

## LAMPIRAN I

### PERHITUNGAN MOMEN-KURVATUR

#### L1 Perhitungan Momen-Kurvatur

##### ➤ Model Tegangan-Regangan A

Model tegangan-regangan ini diselesaikan secara eksak. Model tegangan-regangan ini menggunakan kurva tegangan-regangan beton Hognestead, yaitu kurva tegangan berbentuk parabola. Balok ini menggunakan kurva tegangan baja riil hasil uji tarik baja.1. Pada saat pertama kali retak (first cracking) dari beton.

1. Pada saat pertama kali retak (first cracking) dari beton.

Analisis dilakukan dengan menggunakan teori elastic dan transformasi penampang, dimana baja tulangan ditransformasikan menjadi suatu luasan beton ekuivalen [ Park and Paulay, 1975].

Persamaan transformasi penampang,

$$E_c = \frac{f_c}{\epsilon_c} = \frac{31,7}{0,002} = 15850$$

$$N = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{15850} = 12,618$$

$$A = (b \cdot h) + (n - 1) \cdot (A_s + A'_s) = (100 \cdot 200) + (12,618 - 1) \cdot (100,571 + 100,571)$$

$$A = 22336,868 \text{ mm}^2$$

Menghitung  $\bar{y}$

$$\bar{y} = \frac{\left( (b \cdot h) \cdot \frac{h}{2} \right) + \left( (A_s \cdot (n - 1)) \cdot d \right) + \left( (A'_s \cdot (n - 1)) \cdot d' \right)}{A}$$

$$\bar{y} = \frac{\left( (100.200) \cdot \frac{200}{2} \right) + \left( (100,571 \cdot (12,681 - 1)) \cdot 180 \right) + \left( (100,571 \cdot (12,681 - 1)) \cdot 20 \right)}{22336,868}$$

$$\bar{y} = 100 \text{ mm}$$

$$y_{bottom} = h - \bar{y} = 200 - 100 = 100 \text{ mm}$$

Menghitung momen inersia penampang,

$$\begin{aligned} I &= \left( \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + \left( (b \cdot h) \cdot \left( \bar{y} - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (A_s \cdot (n - 1) \cdot (d - \bar{y})^2) + \\ & (A'_s \cdot (n - 1) \cdot (\bar{y} - d)^2) \\ &= \left( \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200^3 \right) + \left( (100 \cdot 200) \cdot \left( 100 - \frac{200}{2} \right)^2 \right) + (100,571 \cdot (12,618 - 1) \cdot \\ & (180 - 100)^2) + (100,571 \cdot (12,618 - 1) \cdot (100 - 20)^2) \\ &= 81622620,31 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Menghitung modulus ruptur ( $f_r$ ),

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_c} = 0,7 \cdot \sqrt{31,7} = 3,941 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_r = \frac{f_r}{E_c} = \frac{3,941}{15850} = 0,0002486$$

Momen dan kelengkungan dapat dihitung sebagai berikut,

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bottom}} = \frac{3,941 \cdot 81622620,31}{100} = 3216747,466 \text{ Nmm}$$

$$Q_{crack} = \frac{f_r / E_c}{y_{bottom}} = \frac{3,941 / 15850}{100} = 0,00000249 \text{ rad/mm}$$

## 2. Beton setelah retak pertama kali

Contoh perhitungan Momen-Kurvatur untuk kondisi beton setelah retak, dalam subbab ini ditampilkan untuk nilai  $\varepsilon_{c1} = 0,0001292$

$$f'_{c1} = f_c \cdot \left( \left( \frac{2 \cdot \varepsilon_{c1}}{\varepsilon_c} \right) - \left( \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_c} \right)^2 \right) = 31,7 \cdot \left( \left( \frac{2 \cdot 0,0001292}{0,002} \right) - \left( \frac{0,0001292}{0,002} \right)^2 \right)$$

$$= 3,9634 \text{ MPa}$$

Dari diagram regangan diperoleh hubungan:

$$\frac{\varepsilon_{c1}}{c} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d-c}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{d-c}{c} = 0,0001292 \cdot \frac{180-c}{c} = \frac{0,023256 - 0,0001292c}{c}$$

$$f_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s = \frac{0,023256 - 0,0001292c}{c} \cdot 200000 = \frac{4651,2 - 25,84c}{c}$$

$$\frac{\varepsilon_{c1}}{c} = \frac{\varepsilon_{s2}}{c-d'}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,0001292 \cdot \frac{c-20}{c} = \frac{0,0001292c - 0,002584}{c}$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = \frac{0,0001292c - 0,002584c}{c} \cdot 200000 = \frac{25,84c - 516,8}{c}$$

$$C_c = \frac{1}{2} f'_{c1} \cdot b \cdot c = \frac{1}{2} \cdot 3,9634 \cdot 100 \cdot c = 198,17c$$

$$C_s = A'_s \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot \frac{25,84c - 516,8}{c} = \frac{2598,75464c - 51975,0928}{c}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot \frac{4651,2 - 25,84c}{c} = \frac{467775,8352 - 2598,75464c}{c}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$C_c + C_s - T = 0$$

$$198,17c + \frac{2598,75464c - 51975,0928}{c} - \frac{467775,8352 - 2598,75464c}{c} = 0$$

$$c = 39,75138 \text{ mm atau } c = -65,97891 \text{ mm}$$

$$\text{maka } c = 71,365 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{d-c}{c} = 0,0001292 \cdot \frac{180-39,75138}{39,75138} = 0,00045584$$

$$f_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s = 0,00045584 \cdot 200000 = 91,168 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,0001292 \cdot \frac{39,75138-20}{39,75138} = 0,000064196$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000064196 \cdot 200000 = 12,8392 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} f'_{c1} \cdot b \cdot c = \frac{1}{2} \cdot 3,9634 \cdot 100 \cdot 39,75138 = 7877,531 \text{ N}$$

$$C_s = A'_s \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot 12,8392 = 1291,2512 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot 91,168 = 9168,8569 \text{ N}$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left( C_c \cdot \left( d - \frac{1c}{3} \right) \right) + \left( C_s \cdot (d - d') \right) - M_1 = 0$$

$$M_1 = \left( C_c \cdot \left( d - \frac{1c}{3} \right) \right) + \left( C_s \cdot (d - d') \right)$$

$$M_1 = \left( 7877,531 \cdot \left( 180 - \frac{1 \cdot 39,75138}{3} \right) \right) + \left( 1291,2512 \cdot (180 - 20) \right)$$

$$M_1 = 1520174,863 \text{ Nmm}$$

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,0001292}{39,75138} = 0,00000325 \text{ rad/mm}$$

3. Pada saat pertama kali leleh (first yield) dari baja tulangan tarik.

Contoh perhitungan Momen-Kurvatur untuk kondisi baja pertama leleh, dalam subbab ini ditampilkan untuk nilai  $f_{s1} = 250$  MPa.

$$f_{s1} = f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{s1} = 0,00125$$

Mencari nilai c dengan Metode Numerik Bi-section pada program Microsoft Excel.

Contoh perhitungan:

$$c = 90 \text{ mm}$$

$$c_1 = \frac{1}{3} \cdot c = \frac{1}{3} \cdot 90 = 30 \text{ mm}$$

$$c_2 = 2 \cdot c_1 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{c1} = \epsilon_{s1} \cdot \frac{c}{d-c} = 0,00125 \cdot \frac{90}{180-90} = 0,00125$$

$$f'_{c1} = f_c \cdot \left( \left( \frac{2 \cdot \epsilon_{c1}}{\epsilon_c} \right) - \left( \frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_c} \right)^2 \right) = 31,7 \cdot \left( \left( \frac{2 \cdot 0,00125}{0,002} \right) - \left( \frac{0,00125}{0,002} \right)^2 \right)$$

$$= 27,242 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_{c1} \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,00125 \cdot \frac{90-20}{90} = 0,0009722$$

$$f_{s2} = \epsilon_{s2} \cdot E_s = 0,0009722 \cdot 200000 = 194,444 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{2}{3} f'_{c1} \cdot b \cdot c_2 = \frac{2}{3} \cdot 27,242 \cdot 100 \cdot 90 = 163452$$

$$C_s = A'_s \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot 194,444 = 19555,42752$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot 250 = 25142,75 \text{ N}$$

$$\Sigma H = C_c + C_s - T = 0$$

$$= 163452 + 19555,42752 - 25142,75 = 157864,6775 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan Metode Numerik Bi-section dapat di peroleh bahwa pada langkah iterasi ke-22 telah diperoleh hasil nilai c yang konvergen, maka iterasi dihentikan. Setelah diperoleh nilai c, maka perhitungan Momen-Kurvatur dapat dilanjutkan.

Hasil iterasi ke-26 adalah sebagai berikut:

$$c = 42,60035097 \text{ mm}$$

$$c_1 = 14,20011699 \text{ mm}$$

$$c_2 = 28,40023398 \text{ mm}$$

$$f'_{c1} = 11,09526369 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_c = 0,000387559$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00020561$$

$$f_{s1} = 250 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} = 42,12155877 \text{ MPa}$$

$$C_c = 21007,20566 \text{ N}$$

$$C_s = 4135,653911 \text{ N}$$

$$T = 25142,85714 \text{ N}$$

$$\Sigma H = 0,002431606$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left( C_c \cdot \left( d - \frac{1c}{3} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d')) - M_1 = 0$$

$$M_1 = \left( C_c \cdot \left( d - \frac{1c}{3} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d'))$$

$$M_1 = \left( 21007,20566 \cdot \left( 180 - \frac{1 \cdot 42,60035097}{3} \right) \right) + (4135,653911 \cdot (180 - 20))$$

$$M_1 = 4107408,77 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,000125}{42,60035097} = 0,00000909755 \text{ rad/mm}$$

#### 4. Kondisi setelah baja pertama leleh sampai kondisi ultimit

Contoh perhitungan Momen\_Kurvatur untuk kondisi baja setelah leleh, dalam subbab ini ditampilkan untuk nilai  $\epsilon_{s1} = 0,0046$

Mencari nilai c dengan metode bi-section pada program Microsoft Excel.

Contoh perhitungan:

$$c = 90 \text{ mm}$$

$$c_1 = \frac{1}{3} \cdot c = \frac{1}{3} \cdot 90 = 30 \text{ mm}$$

$$c_2 = 2 \cdot c_1 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{c1} = \epsilon_{s1} \cdot \frac{c}{d-c} = 0,0046 \cdot \frac{90}{180-90} = 0,0046$$

$$f'_{c1} = f_c \cdot (1 - (100 \cdot (\varepsilon_{c1} - \varepsilon_c))) = 31,7 \cdot (1 - (100 \cdot (0,0046 - 0,002)))$$

$$= 23,458 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,0046 \cdot \frac{90-20}{90} = 0,003577778$$

$$0,006 \leq \varepsilon_s \leq 0,003 \text{ maka } f_s = 214,7 + 14039 \cdot \varepsilon_s - 378465 \cdot \varepsilon_s^2$$

$$f_{s1} = 214,7 + 14039 \cdot \varepsilon_s - 378465 \cdot \varepsilon_s^2$$

$$= 214,7 + 14039 \cdot 0,0046 - 378465 \cdot 0,0046^2$$

$$= 271,271 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,003577778 \cdot 200000 = 715,556 \text{ MPa}$$

$$C_{c1} = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot (f_c - f'_{c1}) \cdot b = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot (31,7 - 23,458) \cdot 100 = 12363 \text{ N}$$

$$C_{c2} = c_1 \cdot f'_{c1} \cdot b = 30 \cdot 23,458 \cdot 100 = 70374 \text{ N}$$

$$C_{c3} = \frac{2}{3} \cdot c_2 \cdot f_c \cdot b = \frac{2}{3} \cdot 60 \cdot 31,7 \cdot 100 = 126800 \text{ N}$$

$$C_s = A'_s \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot 715,556 = 71964,444 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot 271,271 = 27282,12011 \text{ N}$$

$$\Sigma H = C_{c1} + C_{c2} + C_{c3} + C_s - T$$

$$= 12363 + 70374 + 126800 + 71964,444 - 27282,12011$$

$$= 254219,3243 \text{ N}$$



Dari hasil perhitungan metode numerik dapat diperoleh bahwa pada langkah iterasi ke-27 telah diperoleh hasil nilai  $c$  yang konvergen, maka iterasi dihentikan. Setelah diperoleh nilai  $c$  yang konveergen, maka perhitungan Momen-Kurvatur dapat dilanjutkan.

Hasil iterasi ke-27 adalah sebagai berikut:

$$c = 12,34041184 \text{ mm}$$

$$c_1 = 4,113470614 \text{ mm}$$

$$c_2 = 8,226941228 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{c1} = 0,000338578$$

$$f'_{c1} = -0,000210153$$

$$\varepsilon_{s2} = -0,000210153$$

$$f_{s1} = 271,271 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} = -42,0305285 \text{ MPa}$$

$$C_{c1} = -1083,222195 \text{ N}$$

$$C_{c2} = 15206,14624 \text{ N}$$

$$C_{c3} = 17386,26913 \text{ N}$$

$$C_s = -4227,070299 \text{ N}$$

$$T = 27282,12011 \text{ N}$$

$$\Sigma H = 0,002$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left( C_{c1} \cdot \left( d - \frac{2 \cdot c_1}{3} \right) \right) + \left( C_{c2} \cdot \left( d - \frac{1 \cdot c_1}{2} \right) \right) + \left( C_{c3} \cdot \left( d - c_1 - \frac{3 \cdot c_2}{8} \right) \right) +$$

$$(C_s \cdot (d - d')) - M_1 = 0$$

$$M_1 = \left( C_{c1} \cdot \left( d - \frac{2 \cdot c_1}{3} \right) \right) + \left( C_{c2} \cdot \left( d - \frac{1 \cdot c_1}{2} \right) \right) + \left( C_{c3} \cdot \left( d - c_1 - \frac{3 \cdot c_2}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d'))$$

$$M_1 = \left( -1083,222195 \cdot \left( 180 - \frac{2 \cdot 113470614}{3} \right) \right) + \left( 15206,14624 \cdot \left( 180 - \frac{1 \cdot 113470614}{2} \right) \right) +$$

$$\left( 17386,26913 \cdot \left( 180 - 4,113470614 - \frac{3 \cdot 226941228}{8} \right) \right) + (-4227,070299 \cdot (180 - 20))$$

$$M_1 = 4841862,702 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0,0046}{12,34041184} = 0,0000274365 \text{ rad/mm}$$

## LAMPIRAN II

### PERHITUNGAN BEBAN-LENDUTAN NUMERIK

#### L2 Perhitungan Beban-Lendutan Numerik

##### ➤ Perhitungan dengan Berat Sendiri

Untuk perhitungan Beban-Lendutan eksak pada balok betulangan tunggal dan balok bertulangan ganda perhitungannya sama.

#### 1. Kurvatur-Bentang

Untuk perhitungan dengan berat sendiri, maka balok selain memikul beban akibat beban terpusat (*third point loading*) juga memikul berat sendiri yang diaplikasikan sebagai beban terdistribusi merata seperti pada Gambar 2... Perhitungan hubungan Momen-Bentang sebagai berikut:

Reaksi perletakan:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot L - P \cdot \frac{2 \cdot L}{3} - P \cdot \frac{L}{3} - q \cdot L \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$V_A = P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right)$$

$$V_B = V_A = P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right)$$

Diagram benda bebas segmen AB ( $0 \leq x_l \leq L/3$ ):

$$\Sigma M_x = 0$$

$$V_A \cdot x_1 - q \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} - M_x = 0$$

$$M_x = V_A \cdot x_1 - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot x_1^2 \right)$$

$$M_x = \left( P + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \cdot x_1 - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot x_1^2 \right)$$

Saat  $x_1 = 0$

$$M_x = \left( P + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \cdot 0 - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot 0^2 \right) = 0$$

Saat  $x_1 = L/3$

$$M_x = \left( P + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \cdot \frac{L}{3} - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left( \frac{L}{3} \right)^2 \right) = \frac{PL}{3} + \frac{q \cdot L^2}{9}$$

Diagram benda bebas segmen CD ( $0 \leq x_2 \leq L/3$ ):

$\Sigma M_x = 0$

$$V_A \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) - P \cdot x_2 - q \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) \cdot \frac{\left( \frac{L}{3} + x_2 \right)}{2} - M_x = 0$$

$$M_x = V_A \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) - (P \cdot x_2) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right)^2 \right)$$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) - (P \cdot x_2) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right)^2 \right)$$

Saat  $x_2 = 0$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \left( \frac{L}{3} + 0 \right) - (P \cdot 0) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + 0 \right)^2 \right) = \frac{PL}{3} + \frac{q \cdot L^2}{9}$$

Saat  $x_2 = L/3$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \left( \frac{L}{3} + \frac{L}{3} \right) - \left( P \cdot \frac{L}{3} \right) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + \frac{L}{3} \right)^2 \right) = \frac{PL}{3} + \frac{q \cdot L^2}{9}$$

Diagram benda bebas segmen BD ( $0 \leq x_3 \leq L/3$ ):

$$\Sigma M_x = 0$$

$$- V_{B \cdot x_3} + q \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} + M_x = 0$$

$$M_x = V_{B \cdot x_3} - \left( \frac{1}{2} q \cdot x_3^2 \right)$$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot x_3 - \left( \frac{1}{2} q \cdot x_3^2 \right)$$

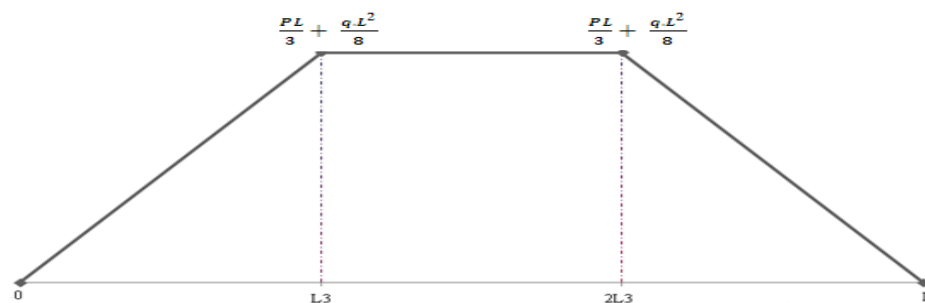
Saat  $x_3 = 0$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot 0 - \left( \frac{1}{2} q \cdot 0^2 \right) = 0$$

Saat  $x_3 = L/3$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \frac{L}{3} - \left( \frac{1}{2} q \cdot \left( \frac{L}{3} \right)^2 \right) = \frac{PL}{3} + \frac{q \cdot L^2}{9}$$

Maka hubungan Momen-Bentang adalah sebagai berikut:



**Gambar L2.1 Hubungan Momen-Bentang dengan Berat Sendiri**

Dari hubungan Momen-Kurvatur Model Tegangan-Regangan A diperoleh:

$$M = 4078331.145 \text{ Nmm}$$

$$\Phi = 9.430\text{E-}06 \text{ rad/mm}$$

Maka hubungan Momen Bentang dihitung dengan menggunakan diagram benda bebas seperti contoh perhitungan di atas. Nilai momen dan kurvatur di atas adalah nilai pada saat di tengah bentang.

Maka berat sendiri  $q$  sebagai berikut:

$$A = b \cdot h = 100 \cdot 200 = 20000 \text{ mm}^2 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$q = A \cdot \gamma_{beton} = 0,02 \cdot 2400 = 48 \text{ kg/m} = 0,48 \text{ N/mm}$$

Diagram benda bebas segmen CD ( $0 \leq x_2 \leq L/3$ ):

$$\Sigma M_x = 0$$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) - (P \cdot x_2) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right)^2 \right)$$

$$\text{Saat } x_2 = \frac{L}{3} = \frac{2700}{3} = 450 \text{ mm}$$

$$M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) - (P \cdot x_2) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right)^2 \right)$$

$$4078331.145 = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \right) \cdot \left( \frac{2700}{3} + 450 \right) - (P \cdot 450) -$$

$$\left( \frac{0,48}{2} \cdot \left( \frac{2700}{3} + 450 \right)^2 \right)$$

$$4078331.145 = 900 \cdot P + 437400$$

$$P = 4045,47905 \text{ N}$$

Setelah dihitung nilai  $P$ , lalu dicari nilai momen dari diagram benda bebas.

Diagram benda bebas segmen AB ( $0 \leq x_1 \leq L/3$ ):

$$\Sigma M_x = 0$$

$$M_x = \left( P + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \cdot x_1 - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot x_1^2 \right)$$

Saat  $x_1 = 0$

$$M_x = \left( 4045,47905 + \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \cdot 0 - \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 0^2 \right) = 0$$

Saat  $x_1 = 450$  mm

$$\begin{aligned} M_x &= \left( 4045,47905 + \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \cdot 450 - \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 450^2 \right) \\ &= 2063465,573 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Saat  $x_1 = 900$

$$\begin{aligned} M_x &= \left( 4045,47905 + \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \cdot 900 - \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 900^2 \right) \\ &= 4029731,145 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diagram benda bebas segmen CD ( $0 \leq x_2 \leq L/3$ ):

$$\Sigma M_x = 0$$

$$M_x = M_x = \left( P + \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \right) \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right) - (P \cdot x_2) - \left( \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{3} + x_2 \right)^2 \right)$$

Saat  $x_2 = 0$

$$M_x = \left( 4045,47905 + \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \right) \cdot \left( \frac{2700}{3} + 0 \right) - (4045,47905 \cdot 0) - \left( \frac{0,48}{2} \cdot \left( \frac{2700}{3} + 0 \right)^2 \right)$$

$$M_x = 4029731,145 \text{ Nmm}$$

Saat  $x_2 = 450 \text{ mm}$

$$M_x = \left( 4045,47905 + \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \right) \cdot \left( \frac{2700}{3} + 450 \right) - (4045,47905 \cdot 450) - \left( \frac{0,48}{2} \cdot \left( \frac{2700}{3} + 450 \right)^2 \right)$$

$$M_x = 4078331,145 \text{ Nmm}$$

Saat  $x_2 = 900 \text{ mm}$

$$M_x = \left( 4045,47905 + \left( \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700 \right) \right) \cdot \left( \frac{2700}{3} + 900 \right) - (4045,47905 \cdot 900) - \left( \frac{0,48}{2} \cdot \left( \frac{2700}{3} + 900 \right)^2 \right)$$

$$M_x = 4029731,145 \text{ Nmm}$$

Diagram benda bebas segmen BD ( $0 \leq x_3 \leq L/3$ ):

$$\Sigma M_x = 0$$

$$M_x = \left( P + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \right) \cdot x_3 - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot x_3^2 \right)$$



Saat  $x_3 = 0$

$$M_x = \left(4045,47905 + \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700\right) \cdot 0 - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 0^2\right) = 0$$

Saat  $x_3 = 450$  mm

$$\begin{aligned} M_x &= \left(4045,47905 + \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700\right) \cdot 450 - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 450^2\right) \\ &= 2063465,573 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Saat  $x_3 = 900$

$$\begin{aligned} M_x &= \left(4045,47905 + \frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 2700\right) \cdot 900 - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,48 \cdot 900^2\right) \\ &= 4029731,145 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Setelah memperoleh nilai momen di tiap bentang, maka besarnya kurvatur diperoleh dengan memplot nilai momen pada kurva Momen-Kurvatur.

Diagram benda bebas segmen AB ( $0 \leq x_l \leq L/3$ ):

Saat  $x_l = 0$  diperoleh

$$M_x = 0$$

$$\Phi = 0$$

Saat  $x_l = 450$  mm

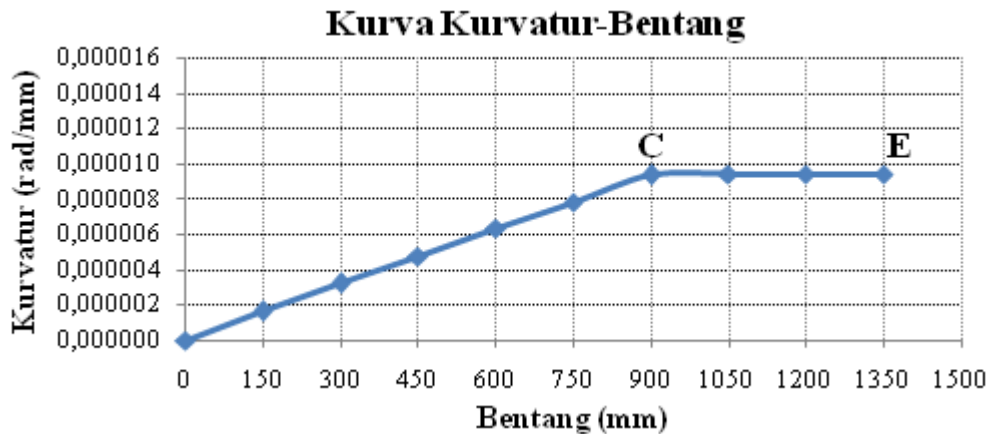
$$M_x = 2063465,573 \text{ Nmm}$$

Nilai  $M_x$  diplot pada Momen-Kurvatur model Tegangan-Regangan A maka diperoleh nilai kurvatur,

$$\Phi = 4,771\text{E-}06 \text{ rad/mm}$$

## 2. Beban-Lendutan

Metode perhitungan lendutan menggunakan metode momen area, yaitu menggunakan luasan kurvturnya. Luasan kurvturnya berupa luasan parabola dan persegi. Dalam perhitungan besarnya momen akibat berat sendiri balok diperhitungkan, maka luasan bidang  $M/EI$  sebagai suatu fungsi parabola dapat dihitung dengan menggunakan Gambar 2.9



**Gambar L2.2 Kurva Kurvatur- Bentang dengan Berat Sendiri Model AN**

Kurva kurvatur-bentang di atas berbentuk parabola karena berat sendiri diperhitungkan. Berat sendiri diaplikasikan berupa beban terdistribusi merata pada balok. Hubungan Momen-Bentang digunakan untuk menghitung kurva Kurvatur-Bentang.

**Tabel L2.1 Perhitungan Lendutan dengan Berat Sendiri Model AN**

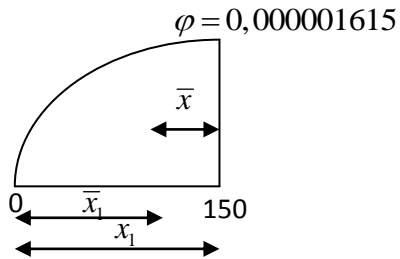
$\bar{x}_i$ (mm)	Momen (Nmm)	Kurvatur (rad/mm)	Titik Berat $\bar{x}_i$ (mm)		$Ai$ (mm <sup>2</sup> )		$\delta i$ (mm)	$\delta CEi$ (mm)
			Parabola	Persegi	Parabola	Persegi		
150	7029,287	1,615E-06	93,75	0	1,62E-04	0	0,015	-
300	13950,573	3,206E-06	243,75	225	2,39E-04	4,81E-04	0,166	-
450	20763,860	4,771E-06	393,75	375	2,35E-04	7,16E-04	0,361	-
600	27469,146	6,312E-06	543,75	525	2,31E-04	9,47E-04	0,623	-
750	34066,433	7,827E-06	693,75	675	2,27E-04	1,17E-03	0,950	-
900	40555,719	9,318E-06	843,75	825	2,24E-04	1,40E-03	1,342	-
1050	40825,719	9,380E-06	993,75	975	9,36E-06	1,41E-03	1,381	0,106
1200	40987,719	9,418E-06	1143,75	1125	5,62E-06	1,41E-03	1,596	0,319
1350	41041,719	9,430E-06	1293,75	1275	1,87E-06	1,41E-03	1,806	0,531
<b>TOTAL</b>							<b>8,240</b>	<b>0,957</b>

Contoh perhitungan:

Saat  $x_1 = 150$  mm

$M_1 = 7029,287$  Nmm

$\phi_1 = 0,000001615$  rad/mm



**Gambar L2.3 Luasan Kurvatur-Bentang Segmen 1**

$$\bar{x} = \frac{3}{8} \cdot x_1 = \frac{3}{8} \cdot 150 = 56,25 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_1 = x_1 - \bar{x} = 150 - 56,25 = 93,75 \text{ mm}$$

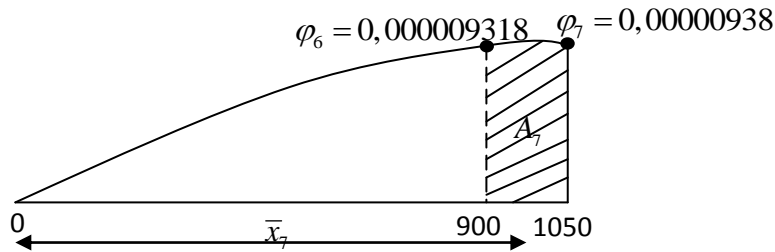
$$A_1 = \frac{2}{3} \cdot x_1 \cdot \phi_1 = \frac{2}{3} \cdot 150 \cdot 0,000001615 = 0,0001615 \text{ mm}^2$$

$$\delta_1 = A_1 \cdot \bar{x}_1 = 0,0001615 \cdot 93,75 = 0,01514 \text{ mm}$$

$$\text{Saat } x_7 = 1050 \text{ mm}$$

$$M_7 = 40825,719 \text{ Nmm}$$

$$\phi_7 = 0,00000938 \text{ rad/mm}$$



**Gambar L2.4 Luasan Kurvatur Bentang Segmen 7**

Luasan kurva segmen 7 ( $A_7$ ) dibagi menjadi luasan persegi (pe) dan parabola (pa) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\bar{x}_{7pe} = 900 + \frac{150}{2} = 975 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_{7pa} = x_7 - \left( \frac{3}{8} \cdot x_1 \right) = 1050 - \left( \frac{3}{8} \cdot 150 \right) = 993,75 \text{ mm}$$

$$A_{7pe} = (x_7 - x_6) \cdot \phi_6 = (1050 - 900) \cdot 0,000009318 = 0,00141 \text{ mm}^2$$

$$A_{7pa} = (x_7 - x_6) \cdot (\varphi_7 - \varphi_6) = (1050 - 900) \cdot (0,00000938 - 0,000009318)$$

$$= 0,0000093 \text{ mm}^2$$

$$\delta_7 = (A_{7pe} \cdot \bar{x}_{7pe}) + (A_{7pa} \cdot \bar{x}_{7pa}) = (0,00141 \cdot 975) + (0,0000093 \cdot 993,75)$$

$$= 1,381 \text{ mm}$$

$$\delta_{CE7} = A_{7pe} \cdot \left( \bar{x}_{7pe} - \frac{L}{3} \right) + A_{7pa} \cdot \left( \bar{x}_{7pa} - \frac{L}{3} \right)$$

$$= 0,00141 \cdot \left( 975 - \frac{2700}{3} \right) + 0,0000093 \cdot \left( 993,75 - \frac{2700}{3} \right)$$

$$= 0,106 \text{ mm}$$

$$\delta_E = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \delta_6 + \delta_7 + \delta_8 + \delta_9$$

$$= 0,015 + 0,166 + 0,361 + 0,623 + 0,950 + 1,342 + 1,381 + 1,596 + 1,806$$

$$= 8,240 \text{ mm}$$

$$\delta_{CE} = \delta_{CE7} + \delta_{CE8} + \delta_{CE9} = 0,106 + 0,319 + 0,531 = 0,957 \text{ mm}$$

$$\delta_C = \delta_E - \delta_{CE} = 8,240 - 0,957 = 7,283 \text{ mm}$$

## LAMPIRAN III

### PRELIMINARY DESIGN BALOK

#### L3 PRELIMINARY DESIGN BALOK

Balok beton bertulang dengan penampang  $b = 100$  mm dan  $h = 200$  mm menggunakan tulangan ganda. Tulangan tekan ( $A_s'$ ) dan tulangan tarik ( $A_s$ ) menggunakan masing-masing dua buah tulangan diameter 8 mm. Tulangan sengkang menggunakan diameter 6 mm. Mutu beton  $f_c = 31,7$  MPa dan mutu tulangan  $f_y = 250$  MPa. Selimut beton setebal 20 mm.

$$d = h - s - d_{sengkang} - 0,5.d_{tulangan} = 200 - 20 - 6 - 0,5.8 = 170 \text{ mm}$$

$$d' = s + d_{sengkang} + 0,5.d_{tulangan} = 20 + 6 + 0,5.8 = 30 \text{ mm}$$

Perhitungan luas tulangan tekan  $A_s'$  dan tulangan tarik  $A_s$  adalah sebagai berikut:

$$A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{tul}^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 100,571 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{tul}^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 100,571 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{100,571}{100 \cdot 170} = 0,005916$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{100,571}{100 \cdot 170} = 0,005916$$

$$\rho - \rho' = 0,005916 - 0,005916 = 0$$

$$\rho_b = \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 31,7}{250} \cdot \frac{600}{600 + 250} = 0,0647$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{31,7}}{4 \cdot 250} = 0,00563 > \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{250} = 0,0056$$

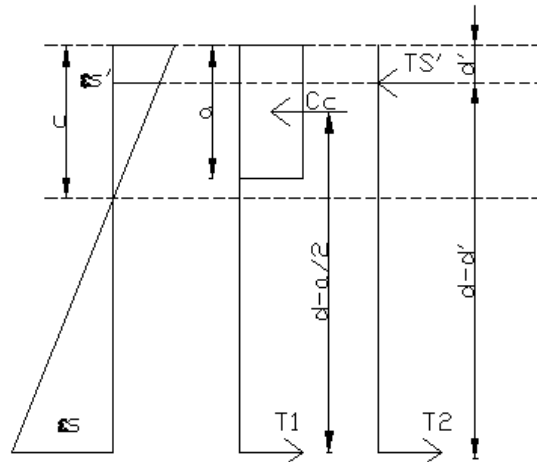
Maka pakai  $\rho_{\min} = 0,00563$

$$\rho = 0,005916 > \rho_{\min} = 0,00563$$

maka di cek jika tulangan tekan sudah leleh:

$$\rho - \rho' = 0 < \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \frac{600}{600 - f_y} = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 31,7 \cdot 7,30}{250 \cdot 190} \cdot \frac{600}{600 - 250} = 0,0248$$

Pakai kompatibilitas regangan:



**Gambar L3.1 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Asumsi**

Dari segitiga regangan Gambar L1.3 regangan  $\varepsilon_s'$  dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon_s' = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (c - 30)}{c}$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' = 200000 \cdot \frac{0,003 \cdot (c - 30)}{c} = \frac{600 \cdot (c - 30)}{c}$$

$\Sigma H = 0$ , maka

$$T_s = C_c + T_s'$$

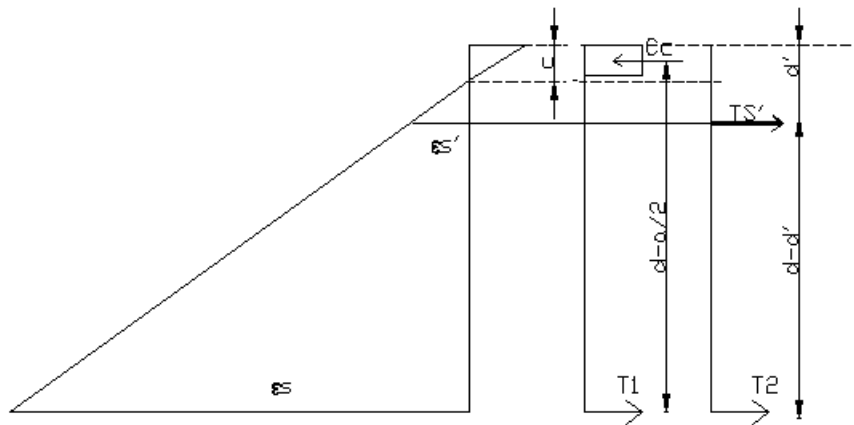
$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s'$$

$$100,571 \cdot 250 = (0,85 \cdot 31,7 \cdot (0,85 \cdot c) \cdot 100) + \left( 100,571 \cdot \frac{600 \cdot (c - 30)}{c} \right)$$

$$2290,325 \cdot c^2 + 35199,85 \cdot c - 1810278 = 0$$

$c = 21,46$  mm atau  $c = -36,829$  mm, gunakan  $c = 21,461$  mm

Karena  $c = 21,46$  mm  $<$   $d' = 30$  mm, maka gambar kompatibilitas regangan harus diperbaiki, yaitu sebagai berikut:



**Gambar L3.2 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Sebenarnya**

$$\varepsilon_s' = \frac{0,003 \cdot (d' - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (30 - c)}{c}$$



$$f_s' = \frac{600 \cdot (d' - c)}{c} = \frac{600 \cdot (30 - c)}{c}$$

$$A_s f_y + A_s' f_s' = 0,85 f_c' a b$$

$$(100,571 \cdot 250) + \left( 100,571 \cdot \frac{600 \cdot (30 - c)}{c} \right) = (0,85 \cdot 31,7 \cdot (0,85 \cdot c) \cdot 100)$$

$$2290,325 \cdot c^2 + 35199,85 \cdot c - 1810278 = 0$$

$$c = 21,46 \text{ mm} < d' = 30 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot c = 0,85 \cdot 21,46 = 18,241 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{0,003 \cdot (d' - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (30 - 21,46)}{21,46} = 0,0011938$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' = 200000 \cdot 0,0011938 = 238,76 \text{ MPa} < f_y = 250 \text{ MPa}$$

Kontrol:

$$T_s = A_s \cdot f_y = 100,571 \cdot 250 = 25142,75 \text{ N}$$

$$T_s' = A_s' \cdot f_s' = 100,571 \cdot 238,76 = 24012,332 \text{ N}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 31,7 \cdot 18,241 \cdot 100 = 49150,375 \text{ N}$$

$$\Sigma H = T_s + T_s' - C_c = 25142,75 + 24012,332 - 49150,375 = 4,707 \text{ N}$$

$$f_{sb}' = 600 - \frac{d'}{d} \cdot (600 + f_y) = 600 - \frac{30}{170} \cdot (600 + 250) = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{sb}' = 450 \text{ MPa} > f_y = 250 \text{ MPa} \text{ maka } f_{sb}' = f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f_{sb}'}{f_y} = 0,75 \cdot 0,0647 + 0,005916 \cdot \frac{250}{250} = 0,054441 > \rho = 0,005916$$

$$\begin{aligned}
M_n &= C_c \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) - T_s' \cdot (d - d') \\
&= 49150,375 \cdot \left( 170 - \frac{18,241}{2} \right) - (24012,332 \cdot (170 - 30)) \\
&= 4545561,275 \text{ Nmm} \\
P_n &= \frac{3M_n}{L} = \frac{3 \cdot 4545561,275}{2700} = 5050,624 \text{ N}
\end{aligned}$$

**LAMPIRAN IV**

**HASIL ANALISIS SEMEN DAN AGREGAT SERTA**

**PERHITUNGAN *MIX DESIGN***

**L4.1 Hasil Analisis Semen dan Agregat**

**L4.1.1 Semen**

1. Hasil Perhitungan Pengujian Berat Jenis Semen

Diketahui:

Suhu Awal : 25°C

Semen : 64 gram

Piknometer I

- a. Berat semen : 64 gram
- b. Volume I zat cair : 0,2 ml
- c. Volume II zat cair : 18,5 ml
- d. Berat isi air : 1 gr/cm<sup>3</sup>

$$\text{Berat jenis Semen} = \frac{a}{c-b} \cdot d = \frac{64}{18,5-0,2} \cdot 1 = 3,49 \text{ gr/cm}^3$$

Piknometer II

- a. Berat semen : 64 gram
- b. Volume I zat cair : 1,1 ml
- c. Volume II zat cair : 19,5 ml
- d. Berat isi air : 1 gr/cm<sup>3</sup>

$$\text{Berat jenis Semen} = \frac{a}{c-b} \cdot d = \frac{64}{19,5-1,1} \cdot 1 = 3,47 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Berat jenis rata-rata} = \frac{3,49 + 3,47}{2} = 3,48 \text{ gr/cm}^3$$

Maka diperoleh berat jenis rata-rata semen sebesar 3,48 gr/cm<sup>3</sup>.

## 2. Hasil Perhitungan Pengujian Konsistensi Normal Semen

Diketahui:

Berat Semen : 400 gram

Ø Jarum Vicat : 10 mm

Suhu : 27°C

**Tabel L4.1 Penurunan Semen Bergantung pada % Air**

Air (%)	Penurunan Tiap 30 Detik (mm)
25	17
26	22
27	30
28	42
29	45
30	48

Dari Tabel L4.1 dapat dilakukan perhitungan berat air dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

Berat air = Konsistensi.Berat semen

$$\text{a. } 25 \% \rightarrow \frac{25}{100} \cdot 400 \text{ gr} = 100 \text{ gr} \approx 100 \text{ cc}$$

$$b. 26 \% \rightarrow \frac{26}{100} \cdot 400gr = 104gr \approx 104cc$$

$$c. 27 \% \rightarrow \frac{27}{100} \cdot 400gr = 108gr \approx 108cc$$

$$d. 28 \% \rightarrow \frac{28}{100} \cdot 400gr = 112gr \approx 112cc$$

$$e. 29 \% \rightarrow \frac{29}{100} \cdot 400gr = 116gr \approx 116cc$$

$$f. 30 \% \rightarrow \frac{30}{100} \cdot 400gr = 120gr \approx 120cc$$

Dalam perhitungan selanjutnya digunakan prosentase air sebesar 27 % (Tabel L4.2), maka penurunan semen dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Air} = \frac{27}{100} \cdot 400gr = 108gr \approx 108cc$$

**Tabel L4.2 Penurunan Semen dengan Prosentase Air 27 %**

Waktu Penurunan Air (menit)	Penurunan Tiap 15 menit (mm)
0	50
15	50
30	50
45	50
60	48
75	47
90	47
105	47
120	40
135	39
150	37
165	35
180	27
195	24
210	23

### L4.1.2 Agregat Kasar

#### 1. Hasil Perhitungan Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

##### Agregat Kasar 1

Diketahui:

- a. Berat Wadah = 0,036 kg
- b. Berat Wadah + Benda uji = 0,236 kg
- c. Berat Benda Uji (b-a) = 0,2 kg
- d. Berat Benda Uji Kering = 0,186 kg

$$\text{Kadar air} = \frac{c-d}{d} \cdot 100\% = \frac{0,2-0,186}{0,186} \cdot 100\% = 7,5269\%$$

##### Agregat Kasar 2

- a. Berat Wadah = 0,031 kg
- b. Berat Wadah + Benda uji = 0,531 kg
- c. Berat Benda Uji (b-a) = 0,5 kg
- d. Berat Benda Uji Kering = 0,466 kg

$$\text{Kadar air} = \frac{c-d}{d} \cdot 100\% = \frac{0,5-0,466}{0,466} \cdot 100\% = 7,2961\%$$

Dari hasil pengujian diperoleh kadar air rata-rata sebesar 7,4115%.

#### 2. Hasil Perhitungan Pengujian Analisa *Spesific Gravity* dan Penyerapan Agregat

##### Kasar

Diketahui:

- a. Berat contoh SSD = 1200 gram
- b. Berat contoh dalam air = 653 gram
- c. Berat contoh kering udara = 1015 gram

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{c}{c-b} = \frac{1015}{1015-653} = 2,84$$

$$\text{Bulk Specific Gravity kondisi kering} = \frac{c}{a-b} = \frac{1015}{1200-653} = 1,87$$

$$\text{Bulk Specific Gravity kondisi SSD} = \frac{a}{a-b} = \frac{1200}{1200-653} = 2,19$$

$$\% \text{ Penyerapan Air} = \frac{a-c}{a} \cdot 100\% = \frac{1200-1015}{1015} \cdot 100\% = 18,20\%$$

Dari hasil pengujian diperoleh penyerapan agregat kasar sebesar 18,20%.

#### L4.1.3 Agregat Halus

1. Menentukan Kadar Organik dalam Agregat Halus

**Tabel L4.3 Warna Larutan**

Nomor Sampel	Dibandingkan dengan Warna Larutan Standar
1	Lebih muda
2	Lebih muda
3	Lebih muda

Dari hasil pengujian tersebut (Tabel L4.3) dapat disimpulkan bahwa agregat halus memenuhi standar dan dapat langsung digunakan. Kadar senyawa organik yang terdapat dalam larutan tersebut lebih kecil dari standar maksimum yang diijinkan.

2. Hasil Perhitungan Penyerapan Agregat Halus

**Tabel L4.4 Penyerapan Agregat Halus**

Nomor Sampel Pasir	I Sampel A	II Sampel B	III Sampel C	IV Sampel D
Berat sampel SSD (X gram)	100	100	100	100
Berat container (gram)	30	41	29	31
Berat sampel kering + container (gram)	122	133	122	123
Berat sampel kering (Y gram)	92	92	93	92
Absorpsi = $(X-Y)/Y \cdot 100\%$	8.6	8.6	7.5	8.6
Absorpsi rata-rata (%)	8.315			

Dari hasil pengujian pada Tabel L4.4 diperoleh penyerapan agregat halus sebesar 8,315%. Harga penyerapan agregat halus yang disyaratkan dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 kurang dari 3%. Maka kadar penyerapan agregat halus terlalu tinggi.

### 3. *Bulking Factor*

Hasil pengujian *Bulking Factor* ditampilkan selengkapnya pada Tabel L4.5.

**Tabel L4.5 *Bulking Factor***

Nomor Gelas Ukur	I Sampel A	II Sampel B	III Sampel C	IV Sampel D
1. Isi pasir lembab: (X ml)	300	310	300	305
2. Isi pasir dalam air: (Y ml)	195	205	195	200
3. <i>Bulking Factor</i> (X-Y)/Y.100 %	53.84	51.22	53.84	52.5
<i>Bulking Factor</i> rata-rata (%)	52.85			

Dari hasil pengujian diperoleh *Bulking Factor* rata-rata agregat halus sebesar 52,85%.

### 4. Menentukan Kadar Air Agregat Halus

Hasil pengujian kadar air agregat halus ditampilkan selengkapnya pada Tabel L4.6.

**Tabel L4.6 Kadar Air**

Nomor Sampel Pasir	I Sampel A	II Sampel B	III Sampel C	IV Sampel D
Berat container (gram)	30	37	35	35
Sampel + container (gram)	130	137	135	135
Berat sampel (X gram)	100	100	100	100
Berat sampel kering + container (gram)	123	130	128	128
Sampel kering (Y gram)	93	93	93	93
Kadar air = (X-Y)/Y.100 %	7	7	7	7
Kadar air rata-rata (%)	7			



Dari hasil pengujian diperoleh kadar air rata-rata agregat halus sebesar 7%.

#### 5. Menentukan Kadar Lumpur dan Kadar Lempung Agregat Halus

Hasil pengujian kadar lumpur dan kadar lempung agregat halus ditampilkan pada Tabel L4.7.

**Tabel L4.7 Kadar Lumpur dan Kadar Lempung**

Nomor	I	II	III	IV
Sampel Pasir	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
Berat container (gram)	30	37	35	35
Berat awal sampel kering + container (gram)	123	130	128	128
Berat awal sampel kering (X gram)	93	93	93	93
Berat sampel kering + container (gram)	122	128	127	126
Berat Akhir Sampel kering (Y gram)	92	91	92	91
Kadar lumpur dan lempung = $(X-Y)/Y \cdot 100\%$	1.0869	2.1978	1.0869	2.1978
Kadar lumpur dan lempung rata-rata (%)	1.6424			

Dari hasil pengujian didapat kadar lumpur rata-rata dalam agregat halus sebesar 1,6424 %. Kadar lumpur yang diijinkan dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 tidak boleh lebih besar dari 5%. Maka kadar lumpur dalam agregat halus memenuhi persyaratan.

#### 6. Menentukan *Spesific Gravity*

Hasil pengujian *Spesific Gravity* agregat halus ditampilkan pada Tabel L4.8.

**Tabel L4.8 Specific Gravity**

Nomor Sampel Pasir	I Sampel A	II Sampel B	III Sampel C	IV Sampel D
Berat sampel SSD (X gram)	100	100	100	100
Berat gelas + air + sampel (Y gram)	920	916	908	917
Berat gelas + air (Z gram)	860	868	864	860
Specific Gravity = $(X-Y)/Y \cdot 100\%$	2.5	1.923	1.786	2.326
Specific Gravity rata-rata (%)	2.13			

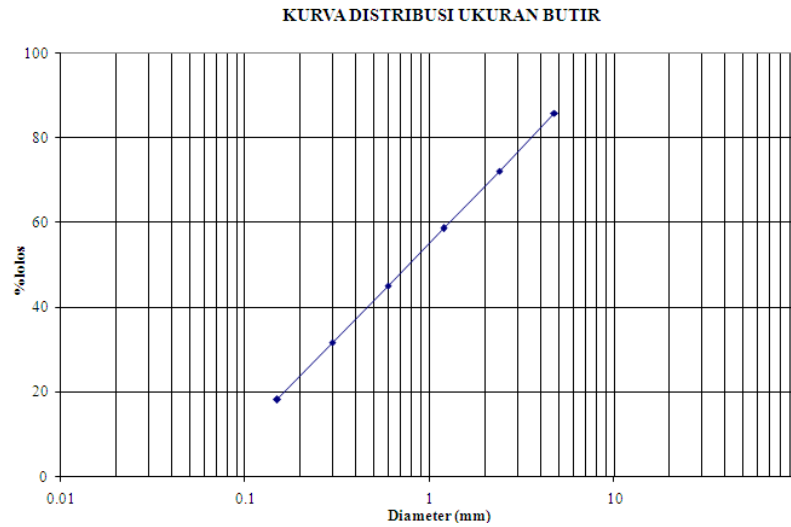
#### 7. Menentukan Analisis Ayak Agregat Halus

Hasil pengujian analisis ayak agregat halus ditampilkan pada Tabel L4.9.

**Tabel L4.9 Analisis Ayak Agregat Halus**

Nomor dan Ukuran ayakan	Berat tertahan (gram)	Berat tertahan (%)	Berat tertahan kumulatif (%)	Berat lolos kumulatif (%)
No. 4 (4.76 mm)	71	142.284	142.284	857.716
No. 8 (2.40 mm)	68	136.272	278.556	721.444
No. 16 (1.20 mm)	68	136.272	414.828	585.172
No. 30 (0.60 mm)	67	134.268	549.096	450.904
No. 50 (0.30 mm)	67	134.268	683.364	316.636
No. 100 (0.15 mm)	68	136.272	819.636	180.364
Pan	90	180.364	-	-
Total	499	100	2.887.764	-

Dari analisis ayak agregat halus dapat dibuat kurva distribusi ukuran butir seperti pada Gambar L4.1



**Gambar L4.1 Kurva Distribusi Ukuran Butir Agregat Halus**

#### **L4.2 Perhitungan *Mix Design***

Perhitungan *Mix Design* direncanakan berdasarkan SNI 03-2834-1993 adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f_c'$ ) pada umur tertentu. Dalam eksperimental direncanakan menggunakan kuat tekan beton  $f_c' = 40$  MPa pada umur 28 hari dengan benda uji berupa silinder.
2. Penetapan nilai deviasi standar ( $s$ )  
 Karena tidak ada catatan, maka nilai margin diambil 12 MPa.
3. Perhitungan nilai tambah ( $M$ )  
 Karena nilai margin sudah diambil 12 MPa, maka dari butir 2 langsung ke butir 4.
4. Penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan ( $f_{cr}'$ )

$$f_{cr}' = f_c' + M$$

$$f_{cr}' = 40 + 12 = 52 \text{ MPa}$$

5. Penetapan jenis Semen *Portland*

Pada uji eksperimental ditetapkan jenis semen yang digunakan adalah Semen Portland tipe I.

6. Penetapan jenis agregat

Agregat halus yang digunakan adalah pasir Galunggung wilayah 1 dengan ukuran butir maksimum 40 mm dan Berat jenis pasir sebesar  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan Berat jenis agregat kasar sebesar  $2840 \text{ kg/m}^3$ .

7. Penetapan faktor air-semen (fas)

Penetapan faktor air semen menggunakan cara I yang berlaku untuk benda uji silinder beton. Telah dihitung kuat tekan rata-rata rencana  $f'_{cr} = 52 \text{ MPa}$  pada umur beton 28 hari. Maka perpotongan antara sumbu kuat tekan dan kurva 28 hari garis menerus (karena semen tipe I, jadi bukan garis putus-putus) menghasilkan nilai fas sebesar 0,32.

8. Penetapan fas maksimum

- a. Struktur beton akan digunakan di luar ruang bangunan, namun terlindung dari hujan dan terik matahari langsung sehingga fas maksimum = 0,60
- b. Struktur beton tidak berhubungan dengan tanah yang mengandung sulfat
- c. Struktur beton tidak berada di dalam air

Fas yang dipakai adalah fas yang paling rendah antara butir 7 dan butir 8, sehingga digunakan fas sebesar 0,32.

9. Penetapan nilai slump

Dijelaskan bahwa struktur beton untuk fondasi telapak tidak bertulang sehingga:

$$\text{slump} = \frac{15 - 7,5}{2} = 3,75 \text{ cm} = 37,5 \text{ mm}$$

10. Penetapan ukuran butir agregat maksimum

Diketahui tebal pelat = 12 cm, maka:

Ukuran agregat maksimum = 4 cm = 40 mm.

11. Menghitung jumlah air yang diperlukan

Untuk ukuran agregat maksimum 40 mm, jenis agregat kasar batu pecah dan nilai slump 32,5 mm, maka kebutuhan air adalah sebesar 190 liter.

Karena digunakan pasir alami (pasir Muntilan), maka dipakai rumus:

$$A = 0,67.A_h + 0,33.A_k$$

Dengan diameter maksimum 10 mm dan slump 37,5 mm sehingga  $A_h = 205$  liter, sedangkan  $A_k$  sudah diketahui 190 liter, maka:

$$A = 0,67.205 + 0,33.190 = 200,05 \text{ liter}$$

12. Menghitung berat semen yang diperlukan

Berat semen = jumlah air dari butir 11 : fas yang dipakai

Sehingga:

$$\text{Berat semen} = 200,5 : 0,32 = 625,1563 \text{ kg}$$

13. Menghitung kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum merujuk pada Tabel 6.8, 6.9, dan 6.10

Dijelaskan bahwa: struktur beton akan digunakan di luar ruang bangunan, namun terlindung dari hujan dan terik matahari langsung sehingga kebutuhan semen minimum =  $275 \text{ kg/m}^3$ .

14. Penyesuaian kebutuhan semen

Oleh karena berat semen dari butir 12 > dari berat semen butir 13, maka dipakai berat semen butir 12, yaitu 625,1563 kg.

15. Penyesuaian jumlah air atau fas

Tidak ada penyesuaian fas karena jumlah semen yang dipakai tetap 625,1563 kg (karena berat semen dari butir 12 > dari berat semen butir 13), sehingga fas tetap 0,32.

16. Penentuan gradasi agregat halus

Menurut analisa hasil ayakan diketahui masuk wilayah 1.

17. Menghitung perbandingan agregat halus dan kasar

Bila pasir termasuk wilayah 1 dan fas 0,4, serta nilai slump 32,5 mm, maka titik perpotongan antara sumbu fas dan kurva garis miring wilayah gradasi pasir, maka diperoleh proporsi pasir sebesar 34%.

18. Menghitung berat jenis campuran

$$BJ \text{ campuran} = \frac{P}{100} \cdot BJ \text{ agregat halus} + \frac{K}{100} \cdot BJ \text{ agregat kasar}$$

$$BJ \text{ campuran} = \frac{34}{100} \cdot 2400 + \frac{66}{100} \cdot 2840 = 2690,4 \text{ kg/m}^3$$

dimana:

$P$  = prosentase pasir terhadap campuran = 58%

$K$  = (100-34)% = 66%

19. Menghitung berat jenis beton

Berat jenis campuran  $2690,4 \text{ kg/m}^3 = 2,6904 \text{ ton/m}^3 \sim 2,7 \text{ ton/m}^3$ , kandungan air 200,5 liter, maka berat jenis beton merupakan titik perpotongan antara kurva miring berat jenis campuran dan sumbu kandungan air, yaitu sebesar  $2410 \text{ kg/m}^3$ .

20. Menghitung kebutuhan agregat campuran

$$W_{\text{pasir+kerikil}} = W_{\text{beton}} - A - S$$

$$W_{pasir+kerikil} = 2410 - 200,5 - 625,1563 = 1584,344 \text{ kg/m}^3$$

21. Menghitung kebutuhan agregat halus

$$W_{pasir} = \frac{P}{100} \cdot W_{pasir+kerikil}$$

$$W_{pasir} = \frac{34}{100} \cdot 1584,344 = 538,6769 \text{ kg/m}^3$$

22. Menghitung kebutuhan agregat kasar

$$W_{kerikil} = W_{pasir+kerikil} - W_{pasir}$$

$$W_{kerikil} = 1584,344 - 538,6769 = 1045,667 \text{ kg/m}^3$$

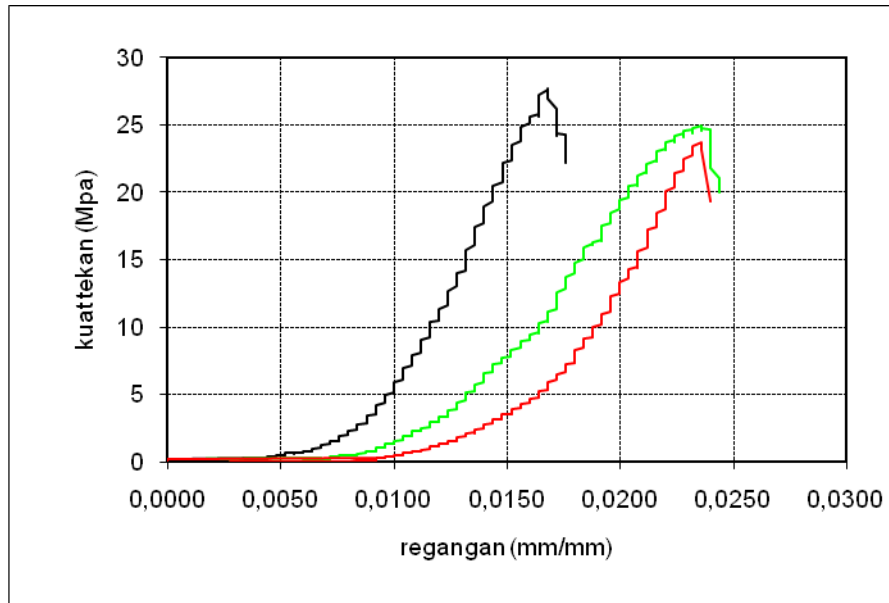
Jadi, untuk 1 m<sup>3</sup> beton, kebutuhan untuk campuran beton adalah:

$$\text{Air} = 200,5 \text{ liter}$$

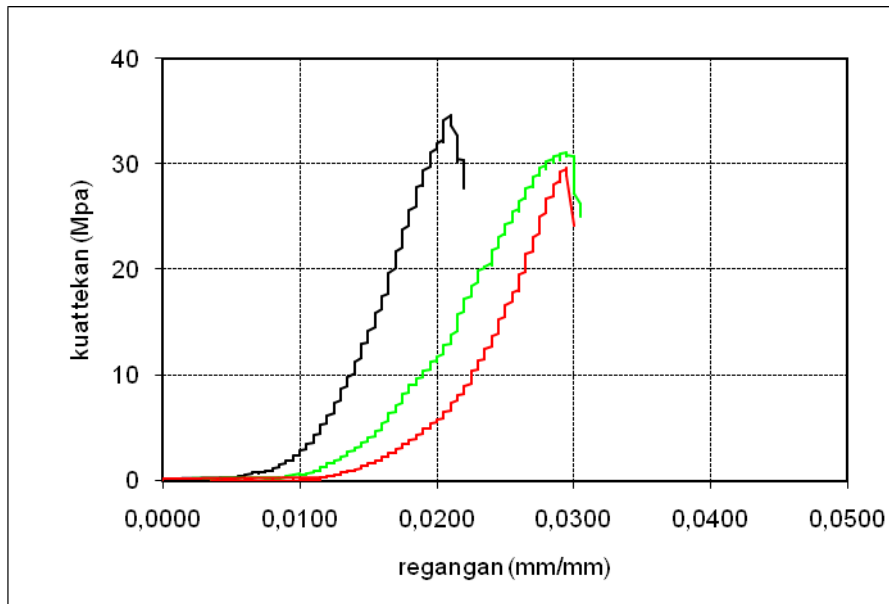
$$\text{Semen} = 625,1563 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pasir} = 538,6769 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Split} = 1045,667 \text{ kg/m}^3$$



(a). Benda uji usia 14 hari



(b). Benda uji usia 28 hari

Gambar L4.2 Hasil uji tekan silinder



## LAMPIRAN V

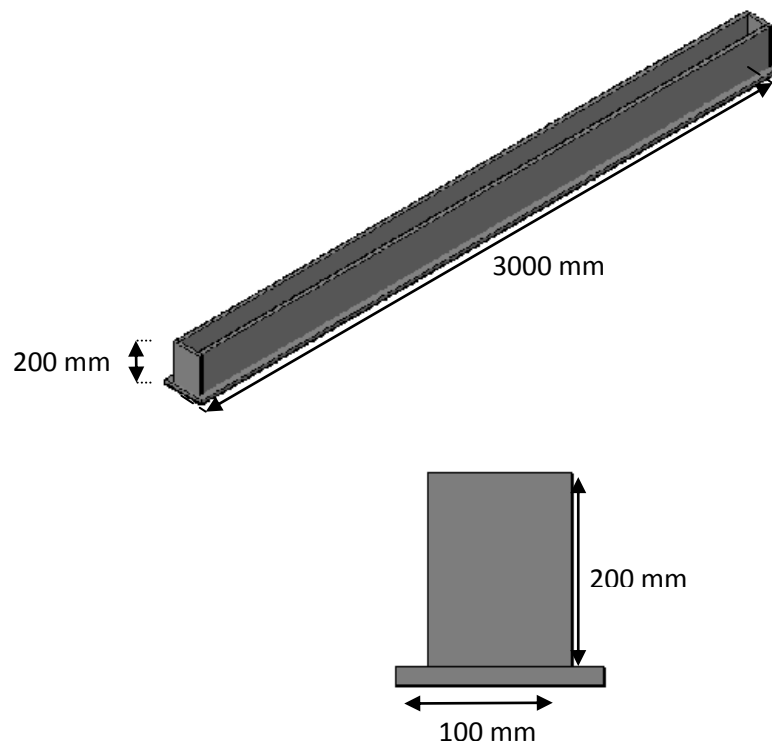
### HASIL UJI EKSPERIMENTAL

#### L5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan setelah dilakukan pengetesan Adapun beberapa tahap sebelum diadakan pengujian balok adalah sebagai berikut:

##### L5.1 Persiapan Bekisting

Dalam uji eksperimental, balok yang dibuat berdimensi 100x200 mm dengan bentang 3000 mm, maka dibuat bekisting berdimensi serupa, yang terbuat dari kayu dan multiplek setebal 18 mm. Lalu, bekisting diberi oli di permukaan dalamnya.



**Gambar L5.1**Bekisting yang Digunakan

## L5.2 Persiapan Material

Selain bekisting material-material penyusun beton seperti agregat kasar, agregat halus, dan semen dipersiapkan. Agregat kasar (kerikil) dicuci terlebih dahulu agar kadar lumpurnya berkurang. Kerikil dengan kadar lumpur tinggi akan mengurangi kuat tekan betonnya. Agregat halus (pasir) disaring dengan ayakan agar terpisah dari batuan. Agregat kasar, agregat halus, semen, dan air ditimbang sesuai hasil perhitungan *mix design*.

Selain material penyusun beton, rangkaian baja tulangan juga dipersiapkan. *Strain Gauge* dipasangkan baja pada tulangan utama seperti pada Gambar L5.2. Permukaan tulangan yang akan dipasang *Strain Gauge* diampelas.



**Gambar L5.2 Permukaan Tulangan Diampelas Untuk Menempatkan  
*Strain Gauge***

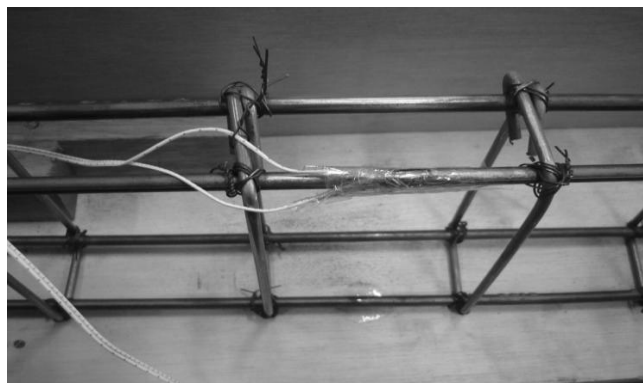
Setelah permukaan tulangan diampelas, *Strain Gauge* ditempel pada permukaan tulangan menggunakan lem *Power Glue* yang mengandung  *$\alpha$ -cyanoacrylate*. Pengeleman *Strain Gauge* seperti pada Gambar L5.3. Setelah dilem, *Strain Gauge* direkatkan kembali dengan selotip, selotip juga berfungsi melindungi *Strain Gauge* adonan beton (Gambar L5.5). terakhir, *Strain Gauge* dilapisi oleh lapisan aspal supaya kedap air (Gambar L5.6).



**Gambar L5.3 *Strain Gauge* di lem Menggunakan *Power Glue***



**Gambar L5.4 *Strain Gauge* Telah Dilem**



**Gambar L5.5 *Strain Gauge* Diberi Selotip**



**Gambar L5.6 *Strain Gauge* Diberi Aspal**

### **L5.3 Persiapan Pengecoran**

Dalam pengecoran diperlukan peralatan seperti molen, tes slump, tongkat pemadat, wadah untuk menampung, ember, dan sekop. Setelah peralatan siap, pengecoran dilaksanakan dengan memasukkan agregat kasar, agregat halus, semen, dan air yang telah ditimbang kedalam molen. Setelah adonan beton tercampur rata adonan beton dikeluarkan dan dilakukan tes slump untuk mengetahui kekentalan adonan beton (Gambar L5.7).



**Gambar L5.7 Tes Slump**

Lalu, adonan beton dimasukkan ke dalam bekisting sambil dipadatkan dengan menggunakan tongkat pemadat seperti pada Gambar L5.8. Setelah bekisting terisi penuh maka permukaan atas beton diratakan.



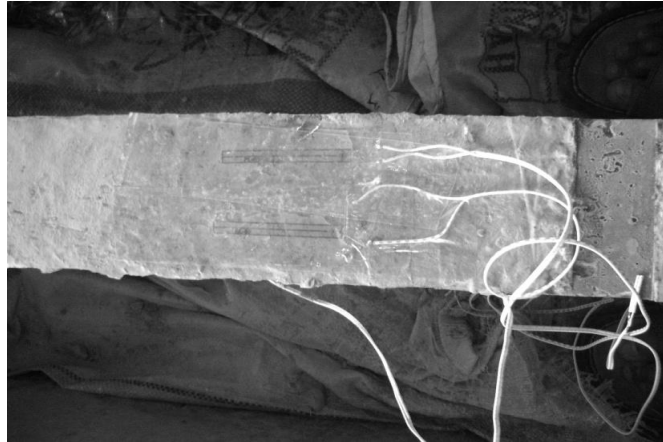
**Gambar L5.8 Adonan Beton Dicetak Dalam Bekisting**



**Gambar L5.9 Balok Telah Dicetak**

#### **L5.4 Perawatan**

Balok beton dapat dikeluarkan dari bekisting setelah 24 jam dan dipasang Strain Gauge beton pada permukaan atas balok (Gambar L5.10). Kondisi perawatan beton dilakukan dengan menutupi balok dengan karung, kemudian dilakukan penyiraman dengan air secara berkelanjutan setiap hari.



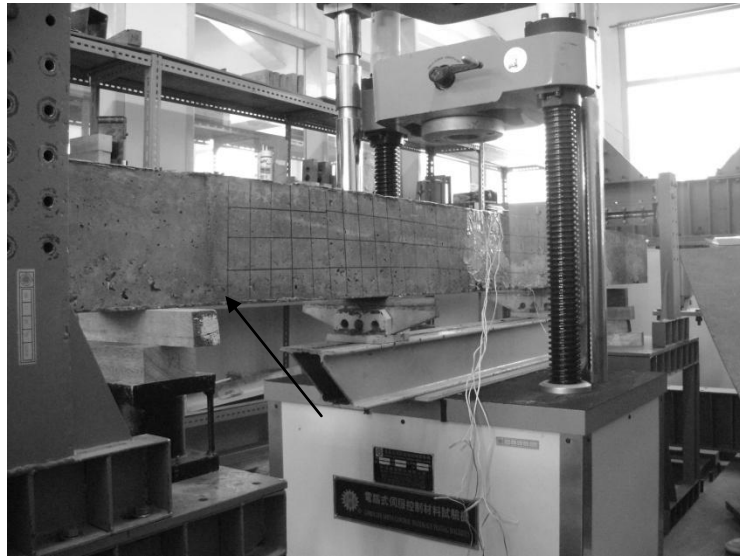
**Gambar L5.10 Balok Dipasang *Strain Gauge* Beton**

### **L5.5 Pengujian**

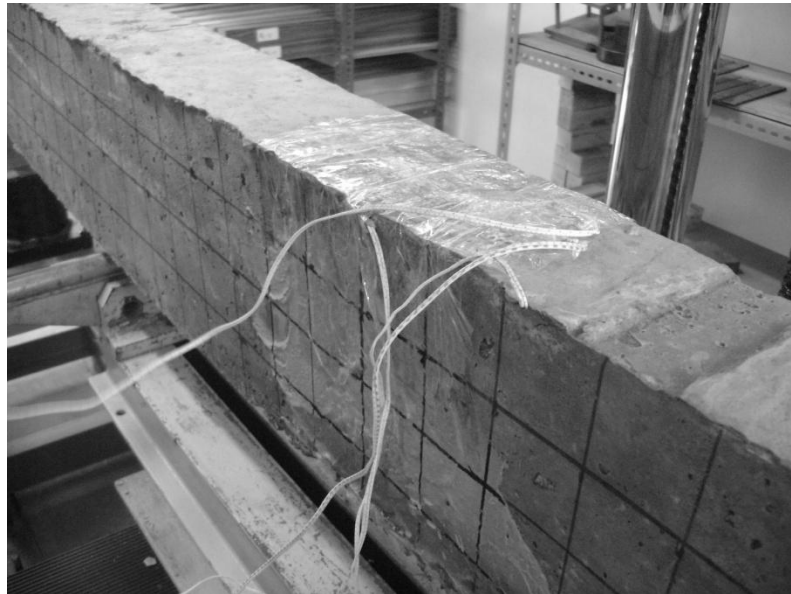
Sebelum balok diuji, permukaan depan dan belakang balok digambar kotak-kotak sebesar 5 cm untuk membaca retak saat diuji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (Gambar L5.11).



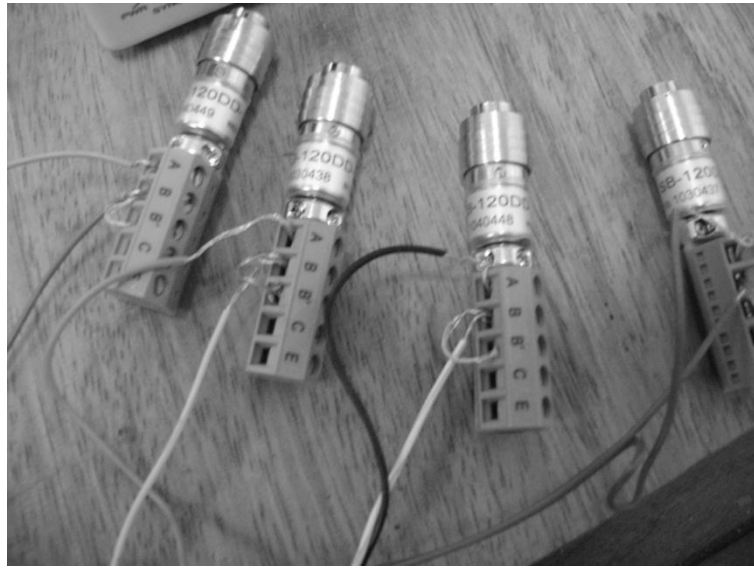
**Gambar L5.11 *Universal Testing Machine***



**Gambar L5.12 Balok Diset pada Alat Uji**



**Gambar L5.13 *Strain Gauge* Baja dan Beton**



**Gambar L5.14** Strain Gauge baja dan beton disambung pada instrumen

*Smart Dynamic Strain Recorder (DC104R Controller)*



**Gambar L5.15** Beban terpusat dibagi menjadi dua beban terpusat





**Gambar L5.16 Komputer yang membaca *DC104R Controller* dan UTM**

*Record* data *Universal Testing Machine* berupa *file* data lendutan-beban-waktu dapat disimpan untuk selanjutnya digunakan untuk olah data lebih lanjut. Sedangkan *Record* data *Smart Dynamic Strain Recorder (DC104R Controller)* berupa *file* data regangan baja dan regangan beton.