 70} + \frac{125600 * 3}{816666.67} = -1.79 + 0.46 = -1.33 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma_{Pbot} = -\frac{Pe_{eff}}{A_{pre}} - \frac{Pe_{eff} \cdot e}{Sb}$$

$$\sigma_{Pbot} = -\frac{125600}{1000 \cdot 70} - \frac{125600 \cdot 3}{816666.67} = -1.79 - 0.46 = -2.25 \text{ MPa (tekan)}$$

- Diagram Tegangan akibat prategang



- I. Saat dipasang pada tumpuan

- Pembebanan :

- Beban Mati (DL) =  $2.4 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 70 = 1.68 \text{ N/mm}$

- Beban hidup (LL) =  $0.00013 \cdot 1000 = 0.13 \text{ N/mm}$

$$W_u = 1.81 \text{ N/mm}$$

- Momen maksimal

$$M_x = 1/8 \cdot W_u \cdot L^2 = 1/8 \cdot 1.81 \cdot 3000^2 = 2036250 \text{ Nmm}$$

- Tegangan maksimal arah x

$$\sigma_1 = -\frac{M}{St} = -\frac{2036250}{816666.67} = -2.50 \text{ MPa (tekan)}$$

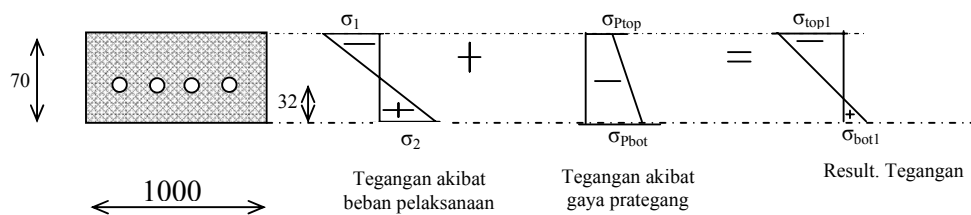
$$\sigma_2 = \frac{M}{Sb} = \frac{2036250}{816666.67} = 2.50 \text{ MPa (tarik)}$$

- Resultan tegangan arah x

$$\sigma_{top1} = \sigma_1 + \sigma_{Ptop} = -2.50 - 1.33 = -3.83 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma_{bot1} = \sigma_2 + \sigma_{Pbot} = 2.50 - 2.25 = 0.25 \text{ MPa (tarik)}$$

- Diagram tegangan penampang arah x



II. Saat beton topping dituang (beton baru belum mengeras, aksi komposit belum terjadi)

- Pembebanan :

- Beban Mati (DL) =  $2.4 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 70 = 1.68 \text{ N/mm}$

- Beban hidup (LL) =  $2.4 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 50 = 1.2 \text{ N/mm}$

$W_u = 2.88 \text{ N/mm}$

- Momen maksimal

$M_x = 1/8 \cdot W_u \cdot L^2 = 1/8 \cdot 2.88 \cdot 3000^2 = 3240000 \text{ Nmm}$

- Tegangan maksimal arah x

$\sigma_1 = -\frac{M}{S_t} = -\frac{3240000}{816666.67} = -3.97 \text{ MPa (tekan)}$

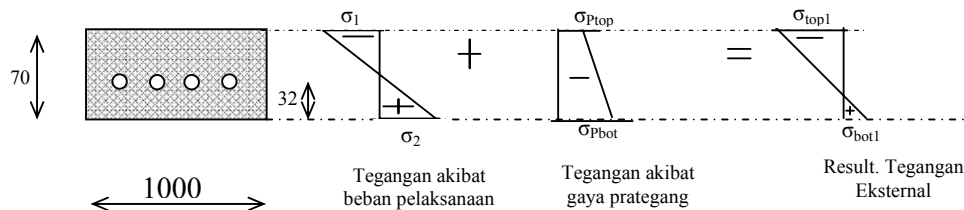
$\sigma_2 = \frac{M}{S_b} = \frac{3240000}{816666.67} = 3.97 \text{ MPa (tarik)}$

- Resultan tegangan arah x

$\sigma_{top1} = \sigma_1 + \sigma_{Ptop} = -3.97 - 1.33 = -5.30 \text{ MPa (tekan)}$

$\sigma_{bot1} = \sigma_2 + \sigma_{Pbot} = 3.97 - 2.25 = 1.71 \text{ MPa (tarik)}$

- Diagram tegangan penampang arah x



III. Saat beton mengeras (aksi komposit sudah terjadi)

Contoh perhitungan Pelat tipe A (LL = 400 kg/m<sup>2</sup>)

- Pembebanan :

- Beban Mati

Berat penutup lantai = 24 kg/m<sup>2</sup>

Berat Spesi = 21 kg/m<sup>2</sup>

Berat Plafond & penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>

DL' = 63 kg/m<sup>2</sup>

- Beban hidup (LL) = 400 kg/m<sup>2</sup>

$$W_u = 1.2 \cdot DL' + 1.6 \cdot LL = 715.6 \text{ kg/m}^2$$

- Momen maksimal arah x

$$M_{\max} = 0.001 \cdot W_u \cdot Lx^2 \cdot x$$

$$M_{\max} = 0.001 \cdot 715.6 \cdot 3^2 \cdot 51 = 328.46 \text{ kgm} = 3284604 \text{ Nmm}$$

- Tegangan maksimal arah x

$$\sigma_{\text{top2}} = -\frac{M}{St_{\text{comp}}} = -\frac{3284604}{2400000} = -1.37 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma'_{\text{top2}} = \frac{\sigma_{\text{top2}}}{6} = \frac{-1.37}{6} = -0.23 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma_{\text{bot2}} = \frac{M}{St_{\text{comp}}} = \frac{3284604}{2400000} = 1.37 \text{ MPa (tarik)}$$

• Perhitungan Resultan tegangan eksternal penampang

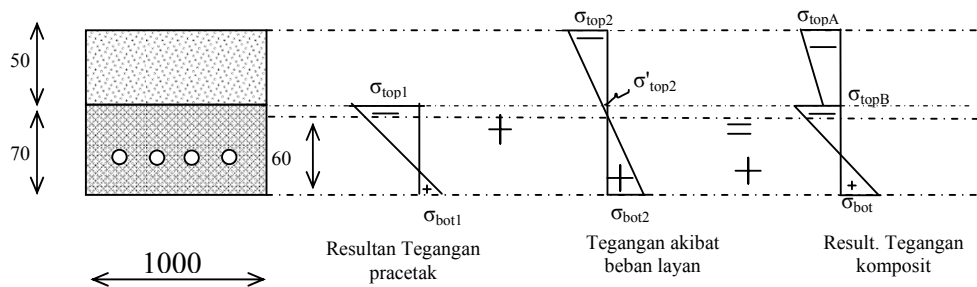
Nilai tegangan eksternal maksimum diberikan oleh resultan antara tegangan pada kondisi ke dua, yaitu pada saat beton dituang, dan kondisi ke tiga yaitu pada saat mengalami beban layan.

$$\sigma_{\text{topA}} = \sigma_{\text{top2}} = -1.37 \text{ MPa} < f_c \text{ (aman thd tekan)}$$

$$\sigma_{\text{topB}} = \sigma_{\text{top1}} + \sigma'_{\text{top2}} = -5.30 - 0.23 = -5.53 \text{ MPa} < f_c \text{ (aman thd tekan)}$$

$$\sigma_{\text{bot}} = \sigma_{\text{bot1}} + \sigma_{\text{bot2}} = 1.71 + 1.37 = 3.08 \text{ MPa} < f_t \text{ (aman thd tarik)}$$

Diagram tegangan penampang



b. Perhitungan Jumlah kawat Prategang penampang arah x

$$P_i = 157000 \text{ N}$$

Spesifikasi tendon prategang			
<b>Kawat Prategang (wire)</b>	<b>dIm Metrik</b>	<b>dIm SI</b>	
diameter (dIm in)	0.276	7.01	mm
Luas (in <sup>2</sup> )	0.060	38.5794	mm <sup>2</sup>
f <sub>pu</sub> (kuat ultimit, dalam Ksi)	235	1620.33	MPa
0.7 f <sub>pu</sub> A <sub>ps</sub> (dalam kips)	9.837	43754.07	Newton
0.8 f <sub>pu</sub> A <sub>ps</sub> (dalam kips)	11.242	50004.66	Newton
f <sub>pu</sub> A <sub>ps</sub> (dalam Kips)	14.053	62505.82	Newton

$$\text{Batas gaya pratarik} = 0.7f_{pu}A_{ps}$$

Kebutuhan kawat prategang tiap meter lebar pelat :

$$n = \frac{P_j}{0.7 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}} = \frac{157000}{43754.07} = 3.38 \cong 4$$

Jarak antar kawat prategang :

$$s = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

Jumlah total kawat prategang tiap elemen pelat pracetak prategang :

$$N_{\text{total}} = 4 * 5 = 20 \text{ btg}$$

c. Cek Penampang terhadap lendutan

Diketahui :

$$P_i = 157000 \text{ Newton}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

$$E = 4700\sqrt{f'_c} = 29725.4 \text{ Mpa}$$

$$I_{pre} = 28583333 \text{ mm}^4$$

$$\text{Syarat lendutan : } \Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3000}{360} = 8.3 \text{ mm}$$

- Lendutan saat peralihan

$$\Delta_{prestress} = \frac{P \cdot e \cdot L^2}{8EI_{pre}} = \frac{157000 \cdot 3 \cdot 3000^4}{8 \cdot 29725 \cdot 28583333} = 0.634 \text{ mm } \uparrow$$

$$\Delta_{W_{prec}} = \frac{5.W_G.L^4}{384EI_{prec}} = \frac{5*1.68*3000^4}{384.29725.28583333} = 2.085 \text{ mm} \downarrow$$

Lendutan total :

$$\Delta_{tot1} = 2.085 - 0.634 = 1.45 \text{ mm} \downarrow$$

- Lendutan saat pengangkatan (asumsi 30 hari, menggunakan angka pengali dari tabel 8-2, T.Y. Lin)

$$\Delta_{prestress} = 0.634 * 1.80 = 1.14 \text{ mm} \uparrow$$

$$\Delta_{W_{prec}} = 2.085 * 1.85 = 3.86 \text{ mm} \downarrow$$

Lendutan total :

$$\Delta_{tot2} = 3.86 - 1.14 = 2.72 \text{ mm} \downarrow$$

- Lendutan saat pengecoran beton topping (asumsi 30 hari, menggunakan angka pengali dari tabel 8-2, T.Y. Lin)

$$\Delta_{prestress} = 0.634 * 1.80 = 1.14 \text{ mm} \uparrow$$

$$\Delta_{W_{prec}} = 2.085 * 1.85 = 3.86 \text{ mm} \downarrow$$

$$\Delta_{W_{topp}} = \frac{5.W_{topp}.L^4}{384EI_{prec}} = \frac{5*1.2*3000^4}{384.29725.28583333} = 1.49 \text{ mm} \downarrow$$

Lendutan total :

$$\Delta_{tot3} = 3.86 + 1.49 - 1.14 = 4.21 \text{ mm} \downarrow$$

- Lendutan setelah kondisi komposit terjadi (ditambah beban dalam kondisi beban layan tetap sebesar 7.16 kN/m)

$$\Delta_{prestress} = 0.634 * 1.80 = 1.14 \text{ mm} \uparrow$$

$$\Delta_{W_{comp}} = \frac{5.W_{comp}.L^4}{384EI_{composit}} (1.85) = \frac{5*2.88*3000^4}{384.29725.144000000} (1.85) = 1.31 \text{ mm} \downarrow$$

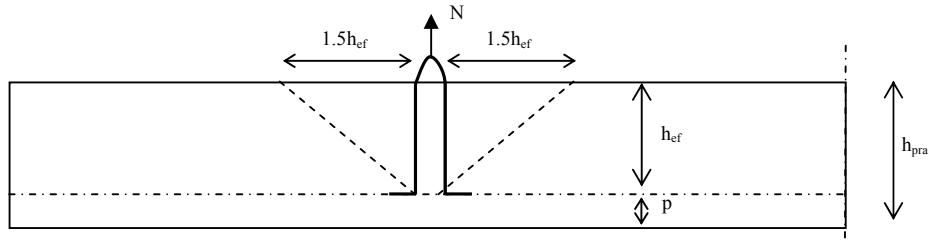
$$\Delta_{W_{tetap}} = \frac{5.W_{tetap}.L^4}{384EI_{composit}} = \frac{5*7.16*3000^4}{384.29725.144000000} = 1.76 \text{ mm} \downarrow$$

Lendutan total :

$$\Delta_{Total} = 1.14 - 1.31 - 1.76 = -1.93 \text{ mm} \downarrow < \Delta_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

#### 4.1.2. Analisa Kekuatan Angkur Pengangkatan

Untuk angkur digunakan tulangan baja polos yang dibengkokkan bagian ujungnya seperti yang terlihat pada sketsa gambar dibawah ini.



**Gambar 4.2. Pengankuran Pelat Beton Pracetak**

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

- Kekuatan baja angkur ( $N_{sa}$ )

$$N_n \leq N_{sa}$$

$$N_{sa} = n \cdot A_{se} \cdot f_{uta}, \text{ dan } f_{uta} = 1.9 f_{ya}$$

$$f_{uta} \leq 860 \text{ MPa}$$

Dimana:  $N_n$  = gaya tarik pada angkur (N)

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

$n$  = jumlah angkur yang ditanam

$A_{se}$  = luas tulangan angkur ( $\text{mm}^2$ )

$f_{uta}$  = kekuatan tarik angkur baja (MPa)

$f_{ya}$  = kekuatan leleh tarik angkur baja (MPa)

- Kekuatan pecah beton dari angkur tunggal terhadap gaya tarik ( $N_b$ )

$$N_n \leq N_b$$

$$N_b = k_c \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$$

Dimana :  $N_n$  = gaya tarik pada angkur (N)

$N_b$  = kekuatan pecah beton dari angkur tunggal (N)

$k_c$  = 10 (*cast-in anchor*)

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

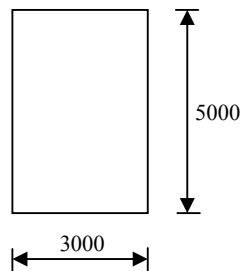
$h_{ef}$  = tinggi efektif atau kedalaman angkur (mm)



Jika  $N_n = N_b$  diketahui, maka dapat dicari kedalaman angkur minimal, dengan rumus sebagai berikut:

$$h_{ef}^{1.5} = \frac{N_n}{k_c \sqrt{f'_c}} \rightarrow h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f'_c}}\right)^2}$$

Contoh perhitungan tebal minimum pada



Asumsi hpracetak = 70 mm

Berat pelat pracetak :

$$w = 5 \times 3 \times 0.07 \times 2.4 = 2.52 \text{ ton}$$

Berat pelat pracetak terfaktor (1.2)

$$wd = 1.2 \times 2.52 = 3.024 \text{ ton}$$

Gaya angkat (4 titik angkat)  $N_n$  :

$$N_n = 3.024 / 4 = 0.756 \text{ ton} = 7560 \text{ N}$$

- Penentuan diameter angkur berdasarkan analisa kekuatan baja angkur :

Dengan  $f_{ya} = 240 \text{ MPa} \rightarrow f_{uta} = 1.9 \times 240 = 456 \text{ MPa} (< 860 \text{ MPa})$

$$N_{sa} = N_n$$

$$7560 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 456$$

$$d^2 = \frac{7560 \cdot 2}{\pi \cdot 456}$$

$$d = \sqrt{10.56} = 3.25 \text{ mm}$$

Ditentukan diameter tulangan angkur polos untuk pengangkatan pelat adalah  $\Phi 6$

- Penentuan kedalaman angkur berdasarkan analisa kekuatan pecah beton dari angkur terhadap gaya tarik.

$N_b = N_n = 7560 \text{ N}$ , dimana  $f'_c = 40 \text{ MPa}$ , maka kedalaman angkur efektif minimal ( $h_{ef}$ ):

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{7560}{10 \sqrt{40}}\right)^2}$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{119.53^2} = 24.265 \text{ mm}$$

Berdasarkan analisa kekuatan baja angkur dan kekuatan pecah beton

terhadap angkur, maka ditentukan :

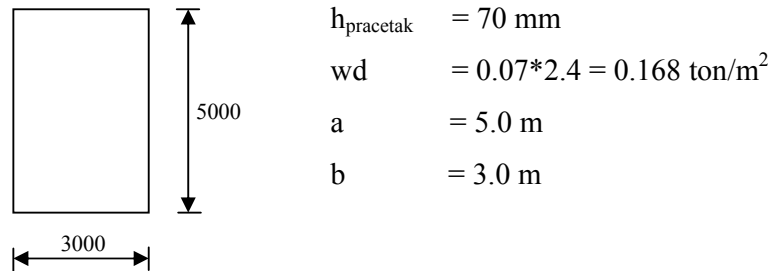
- diameter baja polos angkur  $\Phi$  6
- kedalaman efektif minimal baja angkur pada pelat pracetak

$$h_{ef} = 24.27\text{mm}$$

#### 4.1.3. Analisa Elemen Pelat Pracetak Saat Pengangkatan

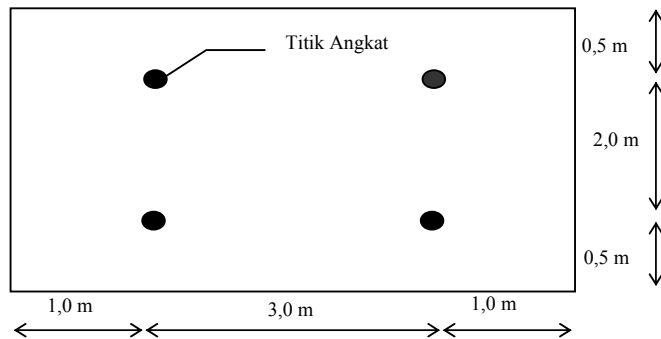
Dengan metode coba-coba pada program SAP 2000 untuk mendapatkan nilai momen yang seimbang antara titik angkat dan momen lapangan saat diangkat, maka didapat nilai momen dan letak titik angkat yang paling aman.

Contoh perhitungan pelat ukuran 5000/3000



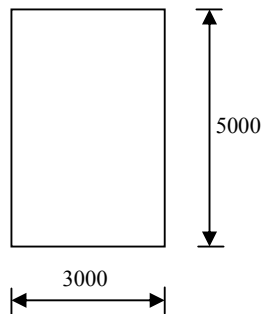
Elemen pelat pracetak dimodelkan sebagai struktur shell yang diberi tumpuan sendi di empat titik. Tumpuan tersebut adalah letak titik angkatnya. Peletakan tumpuan dilakukan secara coba-coba untuk mendapatkan nilai momen lapangan dan momen pada titik angkat yang relatif kecil dan sama. Hasil analisa adalah sebagai berikut.

Arah Momen	Momen <sup>TM</sup>	Elemen	Keterangan
M11 Max	72.68	22,23,29,30,32,33,39,40	Lapangan
M11 Min	-111.66	12,13,19,30,42,43,49,50	Tumpuan
M22 Max	116.47	55,56,57,5,6,7	Lapangan
M22 Min	-159.07	12,13,19,30,42,43,49,50	Tumpuan



**Gambar 4.3. Letak Titik Angkat Plat Pracetak**

Contoh perhitungan pembebanan pada saat plat pracetak diangkat :



Beban mati :

Berat pelat pracetak (tebal = 0.07 m)

$$w_{\text{pracetak}} = 2.4 * 0.07 = 0.168 \text{ t/m}^2$$

$$f'_c = 40 \text{ Mpa} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa} = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_{\text{pracetak}} = 70 \text{ mm}$$

$$P = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Ø tul} = 8 \text{ mm}$$

$$d_y = h - P - 1/2 \Phi \text{tul} = 70 - 20 - 4 = 46 \text{ mm}$$

• **Perhitungan tegangan arah x akibat gaya prategang dan gaya saat pengangkatan**

- Tegangan akibat gaya prategang

$$\sigma_{P_{top}} = -\frac{P_{eff}}{A_{pre}} + \frac{P_{eff} \cdot e}{S_t}$$

$$\sigma_{P_{top}} = -\frac{125600}{1000 * 70} + \frac{125600 * 3}{816666.67} = -1.79 + 0.46 = -1.33 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma_{P_{bot}} = -\frac{P_{eff}}{A_{pre}} - \frac{P_{eff} \cdot e}{S_b}$$

$$\sigma_{P_{bot}} = -\frac{125600}{1000 * 70} - \frac{125600 * 3}{816666.67} = -1.79 - 0.46 = -2.25 \text{ MPa (tekan)}$$

- Tegangan akibat gaya berat pelat saat di angkat

a. Tegangan area lapangan,  $M_{lx} = 726800 \text{ Nmm}$

$$\sigma_{top2} = -\frac{Mlx.}{St} = -\frac{726800}{816666.67} = -0.89 \text{Mpa(tekan)}$$

$$\sigma_{bot2} = \frac{Mlx.}{St} = \frac{726800}{816666.67} = 0.89 \text{Mpa(tarik)}$$

b. Tegangan area tumpuan,  $Mtx = 1116600 \text{Nmm}$

$$\sigma_{top3} = \frac{Mlx.}{St} = \frac{1116600}{816666.67} = 1.37 \text{Mpa(tarik)}$$

$$\sigma_{bot3} = \frac{Mlx.}{St} = \frac{1116600}{816666.67} = -1.37 \text{Mpa(tekan)}$$

- Cek Tegangan akibat gaya berat pelat saat di angkat

a. Tegangan area lapangan

$$\sigma_{top4} = \sigma_{Ptop} + \sigma_{top2} \leq f'c$$

$$\sigma_{top4} = -1.33 - 0.89 = -2.22 \text{Mpa (tekan)} < f'c \dots \text{ok}$$

$$\sigma_{bot3} = \sigma_{bot1} + \sigma_{bot2} \leq f'c$$

$$\sigma_{bot3} = -2.55 + 0.89 = -1.36 \text{ Mpa (tekan)} < f'c \dots \text{ok}$$

b. Tegangan area tumpuan

$$\sigma_{top4} = \sigma_{Ptop} + \sigma_{top3} \leq f'c$$

$$\sigma_{top4} = -1.33 + 1.37 = 0.04 \text{Mpa (tarik)} < ft \dots \text{ok}$$

$$\sigma_{bot4} = \sigma_{Pbot} + \sigma_{bot3} \leq f'c$$

$$\sigma_{bot4} = -2.26 - 1.37 = -3.63 \text{ Mpa (tekan)} < f'c \dots \text{ok}$$

Jadi, momen lentur arah-x pada lapangan dan tumpuan akibat beban saat pengangkatan dapat ditahan oleh gaya prategang pada arah-x, sehingga tidak memerlukan tulangan arah-x.

• **Tulangan lapangan arah y**

$$Mlx = 116.47 \text{ kgm} = 1.1647 \text{ kNm}$$

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

$$\frac{1.1647 \times 10^6}{1000 \times (46)^2} = \rho \times 0,8 \times 400 \left( 1 - 0,588 \times \rho \times \frac{400}{40} \right)$$

$$0.5504 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

Dengan rumus abc didapatkan nilai  $\rho = 0.0017$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 40 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,04335$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,04335 = 0,0325$$

$\rho < \rho_{\min}$  maka yang digunakan adalah  $\rho = 0,0035$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 46 = 161 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan  $\emptyset$  8-225 (As terpasang = 223 mm<sup>2</sup>)

- **Tulangan tumpuan arah y**

$$Mlx = 159.07 \text{ kgm} = 1.5907 \text{ kNm}$$

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

$$\frac{1.5907 \times 10^6}{1000 \times (46)^2} = \rho \times 0,8 \times 400 \left( 1 - 0,588 \times \rho \times \frac{400}{40} \right)$$

$$0,7517 = 320\rho - 1881,6\rho^2$$

Dengan rumus abc didapatkan nilai  $\rho = 0,0024$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 40 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,04335$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,04335 = 0,0325$$

$\rho < \rho_{\min}$  maka yang digunakan adalah  $\rho = 0,0035$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 46 = 161 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan  $\emptyset$  8-250 (As terpasang = 161.49 mm<sup>2</sup>)

#### 4.1.4. Perhitungan Pelat Komposit Dalam Kondisi Beban Layan

Pelat komposit dalam kondisi beban layan memiliki tumpuan pada ke empat sisinya yang merupakan tumpuan jepit, sehingga analisa pelat adalah dua arah (*two way slab*). Karena momen lapangan pelat arah-x ditahan oleh gaya

prategang, maka momen lapangan dan tumpuan pelat pada arah-y serta momen tumpuan arah-x ditahan dengan tulangan non-prategang atau tulangan lentur biasa.

a. Pembebanan Pada Pelat Dalam Kondisi Beban Layan

1. Pelat Tipe A (Lt. Ground 1 : Parkir)

- Beban Mati :

> Berat Pelat per m <sup>2</sup>	= 288 kg/m <sup>2</sup>	
> Berat Penutup Lantai	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
> Berat spesi	= 21 kg/m <sup>2</sup>	
> Berat plafond dan penggantung	= 18 kg/m <sup>2</sup>	+
DL total	= 351 kg/m <sup>2</sup>	

- Beban Hidup (LL) = 400 kg/m<sup>2</sup>

$$W_u = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$$

$$W_u = 1,2. 351 + 1,6. 400 = 1061.2 \text{ kg/m}^2$$

2. Pelat Tipe B (Lt. Ground 2 : Kantor, R. Pertemuan, R. Mesin)

- Beban Mati :

> Berat Pelat per m <sup>2</sup>	= 288 kg/m <sup>2</sup>	
> Berat Penutup Lantai	= 24 kg/m <sup>2</sup>	
> Berat spesi	= 21 kg/m <sup>2</sup>	
> Berat plafond dan penggantung	= 18 kg/m <sup>2</sup>	+
DL total	= 351 kg/m <sup>2</sup>	

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

$$W_u = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$$

$$W_u = 1,2. 351 + 1,6. 250 = 821.2 \text{ kg/m}^2$$

3. Pelat Tipe C (Lt. 2-10 : Kamar Hotel)

- Beban Mati :

> Berat Pelat per m <sup>2</sup>	= 288 kg/m <sup>2</sup>
> Berat Penutup Lantai	= 24 kg/m <sup>2</sup>
> Berat spesi	= 21 kg/m <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 > \text{Berat plafond dan penggantung} &= 18 \text{ kg/m}^2 & + \\
 \text{DL total} &= 351 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{Beban Hidup (LL)} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\
 W_u = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} \\
 W_u = 1,2 \cdot 351 + 1,6 \cdot 250 = 821.2 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

#### 4. Pelat Tipe D (Lt. Atap)

- Beban Mati :

$$\begin{aligned}
 > \text{Berat Pelat per m}^2 &= 288 \text{ kg/m}^2 \\
 > \text{Berat air hujan} &= 24 \text{ kg/m}^2 \\
 > \text{Berat spesi} &= 21 \text{ kg/m}^2 \\
 > \text{Berat plafond dan penggantung} &= 18 \text{ kg/m}^2 & + \\
 \text{DL total} &= 351 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{Beban Hidup (LL)} &= 100 \text{ kg/m}^2 \\
 W_u = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} \\
 W_u = 1,2 \cdot 351 + 1,6 \cdot 100 = 581.2 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

#### b. Perhitungan Tulangan Pelat Pracetak Komposit

Contoh Perhitungan Pelat Tipe A (Lt. Ground 1 : Parkir)

➤ tulangan lapangan arah-y

$$M_{ly} = 0.001 \cdot 1061.2 \cdot 3^2 \cdot 15 = 143.262 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{max}} = 1.433 \text{ kNm}$$

$$d_y = 120 - 20 - 0.5 \cdot 8 = 96 \text{ mm}$$

$$\left( \frac{M_u}{b \times d_y^2} \right) = \rho \times \phi \times f_y \left( 1 - 0.588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{1.433 \times 10^6}{1000 \times (96)^2} = \rho \times 0.8 \times 400 \left( 1 - 0.588 \times \rho \times \frac{400}{40} \right)$$

$$0.155 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

Dengan rumus abc didapatkan nilai  $\rho = 0,0005$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 40 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,04335$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,04335 = 0,0325$$

$\rho < \rho_{\min}$  maka yang digunakan adalah  $\rho = 0,0035$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 96 = 336 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan  $\varnothing$  8-140 (As terpasang = 351.68 mm<sup>2</sup>)

➤ tulangan tumpuan arah-x

$$M_{tx} = 0,001 \cdot 1061,2 \cdot 3^2 \cdot 79,5 = 759,29 \text{ kgm}$$

$$M_{\max} = 7,593 \text{ kNm}$$

$$d_x = 120 - 20 - 0,5 \cdot 8 = 96 \text{ mm}$$

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

$$\frac{7,593 \times 10^6}{1000 \times (96)^2} = \rho \times 0,8 \times 400 \left( 1 - 0,588 \times \rho \times \frac{400}{30} \right)$$

$$0,824 = 320\rho - 2508,8\rho^2$$

Dengan rumus abc didapatkan nilai  $\rho = 0,0026$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0244$$

$\rho < \rho_{\min}$  maka yang digunakan adalah  $\rho = 0,0035$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 96 = 336 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan  $\varnothing$  8-140 (As terpasang = 351.68 mm<sup>2</sup>)

➤ tulangan tumpuan arah-y

$$M_{ty} = 0,001 \cdot 1061,2 \cdot 3^2 \cdot 54 = 515,74 \text{ kgm}$$

$$M_{\max} = 5,157 \text{ kNm}$$

$$d_y = 120 - 20 - 0,5 \cdot 8 = 96 \text{ mm}$$



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

$$\frac{5.157 \times 10^6}{1000 \times (96)^2} = \rho \times 0,8 \times 400 \left( 1 - 0,588 \times \rho \times \frac{400}{30} \right)$$

$$0.5596 = 320\rho - 2508.8\rho^2$$

Dengan rumus abc didapatkan nilai  $\rho = 0,0017$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0244$$

$\rho < \rho_{\min}$  maka yang digunakan adalah  $\rho = 0.0035$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0.0035 \cdot 1000 \cdot 96 = 336 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan  $\text{Ø } 8\text{-}140$  (As terpasang = 351.68 mm<sup>2</sup>)

## 4.2. PERHITUNGAN BALOK PRACETAK

Elemen balok pracetak menggunakan material beton dengan spesifikasi  $f'c=40$  Mpa ( $f_{ijin} = 13.2$  Mpa), dan baja tulangan dengan  $f_s = 232$  Mpa. Perhitungan elemen pelat pracetak dianalisis terhadap dua kondisi, yaitu pada saat proses ereksi yang meliputi pengangkatan dan pemasangan atau penuangan beton baru di atas elemen pracetak. Asumsi pembuatan elemen pracetak adalah di lokasi proyek, sehingga tidak perlu alat transport mobil selain crane yang dipakai selama proses ereksi.

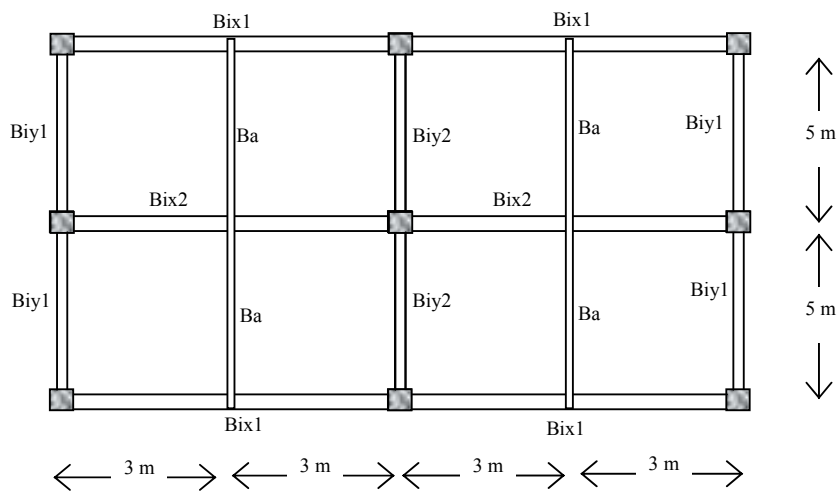
Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pemasangan dan analisa balok pracetak saat pengangkatan. Penentuan tebal balok pracetak ditentukan berdasarkan analisa balok pracetak saat pemasangan, karena dalam kondisi tersebut balok pracetak mengalami kombinasi beban yang terbesar selama proses konstruksi.

#### 4.2.1. Analisa Balok Pracetak Saat Pemasangan

Ada beberapa jenis elemen balok pracetak yang harus dianalisa dan didesain kekuatannya, yaitu sebagai berikut ;

Type	Keterangan
Ba	Balok Anak
Bix1	Balok induk tepi arah-x
Bix2	Balok induk tengah arah-x
Biy1	Balok induk tepi arah-y
Biy2	Balok induk tengah arah-y

**Tabel 4.1. Type Balok Pracetak**



**Gambar 4.4. Denah Type Balok Pracetak Saat Pemasangan**

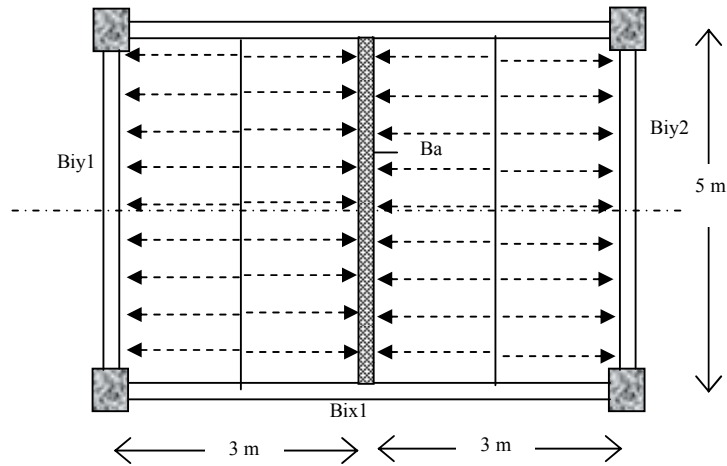
Saat pemasangan elemen pracetak ini, balok pracetak mengalami kondisi pembebanan sebagai berikut :

1. Berat sendiri balok pracetak (anak/induk), termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
2. Beban akibat pelat pracetak yang menumpu pada balok (anak/induk), termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).

Balok dimodelkan menumpu pada kedua ujung bentang balok.

##### 4.2.1.1. Perhitungan balok anak pracetak Ba

Asumsi awal dimensi balok anak Ba 300/400



**Gambar 4.5. Distribusi Beban Plat Pada Balok Anak Ba**

Beban yang bekerja pada balok anak

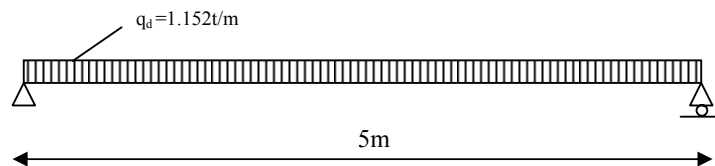
1. Berat sendiri balok anak pracetak (tebal penuh)

$$q_{ba} = 2.4 * 0.30 * 0.40 = 0.288 \text{ t/m}$$

2. Beban pelat pracetak dan beton di atasnya (tebal penuh)

$$q_{plat} = 2.4 * 0.120 * 0.5 * 3 * 2 = 0.864 \text{ t/m}$$

$$q_d = \frac{0.288 + 0.864}{1} = 1.152 \text{ t/m}$$



**Gambar 4.7. Pemodelan Beban Balok Anak Pracetak**

- Momen maksimal yang terjadi pada balok anak pracetak saat pemasangan, dimana bentang  $L = 5 \text{ m}$  :

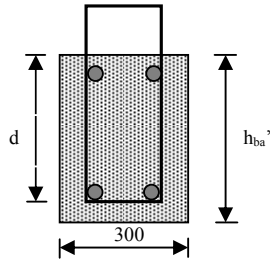
$$M_{\max} = \frac{1}{8} q_d \cdot L^2$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot 1.152 \cdot 5^2$$

$$M_{\max} = 3.6 \text{ tonm}$$

$$M_u = 36000000 \text{ Nmm}$$

- Penentuan tebal minimum balok anak pracetak Ba



Asumsi tulangan lentur balok Ba

$$4D19, A_s = 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = f_c \cdot \frac{1}{2} b \cdot y$$

$$1133.54 \cdot 232 = 13.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot y$$

$$y = 132,82 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$ , tebal efektif minimum balok induk pracetak diperoleh jika:

$$M_n = M_u$$

$$36000000 = 262981.28 \left( d - \frac{y}{2} \right)$$

$$d = 181,16 \text{ mm}$$

Tebal efektif minimal penampang balok anak pracetak,  $d_{\min} = 181,2 \text{ mm}$

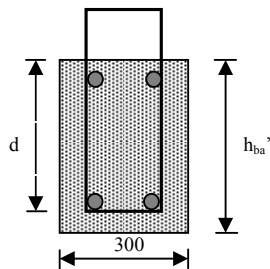
Tebal penampang balok anak pracetak, ditentukan  $h = 400 \text{ mm}$

$$h_{ba}' = h_{ba} + h_{plat} = 400 - 120 = 280 \text{ mm}$$

cek tebal efektif :

$$d = 280 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 220.5 \text{ mm} > d_{\min} \dots \dots \text{ok!}$$

- Analisa dan desain penampang balok anak pracetak Ba 300/280 saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok anak

$$\text{Ba, } 4D19, A_s = 1133.54 \text{ mm}^2$$

Kapasitas momen penampang ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{y}{2} \right)$$

$$M_n = 262981.28 \left( 220.5 - \frac{132,82}{2} \right)$$

$$M_n = 46344417,08 \text{ Nmm}$$

Syarat kekuatan:  $M_u < M_n$

$$36000000 < 46344417,08 \dots \dots \text{ok!}$$

Cek kelendutan (dlm mm)

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

$$\delta = \frac{5 \cdot 11.52(N/mm) \cdot 5000^4}{384 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 280^3}$$

$$\delta = 10,004mm$$

Syarat Kelendutan :

$$\delta \leq \bar{\delta}, \text{ dimana : } \bar{\delta} = \frac{\ell}{240} = \frac{5000}{240} = 20.83mm$$

$$\delta = 10mm < \bar{\delta} \dots \text{ok!!}$$

- Analisa Tegangan Penampang

Dimana nilai tegangan ijin bahan:

$$f_c = 0,33 \cdot f'_c = 0,33 \cdot 40 = 13,2MPa$$

$$f_s = 0,58 \cdot f_y = 0,58 \cdot 400 = 232MPa$$

- balok sebelum aksi komposit terjadi :

Beban yang bekerja = berat sendiri  $BA_{pracetak}$  + berat plat  $pracetak$  + topping

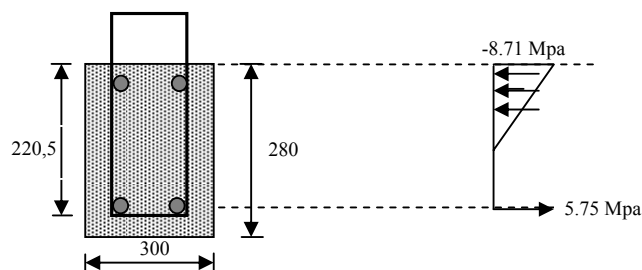
$$Mu = 36000000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \pm \frac{Mu \cdot y}{I_{pracetak}}$$

$$\sigma_c = - \frac{36000000 \cdot 132.82}{\frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 280^3} = -8.71MPa < f_c \dots \text{ok}$$

$$\sigma_s = \frac{36000000 \cdot (220.5 - 132.82)}{\frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 280^3} = 5.75MPa < f_s \dots \text{ok}$$

Diagram tegangan (sebelum aksi komposit terjadi)



- balok setelah aksi komposit terjadi :

Momen Positif pada tengah bentang (hasil analisa SAP2000)

$$Mu = 1.88 \text{ ton m} = 18800000 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = 1600000000 \text{ mm}^4$$

- Menghitung nilai y

Angka ekuivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 300, A<sub>s</sub> = 1133.540 mm<sup>2</sup>, d = 340.5 mm

Sehingga persamaan menjadi :

$$150y^2 + 13276,452y - 4520632 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 134.9 \text{ mm}$$

- menghitung tegangan pada penampang komposit (tengah bentang)

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{18800000 * 134.9}{1600000000} = -1.58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{18800000 * (340.5 - 134.9)}{1600000000} = 2.42 \text{ MPa}$$

Tegangan pada titik A

$$\frac{f_{top}}{f_A} = \frac{y}{y - 120}$$

$$f_A = \frac{134.9 - 120}{134.9} * 1.58 = 0.17 \text{ MPa (tekan)}$$

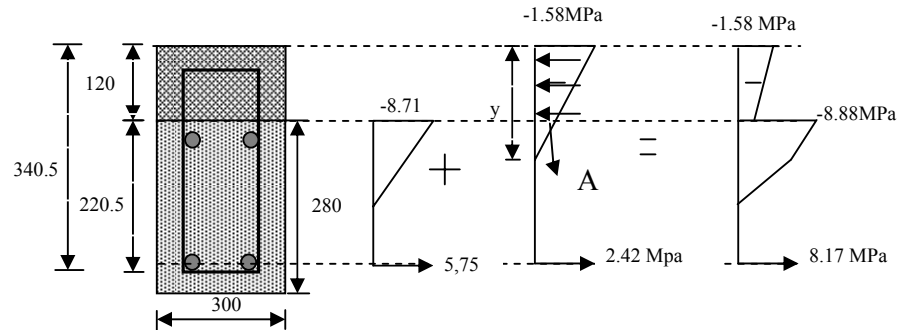
- Resultan tegangan :

$$f_{top} = -1.58 \text{MPa (tekan)} < f_{c_{ijin}} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_A = -8.71 - 0.17 = -8.88 < f_{c_{ijin}} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_s = 5,75 + 2.42 = 8.17 < f_{s_{ijin}} \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tengah bentang :



- menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$Mu = 2.92 \text{ tonm} = 29200000 \text{ Nmm}$$

- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s (d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 300, A<sub>s</sub> = 1133.540 mm<sup>2</sup>, d = 340.5 mm

Sehingga persmaan menjadi :

$$150y^2 + 13276,452y - 4520632 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 134.9 \text{ mm}$$

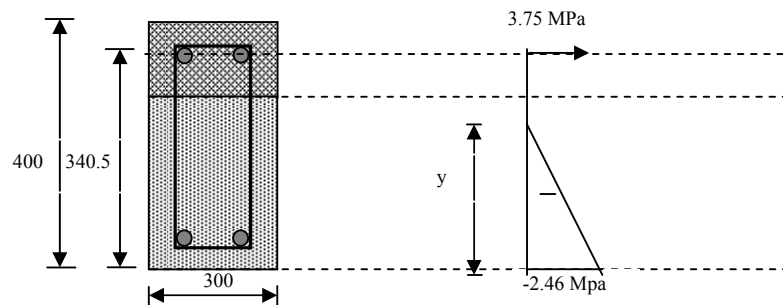
Tegangan pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = -\frac{29200000 * 134.9}{1600000000} = -2.46 MPa$$

$$\sigma_s' = \frac{*(340.5 - 134.9)}{1600000000} = 3.75 MPa$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



- Perhitungan Tulangan tumpuan (negatif)

$$f'c \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 400$$

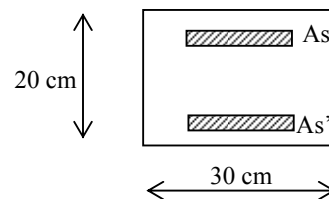
$$fy \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 4000$$

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

$$h \text{ [cm]} = 20$$

$$\text{Selimut beton [cv]} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{dia. SK [mm]} = 8$$



Jika  $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$ , maka  $B1 = 0.85 - 0.0008 * (f'c - 300)$

Sehingga untuk  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ , didapatkan  $B1 = 0.77$

$$\rho_{max} = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot B1 \cdot 4500}{fy \cdot (6000 + fy)} = 0.0295$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

$$\text{Tul As}_{\text{terpasang}} = 4 \text{ D } 19 \text{ ( } 11.35 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Jml}_{\text{baris Tul As}_{\text{terpasang}}} = 1$$



Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d = h - cv - dia.SK/10 - [dia.tul/10*jml\_baris + 2.5*(jml\_baris - 1)]/2$$
$$15.25 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

Tul  $As'_t$  terpasang = 3 D 19 ( 8.51 cm<sup>2</sup> )

Jml\_baris Tul  $As'_t$  terpasang = 1

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d' = cv + dia.SK/10 + [dia.tul/10*jml\_baris + 2.5*(jml\_baris - 1)]/2$$
$$4.75 \text{ cm}$$

Ratio  $As'/As = 0.75$

$$\rho = \frac{As_{tps}}{(b * d)} = \frac{11.35}{(30 * 15.25)} = 0.025$$

$$\rho' = \frac{As'_t}{(b * d)} = \frac{8.51}{(30 * 15.25)} = 0.019$$

$\rho > \rho_{min}$ , berarti penampang mencukupi, sehingga

$$\rho - \rho' = 0.006$$

$$\rho - \rho' < \frac{0.85.B1.f'c}{fy} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{6000}{(6000 - fy)} = 0.061$$

dan  $\rho < \rho_{max}$  maka,

$$F = \frac{\rho \cdot fy}{0.85 * f'c} = 0.2941$$

$$K = F * (1 - F / 2) = 0.25086$$

$$Mn = K * b * d^2 * 0.85 * f'c$$

$$Mn = 0.25086 * 30 * 15.25^2 * 0.85 * 400 = 595086 \text{ kgcm}$$

Maka besarnya  $Mu = 0.8 * Mn = 476069 \text{ kg.cm}$  .-

$Mu_{penampang} > Mu_{hasil \text{ analisis struktur}} (=466000 \text{ kg.cm}) \dots \text{OK}$

- Jadi berdasarkan analisa balok anak Ba pracetak saat pemasangan, didapat spesifikasi dimensi dan tulangan minimal sebagai berikut :

- Dimensi :- BA pracetak,  $b_{ba} = 300$  mm,  $h_{ba}' = 280$  mm,

$$h_{dap} = 80 \text{ mm}$$

- BA total,  $b_{ba} = 300$  mm,  $h_{ba} = 400$  mm

- Tulangan lentur lapangan minimal 4D19,  $A_s \text{ min} = 1133.54 \text{ mm}^2$

- Tulangan lentur tumpuan (tulangan double) :

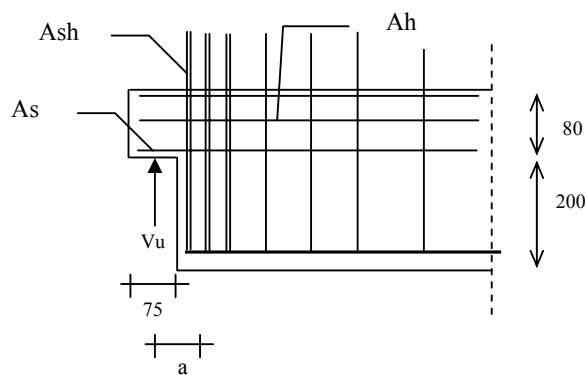
$$A_{s_{atas}} = 1135 \text{ mm}^2 (4 \text{ D } 19)$$

$$A_{s_{bawah}} = 851 \text{ mm}^2 (3 \text{ D } 19)$$

- **Desain sambungan *Dapped-end* pada balok anak**

Diketahui :

BEAM (B x D)	=	300	mm x	400	mm
DEP.OF BRACKET(h)	=	80	mm x		
LEN. OF BRACKET	=	75	mm x		
PAD SIZE(A)	=	75	mm x	300	mm
SHEAR SPAN(a)	=	75	mm x		
$V_u$	=	29,300.0	Newton		
$f_{ck}$ (P.C)	=	13.2	MPa		
$f_s$	=	232	MPa (elastic design)		
SLAB THK(t)	=	120	mm x		



**Gambar 4.7. Tulangan *Dapped-End* Beam**

- Menentukan luasan *bearing pad*

$$Vu < .Pnb = 0.85 * fc * A_{perlu}$$

$$A_{perlu} = \frac{Vu}{0.85 * fc} = \frac{29300}{0.85 * 13.2} = 3481,9mm^2$$

$$A_{real} = 75 * 300 = 22500mm^2 > A_{perlu} \dots\dots\dots.ok$$

- Chek kedalaman yang dibutuhkan (  $h_{dap} = 80$  mm)

$$Vn = 0.2 * fs * B * d = 0.75 * 0.2 * 13.2 * 300 * (80 - 20)$$

$$Vn = 35640\text{Newton} > Vu \dots\dots\dots.ok$$

- Tulangan Lentur pada ujung perpanjangan

$$Af = \frac{[Vu * a + Nu * (h - d)]}{(fs \cdot jd)} = \frac{[29300 * 75 + 0.2 * 29300 * 20]}{232 * 0.875 * (80 - 20)}$$

$$Af = 190.04mm^2$$

- Tulangan Tarik pada ujung perpanjangan

$$An = \frac{Nu}{fs} = \frac{0.2 * 29300}{232} = 25.26mm^2$$

- Tulangan Geser Friksi

$$Avf = \frac{Vu}{fs \cdot \mu} = \frac{29300}{2323.4} = 37.15mm^2$$

$$As1 = Af + An = 190.04 + 25.26 = 215.30mm^2$$

$$As2 = \frac{2}{3} \cdot Avf + An = \frac{2}{3} \cdot 37.15 * 25.26 = 50.03mm^2$$

$$As_{min} = 0.04 * (fc / fs) * B * d = 0.04 * (13.2 / 232) * 300 * 60 = 40.96mm^2$$

Luasan yang dipakai adalah yang terbesar :

$$As = 215.30 \text{ mm}^2$$

Menggunakan tulangan 5Ø8, Ast = 251.2 mm<sup>2</sup>

- Tulangan Geser Langsung

$$Ah = 0.5 * (As - An) = 0.5 * (215.30 - 25.26) = 95.02mm^2$$

Menggunakan tulangan 4Ø6, Ast = 113 mm<sup>2</sup>

Tulangan Tarik diagonal pada ujung *reentrant*

$$Ash = \frac{Vu}{fs} = \frac{29300}{232} = 126.3mm^2$$

Menggunakan tulangan 5Ø6, Ast = 141.30 mm<sup>2</sup> (3- Ø6  )

- Tulangan Tarik diagonal pada ujung perpanjangan

$$A_v = \frac{V_u - 0.53 * \sqrt{f_c} * b * d}{2 * f_s}$$

$$A_v = \frac{(29300 - 0.53 * \sqrt{13.2} * 300 * 60)}{2 * 232} = -11,55 \text{ mm}^2$$

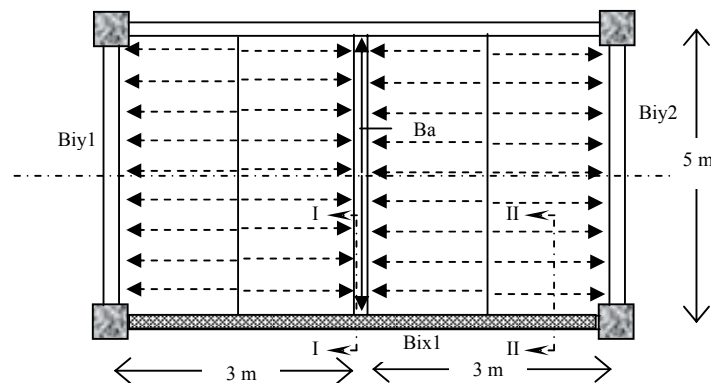
Tidak memerlukan tulangan tarik diagonal pada ujung perpanjangan

- Cek kuat geser

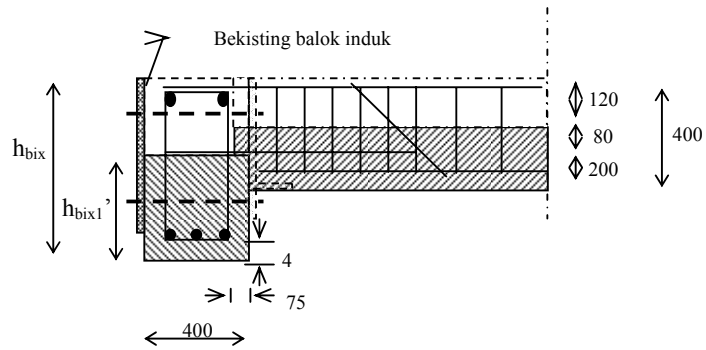
$$V_n = (A_h * f_s + 0.53 * \sqrt{f_c} * b * d) = 56705,2 \text{ N} > 29300 \text{ N} \dots \dots \dots \text{ok}$$

#### 4.2.1.2. Perhitungan balok induk pracetak Bix1

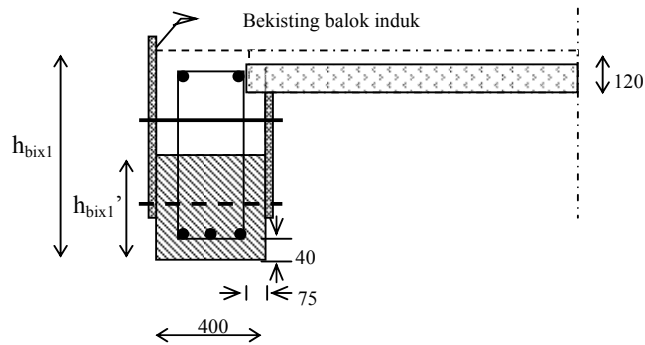
Saat pemasangan balok induk Bix1, pelat pracetak menumpu pada balok anak pracetak Ba, dan balok induk Biy, sehingga beban pelat terdistribusi menjadi dua bagian ke arah balok anak Ba dan balok induk Biy. Sedangkan balok induk pada arah x, Bix hanya menderita beban akibat berat sendiri, berat beton tuang di atasnya, dan beban terpusat oleh balok anak Ba. Model distribusi beban dapat dilihat pada gambar 4.8. Dimensi balok induk Bix1 diasumsikan sebesar 400/650.



Gambar 4.8. Distribusi Beban Pelat dan Balok Saat Pemasangan



**Gambar 4.9. Potongan I-I**



**Gambar 4.10. Potongan II-II**

- Beban yang bekerja pada balok induk Bix1

1. Berat sendiri balok pracetak (tebal penuh)

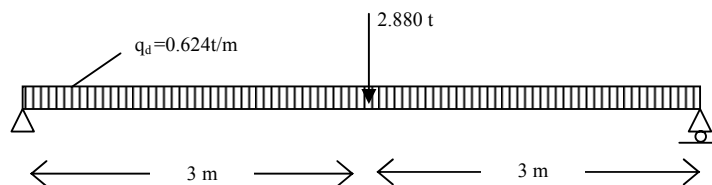
$$q_{ba} = 2.4 * 0.65 * 0.40 = 0.624 \text{ t/m}$$

2. Beban terpusat dari balok anak Ba dan pelat

$$P_{plat} = 2 * 2.4 * 0.12 * 1.5 * 0.5 * 5 = 2.160 \text{ t}$$

$$P_{ba} = (0.5 * 2.4 * 0.28 * 0.30 * 5) = 0.720 \text{ t} \quad +$$

$$P_{tot} = 2.880 \text{ t}$$



**Gambar 4.11. Pemodelan Beban Balok Induk Bix1 Pracetak**

- Momen maksimal yang terjadi pada balok induk Bix1 pracetak saat pemasangan, dimana bentang  $L = 6 \text{ m}$  :

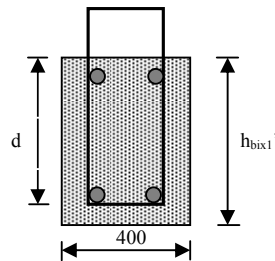
$$M_{\max} = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L + \frac{1}{8} q_d \cdot L^2$$

$$M_{\max} = \frac{1}{4} \cdot 2.880 \cdot 6 + \frac{1}{8} \cdot 0.624 \cdot 6^2$$

$$M_{\max} = 7.128 \text{ tm}$$

$$M_u = 71280000 \text{ Nmm}$$

- Pengecekan tebal minimum balok induk pracetak Bix1



Asumsi tulangan lentur balok Bix1

$$4D19, A_s = 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = f_c \cdot \frac{1}{2} b \cdot y$$

$$1133.54 \cdot 232 = 13.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot y$$

$$y = 99,61 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$ , tebal efektif minimum balok induk pracetak diperoleh jika:

$$M_n = M_u$$

$$71280000 = 262981.28 \left( d - \frac{99,61}{3} \right)$$

$$d = 304,25 \text{ mm}$$

Tebal efektif minimal penampang balok anak pracetak,  $d_{\min} = 304,25 \text{ mm}$

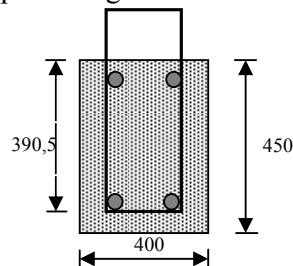
Tebal penampang balok anak pracetak,

$$h_{bix1}' = h_{bix1} - h_{ba} = 650 - (120 + 80) = 450 \text{ mm}$$

cek tebal efektif :

$$d = 450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 390.5 \text{ mm} > d_{\min} \dots \dots \text{ok!}$$

- Analisa dan desain penampang balok pracetak Bix1 400/450 saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok induk

$$\text{Bix1, } 4D19, A_s = 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$d = 390.5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang (Mn)

$$Mn = T(d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 262981.28 \left( 390.5 - \frac{99.61}{3} \right)$$

$$Mn = 93961973,47 \text{ Nmm}$$

Syarat :  $Mu < Mn$   
 $71280000 < 93961973,47 \text{ Nmm} \dots \text{ok!}$

Cek Kelendutan :

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} + \frac{5 \cdot ql^4}{384 \cdot EI}$$

$$\delta = \frac{2880 \cdot 6000^3}{48 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3} + \frac{5 \cdot 6.24 \cdot 6000^4}{384 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3}$$

$$\delta = 2,499 + 2,030 = 4,529 \text{ mm}$$

Syarat Kelendutan :

$$\delta \leq \bar{\delta}, \text{ dimana : } \bar{\delta} = \frac{\ell}{480} = \frac{6000}{480} = 12.5 \text{ mm}$$

$$\delta = 4.53 \text{ mm} < \bar{\delta} \dots \text{ok!!}$$

- Analisa Tegangan Penampang

Dimana nilai tegangan ijin bahan :

$$f_c = 0.33 f'_c = 0.33 \cdot 40 = 13.22 \text{ MPa} \text{ (asumsi umur beton pracetak 28 hari)}$$

$$f_s = 0.58 f_y = 0.58 \cdot 400 = 232 \text{ MPa}$$

- balok sebelum aksi komposit terjadi :

Beban yang bekerja = berat sendiri  $BI_{\text{pracetak}} + BA + \text{topping}$

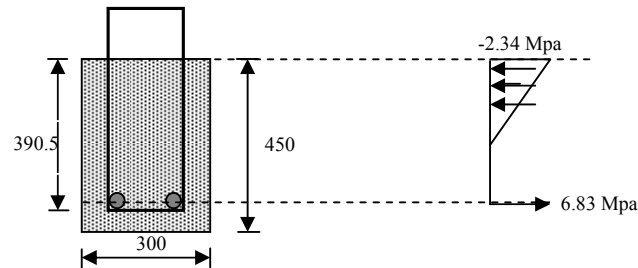
$$Mu = 71280000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \pm \frac{Mu \cdot y}{I_{\text{pracetak}}}$$

$$\sigma_c = - \frac{71280000 \cdot 99.61}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3} = -2.34 \text{ MPa} < f_c \dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{71280000 \cdot (390.5 - 99.61)}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3} = 6.83 < f_s \dots \text{aman thd tarik}$$

Diagram tegangan (sebelum aksi komposit terjadi)



- balok setelah aksi komposit terjadi :

$$M1 = 13.05tm = 1130500000 Nmm$$

$$I_{comp} = 9154166666.67 \text{ mm}^3$$

- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{4700\sqrt{fc}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 400,  $A_s = 1133.540 \text{ mm}^2$ , d = 590.5 mm

Sehingga persamaan menjadi :

$$200y^2 + 13276,452y - 7839745 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$y = 167.56 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow$  tidak ada superposisi pada bidang pertemuan balok pracetak dan topping.

- Tegangan yang terjadi pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = -\frac{130500000 * 167.56}{9154166666.67} = -2.39MPa$$

$$\sigma_s' = \frac{130500000 * (590.5 - 167.56)}{9154166666.67} = 6.03MPa$$

- Resultan tegangan :

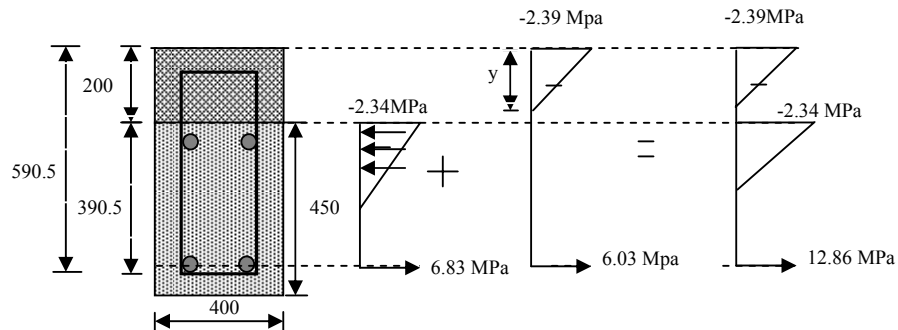


$$f_c' = -2.39 \text{ MPa (tekan)} < f_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_A = -2.34 \text{ MPa (tekan)} < f_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_s' = 6.83 + 6.03 = 12.86 \text{ MPa (tarik)} < f_s \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$M_2 = 31.92 \text{ tonm} = 319200000 \text{ Nmm}$$

- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 400, A<sub>s</sub> = 1133.540 mm<sup>2</sup>, d = 590.5 mm

Sehingga persmaan menjadi :

$$200y^2 + 13276,452y - 7839745 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 167.56 \text{ mm}$$

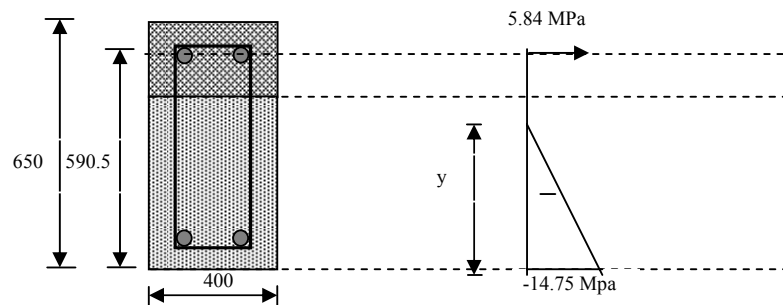
Tegangan pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{319200000 * 167.56}{9154166666.67} = -5.84 MPa$$

$$\sigma_s' = \frac{319200000 * (590.5 - 167.56)}{9154166666.67} = 14.75 MPa$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



- Perhitungan Tulangan Tumpuan (negatif)

$$f'c \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 400$$

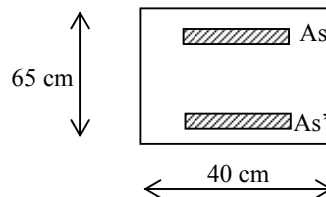
$$fy \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 4000$$

$$b \text{ [cm]} = 40$$

$$h \text{ [cm]} = 65$$

$$\text{Selimut beton [cv]} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{dia. SK [mm]} = 8$$



Jika  $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$ , maka  $B1 = 0.85 - 0.0008 * (f'c - 300)$

Sehingga untuk  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ , didapatkan  $B1 = 0.77$

$$\rho_{max} = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot B1 \cdot 4500}{fy \cdot (6000 + fy)} = 0.0295$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

$$\text{Tul As}_{\text{terpasang}} = 7 \text{ D } 19 \text{ ( } 19.86 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Jml}_{\text{baris Tul As}_{\text{terpasang}}} = 1$$

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d = h - cv - dia.SK/10 - [dia.tul/10*jml\_baris + 2.5*(jml\_baris - 1)]/2$$
$$59.25 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

Tul  $As'_t$  terpasang = 4 D 19 ( 11.35 cm<sup>2</sup> )

Jml\_baris Tul  $As'_t$  terpasang = 1

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d' = cv + dia.SK/10 + [dia.tul/10*jml\_baris + 2.5*(jml\_baris - 1)]/2$$
$$5.75 \text{ cm}$$

Ratio  $As'_t/As$  = 0.57

$$\rho = \frac{As_{tps}}{(b * d)} = \frac{19.86}{(40 * 59.25)} = 0.008$$

$$\rho' = \frac{As'_t}{(b * d)} = \frac{11.35}{(40 * 59.25)} = 0.005$$

$p > p_{min}$ , berarti penampang mencukupi, sehingga

$$p - p' = 0.003$$

$$\rho - \rho' < \frac{0.85.B1.f'c}{fy} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{6000}{(6000 - fy)} = 0.019$$

dan  $p < p_{max}$  maka,

$$F = \frac{\rho \cdot fy}{0.85 * f'c} = 0.094$$

$$K = F * (1 - F / 2) = 0.0897$$

$$Mn = K * b * d^2 * 0.85 * f'c$$

$$Mn = 0.0897 * 40 * 59.25^2 * 0.85 * 400 = 4282060 \text{ kgcm}$$

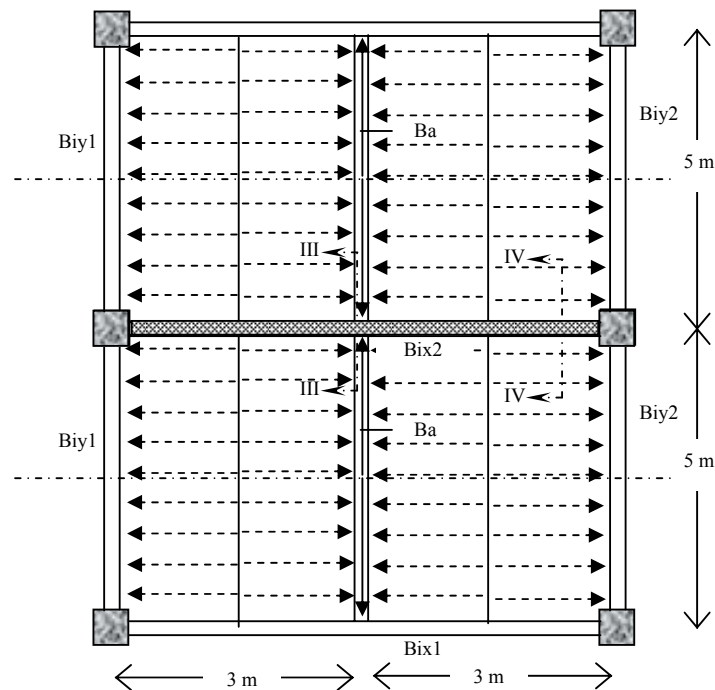
Maka besarnya  $Mu = 0.8 * Mn = 3425648 \text{ kg.cm}$  .-

$Mu$  penampang  $> Mu$  hasil analisis struktur (=3192000 kg.cm) ... OK

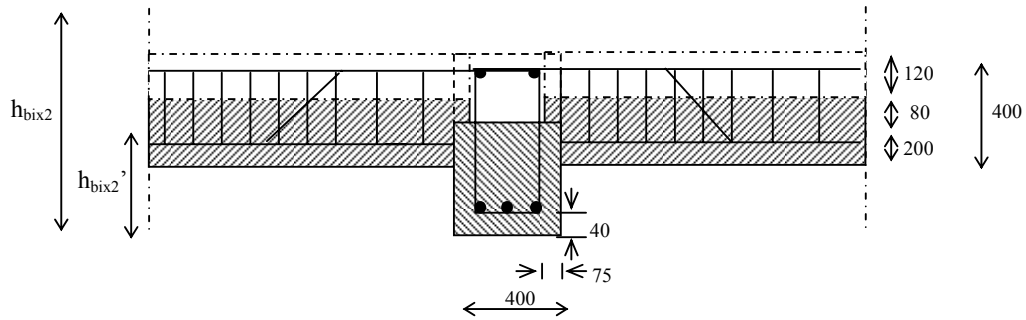
- Jadi berdasarkan analisa penampang balok induk pracetak Bix1 saat pemasangan, didapat spesifikasi sebagai berikut :
  - Dimensi :- BI pracetak,  $b_{bix1} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{bix1}' = 450 \text{ mm}$ 
    - BI total,  $b_{bix1} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{bix1} = 650 \text{ mm}$
  - Tulangan lentur lapangan minimal 4D19,  $A_s \text{ minimal} = 1133.54 \text{ mm}^2$
  - Tulangan lentur tumpuan (tulangan Double)
    - $A_{s_{atas}} = 1986 \text{ mm}^2$  (7 D 19)
    - $A_{s_{bawah}} = 1135 \text{ mm}^2$  (4 D 19)

#### 4.2.1.3. Perhitungan balok induk pracetak Bix2

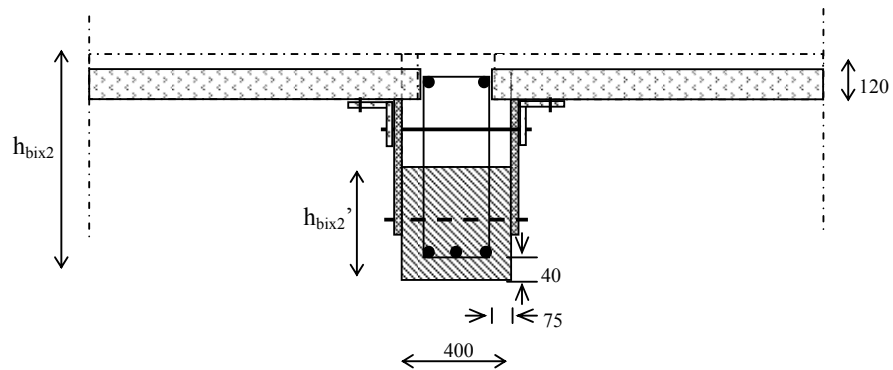
Saat pemasangan balok induk Bix2, distribusi beban pelat dan balok anak yang bekerja pada balok induk Bix2 adalah sama dengan pada balok Bix1. Hanya pada balok Bix2, karena letaknya di tengah, maka beban terpusat dari balok anak menjadi dua kali. Model distribusi beban dapat dilihat pada gambar 4.. Dimensi balok induk Bix2 diasumsikan sebesar 400/650.



**Gambar 4.12. Distribusi Beban Pelat dan Balok Pada Balok Bix2**



**Gambar 4.13. Potongan III-III**



**Gambar 4.14. Potongan IV-IV**

- Beban yang bekerja pada balok induk Bix2

1. Berat sendiri balok pracetak (tebal penuh)

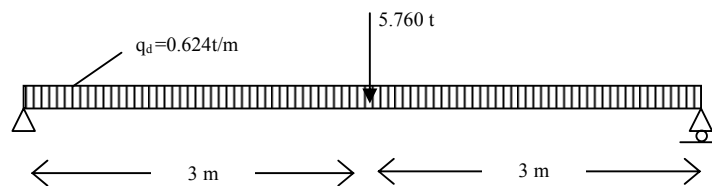
$$q_{ba} = 2.4 * 0.65 * 0.40 = 0.624/m$$

2. Beban terpusat dari balok anak Ba

$$P_{plat} = 2 * (2 * 0.5 * 2.4 * 0.12 * 1.5 * 5) = 4.320 t$$

$$P_{ba} = 2 * (0.5 * 2.4 * 0.30 * 0.40 * 5) = 1.440 t$$

$$P_{tot} = 5.760 t$$



**Gambar 4.15. Pemodelan Beban Balok Induk Bix2 Pracetak**

- Momen maksimal yang terjadi pada balok induk Bix2 pracetak saat pemasangan, dimana bentang  $L = 6 \text{ m}$  :

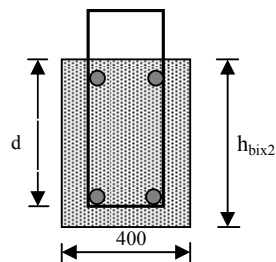
$$M_{\max} = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L + \frac{1}{8} q_d \cdot L^2$$

$$M_{\max} = \frac{1}{4} \cdot 5.760 \cdot 6 + \frac{1}{8} \cdot 0.624 \cdot 6^2$$

$$M_{\max} = 11.448 \text{ m}$$

$$M_u = 114480000 \text{ Nmm}$$

- Pengecekan tebal minimum balok induk pracetak Bix2



Asumsi tulangan lentur balok Bix2

$$6D19, A_s = 1700,310 \text{ mm}^2$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = f_c \cdot \frac{1}{2} b \cdot y$$

$$1700,31 \cdot 232 = 13.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot y$$

$$y = 149.42 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$ , tebal efektif minimum balok induk pracetak diperoleh jika:

$$M_n = M_u$$

$$114480000 = 394471.92 \left( d - \frac{149,42}{3} \right)$$

$$d = 340,02 \text{ mm}$$

Tebal efektif minimal penampang balok induk pracetak,  $d_{\min} = 340 \text{ mm}$

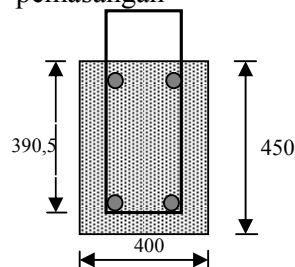
Tebal penampang balok induk Bix2 pracetak,

$$h_{bix2}^? = h_{bix2} - h_{ba} = 650 - 120 - 80 = 450 \text{ mm}$$

cek tebal efektif :

$$d = 450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 390.5 \text{ mm} > d_{\min} \dots \text{ok!!}$$

- Analisa dan desain penampang balok pracetak Bix2 400/450 saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok induk

$$\text{Bix2, } 6D19, A_s = 1700.31 \text{ mm}^2$$

$$d = 390.5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$$

$$M_n = 394471.92 \left( 390.5 - \frac{149.42}{3} \right)$$

$$M_n = 134393797.93 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat: } M_u < M_n$$

$$114480000 < 134393797.93 \text{ Nmm} \dots \text{ok!}$$

Cek Kelendutan :

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} + \frac{5 \cdot ql^4}{384 \cdot EI}$$

$$\delta = \frac{5760 \cdot 6000^3}{48 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3} + \frac{5 \cdot 6.24 \cdot 6000^4}{384 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3}$$

$$\delta = 4,997 + 2,030 = 7,027 \text{ mm}$$

Syarat Kelendutan :

$$\delta \leq \bar{\delta}, \text{ dimana: } \bar{\delta} = \frac{\ell}{480} = \frac{6000}{480} = 12.5 \text{ mm}$$

$$\delta = 7.03 \text{ mm} < \bar{\delta} \dots \text{ok!!}$$

- Analisa Tegangan Penampang

Dimana nilai tegangan ijin bahan:

$$f_c = 0.33 f'c = 0.33 \cdot 40 = 13.22 \text{ MPa} \text{ (asumsi umur beton pracetak 28 hari)}$$

$$f_s = 0.58 f_y = 0.58 \cdot 400 = 232 \text{ MPa}$$

- balok sebelum aksi komposit terjadi :

Beban yang bekerja = berat sendiri  $B I_{\text{pracetak}} + BA + \text{topping}$

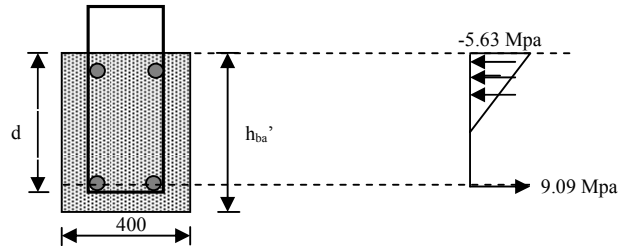
$$M_u = 114480000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \pm \frac{M_u \cdot y}{I_{\text{pracetak}}}$$

$$\sigma_c = - \frac{114480000 \cdot 149.42}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3} = -5.63 \text{ MPa} < f_c \dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{114480000 \cdot (390.5 - 149.42)}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 450^3} = 9.09 < f_s \dots \text{aman thd tarik}$$

Diagram tegangan (sebelum aksi komposit terjadi)



- balok setelah aksi komposit terjadi :

Momen positif di tengah bentang

$$Mu = 13.05tm = 130500000Nmm$$

$$I_{comp} = 9154166666.67 \text{ mm}^3$$

- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{4700\sqrt{fc}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$b \cdot y \cdot \frac{1}{2} y - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} b y^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana,  $b = 400$ ,  $A_s = 1700.310 \text{ mm}^2$ ,  $d = 590.5 \text{ mm}$

Sehingga persamaan menjadi :

$$200y^2 + 19914,678y - 11759617 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 197.75\text{mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow \text{tidak ada superposisi pada bidang}$$

pertemuan balok pracetak dan topping.

- Tegangan pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu \cdot y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{130500000 \cdot 197.75}{9154166666.67} = -2.82\text{MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{130500000 \cdot (590.5 - 197.75)}{9154166666.67} = 5.60\text{MPa}$$

- Resultan tegangan :

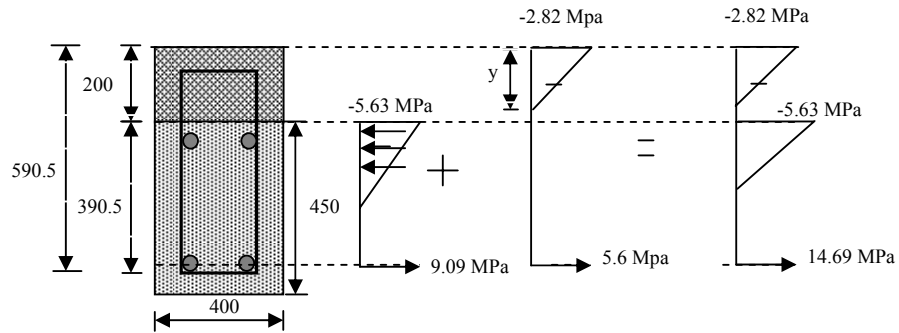


$$f'_c = -2.82 \text{ MPa (tekan)} < f_{c_{ijin}} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f'_A = -5.63 \text{ MPa (tekan)} < f_{c_{ijin}} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f'_s = 9.09 + 5.60 = 14.69 \text{ MPa (tarik)} < f_s \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$M_2 = 31.92 \text{ tonm} = 319200000 \text{ Nmm}$$

- Menghitung nilai y

Angka ekuivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s (d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 400, A<sub>s</sub> = 1133.540 mm<sup>2</sup>, d = 590.5 mm

Sehingga persamaan menjadi :

$$200y^2 + 13276,452y - 7839745 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 167.56 \text{ mm}$$

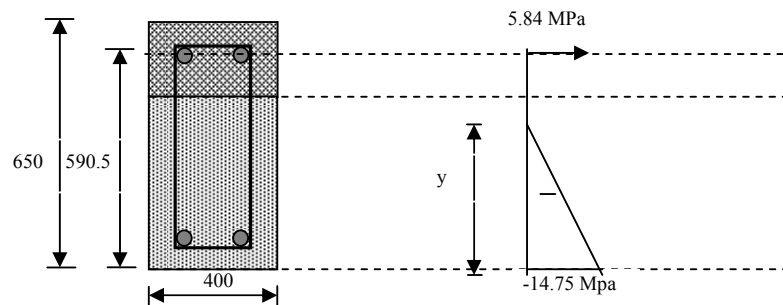
Tegangan pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = -\frac{319200000 * 167.56}{9154166666.67} = -5.84 MPa$$

$$\sigma_s' = \frac{319200000 * (590.5 - 167.56)}{9154166666.67} = 14.75 MPa$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



- Perhitungan Tulangan Tumpuan (negatif)

$$f_c \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 400$$

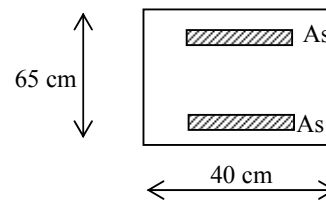
$$f_y \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 4000$$

$$b \text{ [cm]} = 40$$

$$h \text{ [cm]} = 65$$

$$\text{Selimut beton [cv]} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{dia. SK [mm]} = 8$$



Jika  $f_c > 300 \text{ kg/cm}^2$ , maka  $B1 = 0.85 - 0.0008 * (f_c - 300)$

Sehingga untuk  $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$ , didapatkan  $B1 = 0.77$

$$\rho_{max} = \frac{0.85 \cdot f_c \cdot B1}{f_y} \cdot \frac{4500}{(6000 + f_y)} = 0.0295$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

$$\text{Tul As}_{\text{terpasang}} = 7 \text{ D } 19 \text{ ( } 19.86 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Jml}_{\text{baris Tul As}_{\text{terpasang}}} = 1$$

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d = h - cv - dia.SK/10 - [dia.tul/10*jml\_baris + 2.5*(jml\_baris - 1)]/2$$
$$59.25 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

Tul  $As'_t$  terpasang = 4 D 19 ( 11.35 cm<sup>2</sup> )

Jml\_baris Tul  $As'_t$  terpasang = 1

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d' = cv + dia.SK/10 + [dia.tul/10*jml\_baris + 2.5*(jml\_baris - 1)]/2$$
$$5.75 \text{ cm}$$

Ratio  $As'_t/As$  = 0.57

$$\rho = \frac{As_{tps}}{(b * d)} = \frac{19.86}{(40 * 59.25)} = 0.008$$

$$\rho' = \frac{As'_t}{(b * d)} = \frac{11.35}{(40 * 59.25)} = 0.005$$

$p > p_{min}$ , berarti penampang mencukupi, sehingga

$$p - p' = 0.003$$

$$\rho - \rho' < \frac{0.85.B1.f'_c}{fy} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{6000}{(6000 - fy)} = 0.019$$

dan  $p < p_{max}$  maka,

$$F = \frac{\rho \cdot fy}{0.85 * f'_c} = 0.094$$

$$K = F * (1 - F / 2) = 0.0897$$

$$Mn = K * b * d^2 * 0.85 * f'_c$$

$$Mn = 0.0897 * 40 * 59.25^2 * 0.85 * 400 = 4282060 \text{ kgcm}$$

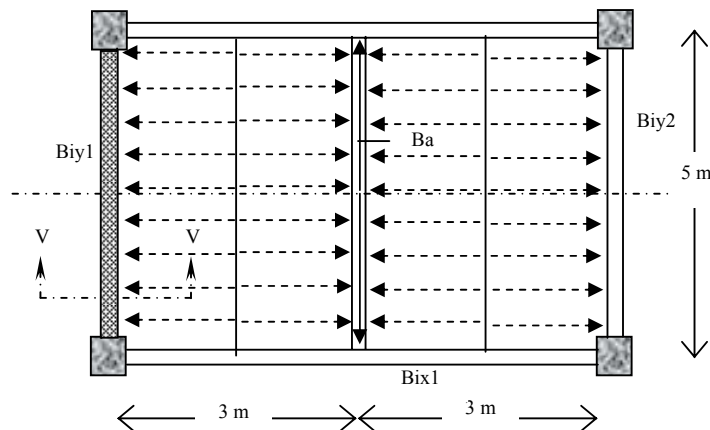
Maka besarnya  $Mu = 0.8 * Mn = 3425648 \text{ kg.cm}$  .-

$Mu$  penampang  $> Mu$  hasil analisis struktur (=3192000 kg.cm) ... OK

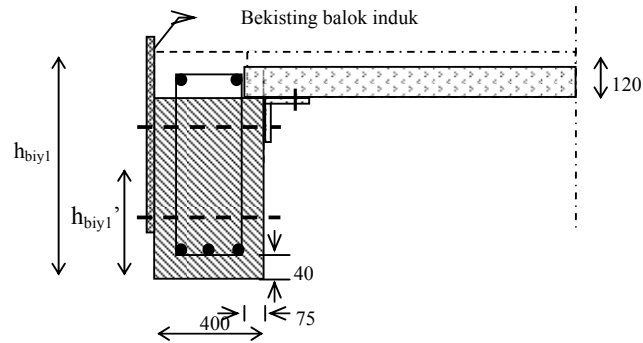
- Jadi berdasarkan analisa penampang balok induk pracetak Bix2 saat pemasangan, didapat spesifikasi sebagai berikut :
  - Dimensi :- BI pracetak,  $b_{bix2} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{bix2}' = 450 \text{ mm}$ 
    - BI total,  $b_{bix2} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{bix2} = 650 \text{ mm}$
  - Tulangan lentur lapangan 6D19,  $A_s \text{ terpasang} = 1700.31 \text{ mm}^2$
  - Tulangan lentur tumpuan (tulangan Double)
    - $A_{s_{atas}} = 1986 \text{ mm}^2$  (7 D 19)
    - $A_{s_{bawah}} = 1135 \text{ mm}^2$  (4 D 19)

#### 4.2.1.4. Perhitungan balok induk pracetak Biy1

Saat pemasangan balok induk Biy1, pelat pracetak langsung menumpu pada balok induk pracetak ini (Biy1) dan pada balok anak., sehingga beban pelat terdistribusi menjadi dua bagian ke arah balok anak Ba dan balok induk Biy. Jadi balok pracetak Biy1 akan menderita beban akibat berat sendiri elemen, dan berat pelat yang menumpang pada balok induk tersebut. Model distribusi beban dapat dilihat pada gambar 4.. Dimensi balok induk Biy1 diasumsikan sebesar 400/650.



**Gambar 4.16. Distribusi Beban Pelat dan Balok Pada Balok Biy1**



**Gambar 4.17. Potongan V-V**

- Beban yang bekerja pada balok induk Biy1

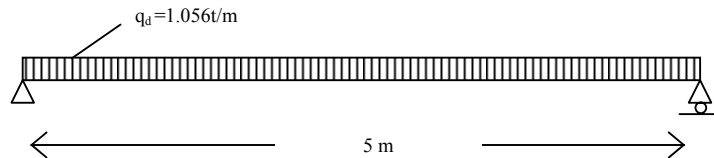
1. Berat sendiri balok pracetak (tebal penuh)

$$q_{ba} = 2.4 * 0.65 * 0.4 = 0.642 \text{ t/m}$$

2. Beban pelat pracetak dan beton tuang di atasnya

$$q_{plat} = 2.4 * 0.12 * 0.5 * 3 = 0.432 \text{ t/m}$$

$$q_d = \frac{0.642 + 0.432}{1} = 1.056 \text{ t/m}$$



**Gambar 4.18. Pemodelan Beban Balok Induk Biy1 Pracetak**

- Momen maksimal yang terjadi pada balok induk Biy1 pracetak saat pemasangan, dimana bentang  $L = 5 \text{ m}$  :

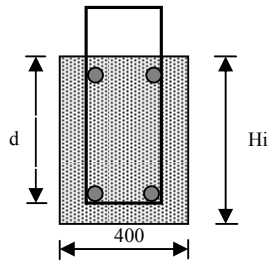
$$M_{max} = \frac{1}{8} q_d \cdot L^2$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \cdot 1.056 \cdot 5^2$$

$$M_{max} = 3.30 \text{ tonm}$$

$$Mu = 33000000 \text{ Nmm}$$

- Penentuan tebal minimum balok induk pracetak Biy1



Asumsi tulangan lentur balok Biy1

$$3D19, A_s = 850,16 \text{ mm}^2$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = f_c \cdot \frac{1}{2} b \cdot y$$

$$850,16 \cdot 232 = 13,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot y$$

$$y = 74,71 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$ , tebal efektif minimum balok induk pracetak diperoleh jika:

$$M_n = M_u$$

$$33000000 = 197235,96 \left( d - \frac{74,71}{3} \right)$$

$$d = 192,22 \text{ mm}$$

Tebal efektif penampang balok induk pracetak,  $d = 192,22 \text{ mm}$

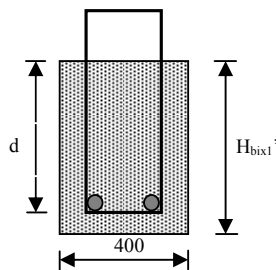
Tebal penampang balok anak pracetak,

$$h_{biy1}' = h_{biy1} - h_{plat} = 650 - 120 = 530 \text{ mm}$$

cek tebal efektif :

$$d = 530 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 470,5 \text{ mm} > d_{\min} \dots \dots \text{ok!}$$

- Analisa dan desain penampang balok pracetak Biy1 400/530 saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok Biy1,

$$3D19, A_s = 850,16 \text{ mm}^2$$

$$d = 470,5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$$

$$M_n = 197235,96 \left( 470,5 - \frac{74,71}{3} \right)$$

$$M_n = 87887647,47 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat : } M_u < M_n$$

$$33000000 < 87887647,47 \text{ Nmm} \dots \dots \text{ok!}$$

Cek Kelendutan

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

$$\delta = \frac{5 \cdot 10.56 (N/mm) \cdot 5000^4}{384 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 530^3} = 1,01 mm$$

Syarat Kelendutan :

$$\delta \leq \bar{\delta}, \text{ dimana : } \bar{\delta} = \frac{\ell}{480} = \frac{5000}{480} = 10.417 mm$$

$$\delta = 1,01 mm < \bar{\delta} \dots ok!!$$

- Analisa Tegangan Penampang

Dimana nilai tegangan ijin bahan:

$$f_c = 0.56 f'c = 0.56 \cdot 40 = 13.2 MPa \text{ (asumsi umur beton pracetak 28 hari)}$$

$$f_s = 0.58 f_y = 0.58 \cdot 400 = 232 MPa$$

- balok sebelum aksi komposit terjadi :

Beban yang bekerja = berat sendiri  $B_{I_{pracetak}} + BA + topping$

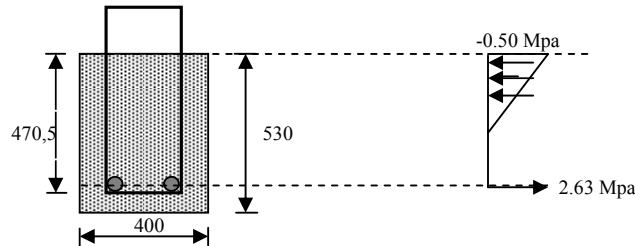
$$M_u = 33000000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \pm \frac{M_u \cdot y}{I_{pracetak}}$$

$$\sigma_{top} = - \frac{33000000 \cdot 74.71}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 530^3} = -0.50 MPa < f_c \dots \dots \dots \text{ aman thd tekan}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{33000000 \cdot (470.5 - 74.71)}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 530^3} = 2.63 MPa < f_s \dots \dots \dots \text{ aman thd tarik}$$

Diagram tegangan (sebelum aksi komposit terjadi)



- balok setelah aksi komposit terjadi :

Momen positif pada tengah bentang :

$$M1 = 16.81 \text{ tonm} = 168100000 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = 9154166666.67 \text{ mm}^3$$

- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 400, A<sub>s</sub> = 850,16 mm<sup>2</sup>, d = 590.5 mm

Sehingga persamaan menjadi :

$$200y^2 + 9957,3388y - 5879809 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

y = 148,37 mm > 120 mm → ada superposisi pada bidang pertemuan balok pracetak dan topping.

- menghitung tegangan pada penampang

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = -\frac{168100000 * 148.37}{9154166666.67} = -2.72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{168100000 * (590.5 - 148.37)}{9154166666.67} = 8.12 \text{ MPa}$$

Tegangan pada titik A

$$\frac{f_{top}}{f_A} = \frac{y}{y - 120}$$

$$f_A = \frac{148,37 - 120}{148.37} * 2.72 = 0.52 \text{ MPa (tekan)}$$

- Resultan tegangan :

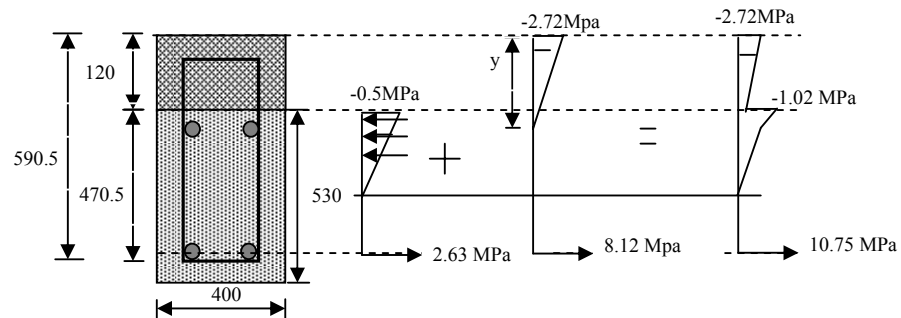
$$f_c' = -2.72 \text{ MPa (tekan)} < f_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_A = -0.50 - 0.52 = -1.02 \text{ MPa (tekan)} < f_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_s' = 2.63 + 8.12 = 10.75 \text{ MPa (tarik)} < f_s \dots \dots \dots \text{ok}$$



- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$M_2 = 26.99 \text{ tonm} = 269900000 \text{ Nmm}$$

- Menghitung nilai y

Angka ekuivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$b y \cdot \frac{1}{2} y - n A_s (d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} b y^2 + n A_s \cdot y - n A_s d = 0$$

Dimana,  $b = 400$ ,  $A_s = 850,16 \text{ mm}^2$ ,  $d = 590.5 \text{ mm}$

Sehingga persmaan menjadi :

$$200y^2 + 9957,3388y - 5879809 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 148,37 \text{ mm.}$$

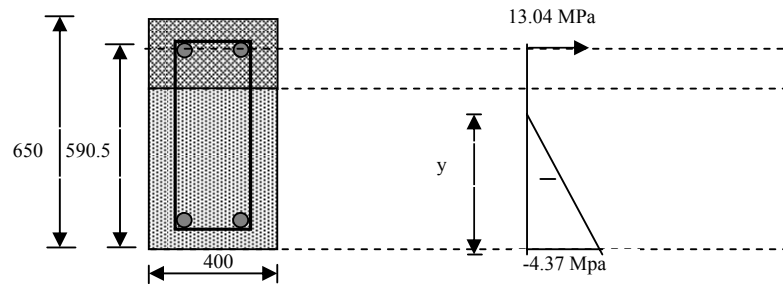
Tegangan pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{269900000 * 148.37}{9154166666.67} = -4.37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{269900000 * (590.5 - 148.37)}{9154166666.67} = 13.04 \text{ MPa}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



• Perhitungan Tulangan Tumpuan (negatif)

$$f'c \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 400$$

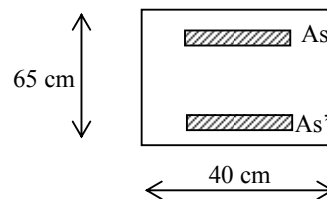
$$fy \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 4000$$

$$b \text{ [cm]} = 40$$

$$h \text{ [cm]} = 65$$

$$\text{Selimut beton [cv]} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{dia. SK [mm]} = 8$$



Jika  $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$ , maka  $B1 = 0.85 - 0.0008 * (f'c - 300)$

Sehingga untuk  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ , didapatkan  $B1 = 0.77$

$$\rho_{\max} = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot B1}{fy} \cdot \frac{4500}{(6000 + fy)} = 0.0295$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

$$\text{Tul As}_{\text{terpasang}} = 6 \text{ D } 19 \text{ ( } 17.02 \text{ cm}^2 \text{ )}$$

$$\text{Jml\_baris Tul As}_{\text{terpasang}} = 1$$

$$\text{Jarak antar baris tulangan} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan dalam satu baris min. } 2.5 \text{ cm}$$

$$d = h - cv - \text{dia.SK}/10 - [\text{dia.tul}/10 * \text{jml\_baris} + 2.5 * (\text{jml\_baris} - 1)]/2$$

$$59.25 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

$$\text{Tul } A_s'_{\text{terpasang}} = 4 \text{ D } 19 \text{ ( } 11.35 \text{ cm}^2 \text{ )}$$

$$\text{Jml\_baris Tul } A_s'_{\text{terpasang}} = 1$$

$$\text{Jarak antar baris tulangan} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan dalam satu baris min. } 2.5 \text{ cm}$$

$$d' = cv + \text{dia.SK}/10 + [\text{dia.tul}/10 * \text{jml\_baris} + 2.5 * (\text{jml\_baris} - 1)]/2$$

$$5.75 \text{ cm}$$

$$\text{Ratio } A_s'/A_s = 0.66$$

$$\rho = \frac{A_{s_{tps}}}{(b * d)} = \frac{17.02}{(40 * 59.25)} = 0.007$$

$$\rho' = \frac{A_{s'_{tps}}}{(b * d)} = \frac{11.35}{(40 * 59.25)} = 0.005$$

$\rho > \rho_{\text{min}}$ , berarti penampang mencukupi, sehingga

$$\rho - \rho' = 0.002$$

$$\rho - \rho' < \frac{0.85 \cdot B1 \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{6000}{(6000 - f_y)} = 0.019$$

dan  $\rho < \rho_{\text{max}}$  maka,

$$F = \frac{\rho \cdot f_y}{0.85 * f'c} = 0.08235$$

$$K = F * (1 - F/2) = 0.07896$$

$$Mn = K * b * d^2 * 0.85 * f'c$$

$$Mn = 0.07896 * 40 * 59.25^2 * 0.85 * 400 = 3769931 \text{ kgcm}$$

Maka besarnya  $Mu = 0.8 * Mn = 3015944 \text{ kg.cm}$  .-

$Mu_{\text{penampang}} > Mu_{\text{hasil analisis struktur}} (=2699000 \text{ kg.cm}) \dots \text{OK}$

- Jadi berdasarkan analisa penampang balok induk pracetak Biy1 saat pemasangan, didapat spesifikasi sebagai berikut :
  - Dimensi :- BI pracetak,  $b_{\text{biy1}} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{\text{biy1}}' = 530 \text{ mm}$ 
    - BI total,  $b_{\text{biy1}} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{\text{biy1}} = 650 \text{ mm}$
  - Tulangan lentur lapangan minimal 3D19,  $A_s \text{ terpasang} = 850,16 \text{ mm}^2$

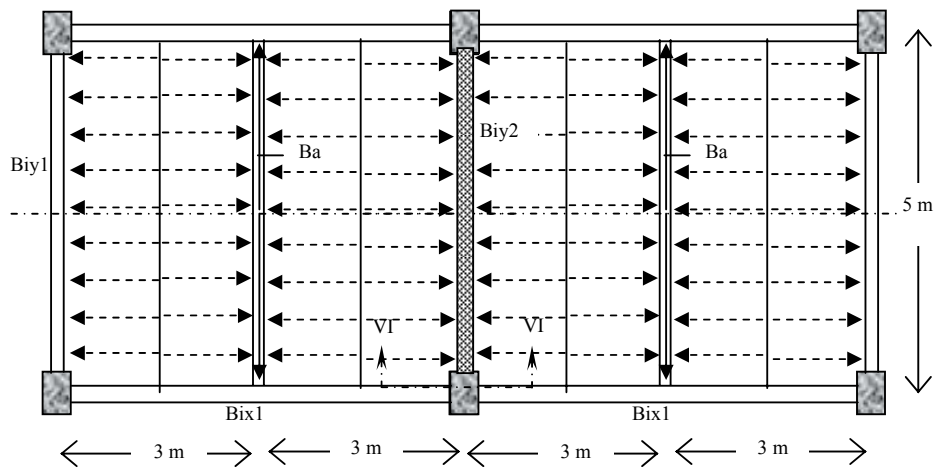
- Tulangan lentur tumpuan (tulangan double)

$$A_{S_{atas}} = 1702 \text{ mm}^2 \text{ (6 D 19)}$$

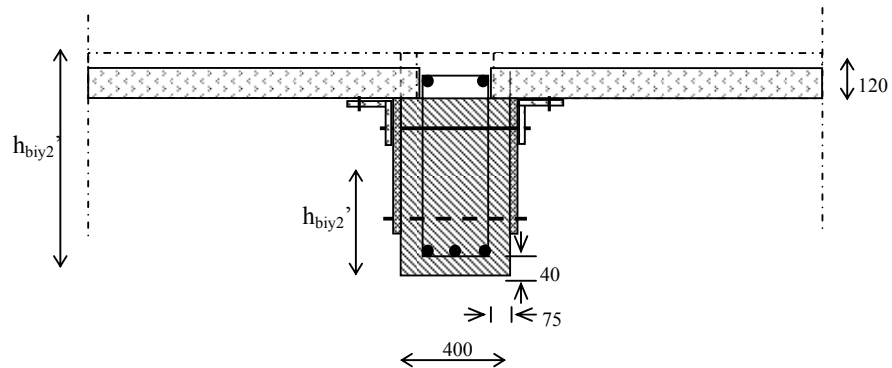
$$A_{S_{bawah}} = 1135 \text{ mm}^2 \text{ (4 D 19)}$$

#### 4.2.1.5. Perhitungan balok induk pracetak Biy2

Saat pemasangan balok induk Biy2, distribusi beban pelat dan balok anak yang bekerja pada balok induk Biy2 adalah sama dengan pada balok Biy1. Hanya pada balok Biy2, karena letaknya di tengah, maka beban pelat yang bekerja pada balok Biy2 menjadi dua kali. Model distribusi beban dapat dilihat pada gambar 4.19. Dimensi balok induk Biy2 diasumsikan sebesar 400/650.



**Gambar 4.19. Distribusi Beban Pelat Pada Balok Induk Biy2**



**Gambar 4.20. Potongan VI-VI**

- Beban yang bekerja pada balok induk Biy2 (faktor beban = 1.2)

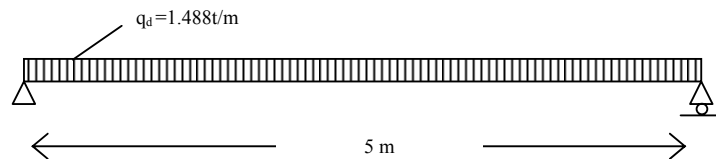
1. Berat sendiri balok pracetak (tebal penuh)

$$q_{ba} = 2.4 * 0.65 * 0.4 = 0.642 \text{ t/m}$$

2. Beban pelat pracetak dan beton tuang di atasnya

$$q_{plat} = 2 * 2.4 * 0.12 * 0.5 * 3 = 0.864 \text{ t/m}$$

$$q_d = 0.642 + 0.864 = 1.488 \text{ t/m}$$



**Gambar 4.21. Pemodelan Beban Balok Induk Biy2 Pracetak**

- Momen maksimal yang terjadi pada balok induk Biy2 pracetak saat pemasangan, dimana bentang  $L = 5 \text{ m}$  :

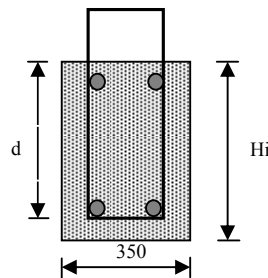
$$M_{max} = \frac{1}{8} q_d \cdot L^2$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \cdot 1.488 \cdot 5^2$$

$$M_{max} = 4.650 \text{ tonm}$$

$$Mu = 46500000 \text{ Nmm}$$

- Penentuan tebal minimum balok induk pracetak Biy2



Asumsi tulangan lentur balok Biy2

$$4D19, A_s = 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = f_c \cdot \frac{1}{2} b \cdot y$$

$$1133,54 \cdot 232 = 13.2 \times \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot y$$

$$y = 99,61 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$ , tebal efektif minimum balok induk pracetak diperoleh jika:

$$M_n = Mu$$

$$46500000 = 262981,28 \left( d - \frac{99,61}{3} \right)$$

$$d = 210,02 \text{ mm}$$

Tebal efektif penampang balok induk pracetak,  $d = 210 \text{ mm}$

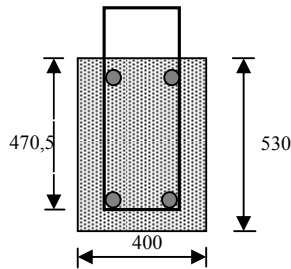
Tebal penampang balok anak pracetak,

$$h_{biy2}' = h_{biy2} - h_{plat} = 650 - 120 = 530 \text{ mm}$$

cek tebal efektif :

$$d = 530 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 470.5 \text{ mm} > d_{min} \dots \dots \text{ok!}$$

- Analisa dan desain penampang balok pracetak Biy2 400/530 saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok Biy2,

$$4D19, A_s = 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$d = 470.5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{y}{3} \right)$$

$$M_n = 262981,28 \left( 470.5 - \frac{99,61}{3} \right)$$

$$M_n = 115000475,87 \text{ Nmm}$$

Syarat :  $M_u < M_n$

$$46500000 < 115000475,87 \text{ Nmm} \dots \dots \text{ok!}$$

Cek Kelendutan

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

$$\delta = \frac{5 \cdot 14,88 \text{ (N/mm)} \cdot 5000^4}{384 \cdot 17075,948 \cdot \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 530^3} = 1,429 \text{ mm}$$

Syarat Kelendutan :

$$\delta \leq \bar{\delta}, \text{ dimana : } \bar{\delta} = \frac{\ell}{480} = \frac{5000}{480} = 10,417 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,429 \text{ mm} < \bar{\delta} \dots \dots \text{ok!!}$$

- Analisa Tegangan Penampang

Dimana nilai tegangan ijin bahan:

$$f_c = 0,56 f'_c = 0,56 \cdot 40 = 13,2 \text{ MPa (asumsi umur beton pracetak 28 hari)}$$

$$f_s = 0,58 f_y = 0,58 \cdot 400 = 232 \text{ MPa}$$

- balok sebelum aksi komposit terjadi :

Beban yang bekerja = berat sendiri  $BI_{pracetak} + BA + topping$

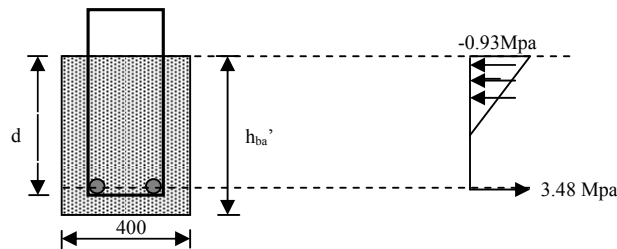
$$Mu = 46500000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \pm \frac{Mu}{I_{pracetak}}$$

$$\sigma_c = -\frac{46500000}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 530^3} = -0.93 \text{ MPa} < f_c \dots \dots \dots \text{ aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{46500000}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 530^3} = 3.48 \text{ MPa} < f_s \dots \dots \dots \text{ aman thd tarik}$$

Diagram tegangan (sebelum aksi komposit terjadi)



- balok setelah aksi komposit terjadi :

Momen Positif pada penampang

$$M1 = 16.81 \text{ tonm} = 168100000 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = 9154166666.67 \text{ mm}^3$$

- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{4700 \sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$b y \cdot \frac{1}{2} y - n A_s (d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} b y^2 + n A_s \cdot y - n A_s d = 0$$

Dimana,  $b = 400$ ,  $A_s = 1133,54 \text{ mm}^2$ ,  $d = 590.5 \text{ mm}$

Sehingga persamaan menjadi :

$$200 y^2 + 13276,452 y - 7839745 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$y = 167.56 \text{ mm} > 120 \text{ mm} \rightarrow$  ada superposisi pada bidang pertemuan balok pracetak dan topping.

- menghitung tegangan pada penampang komposit :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = - \frac{168100000 * 148.37}{9154166666.67} = -2.72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{168100000 * (590.5 - 148.37)}{9154166666.67} = 8.12 \text{ MPa}$$

Tegangan pada titik A

$$\frac{f_{top}}{f_A} = \frac{y}{y - 120}$$

$$f_A = \frac{167,56 - 120}{167,56} * 2.72 = 0,77 \text{ MPa (tekan)}$$

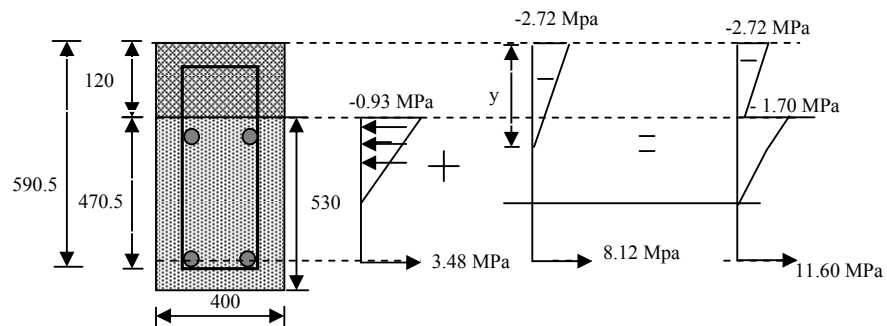
- Resultan tegangan :

$$f_c' = -2.72 \text{ MPa (tekan)} < f_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_A = -0.93 - 0.77 = -1.70 \text{ MPa (tekan)} < f_{ijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_s' = 3.48 + 8.12 = 11.60 \text{ MPa (tarik)} < f_s \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$M_2 = 26.99 \text{ tonm} = 269900000 \text{ Nmm}$$



- Menghitung nilai y

Angka ekivalensi bahan (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{200000}{17075,948} = 11.71$$

Persamaan statis momen penampang

$$by \cdot \frac{1}{2} y - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA_s \cdot y - nA_s d = 0$$

Dimana, b = 400, A<sub>s</sub> = 850,16 mm<sup>2</sup>, d = 590.5 mm

Sehingga persamaan menjadi :

$$200y^2 + 9957,3388y - 5879809 = 0$$

Dengan rumus ABC, didapat nilai y :

$$y = 148,37 \text{ mm.}$$

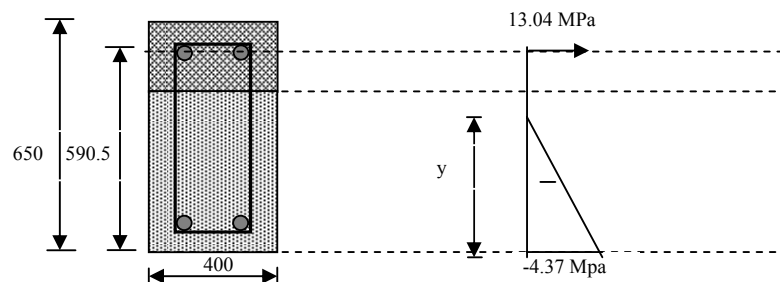
Tegangan pada penampang :

$$\sigma = \pm \frac{Mu * y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c' = -\frac{269900000 * 148.37}{9154166666.67} = -4.37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{269900000 * (590.5 - 148.37)}{9154166666.67} = 13.04 \text{ MPa}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :

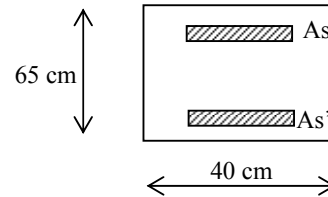


• Perhitungan Tulangan Tumpuan (negatif)

$$f_c \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 400$$

$$f_y \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 4000$$

$b \text{ [cm]} = 40$   
 $h \text{ [cm]} = 65$   
 Selimut beton  $[cv] = 4 \text{ cm}$   
 dia. SK  $[\text{mm}] = 8$



Jika  $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$ , maka  $B1 = 0.85 - 0.0008 * (f'c - 300)$

Sehingga untuk  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ , didapatkan  $B1 = 0.77$

$$\rho_{\max} = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot B1}{f_y} \cdot \frac{4500}{(6000 + f_y)} = 0.0295$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

Tul  $As_{\text{terpasang}} = 6 \text{ D } 19 \text{ ( } 17.02 \text{ cm}^2 \text{ )}$

Jml\_baris Tul  $As_{\text{terpasang}} = 1$

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d = h - cv - \text{dia.SK}/10 - [\text{dia.tul}/10 * \text{jml\_baris} + 2.5 * (\text{jml\_baris} - 1)]/2$$

$$59.25 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

Tul  $As'_{\text{terpasang}} = 4 \text{ D } 19 \text{ ( } 11.35 \text{ cm}^2 \text{ )}$

Jml\_baris Tul  $As'_{\text{terpasang}} = 1$

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan dalam satu baris min. 2.5 cm

$$d' = cv + \text{dia.SK}/10 + [\text{dia.tul}/10 * \text{jml\_baris} + 2.5 * (\text{jml\_baris} - 1)]/2$$

$$5.75 \text{ cm}$$

Ratio  $As'/As = 0.66$

$$\rho = \frac{As_{tps}}{(b * d)} = \frac{17.02}{(40 * 59.25)} = 0.007$$

$$\rho' = \frac{As'_{tps}}{(b * d)} = \frac{11.35}{(40 * 59.25)} = 0.005$$

$\rho > \rho_{\min}$ , berarti penampang mencukupi, sehingga

$$\rho - \rho' = 0.002$$

$$\rho - \rho' < \frac{0.85 \cdot B1 \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{d'}{d} \cdot \frac{6000}{(6000 - f_y)} = 0.019$$

dan  $\rho < \rho_{max}$  maka,

$$F = \frac{\rho \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c} = 0.08235$$

$$K = F \cdot (1 - F / 2) = 0.07896$$

$$Mn = K \cdot b \cdot d^2 \cdot 0.85 \cdot f'c$$

$$Mn = 0.07896 \cdot 40 \cdot 59.25^2 \cdot 0.85 \cdot 400 = 3769931 \text{ kgcm}$$

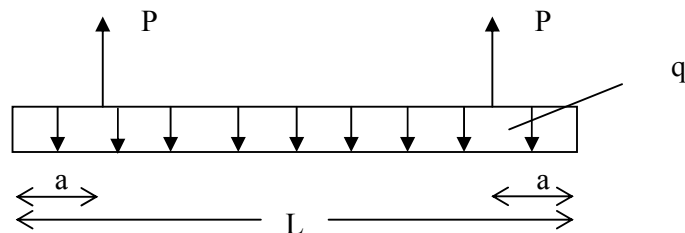
Maka besarnya  $Mu = 0.8 \cdot Mn = 3015944 \text{ kg.cm}$  .-

Mu penampang > Mu hasil analisis struktur (=2699000 kg.cm) ... OK

- Jadi berdasarkan analisa penampang balok induk pracetak Biy2 saat pemasangan, didapat spesifikasi sebagai berikut :
  - Dimensi :- BI pracetak,  $b_{biy1} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{biy1}' = 530 \text{ mm}$ 
    - BI total,  $b_{biy1} = 400 \text{ mm}$ ,  $h_{biy1} = 650 \text{ mm}$
  - Tulangan lentur lapangan minimal 4D19, As terpasang =  $1133,54 \text{ mm}^2$
  - Tulangan lentur tumpuan (tulangan double)
    - $AS_{atas} = 1702 \text{ mm}^2$  (6 D 19)
    - $AS_{bawah} = 1135 \text{ mm}^2$  (4 D 19)

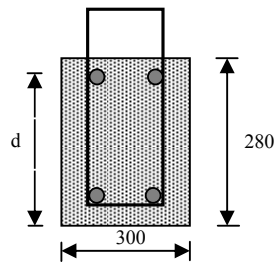
#### 4.2.2. Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan

Balok pracetak diangkat dengan menggunakan *crane* yang diangkat dengan dua titik angkat. Analisa pada kondisi ini beban mati akibat berat sendiri dikalikan faktor beban 1,2.



**Gambar 4.22. Model Struktur Balok Pracetak Saat Pengangkatan**

#### 4.2.2.1. Perhitungan balok anak pracetak Ba dimensi 300/280



Berat balok anak pracetak :

$$q_d = 1.2 \cdot 2.4 \cdot 0.30 \cdot 0.28 = 0.2419 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 2.419 \text{ kN/mm}$$

Asumsi tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif akibat pengangkatan adalah

$$2\Phi 6, A_s = 56.52 \text{ mm}^2$$

$$d = 280 - 40 - 1/2 \cdot 2.6 = 237 \text{ mm}$$

- Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat:

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$56.52 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 300 \cdot a$$

$$a = \frac{15072.188}{7650} = 1.97 \text{ mm}$$

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 15072.188 \left( 237 - \frac{1.97}{2} \right)$$

$$Mn = 3557262.45 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 3.56 \text{ kNm}$$

- Kapasitas momen negatif terfaktor ( $\Phi = 0.8$ )

$$Mu = 0.8 \cdot 3.56 \text{ kNm} = 2.85 \text{ kNm}$$

- Letak titik angkat (x)

$Mu = Mx$ , dimana :  $Mx$  = momen yang terjadi pada titik angkat x

$$Mx = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot x^2$$

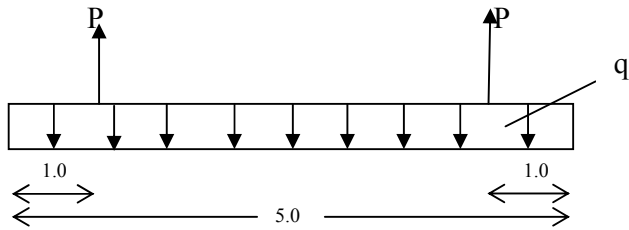
$$2.85 = \frac{1}{2} \cdot 2.419 \cdot x^2$$

$$x^2 = 2.36$$

$$x = 1.54$$

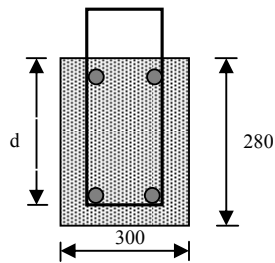
Jadi letak titik angkat balok anak Ba 350/230 dengan bentang  $L = 5$  m:

$0 < x \leq 1.54$ , ditentukan letak titik angkat  $x = 1$  m



**Gambar 4.23. Letak Titik Angkat Balok Anak Pracetak**

- Kapasitas momen positif atau momen lapangan



Asumsi tulangan lentur balok pracetak

minimal 6D19,  $A_s = 1700.31 \text{ mm}^2$

$d = 280 - 40 - 10 - 1/2 \cdot 19 = 220.5 \text{ mm}$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$1700.31 \times 266.67 = 0.85 \times 30 \times 300 \times a$$

$$a = \frac{453421.67}{7650} = 59.275 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 453421.67 \left( 220.5 - \frac{59.27}{2} \right)$$

$$M_n = 99979448.6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 99,98 \text{ kNm}$$

Momen eksternal penampang saat pengangkatan

$$M_2 = \frac{1}{8} q_d (L - 2x)^2 - \frac{1}{2} q_d \cdot x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

Dimana,  $L_{ba} = 5 \text{ m}$ , dan  $x = 1 \text{ m}$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot 0,2419 (5 - 2 \cdot 1)^2 - \frac{1}{2} \cdot 0,2419 \cdot 1^2$$

$$M_2 = 0.2418 - 0.121 = 0.3628 \text{ tm}$$

$$M_2 = 3.628 \text{ kNm}$$

Syarat :  $M_2 \leq \phi Mn$  , dimana  $\phi = 0.8$

$$3.628 < 79.98 \dots \text{ok!}$$

• Berdasarkan analisa balok pracetak Ba saat pengangkatan, didapat spesifikasi balok pracetak Ba sebagai berikut :

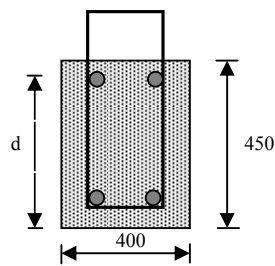
- Dimensi balok: Ba = 300 x 280mm<sup>2</sup>, L = 5.0 m

- Letak titik angkat : x = 1.0 m (dari masing-masing ujung)

- Tulangan : - ekstra untuk pengangkatan 2Φ6, As = 56.52 mm<sup>2</sup>

- tulangan lentur lapangan 6D19, As =1700.31 mm<sup>2</sup>

#### 4.2.2.2. Perhitungan balok induk pracetak Bix1 dimensi 400/450



Berat balok induk pracetak :

$$q_d = 1.2 * 2.4 * 0.4 * 0.45 = 0.5184 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 5.184 \text{ kN/m}$$

Asumsi tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif akibat pengangkatan adalah

$$2\Phi 6. A_s = 56.52 \text{ mm}^2$$

$$d = 450 - 40 - 1/2 * 6 = 407 \text{ mm}$$

• Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat:

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$56.52 * 266.67 = 0.85 * 30 * 400 * a$$

$$a = \frac{15072.188}{10200} = 1.48 \text{ mm}$$

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 15072.188 \left( 407 - \frac{1.48}{2} \right)$$

$$Mn = 6123227.097 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 6.123 \text{ kNm}$$

- Kapasitas momen negatif terfaktor ( $\Phi = 0.8$ )

$$M_u = 0.8 \cdot 6.123 = 4.898 \text{ kNm}$$

- Letak titik angkat (x)

$M_u = M_x$ , dimana :  $M_x$  = momen yang terjadi pada titik angkat x

$$M_x = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot x^2$$

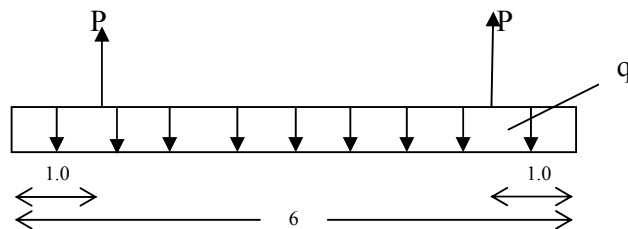
$$4.898 = \frac{1}{2} \cdot 5.148 \cdot x^2$$

$$x^2 = 1.9$$

$$x = 1.38$$

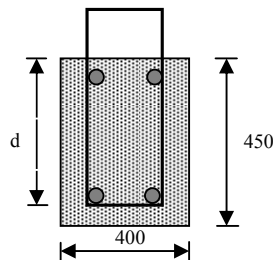
Jadi letak titik angkat balok anak Bix1 400/450 dengan bentang  $L = 6$  m:

$0 < x \leq 1.38$ , ditentukan letak titik angkat  $x = 1$  m



**Gambar 4.24. Letak Titik Angkat Balok Pracetak Bix1**

- Kapasitas momen positif atau momen lapangan (penampang 400/450)



Asumsi tulangan lentur balok pracetak

minimal 5D19,  $A_s = 1416.925 \text{ mm}^2$

$$d = 450 - 40 - 10 - 1/2 \cdot 19 = 390.5 \text{ mm}$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$1416.925 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot a$$

$$a = \frac{377851.39}{10200} = 37.044 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$$Mn = T\left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn = 377851.39\left(390.5 - \frac{37.044}{2}\right)$$

$$Mn = 140552404.3 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 140.552 \text{ kNm}$$

Momen eksternal penampang saat pengangkatan

$$M_2 = \frac{1}{8}q_d(L - 2x)^2 - \frac{1}{2}q_d \cdot x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

Dimana,  $L_{bi} = 6 \text{ m}$ , dan  $x = 1 \text{ m}$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot 5.184(6 - 2 \cdot 1)^2 - \frac{1}{2} \cdot 5.184 \cdot 1^2$$

$$M_2 = 10.368 - 2.592 = 7.776 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 7.776 \text{ kNm}$$

Syarat :  $M_2 \leq \phi Mn$ , dimana  $\phi = 0.8$

$$7.776 \leq 112.44 \text{ kNm} \dots \text{ok!}$$

• Berdasarkan analisa balok pracetak Bix1 saat pengangkatan, didapat spesifikasi balok pracetak Bix1 sebagai berikut :

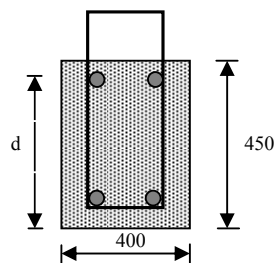
- Dimensi balok:  $Ba = 400 \times 450 \text{ mm}^2$ ,  $L = 6.0 \text{ m}$

- Letak titik angkat :  $x = 1.0 \text{ m}$  (dari masing-masing ujung)

- Tulangan : - ekstra untuk pengangkatan  $2\Phi 6$ ,  $As = 56.52 \text{ mm}^2$

- tulangan lentur lapangan  $5D19$ ,  $As = 1416.925 \text{ mm}^2$

#### 4.2.2.3. Perhitungan balok induk pracetak Bix2 dimensi 400/450



Berat balok induk pracetak :

$$q_d = 1.2 \cdot 2.4 \cdot 0.4 \cdot 0.45 = 0.5184 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 5.184 \text{ kN/m}$$

Asumsi tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif akibat pengangkatan adalah  $2\Phi 6$ .  $As = 56.52 \text{ mm}^2$

$$d = 450 - 40 - 1/2 \cdot 6 = 407 \text{ mm}$$

• Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat:



$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$56.52 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot a$$

$$a = \frac{15072.188}{10200} = 1.48 \text{ mm}$$

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 15072.188 \left( 407 - \frac{1.48}{2} \right)$$

$$Mn = 6123227.097 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 6.123 \text{ kNm}$$

- Kapasitas momen negatif terfaktor ( $\Phi = 0.8$ )

$$Mu = 0.8 \cdot 6.123 = 4.898 \text{ kNm}$$

- Letak titik angkat (x)

$Mu = Mx$ , dimana :  $Mx$  = momen yang terjadi pada titik angkat x

$$Mx = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot x^2$$

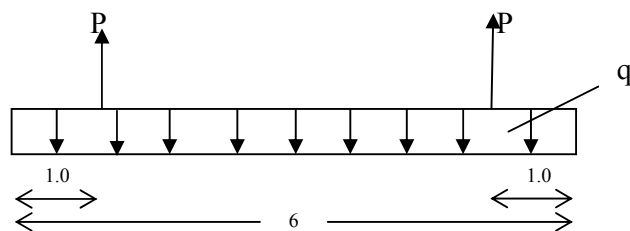
$$4.898 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 148 \cdot x^2$$

$$x^2 = 1.9$$

$$x = 1.38$$

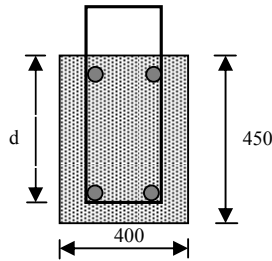
Jadi letak titik angkat balok anak Bix1 400/450 dengan bentang  $L = 6$  m:

$0 < x \leq 1.38$ , ditentukan letak titik angkat  $x = 1$  m



**Gambar 4.25. Letak Titik Angkat Balok Pracetak Bix2**

- Kapasitas momen positif atau momen lapangan (penampang 400/450)



Asumsi tulangan lentur balok pracetak

minimal 8D19,  $A_s = 2267.08 \text{ mm}^2$

$$d = 450 - 40 - 10 - 1/2 \cdot 19 = 390.5 \text{ mm}$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$2267.08 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot a$$

$$a = \frac{604554.667}{10200} = 59.27 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 604554.667 \left( 390.5 - \frac{59.27}{2} \right)$$

$$M_n = 218162600.03 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 218.16 \text{ kNm}$$

Momen eksternal penampang saat pengangkatan

$$M_2 = \frac{1}{8} q_d (L - 2x)^2 - \frac{1}{2} q_d \cdot x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

Dimana,  $L_{bi} = 6 \text{ m}$ , dan  $x = 1 \text{ m}$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot 5.184 (6 - 2 \cdot 1)^2 - \frac{1}{2} \cdot 5.184 \cdot 1^2$$

$$M_2 = 10.368 - 2.592 = 7.776 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 7.776 \text{ kNm}$$

Syarat :  $M_2 \leq \phi M_n$ , dimana  $\phi = 0.8$

$$7.776 \leq 174.53 \text{ kNm} \dots \text{ok!}$$

- Berdasarkan analisa balok pracetak Bix2 saat pengangkatan, didapat spesifikasi balok pracetak Bix1 sebagai berikut :

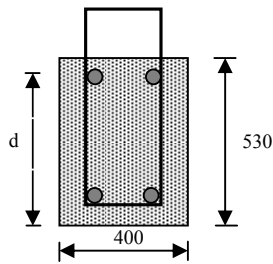
- Dimensi balok:  $B_a = 400 \times 450 \text{ mm}^2$ ,  $L = 6.0 \text{ m}$

- Letak titik angkat :  $x = 1.0 \text{ m}$  (dari masing-masing ujung)

- Tulangan : - ekstra untuk pengangkatan  $2\Phi 6$ ,  $A_s = 56.52 \text{ mm}^2$

- tulangan lentur lapangan 8D19,  $A_s = 1416.925 \text{ mm}^2$

#### 4.2.2.4. Perhitungan balok induk pracetak Biy1 dimensi 400/530



Berat balok induk pracetak :

$$q_d = 1.2 \cdot 2.4 \cdot 0.4 \cdot 0.53 = 0.6106 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 6.106 \text{ kN/m}$$

Asumsi tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif akibat pengangkatan adalah  $2\Phi 6$ .  $A_s = 56.52 \text{ mm}^2$

$$d = 530 - 40 - 1/2 \cdot 6 = 487 \text{ mm}$$

- Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat:

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$56.52 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot a$$

$$a = \frac{15072.188}{10200} = 1.48 \text{ mm}$$

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 15072.188 \left( 487 - \frac{1.48}{2} \right)$$

$$Mn = 7329002.137 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 7.33 \text{ kNm}$$

- Kapasitas momen negatif terfaktor ( $\Phi = 0.8$ )

$$Mu = 0.8 \cdot 7.33 = 5.86 \text{ kNm}$$

- Letak titik angkat (x)

$Mu = Mx$ , dimana :  $Mx$  = momen yang terjadi pada titik angkat x

$$Mx = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot x^2$$

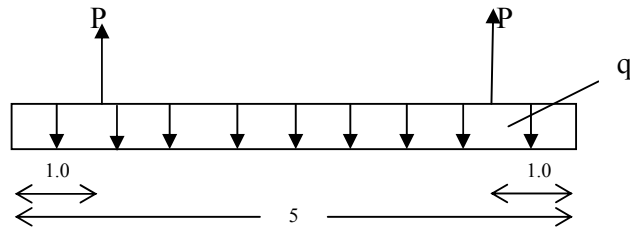
$$5.86 = \frac{1}{2} \cdot 6.106 \cdot x^2$$

$$x^2 = 1.9$$

$$x = 1.38$$

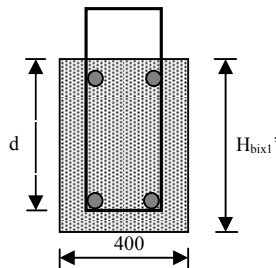
Jadi letak titik angkat balok anak Biy1 400/530 dengan bentang  $L = 6 \text{ m}$ :

$0 < x \leq 1.38$ , ditentukan letak titik angkat  $x = 1 \text{ m}$



**Gambar 4.26. Letak Titik Angkat Balok Pracetak Biy1**

- Kapasitas momen positif atau momen lapangan (penampang 400/530)



Asumsi luasan tulangan lentur balok Biy1,

$$2D19, A_s = 566.77 \text{ mm}^2$$

$$d = 470.5 \text{ mm}$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$566.77 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot a$$

$$a = \frac{151138.67}{10200} = 14.82 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 151138.67 \left( 470.5 - \frac{14.82}{2} \right)$$

$$M_n = 69990992.84 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 69.99 \text{ kNm}$$

Momen eksternal penampang saat pengangkatan

$$M_2 = \frac{1}{8} q_d (L - 2x)^2 - \frac{1}{2} q_d \cdot x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

Dimana,  $L_{bi} = 5 \text{ m}$ , dan  $x = 1 \text{ m}$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot 6.106 (5 - 2 \cdot 1)^2 - \frac{1}{2} \cdot 6.106 \cdot 1^2$$

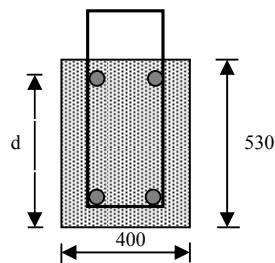
$$M_2 = 6.87 - 3.05 = 9.92 \text{ kNm}$$

Syarat :  $M_2 \leq \phi M_n$ , dimana  $\phi = 0.8$

$$9.92 \leq 55.99 \text{ kNm} \dots \text{Balok Biy1 aman saat pengangkatan.}$$

- Berdasarkan analisa balok pracetak Biy1 saat pengangkatan, didapat spesifikasi balok pracetak Biy1 sebagai berikut :
  - Dimensi balok: Biy1 = 400 x 530 mm<sup>2</sup>, L = 6.0 m
  - Letak titik angkat : x = 1.0 m (dari masing-masing ujung)
  - Tulangan : - ekstra untuk pengangkatan 2Φ6, As = 56.52 mm<sup>2</sup>
    - tulangan lentur lapangan 2D19, As = 566.77 mm<sup>2</sup>

#### 4.2.2.5. Perhitungan balok induk pracetak Biy2 dimensi 400/505



Berat balok induk pracetak :

$$q_d = 1.2 \cdot 2.4 \cdot 0.4 \cdot 0.53 = 0.6106 \text{ ton/m}$$

$$q_d = 6.106 \text{ kN/m}$$

Asumsi tulangan ekstra pada titik pengangkatan untuk menahan momen negatif akibat pengangkatan adalah 2Φ6. As = 56.52 mm<sup>2</sup>

$$d = 530 - 40 - 1/2 \cdot 6 = 487 \text{ mm}$$

- Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat:

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$56.52 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot a$$

$$a = \frac{15072.188}{10200} = 1.48 \text{ mm}$$

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 15072.188 \left( 487 - \frac{1.48}{2} \right)$$

$$Mn = 7329002.137 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 7.33 \text{ kNm}$$

- Kapasitas momen negatif terfaktor ( $\Phi = 0.8$ )

$$Mu = 0.8 \cdot 7.33 = 5.86 \text{ kNm}$$

- Letak titik angkat (x)

Mu = Mx, dimana : Mx = momen yang terjadi pada titik angkat x

$$Mx = \frac{1}{2} \cdot q_d \cdot x^2$$

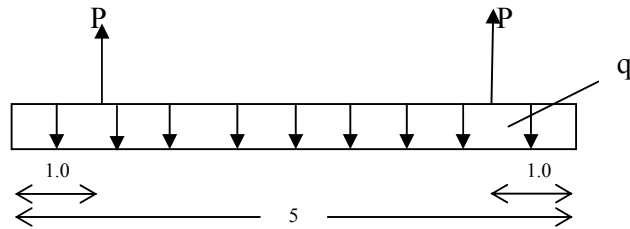
$$5.86 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 106 \cdot x^2$$

$$x^2 = 1.9$$

$$x = 1.38$$

Jadi letak titik angkat balok anak Biy2 400/530 dengan bentang  $L = 6$  m:

$0 < x \leq 1.38$ , ditentukan letak titik angkat  $x = 1$  m



**Gambar 4.26. Letak Titik Angkat Balok Pracetak Biy2**

- Kapasitas momen positif atau momen lapangan (penampang 400/530)

Asumsi luasan tulangan lentur balok Biy2,

$$3D19, A_s = 850.15 \text{ mm}^2$$

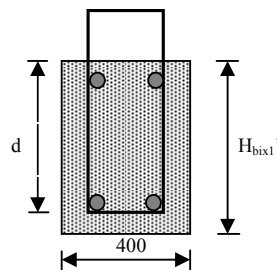
$$d = 470.5 \text{ mm}$$

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_s = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$580.15 \cdot 266.67 = 0.85 \cdot 30 \cdot x \cdot 400 \cdot x$$

$$a = \frac{226708}{10200} = 22.23 \text{ mm}$$



Kapasitas momen penampang ( $M_n$ )

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 226708 \left( 470.5 - \frac{22.23}{2} \right)$$

$$M_n = 104146676.88 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 104.15 \text{ kNm}$$

Momen eksternal penampang saat pengangkatan

$$M_2 = \frac{1}{8} q_d (L - 2x)^2 - \frac{1}{2} q_d \cdot x^2$$

Momen maksimal pada tengah bentang

Dimana,  $L_{bi} = 5$  m, dan  $x = 1$  m

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot 6.106(5 - 2 \cdot 1)^2 - \frac{1}{2} \cdot 6.106 \cdot 1^2$$

$$M_2 = 6.87 - 3.05 = 9.92 \text{ kNm}$$

Syarat :  $M_2 \leq \phi Mn$ , dimana  $\phi = 0.8$

$9.92 \leq 83.32 \text{ kNm}$  ... Balok Biy2 aman saat pengangkatan.

• Berdasarkan analisa balok pracetak Biy2 saat pengangkatan, didapat spesifikasi balok pracetak Biy2 sebagai berikut :

- Dimensi balok: Biy2 = 400 x 550 mm<sup>2</sup>, L = 6.0 m

- Letak titik angkat : x = 1.0 m (dari masing-masing ujung)

- Tulangan : - ekstra untuk pengangkatan 2Φ6, As = 56.52 mm<sup>2</sup>

- tulangan lentur lapangan 3D19, As = 850.15 mm<sup>2</sup>

### 4.3. PERENCANAAN SAMBUNGAN ELEMEN PRACETAK

Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok balok pracetak, dan sambungan balok pracetak dengan kolom.

#### 4.3.1. Pendetailan Sambungan

Sesuai dengan ketentuan SNI 03 – xxxx – 2002 Bab 15.3(8(5)):

- Tulangan pelat yang menerus pada tumpuan balok, harus disambung dengan sambungan lewatan 1,01d.

- Tulangan dalam kondisi tekan (bawah) yang menerus pada tumpuan, disambung diatas tumpuan balok.

- Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang menerus pada tumpuan, disambung pada tengah bentang pelat.

- Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang berhenti pada balok tepi harus memakai kait standar dengan panjang 1dh.

Contoh perhitungan pelat 5000/3000 menerus pada balok dengan diameter tulangan Φ 8.

- menentukan 1d (tulangan dalam kondisi tarik)

$$\ell_d = \frac{12 f_y \alpha \beta \gamma \lambda}{25 \sqrt{f'_c}} \cdot d_b,$$

dimana :

$l_d$  = panjang penyaluran (mm)

$f_y$  = tegangan leleh baja (400 MPa)

$f'_c$  = kuat tekan beton (30 MPa)

$\alpha$  = faktor lokasi penulangan = 1.0

$\beta$  = faktor pelapis = 1.0

$\gamma$  = faktor ukuran batang tulangan = 0.8

$\lambda$  = faktor berat beton = 1.0

$d_b$  = diameter tulangan = 8 mm

$$l_d = \frac{12 \times 400 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.8 \times 1.0 \times 8}{25 \sqrt{30}}$$

$$l_d = \frac{30720}{136.931} = 224.35 \text{ mm}$$

Syarat :  $l_d \geq 300 \text{ mm}$

Jadi panjang penyaluran tulangan tarik untuk sambungan lewatan pelat lantai pracetak adalah  $l_d = 300 \text{ mm}$

- menentukan  $l_{db}$  (tulangan dalam kondisi tekan)

$$l_{db} = \frac{d_b f_y}{4 \sqrt{f'_c}}$$

$$l_{db} = \frac{8 \times 400}{4 \sqrt{30}} = 146.06 \text{ mm}$$

Syarat :  $l_{db} \geq 200 \text{ mm}$

Jadi, panjang penyaluran tulangan tekan (bawah) untuk sambungan lewatan pelat pracetak adalah  $l_{db} = 200 \text{ mm}$ .

- menentukan  $l_{dh}$  (tulangan berkait dalam kondisi tarik)

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

$$l_{dh} = \frac{100 \times 8}{\sqrt{30}} = 146.06 \text{ mm}$$

-  $l_{dh}$  harus dikalikan faktor-faktor sebagai berikut

- selimut beton = 0.7

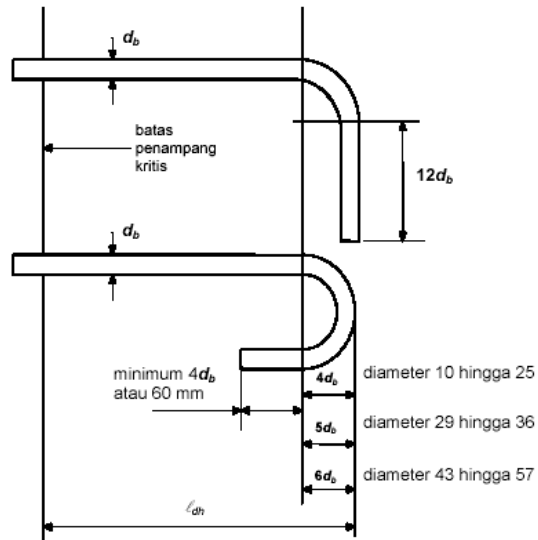


- sengkang atau sengkang ikat = 0.8

$$\ell_{dh} = 146.06 \times 0.7 \times 0.8 = 81.79 \text{ mm}$$

Syarat :  $\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$

Jadi, panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik untuk ujung tidak menerus adalah  $\ell_{dh} = 150 \text{ mm}$

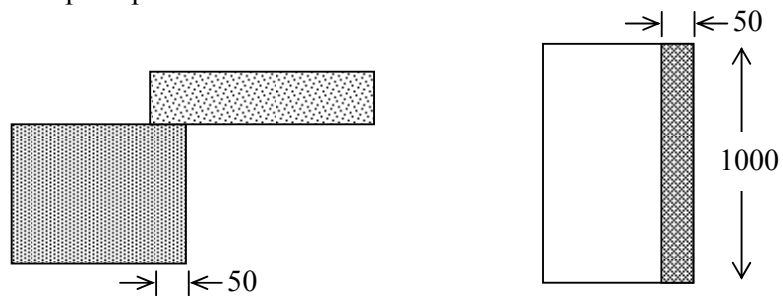


**Gambar 4.17. Penyaluran Tulangan Pada Ujung Tidak Menerus**

#### 4.3.2. Perencanaan Tumpuan

Perencanaan tumpuan didasarkan pada analisa kekuatan tekan beton dalam menahan beban tumpuan dan analisa tegangan material beton dalam menahan tegangan geser yang terjadi pada tumpuan.

a. Tumpuan pelat ke balok anak



- Luasan tumpuan (per meter panjang tumpuan pada balok)

$$A_1 = 1000 * 50 = 50000 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan nominal tumpuan (per meter panjang)

$$B_n = 0.85 * f_c * A_1$$

$$B_n = 0.85 * 13.2 * 50000 = 561000 \text{ N}$$

- Beban tumpuan terfaktor (per meter panjang)

$$V_u = 2.4 * 0.12 * 0.5 * 3$$

$$V_u = 0.432 \text{ ton} / \text{m}$$

$$V_u = 0.432 * 1 = 0.432 \text{ ton}$$

$$B_u = V_u = 0.432 \text{ ton}$$

$$B_u = 4320 \text{ N} < B_n \dots \dots \dots \text{ok}$$

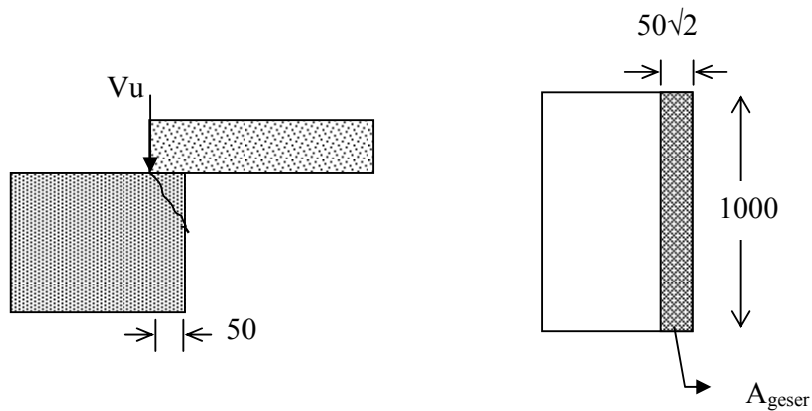
- Cek Tegangan tumpu

$$\text{Syarat : } \sigma_c < 0.3 f_c = 0.3 * 13.2 = 3.96 \text{ MPa}$$

Tegangan tumpu :

$$\sigma = \frac{B_u}{A_1} = \frac{4320}{50000} = 0.086 < \sigma_c \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Cek Tegangan geser pada tumpuan



Tegangan geser ijin pons beton tanpa tulangan :

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{f'_c}$$

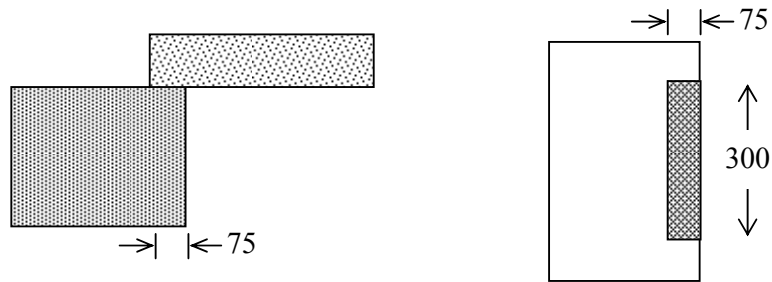
$$\tau_p = 0.65 \sqrt{40} = 4.11 \text{ MPa}$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$v = \frac{Vu}{A_{geser}}$$

$$v = \frac{4320}{1000 * 50\sqrt{2}} = 0.06MPa < \tau_p \dots \dots \dots ok$$

b. Tumpuan balok anak ke balok induk arah x



- Luasan tumpuan

$$A1 = 300 * 75 = 22500 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan nominal tumpuan

$$.Bn = 0.85 * f_c * A1$$

$$.Bn = 0.85 * 13.2 * 22500 = 252450N$$

- Beban tumpuan

$$Vu = (2.4 * 0.3 * 0.4 * 0.5 * 5) + (2 * 2.4 * 0.12 * 0.5 * 3 * 0.5 * 5)$$

$$Vu = 0.72 + 2.16 = 2.88ton$$

$$Bu = 28800N < 252450N \dots \dots \dots ok$$

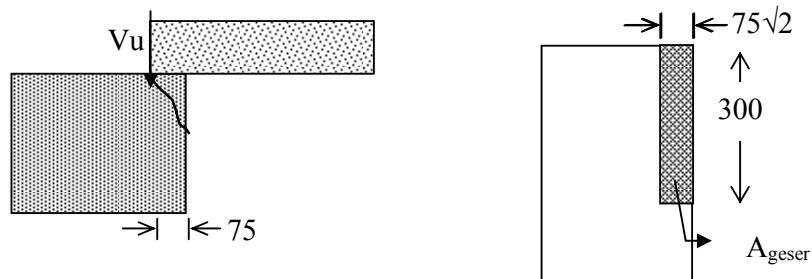
- Cek Tegangan tumpu

$$\text{Syarat : } \sigma_c < 0.3 f_c = 0.3 * 13.2 = 3.96MPa$$

Tegangan tumpu :

$$\sigma = \frac{Bu}{A_1} = \frac{28800}{22500} = 1.28 < \sigma_c \dots \dots \dots ok$$

- Cek Tegangan geser pada tumpuan



Tegangan geser ijin beton tanpa tulangan :

$$\tau_p = 0.65\sqrt{f'c}$$

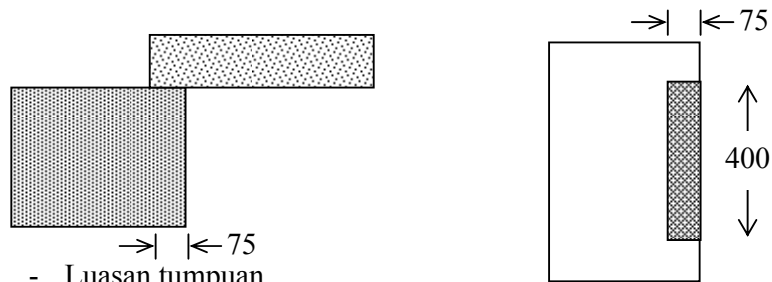
$$\tau_p = 0.65\sqrt{40} = 4.11MPa$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$v = \frac{Vu}{A_{geser}}$$

$$v = \frac{28800}{300 * 75\sqrt{2}} = 0,905MPa < \tau_p \dots\dots\dots.ok$$

c. Tumpuan balok induk x ke kolom



- Luasan tumpuan

$$A_1 = 400 * 75 = 30000 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan nominal tumpuan

$$.Bn = 0.85 * f_c * A_1$$

$$.Bn = 0.85 * 13.2 * 30000 = 336600N$$

- Beban tumpuan

$$Vu = (2.4 * 0.4 * 0.65 * 0.5 * 6) + 2Vu_{balok \text{ anak}}$$

$$Vu = 0.936 + 2 * 2.88 = 6.696ton$$

$$Bu = 66960N < 336600N \dots\dots\dots.ok$$

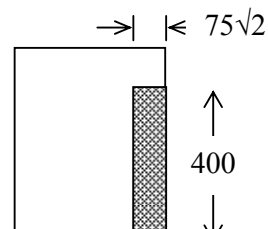
- Cek Tegangan tumpu

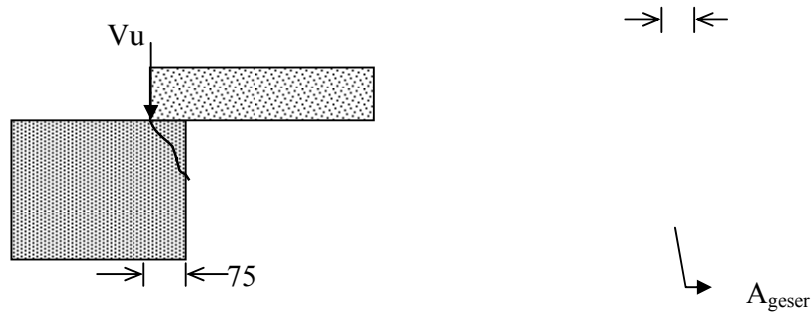
$$\text{Syarat : } \sigma_c < 0.3f_c = 0.3 * 13.2 = 3.96MPa$$

Tegangan tumpu :

$$\sigma = \frac{Bu}{A_1} = \frac{66960}{30000} = 2.232 < \sigma_c \dots\dots\dots.ok$$

- Cek Tegangan geser pada tumpuan





Tegangan geser ijin beton tanpa tulangan :

$$\tau_p = 0.65\sqrt{f'c}$$

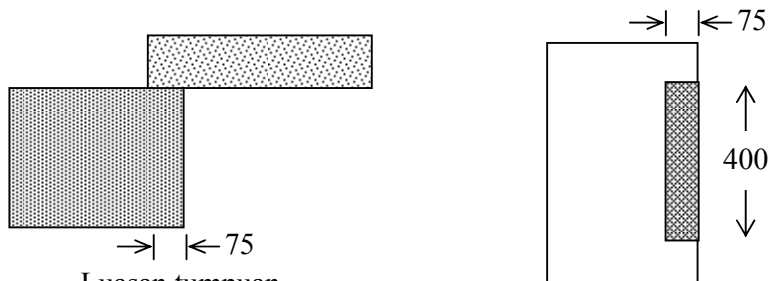
$$\tau_p = 0.65\sqrt{40} = 4.11MPa$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$v = \frac{Vu}{A_{geser}}$$

$$v = \frac{66960}{400 * 75\sqrt{2}} = 1,58MPa < \tau_p \dots\dots\dots ok$$

d. Tumpuan balok induk y ke kolom



- Luasan tumpuan

$$A1 = 400 * 75 = 30000 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan nominal tumpuan

$$.Bn = 0.85 * f'c * A1$$

$$.Bn = 0.85 * 13.2 * 30000 = 336600N$$

- Beban tumpuan terfaktor

$$Vu = (2.4 * 0.4 * 0.65 * 0.5 * 6) + 2Vu_{pelat}$$

$$Vu = 0.936 + 2 * 1.08 = 3.096ton$$

$$Bu = 30960N < 336600N \dots\dots\dots ok$$

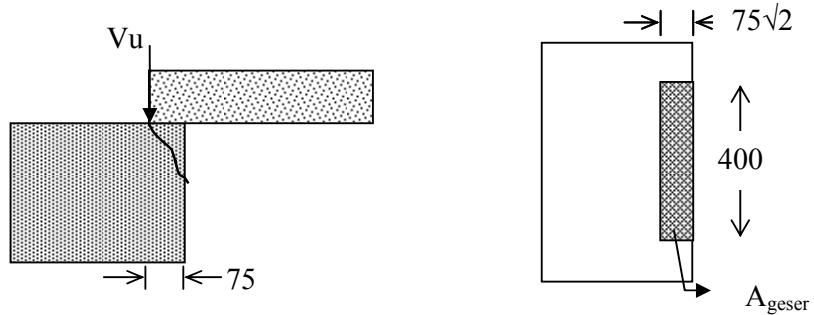
- Cek Tegangan tumpu

Syarat :  $\sigma_c < 0.3 f_c = 0.3 * 13.2 = 3.96 MPa$

Tegangan tumpu :

$$\sigma = \frac{Vu}{A_1} = \frac{30960}{30000} = 1.032 < \sigma_c \dots \dots \dots ok$$

- Cek Tegangan geser pada tumpuan



Tegangan geser ijin beton tanpa tulangan :

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{f'c}$$

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{40} = 4.11 MPa$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$v = \frac{Vu}{A_{geser}}$$

$$v = \frac{30960}{400 * 75 \sqrt{2}} = 0.73 MPa < \tau_p \dots \dots \dots ok$$