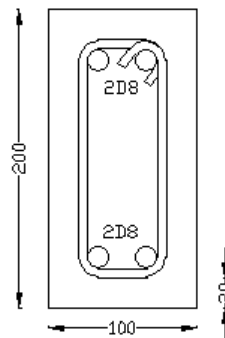


LAMPIRAN I

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 10 mm. Mutu beton $f_c = 30$ MPa dan mutu tulangan $f_y = 250$ MPa. Selimut beton setebal 20 mm. Penampang balok seperti Gambar L1.1. Penampang menerima momen positif, yaitu tarik pada sisi bawah. Maka kekuatan momen nominal dapat dihitung seperti di bawah ini:



Gambar L1.1 Penampang balok

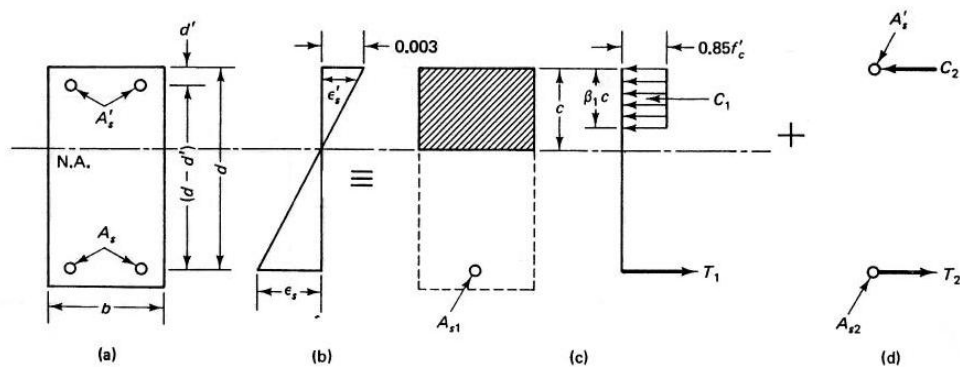


Figure 5.16 Doubly reinforced beam design: (a) cross-section; (b) strains; (c) part 1 of the solution, singly reinforced part; (d) part 2 of the solution, contribution of compression reinforcement.

Gambar L1.2 Penampang Balok Tulangan Ganda dan Distribusi Tegangan-Regangan

$$d = h - d_{\text{senggang}} - 0,5.d_{\text{tulangan}} = 200 - 6 - 0,5.8 = 190 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{100,571}{100 \cdot 190} = 0,005293$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{100,571}{100 \cdot 190} = 0,005293$$

$$\rho - \rho' = 0,005293 - 0,005293 = 0$$

$$\rho_b = \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 30}{250} \cdot \frac{600}{600 + 250} = 0,0612$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 250} = 0,005477 < \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{250} = 0,0056$$

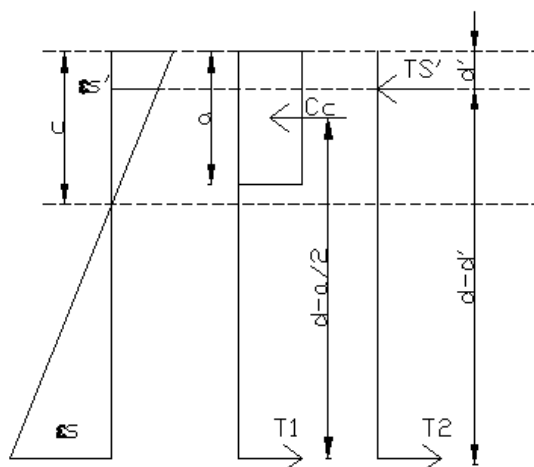
Maka pakai $\rho_{\min} = 0,0056$

$$\rho_{\min} = 0,0056 > \rho = 0,005293$$

maka di cek jika tulangan tekan sudah leleh:

$$\rho - \rho' = 0 < \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \frac{600}{600 - f_y} = 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 30}{250 \cdot 190} \cdot \frac{600}{600 - 250} = 0,02347$$

Pakai kompatibilitas regangan:



Gambar L1.3 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Asumsi

Dari segitiga regangan Gambar L1.3 regangan ε_s' dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

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

$\Sigma H = 0$, maka

$$T_s = C_c + T_s'$$

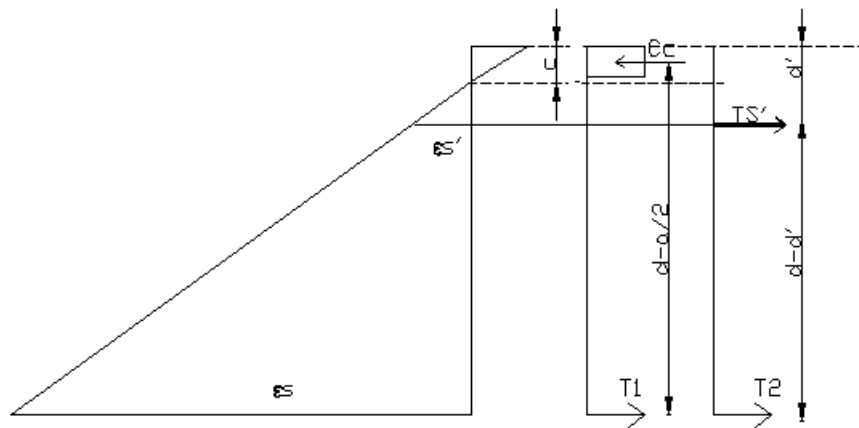
$$A_s.f_y = 0,85.f_c'.ab + A_s'.f_s'$$

$$100,571.250 = (0,85.30.(0,85.c).100) + \left(100,571.\frac{600.(c-30)}{c} \right)$$

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

$$c = 21,9 \text{ mm atau } c = -38,14 \text{ mm, gunakan } c = 21,9 \text{ mm}$$

Karena $c = 21,9 \text{ mm} < d' = 30 \text{ mm}$, maka gambar kompatibilitas regangan harus diperbaiki, yaitu sebagai berikut:



Gambar L1.4 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Sebenarnya

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

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

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

$$(100,571.250) + \left(100,571.\frac{600.(30-c)}{c} \right) = (0,85.30(0,85.c).100)$$

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

$$c = 21,9 \text{ mm} < d' = 30 \text{ mm}$$

$$a = 0,85.c = 0,85.21,9 = 18,615 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{0,003.(c-d')}{c} = \frac{0,003.(21,9-30)}{21,9} = -0,00111$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' = 200000.(-0,00111) = -222 \text{ MPa} < f_y = 250 \text{ MPa}$$

Kontrol:

$$T_s = A_s \cdot f_y = 100,571.250 = 25142,75 \text{ N}$$

$$T_s' = A_s' \cdot f_s' = 100,571.(-222) = -22326,762 \text{ N}$$

$$C_c = 0,85.f_c.a.b = 0,85.30.18,615.100 = 47468,25 \text{ N}$$

$$\Sigma H = T_s - T_s' - C_c = 25142,75 + 22326,762 - 47468,25 = 1,262 \text{ N}$$

$$f_{sb}' = 600 - \frac{d'}{d} \cdot (600 + f_y) = 600 - \frac{30}{190} \cdot (600 + 250) = 465,789 \text{ MPa}$$

$$f_{sb}' = 465,789 \text{ MPa} > f_y = 250 \text{ MPa} \text{ maka } f_{sb}' = f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\max} = 0,75.\rho_b + \rho' \cdot \frac{f_{sb}'}{f_y} = 0,75.0,0612 + 0,005293 \cdot \frac{250}{250} = 0,051193 > \rho = 0,005293$$

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) - T_s' \cdot (d - d')$$

$$= 47468,25 \cdot \left(190 - \frac{18,9}{2} \right) - (22326,762 \cdot (190 - 30))$$

$$= 4998110,618 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{M_n - 429089,4}{L} = \frac{4998110,618 - 429089,4}{900} = 5076,69 \text{ N}$$

LAMPIRAN II

Perhitungan Momen-Kurvatur

L2.1 Metode Tegangan-Regangan A

Model tegangan-regangan diselesaikan secara eksak. Model tegangan-regangan menggunakan kurva tegangan regangan beton Hognestead, yaitu kurva tegangan regangan berbentuk parabola. Balok menggunakan kurva tegangan baja riil hasil uji tarik baja.

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

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

Persamaan transformasi penampang,

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{15000} = 13,333$$

$$A = (b.h) + (n-1).(A_s + A_s') = (100.200) + (13,333-1).(100,571+100,571)$$

$$= 22480,762 \text{ mm}^2$$

Menghitung \bar{y} ,

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

$$= \frac{\left((100.250) \cdot \frac{250}{2} \right) + \left((100,571 \cdot (13,33-1)) \cdot 180 \right) + \left((100,571 \cdot (13,33-1)) \cdot 20 \right)}{A}$$

$$= 100 \text{ mm}$$

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

Menghitung momen inersia penampang,

$$\begin{aligned}
 I &= \left(\frac{1}{12} . b . h^3 \right) + \left((b . h) . \left(\bar{y} - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + \left(A_s . (n-1) . (d - \bar{y})^2 \right) + \left(A_s' . (n-1) . (\bar{y} - d')^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{12} . 100 . 200^3 \right) + \left((100 . 200) . \left(100 - \frac{200}{2} \right)^2 \right) + \left(100,571 . (13,333-1) . (180-100)^2 \right) \\
 &\quad + \left(100,571 . (13,333-1) . (100-20)^2 \right) \\
 &= 82543542,857 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Menghitung *modulus rupture* (f_r),

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_c} = 0,7 \cdot \sqrt{30} = 3,834 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_r = \frac{f_r}{E_c} = \frac{3,834}{15000} = 0,0002556$$

Momen dan kelengkungan dapat dihitung sebagai berikut,

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bottom}} = \frac{3,834 \cdot 82543542,857}{100} = 3164767,228 \text{ Nmm}$$

$$\phi_{crack} = \frac{f_r / E_c}{y_{bottom}} = \frac{3,834 / 15000}{100} = 0,00002556 \text{ rad/mm}$$

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

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

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

Mencari nilai c dengan Metode Numerik *Bi-section* pada program Microsoft Excel. Contoh perhitungan:

$$c = 37,105 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{c1} = \varepsilon_{s1} \cdot \frac{c}{d - c} = 0,00125 \cdot \frac{37,105}{180 - 37,105} = 0,00032$$

$$f_{c1}' = f_c' \cdot \left[\left(\frac{2 \cdot \varepsilon_{c1}}{\varepsilon_c} \right) - \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_c} \right)^2 \right] = 35 \cdot \left[\left(\frac{2 \cdot 0,00032}{0,002} \right) - \left(\frac{0,00032}{0,002} \right)^2 \right]$$

$$= 8.94746 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,00032 \frac{37,105 - 20}{37,105} = 0,000149$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,000149 \cdot 200000 = 29,927 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{2}{3} \cdot c_2 \cdot f_{c1} \cdot b = \frac{2}{3} \cdot 37,105 \cdot 8,947 \cdot 100 = 22133,3 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot 29,927 = 3009,77 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot 250 = 25142,857 \text{ N}$$

$$\Sigma H = C_c + C_s - T = 22133,3 + 3009,77 - 25142,857 = 0,213 \text{ N}$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left(C_c \cdot \left(d - \frac{3 \cdot c}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d')) - M_1 = 0$$

$$\begin{aligned} M_1 &= \left(C_c \cdot \left(d - \frac{3 \cdot c}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d')) \\ &= \left(22133,3 \cdot \left(180 - \frac{3 \cdot 37,105}{8} \right) \right) + (3009,77 \cdot (180 - 20)) \\ &= 4157473 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = \frac{\varepsilon_{c1}}{c} = \frac{0,00032}{37,105} = 0,00000875 \text{ rad/mm}$$

3. Kondisi setelah baja pertama leleh sampai kondisi ultimit

Contoh perhitungan Momen-Kurvatur untuk kondisi baja setelah leleh, dalam subbab ini ditampilkan untuk nilai $\varepsilon_{c1} = 0,0035$.

Mencari nilai c dengan metode *bi-section* pada program Microsoft Excel. Contoh perhitungan:

$$c = 17,253 \text{ mm}$$

$$c_1 = \frac{1}{3} \cdot c = \frac{1}{3} \cdot 17,253 = 5,7509 \text{ mm}$$

$$c_2 = 2 \cdot c_1 = 2 \cdot 5,7509 = 11,5018 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_{c1} &= f_c \cdot \left(1 - \left(100 \cdot (\varepsilon_{c1} - \varepsilon_c) \right) \right) = 30 \cdot \left(1 - \left(100 \cdot (0,0035 - 0,002) \right) \right) \\ &= 25,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,0035 \cdot \frac{17,253-20}{17,253} = -0,0005573$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{d-c}{c} = 0,0035 \cdot \frac{180-17,253}{17,253} = 0,0033$$

$$0,006 \leq \varepsilon_s \leq 0,03 \text{ maka } f_s = 203,3 + 13575 \cdot \varepsilon_s - 318423 \cdot \varepsilon_s^2$$

$$\begin{aligned} f_{s1} &= 203,3 + 13575 \cdot \varepsilon_s - 318423 \cdot \varepsilon_s^2 \\ &= 203,3 + 13575 \cdot 0,0033 - 318423 \cdot 0,0033^2 \\ &= 304,392 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = -0,0005573 \cdot 200000 = -111,469 \text{ MPa}$$

$$C_{c1} = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot (f_c - f_{c1}) \cdot b = \frac{1}{2} \cdot 5,751 \cdot (30 - 25,5) \cdot 100 = 1293,975 \text{ N}$$

$$C_{c2} = c_1 \cdot f_{c1} \cdot b = 5,751 \cdot 25,5 \cdot 100 = 14665,05 \text{ N}$$

$$C_{c3} = \frac{2}{3} \cdot c_2 \cdot f_c \cdot b = \frac{2}{3} \cdot 11,502 \cdot 30 \cdot 100 = 23004 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot -111,469 = -11210,628 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot 235,411 = 23675,519 \text{ N}$$

$$\Sigma H = 0,001$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left(C_{c1} \cdot \left(d - \frac{2 \cdot c_1}{3} \right) \right) + \left(C_{c2} \cdot \left(d - \frac{1 \cdot c_1}{2} \right) \right) + \left(C_{c3} \cdot \left(d - c_1 - \frac{3 \cdot c_2}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d')) - M_1 = 0$$

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

$$M_1 = \left(1293,975 \cdot \left(180 - \frac{2 \cdot 5,751}{3} \right) \right) + \left(14665,05 \cdot \left(180 - \frac{1 \cdot 5,751}{2} \right) \right) +$$

$$\left(23004 \cdot \left(180 - 60 - \frac{3 \cdot 11,502}{8} \right) \right) + (-11210,628 \cdot (180 - 20))$$

$$M_1 = 5858481,978 \text{ Nmm}$$

$$\phi = \frac{\varepsilon_{c1}}{c} = \frac{0,0035}{17,253} = 0,0002029 \text{ rad/mm}$$

L2.2 Model Tegangan-Regangan B

Perhitungan Momen-Kurvatur sebagai berikut:

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

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

Persamaan transformasi penampang,

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{15000} = 13,333$$

$$A = (b.h) + (n-1).(A_s + A_s') = (100.200) + (13,333-1).(100,571+100,571)$$

$$= 22480,762 \text{ mm}^2$$

Menghitung \bar{y} ,

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

$$= \frac{\left((100.250) \cdot \frac{250}{2} \right) + \left((100,571 \cdot (13,33-1)) \cdot 180 \right) + \left((100,571 \cdot (13,33-1)) \cdot 20 \right)}{A}$$

$$= 100 \text{ mm}$$

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

Menghitung momen inersia penampang,

$$I = \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + \left((b.h) \cdot \left(\bar{y} - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + \left(A_s \cdot (n-1) \cdot (d - \bar{y})^2 \right) + \left(A_s' \cdot (n-1) \cdot (\bar{y} - d')^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200^3 \right) + \left((100.200) \cdot \left(100 - \frac{200}{2} \right)^2 \right) + \left(100,571 \cdot (13,333-1) \cdot (180-100)^2 \right)$$

$$+ \left(100,571 \cdot (13,333-1) \cdot (100-20)^2 \right)$$

$$= 82543542,857 \text{ mm}^4$$

Menghitung *modulus rupture* (f_r),

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_c} = 0,7 \cdot \sqrt{30} = 3,834 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_r = \frac{f_r}{E_c} = \frac{3,834}{15000} = 0,0002556$$

Momen dan kelengkungan dapat dihitung sebagai berikut,

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bottom}} = \frac{3,834.82543542,857}{100} = 3164767,228 \text{ Nmm}$$

$$\phi_{crack} = \frac{f_r / E_c}{y_{bottom}} = \frac{3,834/15000}{100} = 0,000002556 \text{ rad/mm}$$

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

Contoh perhitungan Momen-Kurvatur untuk kondisi baja pertama leleh, ditampilkan untuk nilai $\varepsilon_{c1} = 0,000325$.

$$\begin{aligned} f_{c1} &= f_c \cdot \left(\left(\frac{2 \cdot \varepsilon_{c1}}{\varepsilon_c} \right) - \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_c} \right)^2 \right) = 30 \cdot \left(\left(\frac{2 \cdot 0,000325}{0,002} \right) - \left(\frac{0,000325}{0,002} \right)^2 \right) \\ &= 8,947 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dari diagram regangan diperoleh hubungan:

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

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{d - c}{c} = 0,000325 \cdot \frac{180 - c}{c} = \frac{0,0585 - 0,000325 \cdot c}{c}$$

$$f_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s = \frac{0,0585 - 0,000325 \cdot c}{c} \cdot 200000 = \frac{11700 - 65 \cdot c}{c}$$

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

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,000325 \cdot \frac{c - 20}{c} = \frac{0,000325 \cdot c - 0,0065}{c}$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = \frac{0,000325 \cdot c - 0,0065}{c} \cdot 200000 = \frac{65 \cdot c - 1300}{c}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot c \cdot f_{c1} \cdot b}{3} = \frac{2 \cdot c \cdot 8,947 \cdot 100}{3} = 596,467 \cdot c$$

$$C_s = A_s' \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot \frac{65 \cdot c - 1300}{c} = \frac{6537,115 \cdot c - 130742,3}{c}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot \frac{11700 - 65 \cdot c}{c} = \frac{1176680,7 - 6537,115 \cdot c}{c}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$C_c + C_s - T = 0$$

$$596,467.c + \frac{6537,115.c - 130742,3}{c} - \frac{1176680,7 - 6537,115.c}{c} = 0$$

$$c = -59,044 \text{ mm atau } c = 37,106 \text{ mm}$$

Pakai $c = 37,106 \text{ mm}$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_c \cdot \frac{d - c}{c} = 0,000325 \cdot \frac{180 - 37,106}{37,106} = 0,00125$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,000325 \cdot \frac{37,106 - 20}{37,106} = 0,00015$$

$$f_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s = 0,00125 \cdot 200000 = 250 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,00015 \cdot 200000 = 29,927 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{2.c.f_{c1}.b}{3} = \frac{2.37,106.10.588.100}{3} = 22133,424 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot 29,927 = 3009,793 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 100,571 \cdot 250 = 25142,857 \text{ N}$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left(C_c \cdot \left(d - \frac{3.c}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d')) - M_1 = 0$$

$$M_1 = \left(C_c \cdot \left(d - \frac{3.c}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d'))$$

$$M_1 = \left(22133,424 \cdot \left(180 - \frac{3 \cdot 37,106}{8} \right) \right) + (3009,793 \cdot (180 - 20))$$

$$M_1 = 4157605,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi = \frac{\varepsilon_{c1}}{c} = \frac{0,000325}{37,106} = 0,000008748 \text{ rad/mm}$$

3. Kondisi setelah baja pertama leleh sampai kondisi ultimit

Contoh perhitungan Momen-Kurvatur untuk kondisi baja setelah leleh, dalam subbab ini ditampilkan untuk nilai $\varepsilon_{c1} = 0,0035$. Dari diagram tegangan-regangan beton Model B, setelah mencapai $\varepsilon_c = 0,002$, maka untuk mencari nilai f_c dapat menggunakan Persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$f_{c1} = f_c \cdot \left(1 - \left(100 \cdot (\varepsilon_{c1} - \varepsilon_c) \right) \right) = 30 \cdot \left(1 - \left(100 \cdot (0,0035 - 0,002) \right) \right) = 25,5 \text{ MPa}$$

Mencari nilai c dari metode numerik *Bi-section* dengan Microsoft Excel. Dari hasil perhitungan Metode Numerik *Bi-section* dapat diperoleh bahwa pada langkah iterasi ke-24 telah diperoleh hasil nilai c yang konvergen. Maka iterasi dihentikan. Setelah diperoleh nilai c , maka perhitungan Momen-Kurvatur dapat dilanjutkan.

$$c = 16,214 \text{ mm}$$

$$c_1 = \frac{1}{3} \cdot c = \frac{1}{3} \cdot 16,214 = 5,405 \text{ mm}$$

$$c_2 = 2 \cdot c_1 = 2 \cdot 5,405 = 10,809 \text{ mm}$$

$$C_{c1} = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot (f_c - f_{c1}) \cdot b = \frac{1}{2} \cdot 5,405 \cdot (30 - 25,2) \cdot 100 = 1216,125 \text{ N}$$

$$C_{c2} = c_1 \cdot f_{c1} \cdot b = 5,405 \cdot 25,2 \cdot 100 = 13782,75 \text{ N}$$

$$C_{c3} = \frac{2}{3} \cdot c_2 \cdot f_c \cdot b = \frac{2}{3} \cdot 10,809 \cdot 30 \cdot 100 = 21618 \text{ N}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{d - c}{c} = 0,0035 \cdot \frac{180 - 16,214}{16,214} = 0,0354$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,0035 \cdot \frac{16,214 - 20}{16,214} = -0,000817$$

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

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = -0,000817 \cdot 200000 = -163,436 \text{ MPa}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_{s2} = 100,571 \cdot -163,436 = -16436,945 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_{s1} = 100,571 \cdot 250 = 25142,857 \text{ N}$$

$$\Sigma H = -0,005$$

$$\Sigma M_T = 0$$

$$\left(C_{c1} \cdot \left(d - \frac{2 \cdot c_1}{3} \right) \right) + \left(C_{c2} \cdot \left(d - \frac{1 \cdot c_1}{2} \right) \right) + \left(C_{c3} \cdot \left(d - c_1 - \frac{3 \cdot c_2}{8} \right) \right) + (C_s \cdot (d - d')) - M_1 = 0$$

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

$$M_I = \left(1216,125 \cdot \left(180 - \frac{2 \cdot 60}{3} \right) \right) + \left(13782,75 \cdot \left(180 - \frac{1 \cdot 60}{2} \right) \right) + \left(21618 \cdot \left(180 - 60 - \frac{3 \cdot 120}{8} \right) \right)$$

$$- (16436,945 \cdot (180 - 20))$$

$$M_I = 4579352,679 \text{ Nmm}$$

LAMPIRAN III

HASIL ANALISIS SEMEN DAN AGREGAT SERTA PERHITUNGAN *MIX DESIGN*

L3.1 Hasil Analisis Semen dan Agregat

L3.1.1 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/cm³

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

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/cm³

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

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

Maka diperoleh berat jenis rata-rata semen sebesar 3,48 gr/cm³.

2. Hasil Perhitungan Pengujian Konsistensi Normal Semen

Diketahui:

Berat Semen : 400 gram

Ø Jarum Vicat : 10 mm

Suhu : 27°C

Tabel L3.1 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 L3.1 dapat dilakukan perhitungan berat air dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

Berat air = Konsistensi.Berat semen

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

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 L3.2), maka penurunan semen dapat dihitung sebagai berikut:

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

Tabel L3.2 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

L3.1.2 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%.

L3.1.3 Agregat Halus

1. Menentukan Kadar Organik dalam Agregat Halus

Tabel L3.3 Warna Larutan

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

Dari hasil pengujian tersebut (Tabel L3.3) 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 L3.4 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

Tabel L3.4 Penyerapan Agregat Halus (Lanjutan)				
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 L3.4 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 L3.5.

Tabel L3.5 *Bulking Factor*

Nomor	I	II	III	IV
Gelas Ukur	Sampel A	Sampel B	Sampel C	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> $(X-Y)/Y \cdot 100\%$	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 L3.6.

Tabel L3.6 Kadar Air

Nomor	I	II	III	IV
Sampel Pasir	Sampel A	Sampel B	Sampel C	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 = $(X-Y)/Y \cdot 100\%$	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 L3.7.

Tabel L3.7 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 *Specific Gravity*

Hasil pengujian *Specific Gravity* agregat halus ditampilkan pada Tabel L3.8.

Tabel L3.8 *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
<i>Specific Gravity</i> = (X-Y)/Y.100 %	2.5	1.923	1.786	2.326
<i>Specific Gravity</i> rata-rata (%)	2.13			

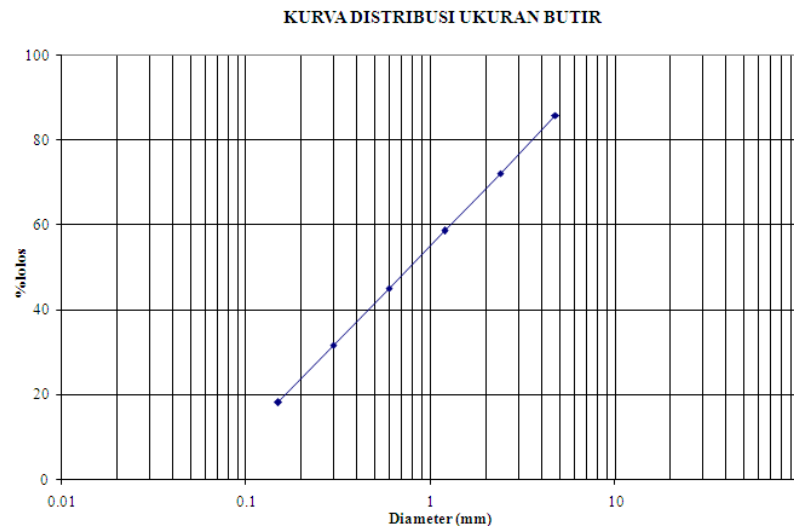
7. Menentukan Analisis Ayak Agregat Halus

Hasil pengujian analisis ayak agregat halus ditampilkan pada Tabel L3.9.

Tabel L3.9 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	14.2284	14.2284	85.7716
No. 8 (2.40 mm)	68	13.6272	27.8556	72.1444
No. 16 (1.20 mm)	68	13.6272	41.4828	58.5172
No. 30 (0.60 mm)	67	13.4268	54.9096	45.0904
No. 50 (0.30 mm)	67	13.4268	68.3364	31.6636
No. 100 (0.15 mm)	68	13.6272	81.9636	18.0364
Pan	90	18.0364	-	-
Total	499	100	288.7764	-

Dari analisis ayak agregat halus dapat dibuat kurva distribusi ukuran butir seperti pada Gambar L3.1



Gambar L3.1 Kurva Distribusi Ukuran Butir Agregat Halus

L3.2 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 kg/m^3 .

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan Berat jenis agregat kasar sebesar 2840 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

- Struktur beton akan digunakan di luar ruang bangunan, namun terlindung dari hujan dan terik matahari langsung sehingga fas maksimum = 0,60
- Struktur beton tidak berhubungan dengan tanah yang mengandung sulfat
- 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 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:

$$P = \text{prosentase pasir terhadap campuran} = 34\%$$

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

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 kg/m^3 .

20. Menghitung kebutuhan agregat campuran

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

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

21. Menghitung kebutuhan agregat halus

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

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

22. Menghitung kebutuhan agregat kasar

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

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

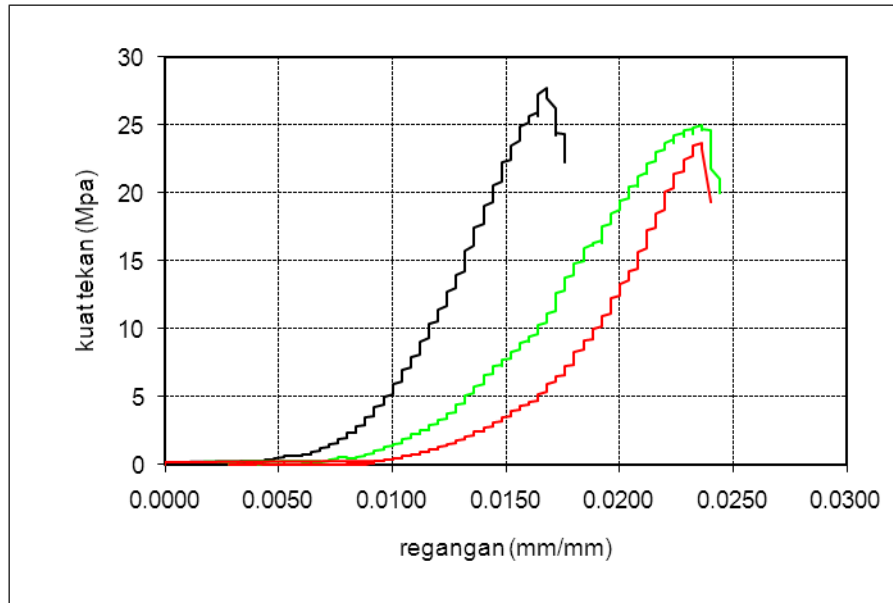
Jadi, untuk 1 m^3 beton, kebutuhan untuk campuran beton adalah:

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

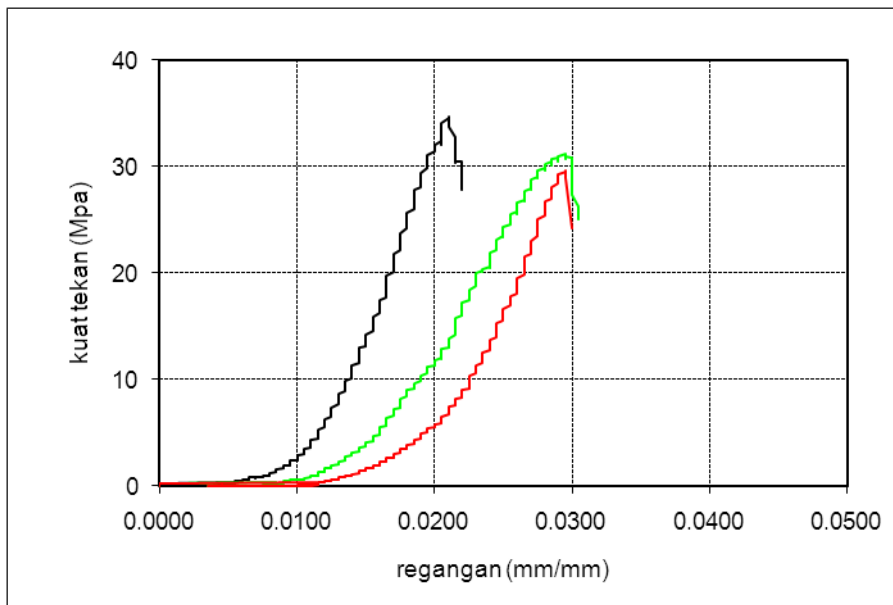
$$\text{Semen} = 625,1563 \text{ kg/m}^3$$

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

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



(a). Benda uji usia 14 hari



(b). Benda uji usia 28 hari

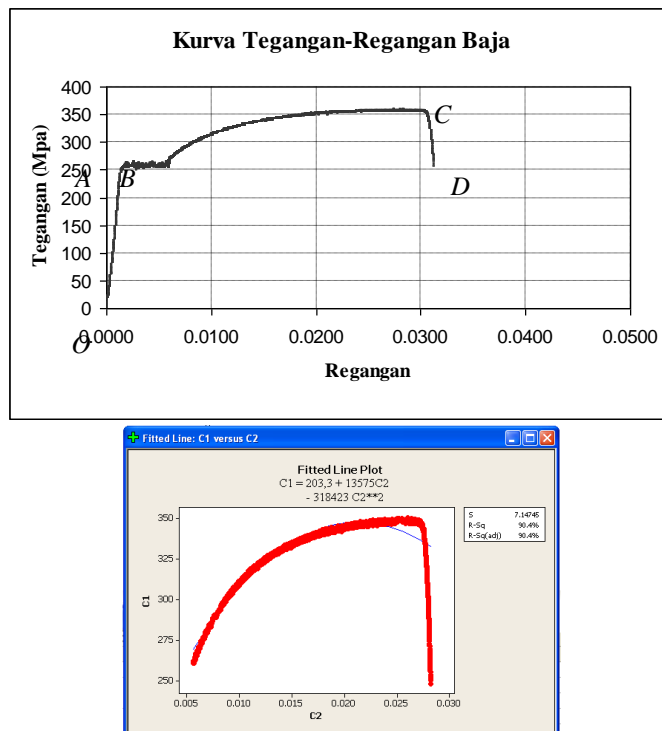
Gambar L3.2 Hasil uji tekan silinder

LAMPIRAN IV

HASIL UJI TARIK BAJA

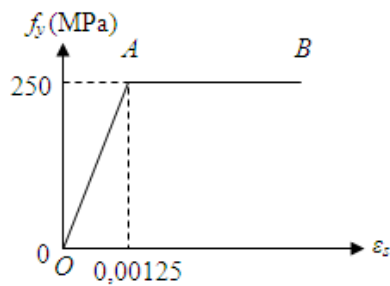
L4.1 Hasil Uji Tarik Tulangan Baja dengan *Universal Testing Machine*

Uji tarik baja menghasilkan kurva tegangan-regangan baja yang digunakan pada Model A. Hasil uji tarik baja tampak pada Gambar L4.1.



Gambar L4.1 Kurva Tegangan-Regangan Baja Hasil Uji Tarik

Sedangkan untuk Model B digunakan kurva bilinear seperti gambar L4.2



Gambar L4.2

LAMPIRAN V

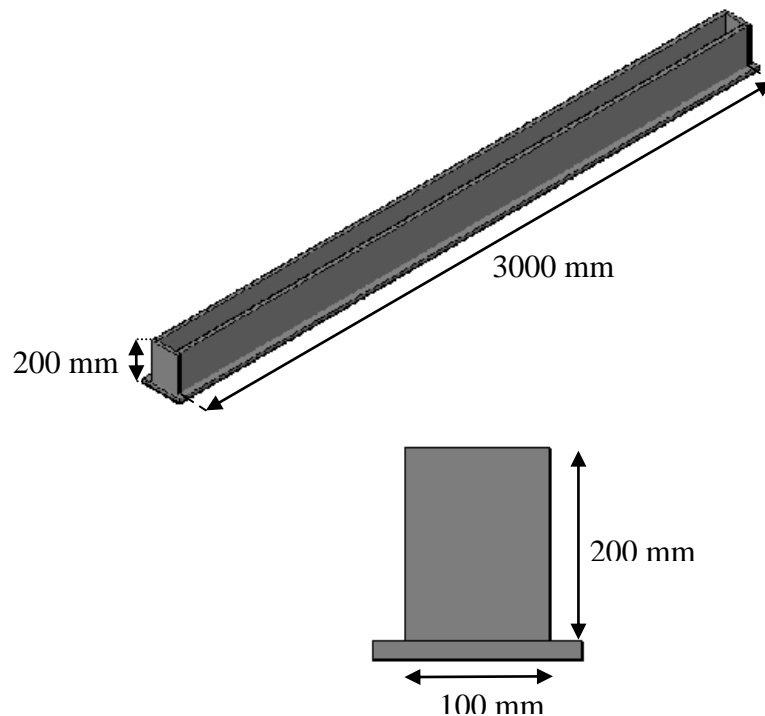
HASIL UJI EKSPERIMENTAL

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* dipasang pada baja 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*

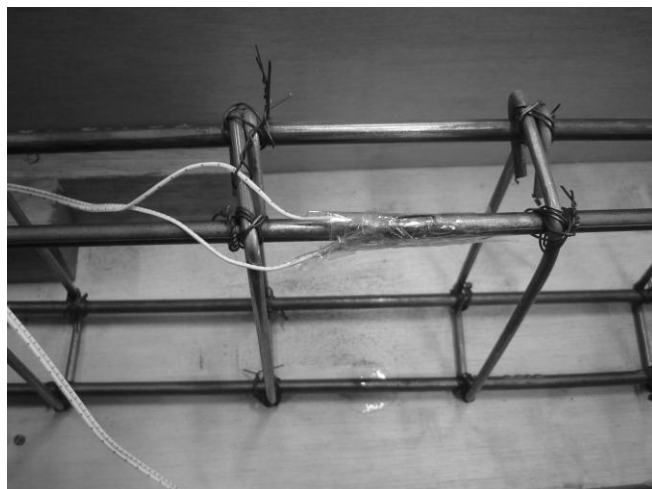
Setelah permukaan tulangan diampelas, *Strain Gauge* ditempel pada permukaan tulangan menggunakan lem *Power Glue* yang mengandung α -*cyanoacrylate*. Pengeleman *Strain Gauge* seperti pada Gambar L5.3. Setelah dilem, *Strain Gauge* direkatkan kembali dengan selotip, selotip juga berfungsi melindungi *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.



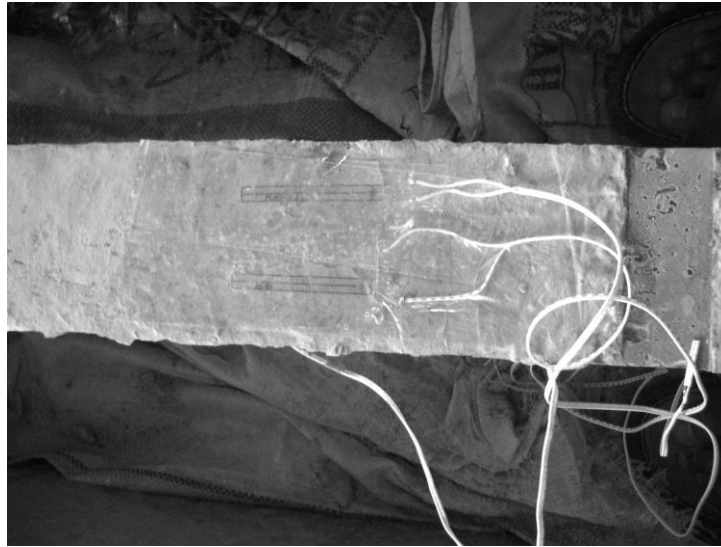
Gambar L5.8 Adonan Beton Dicetak Dalam Bekisting



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

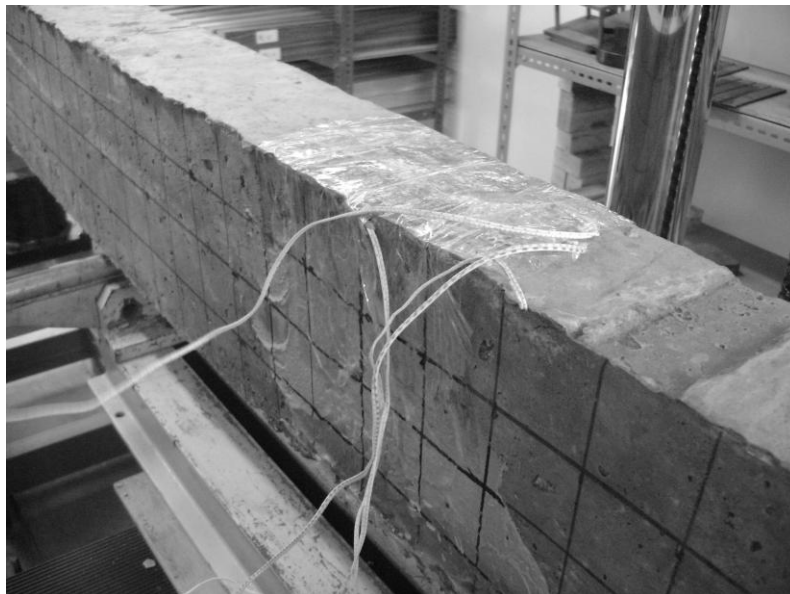
Sebelum balok diuji, permukaan depan dan belakang balok digambar kotak-kotak sebesar 5 cm untuk membaca retak saat diuji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (Gambar L5.11).



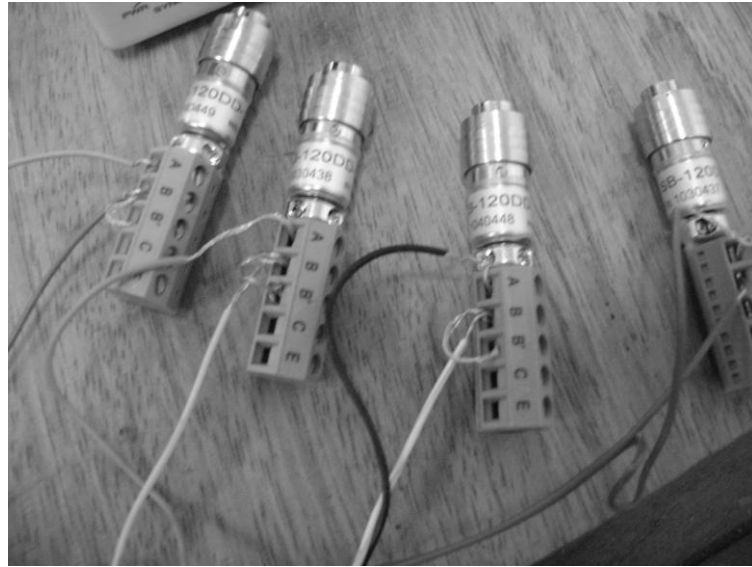
Gambar L5.11 *Universal Testing Machine*



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.