

VI. PROSEDUR PERENCANAAN

1. BEBAN TARIK.

Contoh persoalan :

Beban tarik sebesar 20.000 N bekerja pada elemen struktur ferrocement. Dimana : $\sigma_{mu} = 10 \text{ kg/cm}^2$, $E_m = 2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $T_u = 25 \text{ kg/cm}^2$

Rencanakan penampang elemen struktur ferrocement tersebut.

1. 1. Pada daerah elastis

Langkah-langkah yang diperlukan :

1. Ditentukan besar angka keamanan dan hitung beban rencana.
2. Misalkan besar tegangan retak awal dan hitung luas penampang komposit.
3. Tentukan ukuran penampang.
4. Pilih tipe jaring tulangan, diameter dan spasinya.
Hitung berapa lapis jaring tulangan yang dibutuhkan memakai rumus spesific surface area dan persamaan (5. 14) atau secara teoritis dengan persamaan (5.12)
5. Periksa apakah tebal ferrocement telah memenuhi syarat.
6. Hitung volume fraction dari jaring tulangan dalam arah beban. Periksa apakah volume fraction tersebut $> v_f \text{ min} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{fu}}$
7. Periksa tegangan retak awal memakai rumus (5. 12).

a. Dengan memakai kawat ayam

Dipilih kawat ayam dengan diameter = 0,0635 cm (BWG 23)

$$S_f = 1/2" = 1,27 \text{ cm dan } \sigma_{fy} = 3.100 \text{ kg/cm}^2$$

Penyelesaian :

1. Angka keamanan = 1,25 , maka beban rencana :

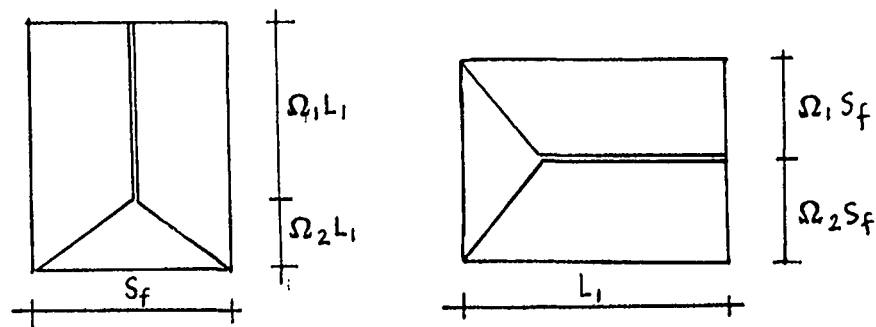
$$P_r = 20.000 \times 1,25 = 25.000 \text{ N}$$

2. Tegangan retak awal diasumsikan : $\sigma_{cr} = 30 \text{ kg/cm}^2$

$$A_c = \frac{25.000 \text{ N}}{30 \text{ kg/cm}^2} = 83,3 \text{ cm}^2$$

3. Dipakai ukuran penampang = 34 cm X 2,5 cm

4.



$$L_1 = A - 1/2 S_f / \text{tg } \theta$$

Dipakai: Mesh 1/2" X BWG 23

$$\text{diameter} = 0,0635 \text{ cm}$$

$$S_f = 1/2" = 1,27 \text{ cm}$$

$$A = 0,672" \text{ dan } \theta = 47,5^\circ$$

maka :

$$L_1 = 1,70688 - 1/2 \cdot 1,27 / \text{tg } 47,5^\circ = 1,125 \text{ cm}$$

Karena kawat ayam harus diselang-seling arah x dan y

$$\text{Arah y : } S_L = \frac{2 \pi d n}{S_f D}$$

$$\text{Arah x : } S_L = \frac{\pi d n}{D L_1}$$

maka:

$$S_L = \frac{\frac{2 \pi d n}{S_f D} + \frac{\pi d n}{D L_1}}{2} = \frac{\pi d n}{2 D} \left(\frac{2}{S_f} + \frac{1}{L_1} \right)$$

$$= \frac{\pi 0,0635 n}{2 \cdot 2,5} \left(\frac{2}{1,27} + \frac{1}{1,125} \right) = 0,0983 n$$

$$\sigma_{cr} = 24,52 S_L + \sigma_{mu}$$

$$30 = 24,52 \cdot 0,0983 n + 10$$

$$n = 8,298 \approx 9$$

5. Penutup mortar = 2 mm, maka tebal minimum untuk 9 lapis jaring tulangan = $2 \times 0,2 + 9 \times 2 \times 0,0635 = 1,543 < 2,5$ cm

6. Volume fraction dalam arah beban:

$$\text{Arah } y: v_L = \frac{2 \cdot 1/4 \pi d^2 L_1}{\frac{S_f D L_1}{n}}$$

$$\text{Arah } x: v_L = \frac{1/4 \pi d^2 S_f}{\frac{D}{S_f} \frac{L_1}{n}}$$

$$\text{maka : } v_L = \frac{\frac{2 \cdot 1/4 \pi d^2 L_1 n}{S_f D L_1} + \frac{1/4 \pi d^2 S_f n}{S_f D L_1}}{2}$$

$$= \frac{\pi d^2 n}{8 D} \left(\frac{2}{S_f} + \frac{1}{L_1} \right)$$

$$= \frac{\pi (0,0635)^2 \cdot 9}{8 \cdot 2,5} \left(\frac{2}{1,27} + \frac{1}{1,125} \right)$$

$$= 0,0140$$

$$v_{f(\min)} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{fu}} = \frac{30}{3.100} = 0,01$$

$$v_L > v_{f(\min)} \quad (\text{O.K})$$

7. Periksa tegangan retak awal :

$$\sigma_{cr} = 24,52 \cdot 0,0983 \cdot 9 + 10$$

$$\sigma_{cr} = 31,7 > 30 \quad (\text{O.K})$$

b. Dengan memakai kawat yang dirangkai dengan las
dipakai jaring tulangan dengan $\sigma_{fu} = 4.500 \text{ kg/cm}^2$

Penyelesaian :

1. Angka keamanan = 1,25 , maka beban rencana :

$$P_r = 20.000 \times 1,25 = 25.000 \text{ N}$$

2. Tegangan retak awal diasumsikan $\sigma_{cr} = 30 \text{ kg/cm}^2$

$$A_c = \frac{25.000 \text{ N}}{30 \text{ kg/cm}^2} = 83,3 \text{ cm}^2$$

3. Ukuran penampang = 34 cm x 2,5 cm

4. Tulangan anyaman yang dirangkai dengan las, diameter = 0,0635 cm , $S_f = 0,64 \text{ cm}$.

$$S_L = \frac{\pi d n}{S_f d} = \frac{\pi \cdot 0,0635 n}{0,64 \cdot 2,5} = 0,125 n$$

$$\sigma_{cr} = 24,52 S_L + \sigma_{mu}$$

$$30 = 24,52 \cdot 0,125 n + 10$$

$$n = 6,5 \approx 7$$

5. Penutup permukaan = 2 mm maka tebal minimum untuk

7 lapis jaring tulangan adalah :

$$= 2 \times 0,2 + 7 \times 2 \times 0,0635 = 1,289 < 2,5 \quad (\text{O.K})$$

6. Volume fraction dalam arah beban :

$$v_L = \frac{\pi d^2 n}{4 s_f D} = \frac{\pi (0,0635)^2 7}{4 0,64 2,5} = 0,014$$

$$v_f = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{fu}} = \frac{30}{4.500} = 0,007 < v_L \quad (\text{O.K.})$$

$$7. \sigma_{cr} = 24,52 \times 0,125 \times 7 + 10$$

$$\sigma_{cr} = 31,46 > 30 \quad (\text{O.K.})$$

1. 2. Pada daerah retak ($\sigma_{cr} \leq \sigma_t \leq \sigma_{ty}$)

Langkah-langkah yang diperlukan :

1. Tentukan angka keamanan, hitung tegangan ijin jaring tulangan.
Hitung tegangan komposit dengan mengasumsikan nilai volume fraction jaring tulangan.
2. Hitung luas penampang komposit, tentukan ukuran penampang.
3. Pilih tipe jaring tulangan, diameter dan spasinya.
Hitung berapa lapis jaring tulangan yang dibutuhkan dengan memakai rumus volume fraction tulangan.
4. Periksa apakah ketebalan ferrocement telah memenuhi syarat untuk jumlah jaring tulangan yang diperoleh.
5. Hitung regangan komposit memakai persamaan (5. 35) dengan mengganti $\sigma_{fy} = \sigma_f^*$.

$$\epsilon_{ty} = \frac{1}{E_f} \left(\sigma_{ty} - \frac{\sigma_{mu} R}{2} \right)$$
 Periksa apakah pertambahan panjang yang terjadi < pertambahan panjang yang diijinkan.
6. Hitung lebar retak yang terjadi apakah < lebar retak yang diijinkan.

Contoh permasalahan :

Dengan soal yang sama seperti pada daerah elastis, dimana panjang elemen struktur adalah 3 m, penambahan panjang yang diijinkan 0,5 cm. Lebar retak yang diijinkan adalah 0,005 cm.

a. Dengan jaring tulangan kawat ayam

data-data:

$$S_f = 1/2" = 1,27 \text{ cm}$$

$$\sigma_{fy} = 3100 \text{ kg/cm}^2 \text{ dan } E_f = 10,4 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

Penyelesaian:

1. Angka keamanan = 1,25 , maka :

$$\sigma_f = \sigma_{fy}/1,25 = 3100/1,25 = 2480 \text{ kg/cm}^2$$

Volume fraction dalam arah beban = 1,5 %

$$\sigma_t = \sigma_f v_L = 2480 \cdot 1,5/100 = 37,2 \text{ kg/cm}^2$$

2. Luas penampang komposit yang diperlukan:

$$A_c = \frac{20.000 \text{ N}}{37,2 \text{ kg/cm}^2} = 53,8 \text{ cm}^2$$

dipakai ukuran penampang = 22 cm X 2,5 cm

3. Jumlah lapis tulangan yang dibutuhkan:

$$v_L = \frac{\pi d^2 n}{8 D} \left(\frac{2}{S_f} + \frac{1}{L_1} \right)$$

$$0,015 = \frac{\pi (0,0635)^2 n}{8 \cdot 2,5} \left(\frac{2}{1,27} + \frac{1}{1,125} \right)$$

$$n = 9,6 \approx 10$$

4. Tebal penutup spesi = 2 mm, maka tebal minimum untuk 10 lapis jaring tulangan :

$$2 \times 0,2 + 10 \cdot 2 \times 0,0635 = 1,67 < 2,5 \text{ cm} \quad (\text{O.K})$$

5. Pertambahan panjang yang terjadi :

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{1}{E_f} \left[\sigma_f - \frac{\sigma_{mu} R}{2} \right] = \frac{1}{10,4 \cdot 10^5} \left[2480 - \frac{10 \cdot 65,7}{2} \right] \\ &= 0,00133 \\ &= \epsilon_t l = 0,00133 \times 300 = 0,4 < 0,5 \text{ cm (O.K)}\end{aligned}$$

6. Lebar retak yang terjadi :

$$\begin{aligned}\text{untuk kawat ayam: } A_{mm} &= \frac{S_f D}{n} = \frac{1,5 \cdot 1/4 \pi d^2}{n} = 0,186 \\ m &= \frac{E_f}{E_m} = \frac{10,4 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^5} = 5,2\end{aligned}$$

$$l = \frac{\sigma_{mu} A_{mm}}{\tau_u d} = \frac{10 \cdot 0,186}{25 \cdot 0,0635} = 1,17$$

$$\begin{aligned}w &= \frac{1}{E_f} \left[\sigma_f^* l - \frac{\tau_u d l^2}{2 A_{mm}} (R + m) \right] \\ &= \frac{1}{10,4 \cdot 10^5} \left[2480 \cdot 1,17 - \frac{25 \cdot 0,0635 \cdot 1,17^2}{2 \cdot 0,186} (65,7 + 5,2) \right] \\ &= 0,0024 < 0,005 \text{ cm (O.K)}\end{aligned}$$

b. Dengan kawat yang dirangkai dengan las

1. Angka keamanan = 1,25 , volume fraction = 1,5 % .

sehingga :

$$\sigma_f = \frac{\sigma_{fy}}{1,25} = \frac{4.500}{1,25} = 3.600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \sigma_f \cdot v_L = 3.600 \cdot \frac{1,5}{100} = 54 \text{ kg/cm}^2$$

2. Luas penampang komposit :

$$A_C = \frac{20.000 \text{ N}}{54 \text{ kg/cm}^2} = 37 \text{ cm}^2$$

dipakai ukuran penampang 15 cm x 2,5 cm

3. Dipakai tulangan anyaman yang dirangkai dengan las,
diameter = 0,0635 cm, $S_f = 0,64$ cm.

$$v_f = \frac{\pi d^2 n}{4 S_f D}$$

$$0,025 = \frac{\pi 0,0635^2 n}{4 0,64 2,5}$$

$$n = 7,581 \approx 8$$

4. Penutup permukaan = 2 mm maka tebal minimum untuk
8 lapis jaring tulangan adalah : $2 \times 0,2 + 8 \times$
 $2 \times 0,0635 = 1,416$ cm < 3,5 cm (O.K)

5. Pertambahan panjang yang terjadi :

$$R = \frac{v_m}{v_f} = 65,7$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{E_f} \left(\sigma_f^* - \frac{\sigma_{mu} R}{2} \right)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 10^6} \left(3.600 - \frac{10 \cdot 65,7}{2} \right)$$

$$= 0,001636$$

$$= 0,001636 \cdot 300 = 0,4908 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm} \text{ (O.K)}$$

6. Lebar retak yang terjadi :

$$l = \frac{\sigma_{mu} A_{mm}}{\tau_u d} = \frac{10 \cdot 0,197}{25 \cdot 0,0635} = 1,24 \text{ cm}$$

$$w = \frac{1}{E_f} \left[\sigma_f l - \frac{\tau_u d l^2}{2 A_{mm}} \right] (R + m) l$$

$$m = \frac{E_f}{E_m} = \frac{2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5} = 10$$

$$w = \frac{1}{2 \cdot 10^6} \left[3600 \cdot 1,24 - \frac{25 \cdot 0,0635 \cdot 1,24^2}{2 \cdot 0,197} (65,7 + 10) \right]$$

$$= 0,002 \text{ cm} < 0,005 \text{ cm} \quad (\text{O.K})$$

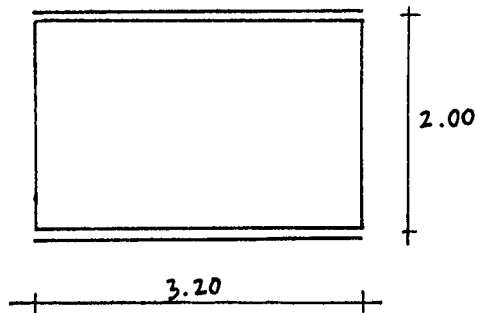
2. BEBAN LENTUR

Langkah-langkah yang diperlukan :

1. Hitung momen maksimum akibat pembebanan.
2. Tentukan ukuran penampang secara coba mencoba
3. Hitung tegangan dan regangan akibat tekan dan tarik
4. Hitung tegangan dan regangan ijin untuk tarik, tentukan letak garis netralnya dengan asumsi.
5. Periksa apakah regangan tekan maksimum yang terjadi sesuai dengan regangan tekan ijin dan asumsi pada langkah ke 4.
6. Hitung kapasitas momen dari penampang diatas. periksa apakah kapasitas momen yang terjadi > momen yang diasumsikan diatas. Jika tidak maka coba dengan ukuran penampang yang lain.
7. Periksa lebar retak yang terjadi apakah < lebar retak yang diijinkan.
8. Periksa lendutan yang terjadi < yang diijinkan.

Contoh permasalahan:

Rencanakan sebuah elemen plat ferrocement dengan perletakan dan ukuran seperti gambar dibawah ini. Menahan beban hidup merata 200 kg/m^2 . Berat sendiri ferrocement 2400 kg/m^3 . Lebar retak maksimum yang diijinkan $0,005 \text{ cm}$, lendutan maksimum yang diijinkan $L/360 \text{ cm}$.



Penyelesaian :

1. Tebal plat diambil 3 cm.

Pembebanan :

$$\begin{aligned}
 - \text{Berat sendiri plat } 0,03 \times 2400 &= 72 \text{ kg/m}^2 \\
 - \text{Beban hidup} &= 200 \text{ kg/m}^2 \\
 q &= \underline{272 \text{ kg/m}^2}
 \end{aligned}$$

Dari P.B.I 1971 didapat :

$$L_y = 2, \quad L_x = 3,2, \quad L_y/L_x = 1,6$$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} = - M_{tx} &= 0,001 q l_x^2 X \\
 &= 0,001 272 (2)^2 62 = 67,456 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 q l_x^2 X \\
 &= 0,001 272 (2)^2 13 = 14,144 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Tulangan yang dipakai ialah tulangan kawat ayam dengan data-data :

diameter = 0,0635 cm (BWG 23) dan $S_f = 1,27$ cm sebanyak 8 lapis.

Menurut A.C.I. [23]

$$\sigma_{fy} = 3100 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_f \text{ longitudinal} = 1,04 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

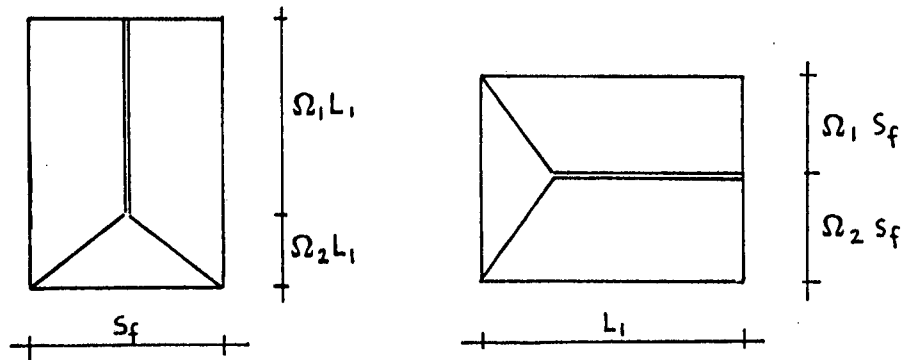
$$E_f \text{ transversal} = 6,9 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{mu} = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad f_c' = 225 \text{ kg/cm}^2$$

Dari perumusan modulus elastisitas untuk tulangan kawat ayam :

$$E_{t1j} = E_m v_{m1j} + E_{fj} v_{fj} \eta_{1j} \mu$$

$$E_{t2j} = E_m v_{m2j} + E_{fj} v_{fj} \eta_{2j} \mu$$



$$\text{Arah Y : } v_{fj} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 (\Omega_1 L_1 + \Omega_2 L_1 / \cos \theta)}{\frac{S_f D L_1}{n}}$$

$$v_{m1j} = \frac{\frac{S_f D (\Omega_1 L_1)}{n} - 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 (\Omega_1 L_1)}{\frac{S_f D L_1 \Omega_1}{n}}$$

$$v_{m2j} = \frac{\frac{S_f D (\Omega_2 L_1)}{n} - 2 \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 (\Omega_2 L_1 / \cos \theta)}{\frac{S_f D L_1 \Omega_2}{n}}$$

Arah X : v_{fj} arah x = v_{fj} arah y

$$v_{m1j} = \frac{\frac{1}{2} S_f D L_1}{n} - \frac{1}{2} \pi d^2 (\Omega_1 L_1 + \Omega_2 L_2 / \cos \theta)}{\frac{1}{2} S_f D L_1}{n}$$

$$v_{m2j} = v_{m1j}$$

$$\begin{aligned} \eta_{1j} &= \frac{1}{\Omega_{1j}} \sum_{i=1}^N F_{1ij}^4 \alpha_{1ij} \\ &= \frac{1}{\Omega_{1j}} \sum_{i=1}^N F_{1ij}^4 \frac{A_{1ij} \Omega_{1j}}{F_{1ij} V_{fj}} \\ &= \frac{1}{\Omega_{1j}} \sum_{i=1}^N F_{1ij}^4 \frac{V_{f1j}}{V_{fj}} \end{aligned}$$

Dipakai BWG 23 (diameter = 0,0635 cm) dan $S_f = 1,27$

$$L_1 = 1,70688 - \frac{1}{2} \frac{1,27}{\tan 47,5^\circ} = 1,125 \text{ cm}$$

$$\Omega_2 L_1 = \frac{1}{2} \frac{1,27}{\tan 47,5^\circ} = 0,58 \text{ cm}$$

$$\Omega_1 L_1 = L_1 - \Omega_2 L_1 = 1,125 - 0,58 = 0,545 \text{ cm}$$

$$\Omega_2 = \frac{\Omega_2 L_1}{L_1} = 0,52$$

$$\Omega_1 = \frac{\Omega_1 L_1}{L_1} = 0,48$$

$$\begin{aligned} V_{fj} &= 2 \frac{1}{4} \pi d^2 (\Omega_1 L_1 + \Omega_2 L_1 / \cos \theta) \\ &= 2 \frac{1}{4} \pi (0,0635)^2 (0,545 + 0,58 / \cos 47,5^\circ) \\ &= 8,89 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\mu = 1 - lc/2l$$

$$lc = \sigma_{fu} d/2 \quad u = 3100 \cdot 0,0635/2 \cdot 25 = 3,937$$

$$\mu = 1 - 3,937/200 = 0,98$$

Untuk arah Y

$$V_{f1j} = 2 \frac{1}{4} \pi d^2 \Omega_1 L_1 = 2 \frac{1}{4} \pi 0,0635^2 \cdot 0,545 = 3,45 \cdot 10^{-3}$$

$$\eta_{1j} = \frac{1}{0,48} \cdot 1 \frac{3,45 \cdot 10^{-3}}{8,89 \cdot 10^{-3}} = 0,8085$$

$$\begin{aligned} V_{f2j} &= 2 \frac{1}{4} \pi d^2 (\Omega_2 L_1 / \cos \theta) \\ &= 2 \frac{1}{4} \pi 0,0635^2 (0,58 / \cos 47,5^\circ) = 5,44 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\eta_{2j} = \frac{1}{0,52} (\cos 47,5^\circ)^4 \frac{5,44 \cdot 10^{-3}}{8,89 \cdot 10^{-3}} = 0,2451$$

$$v_{fj} = \frac{V_{fj}}{S_f D L_1} = \frac{8,89 \cdot 10^{-3}}{1,27 \cdot 3 \cdot 1,125} = 0,0166$$

$$v_{m1j} = \frac{\frac{1,27 \cdot 3 \cdot 0,545}{8} - 2 \cdot \pi \cdot 0,0635^2 \cdot 0,545}{\frac{1,27 \cdot 3 \cdot 0,545}{8}} = 0,9867$$

$$v_{m2j} = \frac{\frac{1,27 \cdot 3 \cdot 0,58}{8} - 2 \cdot \pi \cdot 0,0635^2 \cdot (0,58 / \cos 47,5^\circ)}{\frac{1,27 \cdot 3 \cdot 0,58}{8}}$$

$$= 0,9803$$

$$E_{t1j} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,986 + 1,04 \cdot 10^6 \cdot 0,016 \cdot 0,8085 = 211.297,9$$

$$E_{t2j} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,980 + 1,04 \cdot 10^6 \cdot 0,033 \cdot 0,2451 = 200.291,4$$

$$E_{tj} = \frac{E_{t1j}}{\Omega_{1j} + \Omega_{2j} \frac{E_{t1j}}{E_{t2j}}}$$

$$= \frac{211.297,9}{0,48 + 0,52 \frac{211.297,9}{200.291,4}} = 205.428$$

Untuk arah X

$$V_{f1j} = V_{f2j} = \pi d^2 (\Omega_1 L_1 + \Omega_2 L_1 / \cos \theta)$$

$$V_{f1j}' = \pi d^2 (\Omega_1 L_1)$$

(arahnya 90° terhadap arah beban, $\cos 90^\circ = 0$,
maka volume bagian ini tidak diperhitungkan un-
tuk 1j)

$$V_{f1j}'' = \frac{1}{4} \pi d^2 (\Omega_2 L_1 / \cos \theta)$$

$$= \frac{1}{4} \pi d^2 (0,58 / \cos 47,5^\circ) = 0,00272$$

$$\eta_{1j} = \eta_{2j} = \frac{1}{0,5} \{ \cos (90^\circ - 47,5^\circ) \}^4 \frac{2,72 \cdot 10^{-3}}{8,89 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 0,1808$$

$$v_{fj} = 0,0166$$

$$\frac{\frac{1}{2} \frac{1,27 \cdot 3 \cdot 1,125}{8} - \frac{\pi}{4} 0,0635^2 (0,545 + 0,58 / \cos 47,5)}{1,27 \cdot 3 \cdot 1,125}$$

$$v_{m1j} =$$

$$\frac{1,27 \cdot 3 \cdot 1,125}{8}$$

$$= 0,9834$$

$$v_{m2j} = v_{m1j} = 0,9834$$

$$E_{t1j} = E_{t2j} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,9834 + 6,9 \cdot 10^5 \cdot 0,0166 \cdot 0,1808$$

$$= 198.750,9 = E_{tj}$$

Jadi modulus elastisitas total :

$$E_t = \frac{\sum_{j=1}^N E_{tj} n_j A_{cj}}{\sum_{j=1}^N A_{cj}}$$

$$E_t = \frac{205.428 \frac{1,27 \cdot 3}{8} + 198.750,9 \frac{1,125 \cdot 3}{8}}{\frac{1,27 \cdot 3}{8} + \frac{1,125 \cdot 3}{8}}$$

$$E_t = 202.291,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{1}{E_f} \left(\sigma_{fy} - \frac{\sigma_{mu} R}{2} \right)$$

$$R = \frac{v_m}{v_f} = \frac{0,9834}{0,0166} = 59,24$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{1}{1,04 \cdot 10^6} \left(3.100 - \frac{10 \cdot 59,24}{2} \right)$$

$$= 0,002696$$

$$\sigma_{ty} = \sigma_{fy} \nu_f = 3.100 \cdot 0,0166 = 51,46 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cr} = 24,52 S_L + \sigma_{mu}$$

$$S_L = \frac{\pi d n}{2 D} \left(\frac{2}{s_f} + \frac{1}{L_1} \right)$$

$$= \frac{\pi \cdot 0,0635 \cdot 8}{2 \cdot 3} \left(\frac{2}{1,27} + \frac{1}{1,125} \right) = 0,655$$

$$\sigma_{cr} = 24,52 \cdot 0,655 + 10 = 26,06$$

$$\epsilon_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{E_c} = \frac{26,06}{202.291,6} = 0,000129$$

$$E_{cr} = \frac{\sigma_{ty} - \sigma_{cr}}{\epsilon_{ty} - \epsilon_{cr}} = 9.894,8$$

$$\sigma_{cy} = 0,85 f_c' = 191,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{cy} = \sigma_{cy}/E_c = 191,25/2 \cdot 10^5 = 0,000956$$

$$\epsilon_{cu} = 0,006$$

$$\epsilon_{tu} = 0,016$$

4. Tegangan ijin dari tulangan diambil sebesar:

$$\sigma_f = 0,6 \sigma_{fy} = 0,6 \cdot 3.100 = 1860 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan dan regangan komposit akibat tarik adalah :

$$\sigma_{ta} = \sigma_f \nu_f = 30,88 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cr} < \sigma_{ta} < \sigma_{ty}$$

$$\epsilon_{ta} = \epsilon_{cr} + \frac{\sigma_{ta} - \sigma_{cr}}{E_{cr}}$$

$$= 0,000129 + \frac{30,88 - 26,06}{9.894,8} = 0,000616$$

$$\epsilon_{cr} < \epsilon_{ta} < \epsilon_{ty}$$

$$\gamma = \epsilon_{ta} / \epsilon_{ty} = 0,2285$$

$$\alpha = \epsilon_{cr} / \epsilon_{ty} = 0,04785$$

$$m_1 = m_2 = E_t / E_{cr} = 20,44$$

$$\alpha / \gamma = 0,2094$$

$$q = m_2 \alpha / \gamma (2 - \alpha / \gamma) + (1 - \alpha / \gamma)^2$$

$$= 8,289$$

$$k = \frac{-q \pm \sqrt{m_1 q}}{m_1 - q} = 0,389$$

$$\xi = \epsilon_{cr} / \epsilon_t (1 - k) = 0,128$$

$$\phi = \epsilon_{cr} / D = 0,000336$$

5. Regangan tekan maksimum yang terjadi :

$$\sigma_{ca} = 0,45 f_c' = 101,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{ca} = \sigma_{ca} / E_c = 0,0005$$

$$\epsilon_c = \phi k D = 0,000392 < 0,0005 \quad (\text{O.K.})$$

6. Kapasitas momen yang terjadi :

$$C = 1/2 E_c \epsilon_c k B D = 4627 \text{ kg}$$

$$T_1 = 1/2 B \xi D E_t \epsilon_{cr} = 501 \text{ kg}$$

$$T_2 = 1/2 B (1 - k - \xi) D E_t \epsilon_{cr} = 1891 \text{ kg}$$

$$T_3 = 1/2 B (1 - k - \xi) D \{E_t \epsilon_{cr} + E_{cr} (\epsilon_t - \epsilon_{cr})\} =$$

$$2240 \text{ kg}$$

$$M = 2/3 D (Ck + T_1 \xi) + 1/3 (1 - k + 2\xi) D T_2 + 1/3$$

$$(2 - 2k + \xi) D T_3$$

$$= 3728 + 1640 + 3024 = 8392 \text{ kgcm} > M \text{ yg diterima}$$

7. Penutup permukaan = 2 mm, maka regangan pada jaring tulangan terluar adalah 0,000549.

Besarnya tegangan pada jaring tulangan terluar adalah:

$$\sigma_f^* = \frac{\sigma_{cr} + (0,000549 - \epsilon_{cr}) E_{cr}}{v_f}$$

$$= 1820 \text{ kg/cm}^2$$

$$l = \frac{\sigma_{mu} A_{mm}}{\tau_u d} = \frac{10 \cdot 0,44}{25 \cdot 0,0635} = 2,77$$

$$w = \frac{1}{E_f} \left\{ \sigma_f^* l - \frac{\tau_u d l^2}{2 A_{mm}} (R + m) \right\}$$

$$= 0,004 \text{ cm} < 0,005 \text{ cm} \quad (\text{O.K})$$

Dapat pula dipakai perumusan :

$$w = \epsilon_s S R$$

$$R = \frac{1 - 0,389}{0,5 - 0,389} = 5,5$$

$$w = 0,000549 \cdot 1,27 \cdot 5,5$$

$$= 0,00385 \text{ cm} \approx 0,004 \text{ cm}$$

8. Defleksi pada tengah bentang diperoleh dari persamaan (5.118), yaitu :

$$M_{cr} = 1/3 (1 - k) \sigma_{cr} B D^2 = 4,777 \text{ Kgcm}$$

$$r_2 = 1 - \sqrt{1 - M_{cr}/M} = 0,34367$$

$$c = 1/48 L^2 \{ \phi (5 - 2 r_2 - 3 r_2^2) + (1 + 2 r_2 + 2 r_2^2) \}$$

$$\phi_{cr} = 2 \epsilon_{cr}/D = 0,000086$$

$$c = 0,0125 < L/360 = 0,56 \text{ cm}$$

Dipakai tulangan yang dirangkai dengan las

2. Data-data :

$$\text{Diameter} = 0,0635 \text{ (gauge 23)} , S_f = 0,64 \text{ cm}$$

Sebanyak 8 lapis, maka menurut A.C.I [7] :

$$\sigma_{fy} = 4.500 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_{mu} = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_f = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad f_c' = 225 \text{ kg/cm}^2$$

3. Dari perumusan modulus elastisitas :

$$E_t = E_c = E_m v_m + E_f v_f \mu$$

sedangkan :

$$v_f = \frac{2 \pi d^2 n}{4 S_f D} = \frac{2 \pi 0,0635^2 \cdot 8}{2 \cdot 0,64 \cdot 3} = 0,0528$$

$$v_m = 0,9472$$

$$\eta = 0,5$$

$$\mu = 1 - l_c/2 l$$

$$l_c = \sigma_{fu} d/2T_u = 4500 \cdot 0,0635/2 \cdot 25 = 5,715$$

$$\mu = 0,971425$$

$$E_t = E_c = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,9475 + 2 \cdot 10^6 \cdot 0,0528 \cdot 0,5 \cdot 0,9741 \\ = 2,4 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{1}{E_f} \left(\sigma_{fy} - \frac{\sigma_{mu} R}{2} \right) \\ = \frac{1}{2 \cdot 10^6} \left(4.500 - \frac{10 \cdot 17,94}{2} \right) \\ = 0,002205$$

$$\sigma_{ty} = \sigma_{fy} v_f = 118,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cr} = 24,52 S_L + \sigma_{mu}$$

sedangkan :

$$S_L = \frac{\pi d n}{S_f D} = \frac{\pi 0,0635 \cdot 8}{0,64 \cdot 3} = 0,831$$

$$\sigma_{cr} = 24,52 \cdot 0,831 + 10 = 30,38 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{E_c} = 0,000127$$

$$E_{cr} = \frac{\sigma_{ty} - \sigma_{cr}}{\epsilon_{ty} - \epsilon_{cr}} = 42.550$$

$$\sigma_{cy} = 0,85 f_c' = 191,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{cy} = \frac{\sigma_{cy}}{E_c} = 0,000797$$

$$\epsilon_{cu} = 0,006 \text{ dan } \epsilon_{tu} = 0,016$$

4. Tegangan ijin dari tulangan diambil sebesar :

$$\begin{aligned} \sigma_f &= 0,6 \sigma_{fy} \\ &= 0,6 \cdot 4500 = 2700 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan dan regangan komposit akibat tarik adalah:

$$\sigma_{ta} = \sigma_f \nu_f = 71,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cr} < \sigma_{ta} < \sigma_{ty}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{ta} &= \epsilon_{cr} + \frac{\sigma_{ta} - \sigma_{cr}}{E_{cr}} \\ &= 0,000127 + \frac{71,28 - 30,38}{42.550} = 0,001088 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{cr} < \epsilon_{ta} < \epsilon_{ty} \text{ (bab V. 4. 1 kasus 2a)}$$

$$\gamma = \frac{\epsilon_{ta}}{\epsilon_{ty}} = 0,4934$$

$$\alpha = \frac{\epsilon_{cr}}{\epsilon_{ty}} = 0,0576$$

$$m_1 = m_2 = \frac{E_t}{E_{cr}} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{42.550} = 5,64$$

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 0,1167$$

$$\begin{aligned} q &= m_2 \frac{\alpha}{\gamma} \left(2 - \frac{\alpha}{\gamma} \right) + \left(1 - \frac{\alpha}{\gamma} \right)^2 \\ &= 2,020 \end{aligned}$$

$$k = \frac{-q \pm \sqrt{m_1 q}}{m_1 - q} = 0,3744$$

$$\xi = \frac{E_{cr}}{E_t} (1 - k) = 0,1866$$

$$\phi = \frac{\epsilon_{cr}}{\xi D} = 0,000227$$

5. Regangan tekan maksimum yang terjadi :

$$\sigma_{ca} = 0,45 f_c' = 0,45 \cdot 225 = 101,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{ca} = \frac{\sigma_{ca}}{E_c} = 0,000422$$

$$\epsilon_c = \phi k D = 0,000255 < 0,000422$$

6. Kapasitas momen yang terjadi :

$$C = 1/2 E_c \epsilon_c k b D = 3437 \text{ kg}$$

$$T_1 = 1/2 B \xi D E_t \epsilon_{cr} = 853 \text{ kg}$$

$$T_2 = 1/2 B (1 - k - \xi) D E_t \epsilon_{cr} = 2.007 \text{ kg}$$

$$T_3 = 1/2 B (1 - k - \xi) D [E_t \epsilon_{cr} + E_{cr} (\epsilon_t - \epsilon_{cr})]$$

$$= 4.700 \text{ kg}$$

$$M = 2/3 D (C k + T_1 \xi) + 1/3 (1 - k + 2 \xi) D T_2$$

$$+ 1/3 (2 - 2 k + \xi) D T_3$$

$$= 2892 + 2.005 + 6.758$$

$$= 11.655 \text{ kg.cm} > M \text{ yang diterima}$$

(O.K)

7. Penutup permukaan = 2 mm

Maka regangan pada jaring tulangan terluar adalah 0,000972. Besarnya tegangan pada jaring tulangan terluar adalah :

$$\sigma_f^* = \frac{\sigma_{cr} + (0,000972 - \epsilon_{cr}) E_{cr}}{v_f}$$

$$= 2.513 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 = \frac{\sigma_{mu} A_{mm}}{T_u d} = 1,49$$

$$w = \frac{1}{E_f} \left[\sigma_f^* \left(1 - \frac{\tau_u d l^2}{2 A_{mm}} (R + m) \right) \right]$$

$$= 0,002 < 0,005 \quad (\text{O.K})$$

Dapat pula dipakai perumusan :

$$w = \epsilon_s S R$$

$$R = \frac{1 - 0,3744}{0,5 - 0,3744} = 4,98$$

$$w = 0,000972 \cdot 0,64 \cdot 4,98$$

$$= 0,003 \text{ cm}$$

8. Defleksi pada tengah bentang diperoleh dari persamaan (5. 118), yaitu :

$$M_{CR} = 1/3 (1 - k) \sigma_{CR} B D^2$$

$$= 5.702 \text{ kg.cm}$$

$$r_2 = 1 - \sqrt{1 - M_{CR}/M} = 0,2853$$

$$c = 1/48 L^2 \left[\phi (5 - 2r_2 - 3r_2^2) + \phi_{CR} (1 + 2r_2 + 2r_2^2) \right]$$

$$\phi_{CR} = 2 \epsilon_{CR}/D = 0,0000847$$

$$c = 0,009 < 1/360 = 0,56 \text{ cm}$$

9. Kemampuan memikul tegangan geser dapat diperoleh dari persamaan (5. 102), yaitu:

$$\tau_c = \tau_m v_m + \sum_{i=1}^n F_i (1 - F_i^2)^{1/2} \sigma_{fi} v_{fi}$$

$$= 6,5 \times 0,9472 + 1 \times 0 \times 118,8 \times \frac{1}{2} \times 0,0528$$

$$= 6,1568 + 0$$

$$= 6,1568 \text{ kg/cm}^2$$

3. KESIMPULAN

Dari contoh perencanaan beban tarik pada daerah elastis yang memakai kawat ayam, membutuhkan 2 lapis

lebih banyak dibandingkan memakai kawat yang dirangkai dengan las dengan luas penampang yang sama yang dapat dilihat pada tabel 3. Bila ditinjau dari biaya penulangan per meter panjang, maka harga penulangan dengan kawat ayam lebih murah 30% .

Demikian juga dari hasil contoh perencanaan beban tarik dengan memakai kawat ayam, ternyata bahwa metode retak dapat menghemat 20% sampai dengan 30% bila dibandingkan dengan metode elastis.

Tabel 2. Hasil contoh perencanaan Beban lentur

Paramater	B E B A N L E N T U R	
	Chicken Mesh	Welded Mesh
$\sigma_{fy}(\text{kg/cm}^2)$	3.100	4.500
Tebal (cm)	3	3
v_f	1,66 %	5,28 %
$E_t (\text{kg/cm}^2)$	$2,02 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$
w (cm)	0,004	0,002
c (cm)	0,0125	0,009
M (kg.cm)	8.392	11.655

Dari contoh perencanaan beban lentur untuk diameter, tebal plat dan jumlah lapis tulangan yang sama ternyata kapasitas momen yang dapat dipikul tulangan kawat ayam lebih kecil sekitar 35% bila dibandingkan dengan memakai kawat yang dirangkai dengan las.

Tabel 3. Hasil Contoh Perencanaan Beban Tarik.

	E L A S T I S		R E T R A K	
	CHICKEN MESH	WELDED MESH	CHICKEN MESH	WELDED MESH
f_y (kg/cm ²)	3.100	4.500	3.100	4.500
μ (kg/cm ²)	10	10	10	10
w (cm)	-	-	0,024	0,02
R_c (cm ²)	34 x 2,5	34 x 2,5	22 x 2,5	15 x 2,5
n	9	7	10	8
Tulangan (*) diperlukan (m ²)	3,06	2,38	2,2	1,2
Mortar (*) diperlukan (m ³)	0,0085	0,0085	0,0055	0,00375

(*) : Per meter panjang struktur