

BAB IV

PERENCANAAN PELAT BETON PRATEGANG

4.1 Gambaran Umum

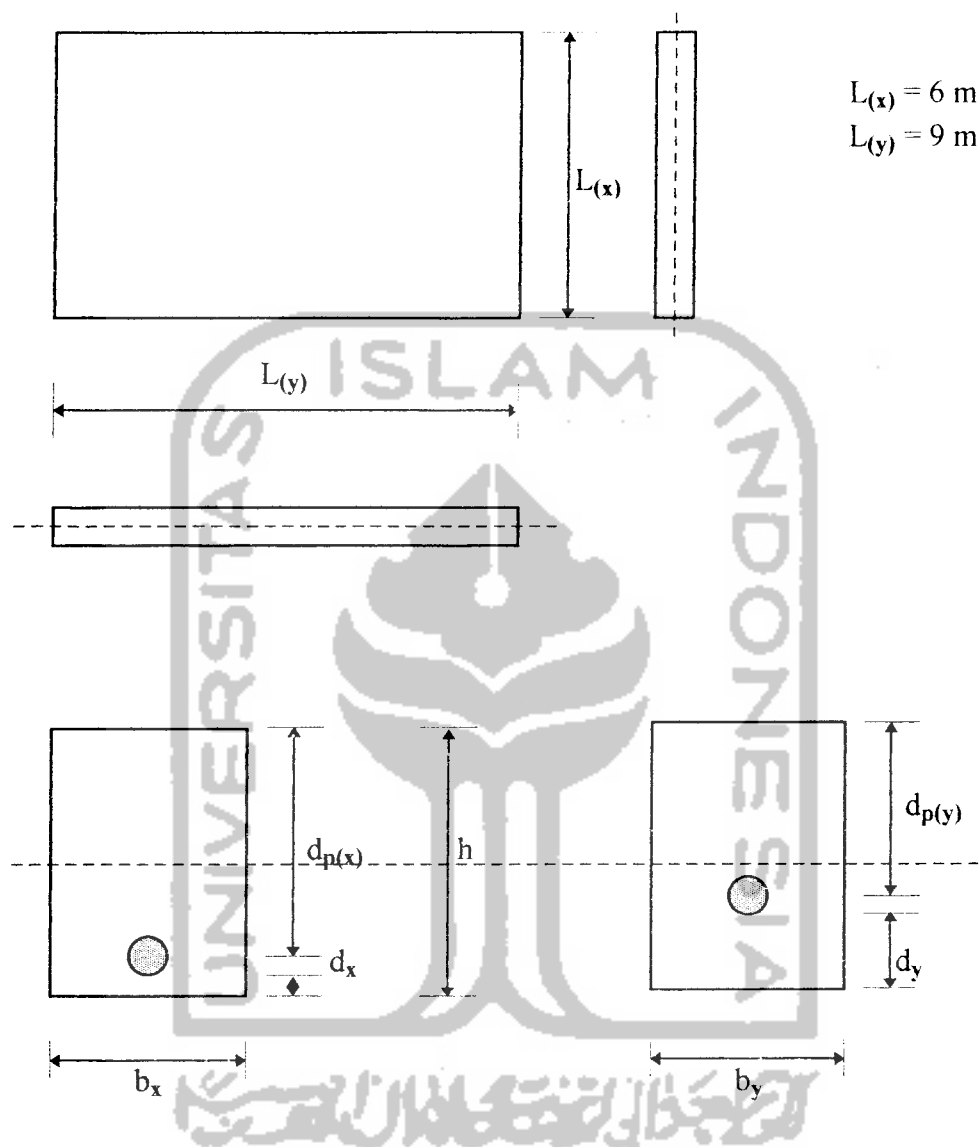
Untuk membuktikan dan memperjelas uraian yang telah diungkapkan pada bab-bab sebelumnya, pada bagian ini akan diberikan suatu aplikasi perencanaan pelat beton prategang dua arah khususnya pada panel tunggal dengan menggunakan metode perimbangan beban. Pembahasan yang akan dilakukan meliputi perhitungan kapasitas penampang pelat terhadap perilaku-perilaku struktur, yaitu defleksi, geser dan retak lentur.

Kondisi tumpuan diasumsikan bahwa pelat menumpu secara bebas pada dinding atau balok pada keempat sisinya. Kondisi struktur tumpuan tidak termasuk dalam analisis dan perencanaan. Tidak diperhitungkan adanya kekangan pada tumpuan terhadap pelat.

Panjang bentang pelat yang dianalisis untuk arah - x direncanakan bervariasi yaitu 5 m, 6 m, dan 7 m. Sedangkan untuk panjang bentang arah - y juga direncanakan bervariasi dengan pembatasan bahwa perbandingan panjang bentang arah - y terhadap arah - x lebih besar dari satu dan lebih kecil dari

$$\text{dua, } \left(1 < \frac{L_y}{L_x} < 2 \right).$$

4.2 Perencanaan Pelat Beton Prategang



Diketahui :

- Suatu struktur pelat beton prategang panel tunggal dua arah dihitung dengan metode perimbangan beban yang ditumpu secara bebas pada keempat sisinya. Sistem prategang pasca-tarik dengan tendon tidak terekat.

- Material yang digunakan :

- Beton :

$$f'_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$f'_{ci} = 0.75 \cdot f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{c(y)} = 1,379 \text{ Mpa (diasumsikan)}$$

$$BJ\text{-beton} = 24 \text{ kN/m}^3$$

- Baja :

tendon prategang yang digunakan adalah 7 kawat strand dengan ϕ

12,7 mm dengan $f_{pu} = 270 \text{ ksi}$

- Pembebanan :

$$W_D = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$W_L = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

- Kehilangan gaya prategang 20 %.

- Penyelesaian :

diambil :

$$d_x = 20 \text{ mm dan } d_y = 58 \text{ mm}$$

- Tebal pelat : dicari dengan pendekatan rumus (3.1)

$$h = \left(\frac{L_x + L_y}{2} \right) \cdot \frac{1}{45} = \left(\frac{6000 + 9000}{2} \right) \cdot \frac{1}{45} = 166,67 \text{ mm} \approx 170 \text{ mm} = 0,17 \text{ m}$$

- Jarak serat terluar penampang dengan titik berat tendon (tinggi efektif) :

$$d_{p(x)} = h - d_x - 0,5 \cdot \phi = 170 - 20 - (0,5 \cdot 12,7) = 143,65 \text{ mm}$$

$$d_{p(y)} = h - d_y - 0,5 \cdot \phi = 170 - 58 - (0,5 \cdot 12,7) = 105,65 \text{ mm}$$

- Eksentrisitas :

$$e_x = \frac{h}{2} - d_x - 0,5 \cdot \phi = \frac{170}{2} - 20 - 0,5 \cdot 12,7 = 58,65 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{h}{2} - d_y - 0,5 \cdot \phi = \frac{170}{2} - 58 - 0,5 \cdot 12,7 = 20,65 \text{ mm}$$

- Pelat ditinjau tiap 1 meter panjang (m').

- Beban mati berat sendiri (W_o) = $0,17 \cdot 1 \cdot 24 = 4,08 \text{ kN/m'}$
- Beban mati total (W_{D-tot}) = $0,8 + 4,08 = 4,88 \text{ kN/m'}$

- Tegangan-tegangan :

- Tegangan ijin beton :

- saat transfer :

$$\text{serat tekan} : 0,60 \cdot f_{ci} = 0,60 \cdot 30 = 18 \text{ Mpa}$$

$$\text{serat tarik} : 0,25 \cdot \sqrt{f_{ci}} = 0,25 \cdot \sqrt{30} = 1,3693 \text{ Mpa}$$

- saat layan/beban kerja :

$$\text{serat tekan} : 0,45 \cdot f_c = 0,45 \cdot 40 = 18 \text{ Mpa}$$

$$\text{serat tarik} : 0,50 \cdot \sqrt{f_c} = 0,50 \cdot \sqrt{40} = 3,1623 \text{ Mpa}$$

- Tegangan ijin baja :

$$f_{pu} = 270 \text{ ksi} = 1861,65 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu} = 0,85 \cdot 1861,65 = 1582,4025 \text{ Mpa}$$

- sesaat setelah transfer :

$$f_{ps} = 0,82 \cdot f_{py} = 0,82 \cdot 1582,4025 = 1297,5701 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps} = 0,74 \cdot f_{pu} = 0,74 \cdot 1861,65 = 1377,6210 \text{ Mpa}$$

dipakai $f_{ps} = 1297,5701$ Mpa

- Gaya prategang efektif arah - y

$$P_{e(y)} = 1379 \cdot 1 \cdot 0,17 = 234,43 \text{ kN}$$

kehilangan prategang 20 %, atau $R = 0,80$ sehingga :

- Gaya prategang awal arah - y

$$P_{o(y)} = \frac{234,43}{1 - 0,20} = 293,0375 \text{ kN}$$

- Bebanimbang arah -y

$$W_{(bal)y} = \frac{8 \cdot P_{e(y)} \cdot e_y}{L_y^2} = \frac{8 \cdot 234,43 \cdot 0,02065}{9^2} = 0,4781 \text{ kN/m}^2$$

- Bebanimbang arah -x

$$\begin{aligned} W_{(bal)x} &= W_{D-tot} - W_{(bal)y} \\ &= 4,88 - 0,4781 = 4,4019 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Gaya prategang efektif arah-x

$$P_{e(x)} = \frac{W_{(bal)x} \cdot L_x^2}{8 \cdot e_x} = \frac{4,4019 \cdot 6^2}{8 \cdot 0,05865} = 337,7417 \text{ kN}$$

- Gaya prategang awal arah-x

$$P_{o(x)} = \frac{337,7417}{1 - 0,20} = 422,1771 \text{ kN}$$

- Dari tabel yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy, didapat gaya prategang awal untuk 1 tendon setelah kawat diangkur, untuk jenis tendon 7 strand $\varnothing \frac{1}{2}$ " (12,7 mm) dengan $f_{pu} = 270$ ksi adalah sebesar $P_t = 28,9$ kips = 128,5472 kN.

- Menghitung jarak tendon arah - x :

$$s_x = \frac{P_t}{P_{\alpha(x)}} = \frac{128,5472}{422,1771} = 0,3045 \text{ m}$$

- Jumlah tendon arah - x setiap 1 (m') adalah :

$$n = \frac{1000}{304,5} = 3,2841 \approx 4 \text{ buah}$$

- Menghitung jarak tendon arah - y :

$$s_y = \frac{P_t}{P_{\alpha(y)}} = \frac{128,5472}{293,0375} = 0,4387 \text{ m}$$

- Jumlah tendon arah - y setiap 1 (m') adalah :

$$n = \frac{1000}{438,7} = 2,2795 \approx 3 \text{ buah}$$

- Untuk memperkuat penampang pelat beton dari pengaruh retak yang diakibatkan oleh gaya prategang khususnya pada daerah angkur, ditambahkan tulangan non-prategang.
- Menghitung momen :

Untuk mencari koefisien momen pada keadaan beban mati total dan beban hidup bekerja, dapat dilihat dari grafik yang dikeluarkan oleh Edward G.

Nawy (1996). Untuk $\frac{L_y}{L_x} = \frac{9}{6} = 1,50$ didapat koefisien momen pada

masing-masing arah sebagai berikut :

- $\alpha_x = 0,105$
- $\alpha_y = 0,020$

- sehingga momen akibat beban mati total adalah :

$$M_{D(x)} = 0,105 \cdot (4,88) \cdot 6^2 = 18,4464 \text{ kN-m}$$

$$M_{D(y)} = 0,020 \cdot (4,88) \cdot 9^2 = 7,9056 \text{ kN-m}$$

- momen akibat beban hidup :
- Beban hidup (W_L) = 2,50 kN/m²

$$M_{L(x)} = 0,105 \cdot 2,5 \cdot 6^2 = 9,450 \text{ kN-m}$$

$$M_{L(y)} = 0,020 \cdot 2,5 \cdot 9^2 = 4,050 \text{ kN-m}$$

- momen Inersia penampang :

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 170^3 = 4,0942 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$c = \frac{h}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

- Tegangan-tegangan yang terjadi pada saat layan (beban hidup bekerja) :

- arah - x

$$\begin{aligned} f_{t(x)} &= - \frac{P_e(x)}{b \cdot h} - \frac{M_{L(x)} \cdot c_x}{I_c} \\ &= - \frac{337,7417 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{9,450 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\ &= - 1,9867 - 1,9619 = - 3,9486 \text{ Mpa} < - 18 \text{ Mpa (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{b(x)} &= - \frac{P_e(x)}{b \cdot h} + \frac{M_{L(x)} \cdot c_x}{I_c} \\ &= - \frac{337,7417 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{9,450 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\ &= - 1,9867 + 1,9619 = - 0,0248 \text{ Mpa} < 3,1623 \text{ Mpa (OK)} \end{aligned}$$

- arah - y

$$\begin{aligned}
 f_{t(y)} &= -\frac{P_{e(y)}}{b \cdot h} - \frac{M_{L(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{234,43 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{4,050 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,379 - 0,8408 = -2,2198 \text{ Mpa} < -18 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{b(y)} &= -\frac{P_{e(y)}}{b \cdot h} + \frac{M_{L(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{234,43 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{4,050 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,379 + 0,8408 = -0,5382 \text{ Mpa} < 3,1623 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

- Tegangan-tegangan yang terjadi pada saat transfer (beban mati total bekerja):

- arah - x

$$\begin{aligned}
 f_{t(x)} &= -\frac{P_{o(x)}}{b \cdot h} + \frac{M_{D(x)} \cdot c_x}{I_c} \\
 &= -\frac{422,1771 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{18,4464 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -2,4834 + 3,8297 = 1,3463 \text{ Mpa} < 1,3693 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{b(x)} &= -\frac{P_{o(x)}}{b \cdot h} - \frac{M_{D(x)} \cdot c_x}{I_c} \\
 &= -\frac{422,1771 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{18,4464 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -2,4834 - 3,8297 = -6,3131 \text{ Mpa} < -18 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

- arah - y

$$\begin{aligned}
 f_{t(y)} &= -\frac{P_{o(y)}}{b \cdot h} + \frac{M_{D(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{293,0375 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{7,9056 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,7238 + 1,6413 = -0,0825 \text{ Mpa} < 1,3693 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{b(y)} &= -\frac{P_{o(y)}}{b \cdot h} - \frac{M_{D(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{293,0375 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{7,9056 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,7238 - 1,6413 = -3,3651 \text{ Mpa} < -18 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

• Kontrol defleksi pada saat layan :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c} = 4700 \cdot \sqrt{40} = 29725,41 \text{ Mpa}$$

- arah - x

$$\Delta_x = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{L(x)} \cdot L_x^2}{E_c \cdot I_c} = \frac{5}{48} \cdot \frac{9,450 \cdot 10^6 \cdot (6000)^2}{29725,41 \cdot 4,0942 \cdot 10^8} = 2,9118 \text{ mm}$$

- arah - y

$$\Delta_y = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{L(y)} \cdot L_y^2}{E_c \cdot I_c} = \frac{5}{48} \cdot \frac{4,050 \cdot 10^6 \cdot (9000)^2}{29725,41 \cdot 4,0942 \cdot 10^8} = 2,8078 \text{ mm}$$

- defleksi rata-rata :

$$\Delta_{rt} = \frac{2,9118 + 2,8078}{2} = 2,8598 \text{ mm}$$

- Batas defleksi yang yang diijinkan :

$$\Delta = \frac{L_x}{360} = \frac{6000}{360} = 16,6667 \text{ mm} \gg 2,8598 \text{ mm (OK !!)}$$

1. Kapasitas Lentur

- arah - x

- Beban ultimit :

$$W_u = (1,4 \cdot 4,88) + (1,7 \cdot 2,5) = 11,082 \text{ kN/m'}$$

- Menghitung momen :

Untuk mencari koefisien momen pada keadaan batas (ultimit), dapat dilihat dari grafik yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy (1996). Untuk

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{9}{6} = 1,50 \text{ didapat koefisien momen pada masing-masing arah}$$

sebagai berikut :

- $\alpha_x = 0,105$

- $\alpha_y = 0,020$

- Momen batas (ultimit) yang terjadi adalah :

- $M_{u(x)} = 0,105 \cdot (11,082) \cdot 6^2 = 41,8900 \text{ kN-m}$

- Momen nominal yang terjadi adalah :

- $M_{n(x)} = \frac{41,8900}{0,9} = 46,5444 \text{ kN-m}$

- $A_{ps} = 98,7095 \text{ mm}^2$ dengan jarak $s_x = 0,3045 \text{ m}$

$$f_{pe} = \frac{P_t \cdot R}{A_{ps}} = \frac{128,5472 \cdot 0,8}{98,7095} = 1041,8223 \text{ Mpa}$$

$$- A_{ps(x)} = \frac{A_{ps}}{s_x} = \frac{98,7095}{0,3045} = 324,1691 \text{ mm}^2/\text{m}$$

- rasio tulangan prategang :

$$\rho_{p(x)} = \frac{A_{ps(x)}}{b_x \cdot d_{p(x)}} = \frac{324,1691}{1000 \cdot 143,65} = 0,0022567$$

- tegangan baja prategang :

$$f_{ps(x)} = f_{pe} + 70 + \frac{f_c}{300 \cdot \rho_{p(x)}} \leq f_{py} = 1582,4025 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps(x)} = 1041,8223 + 70 + \frac{40}{300 \cdot 0,0022567} = 1170,9056 < 1582,4025 \text{ Mpa}$$

(OK)

- tinggi blok tegangan tekan :

$$a_x = \frac{A_{ps(x)} \cdot f_{ps(x)}}{0,85 \cdot f_c \cdot b_x} = \frac{324,1691 \cdot 1170,9056}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 11,1639 \text{ mm}$$

- kuat momen nominal rencana :

$$M_{n(x)}' = A_{ps(x)} \cdot f_{ps(x)} \cdot \left(d_{p(x)} - \frac{a_x}{2} \right) \geq M_{n(x)}$$

$$M_{n(x)}' = 324,1691 \cdot 1170,9056 \cdot \left(143,65 - \frac{11,1639}{2} \right) = 52,4067 \text{ kN-m} >$$

$$46,5444 \text{ kN-m}$$

(OK)

- kuat momen batas (ultimit) rencana :

$$M_{u(x)}' = 0,9 \cdot M_{n(x)}' = 0,9 \cdot 52,4067 = 47,1660 \text{ kN-m}$$

- arah - y

- momen batas (ultimit) yang terjadi :

$$M_{u(y)} = 0,020 \cdot (11,082) \cdot 9^2 = 17,9528 \text{ kN-m}$$

- momen nominal yang terjadi :

$$M_{n(y)} = \frac{17,9528}{0,9} = 19,9476 \text{ kN-m}$$

- $A_{ps} = 98,7095 \text{ mm}^2$ dengan jarak $s_y = 0,4387 \text{ m}$

$$A_{ps(y)} = \frac{A_{ps}}{s_y} = \frac{98,7095}{0,4387} = 225,0046 \text{ mm}^2/\text{m}$$

- rasio tulangan prategang :

$$\rho_{p(y)} = \frac{A_{ps(y)}}{b_y \cdot d_{p(y)}} = \frac{225,0046}{1000 \cdot 105,65} = 0,0021297$$

- tegangan baja prategang :

$$f_{ps(y)} = f_{pe} + 70 + \frac{f_c}{300 \cdot \rho_{p(y)}} \leq f_{py} = 1582,4025 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps(y)} = 1041,8223 + 70 + \frac{40}{300 \cdot 0,0021297} = 1174,4289 < 1582,4025 \text{ Mpa}$$

(OK)

- tinggi blok tegangan tekan :

$$a_y = \frac{A_{ps(y)} \cdot f_{ps(y)}}{0,85 \cdot f_c \cdot b_y} = \frac{225,0046 \cdot 1174,4289}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,7721 \text{ mm}$$

- kuat momen nominal rencana :

$$M_{n(y)}' = A_{ps(y)} \cdot f_{ps(y)} \cdot \left(d_{p(y)} - \frac{a_y}{2} \right) \geq M_{n(y)}$$

$$M_{n(y)'} = 225,0046 \cdot 1174,4289 \cdot \left(105,65 - \frac{7,7721}{2}\right) = 26,8913 \text{ kN-m} >$$

$$46,5444 \text{ kN-m}$$

(OK)

- kuat momen batas (ultimit) rencana :

$$M_{u(y)'} = 0,9 \cdot M_{n(y)'} = 0,9 \cdot 26,8913 = 24,2022 \text{ kN-m}$$

2. Kapasitas Geser

- arah-x

$$V_{u(x)} = \frac{1}{3} \cdot W_u \cdot L_x = \frac{1}{3} \cdot 11,082 \cdot 6 = 22,1640 \text{ kN}$$

- Gaya geser maksimum yang diijinkan :

$$V_{c(x)} = 0,4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_{p(x)}$$

$$V_{c(x)} = 0,4 \cdot \sqrt{40} \cdot 1000 \cdot 143,65 = 363,4080 \text{ kN}$$

$$V_{u(x)'} = \phi \cdot V_{c(x)} = 0,85 \cdot 363,4080 = 308,8968 \text{ kN}$$

- arah-y

$$V_{u(y)} = \left(\frac{k \cdot W_u \cdot L_x}{2 \cdot k + 1} \right) = \left(\frac{1,5 \cdot 11,082 \cdot 6}{2 \cdot 1,5 + 1} \right) = 24,9345 \text{ kN}$$

- Gaya geser maksimum yang diijinkan :

$$V_{c(y)} = 0,4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_{p(y)}$$

$$V_{c(y)} = 0,4 \cdot \sqrt{40} \cdot 1000 \cdot 105,65 = 267,2757 \text{ kN}$$

$$V_{u(y)'} = \phi \cdot V_{c(y)} = 0,85 \cdot 267,2757 = 227,1844 \text{ kN}$$

3. Kapasitas Retak Lentur

Momen retak lentur terjadi akibat adanya tegangan tarik pada penampang pelat beton prategang yang melebihi dari tegangan-tegangan tarik beton yang diijinkan.

Momen retak lentur yang terjadi pada pelat ukuran 6x9 m, “aman” terhadap tegangan tarik yang diijinkan dan modulus retak beton, yaitu sebesar

$$f_r = 0.62\sqrt{f'_c} = 0.62 \cdot \sqrt{40} = 3,9212 \text{ Mpa.}$$

Karena momen retak lentur yang terjadi sama dengan momen akibat beban mati total yang bekerja pada struktur, maka besarnya kapasitas momen batas (ultimit) rencana pada penampang pelat beton jauh lebih besar daripada momen retak lentur yang terjadi. Sehingga struktur dinyatakan aman terhadap pengaruh retak lentur.