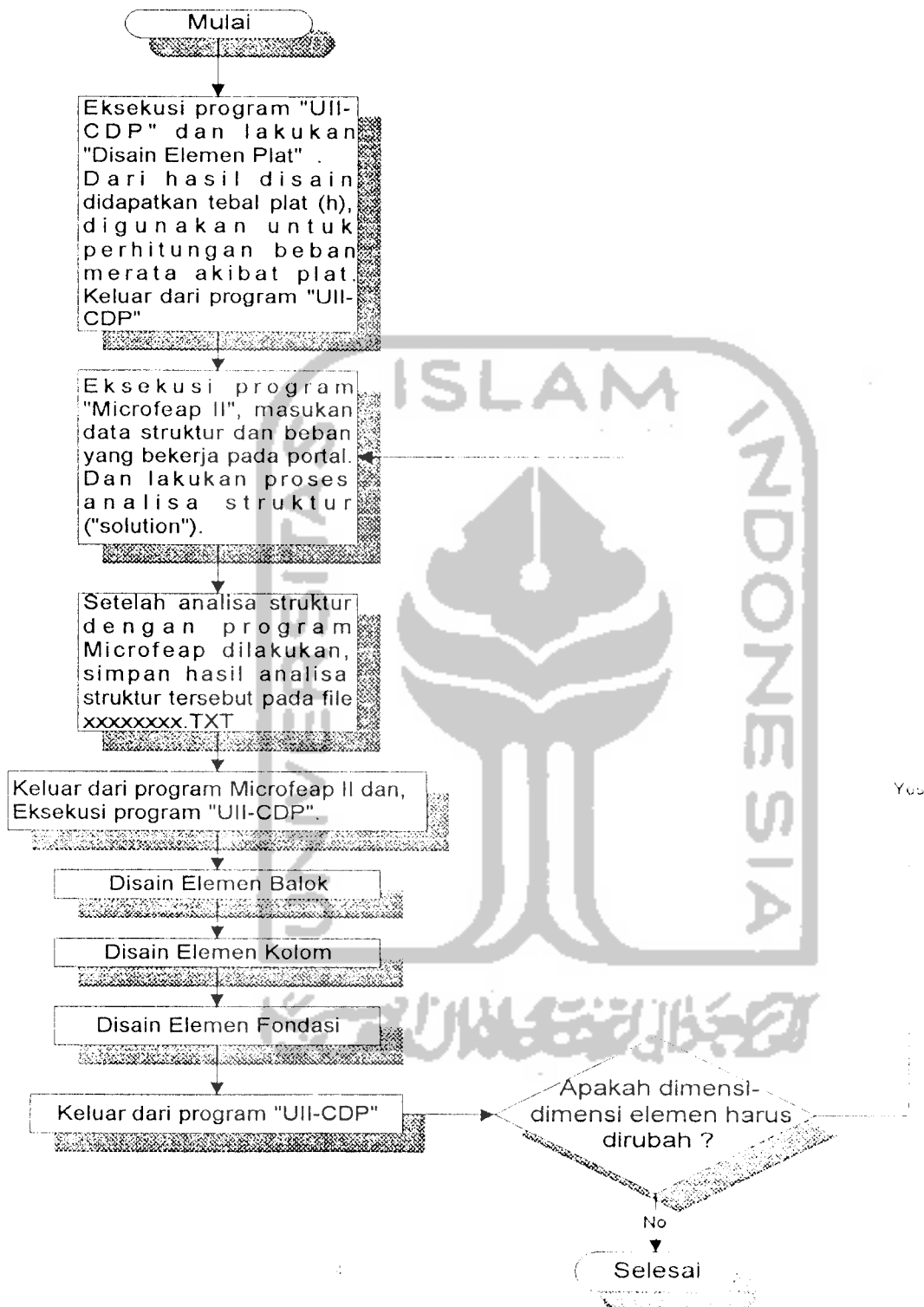


BAB IV

EKSEKUSI PROGRAM

Perencanaan elemen struktur beton menggunakan program Disain Elemen Struktur Beton dengan data “input” dari keluaran program Microfeap sebagai langkah awal adalah mendisain elemen plat dengan program UII-CDP, sehingga didapat tebal plat (h) yang akan digunakan untuk perhitungan beban merata akibat plat pada portal. Kemudian dilakukan asumsi dimensi dan material properti elemen-elemen struktur portal, identifikasi nomor titik nodal dan elemen (batang) struktur portal, dimasukkan data tersebut pada program Microfeap dan dilakukan analisa struktur dengan program Microfeap. Selanjutnya hasil program ini disimpan pada file dengan ekstensi TXT. Langkah berikutnya adalah mendisain elemen balok, kolom dan fondasi dengan program UII-CDP. Apabila saat mendisain elemen-elemen tersebut asumsi dimensi elemen struktur salah (dimensi harus diperbesar), maka perencanaan diulang kembali dimulai pada asumsi dimensi karena dengan berubahnya dimensi gaya-gaya yang bekerja pada elemen struktur juga berubah, karena itu material propertinya harus disesuaikan kembali. Apabila asumsi dimensi sudah benar, maka perencanaan tersebut telah selesai dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada skema kerja eksekusi program (gambar 4.1).



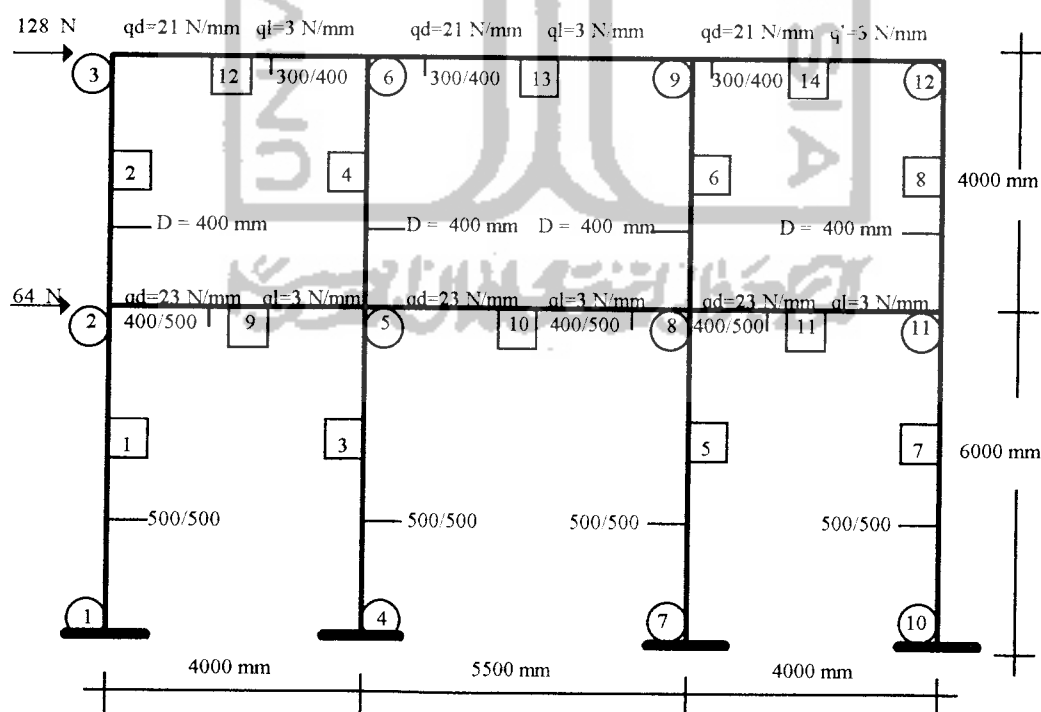
Gambar 4.1 Skema kerja eksekusi program

4.1 Penggunaan Program Microfeap II (P1-Module)

Menggunakan program Microfeap II (P1-Module) untuk analisis struktur diperlukan dimensi penampang rencana tiap elemen struktur dan beban-beban yang bekerja pada elemen ataupun titik nodal. Sebagai contoh seperti pada struktur portal gambar 4.2. Satuan gaya dan panjang harus konsisten yaitu N dan mm, karena program disain elemen struktur beton yang dibuat menggunakan satuan (SI).

4.1.1 Data Struktur

Penggunaan program Microfeap II (P1-Module) pada disain elemen struktur portal beton dengan data struktur seperti pada gambar 4.2, "Output" data strukturnya secara rinci dapat dilihat pada lampiran 5



Gambar 4.2 Struktur portal beton

$$E_c = 4700\sqrt{f_{c'}} = 4700\sqrt{30} = 25742 \text{ MPa.}$$

$$E_s = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa.}$$

4.1.2 Keluaran/hasil program

Keluaran atau hasil program Microfeap II berupa hasil perhitungan analisis struktur yaitu seperti berikut ini:

1. Elemen balok.

Momen maksimum elemen balok lantai pada batang no.9 yaitu:

$$\text{Momen tumpuan} = -64924000 \text{ Nmm.}$$

$$\text{Momen lapangan} = 41966000 \text{ Nmm.}$$

Momen maksimum elemen balok atap pada batang no.12 yaitu.

$$\text{Momen tumpuan} = -59975000 \text{ Nmm.}$$

$$\text{Momen lapangan} = 41542000 \text{ Nmm.}$$

Gaya geser maksimum elemen balok lantai pada batang no 9 yaitu

$$\text{Gaya geser (Vu)} = 74674 \text{ N.}$$

Gaya geser maksimum elemen balok atap pada batang no.12 yaitu.

$$\text{Gaya geser (Vu)} = 69833 \text{ N.}$$

2. Elemen Kolom.

Momen-momen ujung maksimum elemen kolom lantai dasar pada batang no.1 yaitu:

$$M1 = 2,2 \times 10^7 \text{ Nmm.}$$

$$M2 = -1,0 \text{ Nmm.}$$

Momen-momen ujung maksimum elemen kolom lantai I pada batang no 8 yaitu

$$M1 = 3,8 \times 10^7 \text{ Nmm.}$$

$$M2 = -2,7 \times 10^7 \text{ Nmm.}$$

Gaya geser maksimum elemen kolom lantai dasar pada batang no 7 yaitu

$$Vu = 3,7 \times 10^3 \text{ Nmm.}$$

Gaya geser maksimum elemen kolom lantai I pada batang no 8 yaitu

$$Vu = 1,6 \times 10^4 \text{ Nmm.}$$

Gaya aksial maksimum elemen kolom lantai dasar pada batang no.5 yaitu

$$Pu = 2,4 \times 10^5 \text{ Nmm.}$$

Gaya aksial maksimum elemen kolom lantai I pada batang no.6 yaitu:

$$Pu = 1,2 \times 10^5 \text{ Nmm.}$$

Untuk disain elemen fondasi gaya aksial elemen kolom yaitu:

$$\text{batang no.7 } Pu = 1,3 \times 10^5 \text{ Nmm.}$$

$$\text{batang no.5 } Pu = 2,4 \times 10^5 \text{ Nmm.}$$

Hasil keluaran program Microfeap II berupa hasil perhitungan analisis struktur itu dengan lengkap dapat dilihat pada lampiran 6.

4.2 Penggunaan Program Disain Elemen Struktur Beton

“Output” hasil keluaran program Microfeap II pada lampiran 6 selain didokumentasikan ke printer juga didokumentasikan ke file teks dengan nama xxxxxxxx.TXT yang akan berfungsi sebagai file data “inputing” program disain elemen struktur beton. Penjelasan tentang cara penggunaan menu-menu pada program disain elemen struktur beton dengan “inputing” data Microfeap ini secara garis besar dapat dilihat pada lampiran 7.

4.2.1 Data masukan

Data masukan untuk program disain elemen struktur beton dengan “inputing” data Microfeap adalah data yang dibutuhkan untuk proses disain masing-masing elemen struktur beton yang telah di-“input”-kan. Untuk contoh struktur portal gambar 4.2 di atas “output” datanya dapat dilihat pada lampiran 8.

4.2.2 Keluaran/hasil program

Keluaran program disain elemen struktur beton adalah hasil disain penulangan elemen struktur beton untuk masing-masing tipe elemen. “Output” hasil disain untuk struktur portal gambar 4.2 di atas dapat dilihat pada lampiran 9.

4.3 Perbandingan Hasil Disain Dengan Perhitungan Manual

Sebagai perbandingan antara perhitungan manual dengan hasil program disain elemen struktur beton dengan “inputing” data Microfeap dilakukan perhitungan manual dengan mengambil gaya-gaya maksimum keluaran program Microfeap yang bekerja pada masing-masing elemen struktur beton dengan tipe yang sama

4.3.1 Disain elemen plat

Perhitungan manual disain elemen plat mengacu pada langkah-langkah dan rumus-rumus perencanaan plat pada sub bab 2.1.1 di atas, dan untuk perhitungan manual disain elemen plat ini diambil plat tipe 2.

Plat Tipe 2:

Data perencanaan:

$$B = 4000 \text{ mm. } L = 5500 \text{ mm. } P_b = 40 \text{ mm. } H = 110 \text{ mm.}$$

$$M_{lx} = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Nmm. } M_{ly} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Nmm. } M_{tx} = -1,71 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$

$$M_{ty} = -1,23 \cdot 10^5 \text{ Nmm.}$$

Plat merupakan plat dua arah.

$$\Phi = 0,8. \beta = 0,85. f_c' = 30 \text{ MPa. } F_y = 300 \text{ MPa.}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{300} \cdot \frac{600}{600 + 300}$$

$$= 0,048$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,048 = 0,036$$

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

$$s_{maks} = 5 \cdot H = 5 \cdot 110 = 550 \text{ mm.}$$

$$s_{maks} = 500 \text{ mm.}$$

digunakan $s_{maks} = 500 \text{ mm.}$

$$s_{min} = 100 \text{ mm.}$$

$$F_y = 300 \text{ MPa} \longrightarrow A_{ss} = 0,0020 \cdot b \cdot h = 0,0020 \cdot 1000 \cdot 110 = 220 \text{ mm}^2$$

Penulangan daerah lapangan arah(x) melebar:

$$D_p = 16 \text{ mm. } D = H - P_b - 0,5 \cdot D_p = 110 - 40 - 0,5 \cdot 16 = 62 \text{ mm.}$$

$$k = \frac{M_l x}{\Phi \cdot 1000 \cdot D^2} = \frac{1,7 \cdot 10^5}{0,8 \cdot 1000 \cdot 62^2} = 0,055$$

$$\rho = \frac{f_c' - \sqrt{f_c'^2 - 2,36 \cdot k \cdot f_c'}}{1,18 \cdot F_y} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 0,055 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300}$$

$$= 0,00018 < \rho_{min} = 0,0035$$

digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot 1000 \cdot D = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 62$$

$$= 217 \text{ mm}^2 < A_{ss} = 220 \text{ mm}^2 \rightarrow A_s = 220 \text{ mm}^2$$

$$AD = 0,25 \cdot \pi \cdot D_p^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2.$$

$$s = \frac{AD \cdot 1000}{A_s} = \frac{200,96 \cdot 1000}{220} = 913 \text{ mm} > s_{maks} = 500 \text{ mm}$$

digunakan $s = 500 \text{ mm, dipakai sengkang } D16 - 500 \text{ mm}$

Penulangan daerah lapangan arah(y) memanjang:

$$D_p = 16 \text{ mm. } D = H - P_b - D_p \times 0,5. D_p = 110 - 40 - 16 \times 0,5. 16 = 46 \text{ mm.}$$

$$k = \frac{Mly}{\Phi \cdot 1000 \cdot D^2} = \frac{1,2 \cdot 10^5}{0,8 \cdot 1000 \cdot 46^2} = 0,071$$

$$\rho = \frac{fc' - \sqrt{fc'^2 - 2,36 \cdot k \cdot fc'}}{1,18 \cdot fy} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 0,071 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300}$$

$$= 0,00024 < \rho_{\min} = 0,0035$$

digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot 1000 \cdot D = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 46$$

$$= 161 \text{ mm}^2 < A_{ss} = 220 \text{ mm}^2$$

digunakan $A_s = 220 \text{ mm}^2$.

$$AD = 0,25 \cdot \pi \cdot D_p^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{AD \cdot 1000}{A_s} = \frac{200,96 \cdot 1000}{220} = 913 \text{ mm} > s_{\max} = 500 \text{ mm}$$

digunakan $s = 500 \text{ mm}$, dipakai sengkang $D16 - 500 \text{ mm}$

Penulangan daerah tumpuan arah(x) melebar:

$$D_p = 16 \text{ mm. } D = H - P_b - 0,5 \cdot D_p = 110 - 40 - 0,5 \cdot 16 = 62 \text{ mm.}$$

$$k = \frac{Mtx}{\Phi \cdot 1000 \cdot D^2} = \frac{1,71 \cdot 10^5}{0,8 \cdot 1000 \cdot 62^2} = 0,056$$

$$\rho = \frac{fc' - \sqrt{fc'^2 - 2,36 \cdot k \cdot fc'}}{1,18 \cdot fy} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 0,056 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300}$$

$$= 0,00019 < \rho_{\min} = 0,0035$$

digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot 1000 \cdot D = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 82$$

$$= 217 \text{ mm}^2 < A_{ss} = 220 \text{ mm}^2 \rightarrow A_s = 220 \text{ mm}^2$$

$$AD = 0,25 \cdot \pi \cdot Dp^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{AD \cdot 1000}{As} = \frac{200,96 \cdot 1000}{220} = 913 \text{ mm} > s_{maks} = 500 \text{ mm}$$

digunakan s = 500 mm, dipakai sengkang D16 – 500 mm

Penulangan daerah tumpuan arah(y) memanjang:

$$Dp=16 \text{ mm. } D=H-Pb-0,5 \cdot Dp=110-40-0,5 \cdot 16=62 \text{ mm.}$$

$$k = \frac{Mty}{\Phi \cdot 1000 \cdot D^2} = \frac{1,23 \cdot 10^5}{0,8 \cdot 1000 \cdot 62^2} = 0,040$$

$$\rho = \frac{fc' - \sqrt{fc'^2 - 2,36 \cdot k \cdot fc'}}{1,18 \cdot Fy} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 0,040 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300}$$

$$= 0,00013 < \rho_{min} = 0,0035$$

digunakan $\rho = 0,0035$

$$As = \rho \cdot 1000 \cdot D = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 62$$

$$= 217 \text{ mm}^2 < Ass = 220 \text{ mm}^2 \rightarrow As = 220 \text{ mm}^2$$

$$AD = 0,25 \cdot \pi \cdot Dp^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{AD \cdot 1000}{As} = \frac{200,96 \cdot 1000}{220} = 913 \text{ mm} > s_{maks} = 500 \text{ mm}$$

digunakan s = 500 mm, dipakai sengkang D16 – 500 mm

Perhitungan tulangan susut:

$$Ds = 10 \text{ mm. } AD = 0,25 \cdot \pi \cdot Ds^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{AD \cdot 1000}{Ass} = \frac{78,5 \cdot 1000}{220} = 356,8 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

digunakan D10 – 350 mm.

4.3.2 Disain elemen balok

Perhitungan manual disain elemen balok mengacu pada langkah-langkah dan rumus-rumus perencanaan balok pada sub bab 2.1.2 di atas, dan untuk perhitungan manual disain elemen balok ini diambil balok tipe 1.

Balok Tipe 1 (balok atap):

Data perencanaan:

$$f_c' = 30 \text{ MPa. } F_y = 300 \text{ MPa. } E_s = 200000 \text{ MPa. } D_{p_{maks}} = 18 \text{ mm.}$$

$$D_{smaks} = 10 \text{ mm. } L = 5500 \text{ mm. } B = 300 \text{ mm. } H = 400 \text{ mm}$$

$$M^+ = 4,15 \cdot 10^7 \text{ Nmm. } M^- = 6,0 \cdot 10^7 \text{ Nmm. } V_u = 69830 \text{ N.}$$

$$T_u = 2 \cdot 10^7 \text{ Nmm. } \Phi = 0,8. \beta_1 = 0,85.$$

$$D = H - P_b - 0,5 \cdot D_{p_{maks}} - D_{s_{maks}} = 400 - 50 - 0,5 \cdot 18 - 10 = 331 \text{ mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{F_y} \cdot \frac{600}{600 + F_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{300} \cdot \frac{600}{600 + 300}$$

$$= 0,048$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,048 = 0,036$$

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

$$\omega = \rho_{maks} \cdot \frac{F_y}{f_c'} = 0,036 \cdot \frac{300}{30} = 0,36$$

$$k_{maks} = f_c' \cdot \omega \cdot [1 - 0,59 \cdot \omega] = 30 \cdot 0,36 \cdot [1 - 0,59 \cdot 0,36] = 8,5$$

$$MR_{maks} = \Phi \cdot B \cdot D^2 \cdot k_{maks} = 0,8 \cdot 300 \cdot 331^2 \cdot 8,5 = 223504440 \text{ Nmm.}$$

Penulangan daerah lapangan:

$$D_p = 12 \text{ mm. } MR_{maks} = 223504440 \text{ Nmm} > M^+ = 4,15 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

Balok bertulangan tarik saja....!

$$k = \frac{M^+}{\Phi \cdot B \cdot D^2} = \frac{4,15 \cdot 10^7}{0,8 \cdot 300 \cdot 331^2} = 1,56$$

$$\rho = \frac{f_c' - \sqrt{f_c'^2 - 2,36 \cdot k \cdot f_c'}}{1,18 \cdot f_y} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 1,56 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300}$$

$$= 0,0054 > \rho_{\min} = 0,0035 \text{ dan } < \rho_{\max} = 0,036 \dots \text{ok.}$$

digunakan $\rho = 0,0054$

$$A_s = \rho \cdot B \cdot D = 0,0054 \cdot 300 \cdot 331$$

$$= 536,22 \text{ mm}^2.$$

$$AD = 0,25 \cdot \pi \cdot D p^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2.$$

$$n = \frac{A_s}{AD} = \frac{536,22}{113,04} = 4,7 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah.}$$

digunakan $n = 5$ buah, dipakai 5D12

Penulangan daerah tumpuan:

$$Dp=12 \text{ mm. } MR_{\max} = 223504440 \text{ Nmm} > M^- = 6 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

Balok bertulangan tarik saja....!

$$k = \frac{M^+}{\Phi \cdot B \cdot D^2} = \frac{6 \cdot 10^7}{0,8 \cdot 300 \cdot 331^2} = 2,28$$

$$\rho = \frac{f_c' - \sqrt{f_c'^2 - 2,36 \cdot k \cdot f_c'}}{1,18 \cdot f_y} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 2,28 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300}$$

$$= 0,0079 > \rho_{\min} = 0,0035 \text{ dan } < \rho_{\max} = 0,036 \dots \text{ok.}$$

digunakan $\rho = 0,0079$

$$A_s = \rho \cdot B \cdot D = 0,0079 \cdot 300 \cdot 331$$

$$= 784,47 \text{ mm}^2.$$

$$AD = 0,25 \cdot \pi \cdot Dp^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2.$$

$$n = \frac{As}{AD} = \frac{784,47}{113,04} = 6,94 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah.}$$

digunakan $n = 7$ buah, dipakai 7D12

Penulangan sengkang:

$$\Phi = 0,6.$$

$$\begin{aligned} Tu &= 2 \cdot 10^7 \text{ Nmm} > \Phi \cdot \left(\frac{1}{24} \cdot \sqrt{fc'} \cdot B^2 \cdot H \right) \\ &= 0,6 \cdot \left(\frac{1}{24} \cdot \sqrt{30} \cdot 300^2 \cdot 400 \right) = 49295 \text{ Nmm.} \end{aligned}$$

→ efek torsi diperhitungkan...!

$$CT = \frac{B \cdot D}{B^2 \cdot H} = \frac{300 \cdot 331}{300^2 \cdot 400} = 0,00276$$

$$Tc = \frac{\frac{1}{15} \cdot \sqrt{fc'} \cdot B^2 \cdot H}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot Tu}{CT \cdot Tu} \right)^2}} = \frac{\frac{1}{15} \cdot \sqrt{30} \cdot 300^2 \cdot 400}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,4 \cdot 6,983 \cdot 10^4}{0,00276 \cdot 2 \cdot 10^7} \right)^2}} = 11729197 \text{ Nmm.}$$

$$Tu = 2 \cdot 10^7 \text{ Nmm} > \Phi \cdot Tc = 0,6 \cdot 11729197 = 7037518 \text{ Nmm.}$$

→ efek torsi diperhitungkan...!

$$Tn = \frac{Tu}{\Phi} = \frac{2 \cdot 10^7}{0,6} = 33333333 \text{ Nmm.}$$

$$Ts = Tn - Tc = 33333333 - 11729197 = 21604136 \text{ Nmm.}$$

$$\begin{aligned} Ts &= 21604136 \text{ Nmm} < \frac{1}{3} \cdot \sqrt{Fy} \cdot \frac{1}{3} \cdot B^2 \cdot H - Tc \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{300} \cdot \frac{1}{3} \cdot 300^2 \cdot 400 - 11729197 = 57552835 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

digunakan $Ts = 21604136 \text{ Nmm.}$

$$Ts = 21604136 \text{ Nmm} < 4 \cdot Tc = 4 \cdot 11729197 = 46916788 \text{ Nmm}$$

→ penampang memadai...!!

$$Vc = \frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{fc'} \cdot B \cdot D}{\sqrt{1 + \left(2,5 \cdot CT \cdot \frac{Tu}{F_u} \right)^2}} = \frac{\frac{1}{6} \cdot \sqrt{30} \cdot 300 \cdot 331}{\sqrt{1 + \left(2,5 \cdot 0,00276 \cdot \frac{2 \cdot 10^7}{69830} \right)^2}} = 41204 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{Vu}{\Phi} = \frac{69830}{0,6} = 116383N.$$

$$V_s = V_n - V_c = 116383 - 41204 = 75179N.$$

$$D_s = 10 \text{ mm.}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{F_y \cdot D} = \frac{75179}{300 \cdot 331} = 0,76 \text{ mm.}$$

$$x_1 = B - 2 \cdot (Pb + 0,5 \cdot D_s) = 300 - 2 \cdot (50 + 0,5 \cdot 10) = 190 \text{ mm}$$

$$y_1 = H - 2 \cdot (Pb + 0,5 \cdot D_s) = 400 - 2 \cdot (50 + 0,5 \cdot 10) = 290 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{(2 + \frac{y_1}{x_1})}{3} = \frac{(2 + \frac{290}{190})}{3} = 1,18$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{\alpha \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot F_y} = \frac{21604136}{1,18 \cdot 190 \cdot 290 \cdot 300} = 1,1 \text{ mm.}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = 2 \cdot \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2 \cdot 1,11 + 0,76 = 2,98 \text{ mm.}$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v}{\frac{A_{vt}}{s}} = \frac{157}{2,98} = 52,7 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm.}$$

$$s_{maks} = \frac{x_1 + y_1}{4} = \frac{190 + 290}{4} = 120 \text{ mm.}$$

$$s_{maks} = \frac{3 \cdot A_v \cdot F_y}{B} = \frac{3 \cdot 157 \cdot 300}{300} = 471 \text{ mm.}$$

$$\rightarrow \text{dipakai } s_{maks} = 120 \text{ mm.}$$

$$s = 50 \text{ mm} < s_{maks} = 120 \text{ mm} \dots \dots \text{ok}$$

$$\text{maka } s = 50 \text{ mm} \rightarrow \text{digunakan } D10 - 50 \text{ mm.}$$

Penulangan torsi memanjang:

$$A_t = \frac{A_t}{s} \cdot (x_1 + y_1) = 1,11 \cdot (190 + 290) = 532,8 \text{ mm}^2,$$

$$A_t = \frac{A_t}{s} \cdot s = 1,11 \cdot 50 = 55,5 \text{ mm}^2 > \frac{B \cdot s}{3 \cdot I_y} = \frac{300 \cdot 50}{3 \cdot 300} = 17 \text{ mm}^2,$$

maka digunakan $A_R = A_t = 55,5 \text{ mm}^2$,

$$\begin{aligned} A_l &= \left(\frac{2,8 \cdot H \cdot s}{I_y} \cdot \left(\frac{Tu}{Tu + \frac{I_y}{3 \cdot CT}} \right) - 2 \cdot A_R \right) \cdot \frac{x_1 + y_1}{s} \\ &= \left(\frac{2,8 \cdot 400 \cdot 50}{300} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^7 + \frac{69830}{3 \cdot 0,00276}} \right) - 2 \cdot 55,5 \right) \cdot \frac{190 + 290}{50} \\ &= 194,88 \text{ mm}^2 < A_l = 532,8 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

→ dipakai $A_l = 532,8 \text{ mm}^2$.

$$A_{s_{total}} = 536,22 + 784,47 = 1320,69 \text{ mm}^2.$$

$$A_{s_{total}} = 1320,69 \text{ mm}^2 > A_l = 532,8 \text{ mm}^2.$$

→ tidak dibutuhkan tulangan torsi memanjang.

4.3.3 Disain elemen kolom

Perhitungan manual disain elemen kolom mengacu pada langkah-langkah dan rumus-rumus perencanaan kolom pada sub bab 2.1.3 di atas, dan untuk perhitungan manual disain elemen kolom ini diambil kolom tipe 2.

Kolom Tipe 2 (kolom lantai dasar):

Data perencanaan:

$$M_1 = 2,2 \cdot 10^7 \text{ Nmm}. M_2 = -1,0 \cdot 10^7 \text{ Nmm}. V_u = 3,7 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

$$P_u = 2,4 \cdot 10^5 \text{ N}. L_k = 6000 \text{ mm}. P_b = 40 \text{ mm}. B = 500 \text{ mm}. H = 500 \text{ mm}.$$

$$\Phi = 0,65 \quad \rho_g = 0,01. D_{p_{maks}} = 25 \text{ mm}. D_{s_{maks}} = 10 \text{ mm}. F_c' = 30 \text{ MPa}. F_y = 300$$

MPa.

$$R = 0,30. H = 0,30.500 = 150 \text{ mm.}$$

$$\frac{Lk}{r} = 34 - 12\left(\frac{M2}{M1}\right) = 34 - 12\left(\frac{1,0.10^7}{2,2.10^7}\right) = 28,55 \approx 29$$

$$\frac{Lk}{R} = \frac{6000}{150} = 40 > \frac{Lk}{r} = 29 \rightarrow \text{efek kelangsingan diperhitungkan.}$$

$$cm = 0,6 + 0,4\left(\frac{M2}{M1}\right) = 0,6 + 0,4\left(\frac{-1,0.10^7}{2,2.10^7}\right) = 0,42 > 0,4 \dots \dots \text{ok}$$

$$I_g = \frac{1}{12}. B. H^3 = \frac{1}{12}. 500.500^3 = 5208333333 \text{ mm}^4.$$

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{30} = 25743 \text{ MPa.}$$

$$\beta_d = 0,25$$

$$EI = \frac{Ec.I}{2,5.(1+\beta_d)} = \frac{5743.5208333333}{2,5.(1+0,25)} = 9,57.10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$Pc = \frac{\pi^2 . EI}{Lk^2} = \frac{3,14^2 . 9,57.10^{12}}{6000^2} = 2621010 \text{ N}$$

$$\delta_b = \frac{cm}{\left(1 - \frac{Pu}{\Phi Pc}\right)} = \frac{0,42}{\left(1 - \frac{2,4.10^5}{0,65.2621010}\right)} = 0,49 < 1$$

$$\rightarrow \delta_b = 1,0$$

$$Mc = \delta_b . Mu = 1,2.2.10^7 \text{ Nmm.}$$

$$e \frac{Mc}{Pu} = \frac{2,2.10^7}{2,4.10^5} = 917 \text{ mm.}$$

$$d' = Pb + \frac{1}{2}. Dp + Ds = 40 + \frac{1}{2}. 12 + 6 = 52 \text{ mm.}$$

$$d = H - d' = 500 - 52 = 448 \text{ mm.}$$

$$As_{\text{perlu}} = \frac{\rho_g . B . d}{2} = \frac{0,01.500.448}{2} = 1120 \text{ mm}^2.$$

$$Dp = 12 \text{ mm.}$$

$$AD = \frac{1}{4}. \pi . Dp^2 = \frac{1}{4}. 3,14.12^2 = 113,04 \text{ mm}^2.$$

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{AD} = \frac{1120}{113,04} = 9,9 \approx 10 \text{ buah.}$$

$$As' = As = n \cdot AD = 10.113,04 = 1130,4 \text{ mm}^2.$$

$$\rho = \frac{2 \cdot As}{B \cdot d} = \frac{2 \cdot 1130,4}{500 \cdot 448} = 0,01$$

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + Fy} = \frac{600 \cdot 448}{600 + 300} = 299$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f_c' - 30) = 0,85 - 0,008 \cdot (30 - 30) = 0,85$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = 0,85 \cdot 299 = 254$$

$$\varepsilon_s' = \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) \cdot 0,003 = \left(\frac{299 - 52}{299} \right) \cdot 0,003 = 0,0025$$

$$\varepsilon_y = \frac{Fy}{Es} = \frac{300}{200000} = 0,0015 < \varepsilon_s' = 0,0025$$

$$\text{maka } F_s' = Fy = 300 \text{ MPa.}$$

$$\begin{aligned} Pn_b &= \Phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot B + As' \cdot F_s' - As \cdot Fy) \\ &= 0,65 \cdot (0,85 \cdot 30 \cdot 254 \cdot 300 + 1130,4 \cdot 300 - 1130,4 \cdot 300) \\ &= 2526030 \text{ N} > Pu = 2,4 \cdot 10^5 \text{ N.} \end{aligned}$$

maka:

$$m = \frac{Fy}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{300}{0,85 \cdot 30} = 11,765$$

$$\begin{aligned} Pn &= 0,85 \cdot f_c' \cdot B \cdot d \cdot \left[\frac{H-2e}{2 \cdot d} + \sqrt{\left(\frac{H-2e}{2 \cdot d} \right)^2 + 2 \cdot m \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 500 \cdot 448 \cdot \left[\frac{500 - 2 \cdot 917}{2 \cdot 448} + \sqrt{\left(\frac{500 - 2 \cdot 917}{2 \cdot 448} \right)^2 + 2 \cdot 11,765 \cdot 0,01 \cdot \left(1 - \frac{52}{448} \right)} \right] \\ &= 390034 \text{ N.} \end{aligned}$$

$$\Phi Pn = 0,65 \cdot 390034 = 253522 \text{ N} > Pu = 2,4 \cdot 10^5 \text{ N} \dots \text{ Ok!}$$

Penulangan sengkang:

$$Ds = 6 \text{ mm.}$$

$$s = 16 \cdot Dp = 16 \cdot 12 = 192 \text{ mm.}$$

$$s = B = 500 \text{ mm.}$$

$$s = 48 \cdot D_s = 48 \cdot 6 = 288 \text{ mm.}$$

dipilih jarak tulangan $s = 192 \text{ mm}$

→ digunakan $D6 - 192 \text{ mm}$.

4.3.4 Disain elemen fondasi

Perhitungan manual disain elemen fondasi mengacu pada langkah-langkah dan rumus-rumus perencanaan fondasi pada sub bab 2.1.4 di atas, dan untuk perhitungan manual disain elemen fondasi ini diambil fondasi tipe 1.

Fondasi Tipe 1:

Data perencanaan:

$$f_c' = 30 \text{ MPa. } f_y = 300 \text{ MPa. } \beta_1 = 0,80. \Phi = 0,60. Q = 260 \text{ kPa}$$

$$P_u = 2,4 \cdot 10^5 \text{ N. } L_p = 1500 \text{ mm. } T = 600 \text{ mm. } P_b = 75 \text{ mm}$$

$$D_f = 2000 \text{ mm. } B_k = 500 \text{ mm. } H_k = 500 \text{ mm}$$

$$D_p = 18 \text{ mm.}$$

$$A_D = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_p^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 18^2 = 254,34 \text{ mm}^2.$$

$$q_1 = (23 \cdot T + 15,7 \cdot (D_f - T)) \cdot 10^{-6} = (23 \cdot 600 + 15,7 \cdot (2000 - 600)) \cdot 10^{-6} \\ = 35,78 \text{ kPa.}$$

$$q_t = Q - q_1 = 260 - 35,78 = 224,22 \text{ kPa} = 224,22 \cdot 10^{-3} \text{ MPa.}$$

$$A_k = 2,5 \cdot 10^5 \text{ mm}^2.$$

$$A_{p \text{ perlu}} = \frac{P_u}{q_t} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{224,22 \cdot 10^{-3}} = 1070377 \text{ mm}^2.$$

$$B_{\text{perlu}} = \frac{Ap_{\text{perlu}}}{Lp} = \frac{1070377}{1500} = 714\text{mm} \approx Bp = 750\text{mm}.$$

$$Ap = Bp \cdot Lp = 750 \cdot 1500 = 1125000\text{mm}^2.$$

$$p = \frac{Pu}{Ap} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{1125000} = 0,213\text{MPa}.$$

$$d = T - Pb - Dp = 600 - 75 - 20 = 505\text{mm}.$$

Arah kerja dua arah:

$$B = Bk + d = 500 + 505 = 1005\text{mm}.$$

$$\beta_c = Hk/Bk = 500/500 = 1,0.$$

$$B_0 = 4 \cdot B = 4 \cdot 1005 = 4020\text{mm}.$$

$$Vu = p \cdot (Ap - B^2) = 0,213 \cdot (1125000 - 1005^2) = 24490\text{N}$$

$$Vc = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot (2\sqrt{f_c'}) \cdot B_0 \cdot d = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot (2\sqrt{30}) \cdot 4020 \cdot 505 \\ = 66715893\text{N}.$$

$$Vc = 4\sqrt{f_c'} \cdot B_0 \cdot d = 4\sqrt{30} \cdot 4020 \cdot 505 = 44477263\text{N}.$$

$$\rightarrow \text{digunakan } Vc = 44477263\text{N}.$$

$$\Phi Vn = \Phi Vc = 0,60 \cdot 44477263 = 26686358\text{N}.$$

$$Vu = 24490\text{N} < \Phi Vn = 2668635\text{N} \dots \dots \text{Ok!}$$

Momen yang terjadi:

Arah memanjang:

$$F = \frac{Lp - Hk}{2} = \frac{1500 - 500}{2} = 500\text{mm}.$$

$$Mu_l = p \cdot F \cdot \frac{1}{2} F \cdot Bp = 0,213 \cdot 500 \cdot 250 \cdot 750 = 19968750\text{Nmm}.$$

Arah melebar:

$$F = \frac{Bp - Bk}{2} = \frac{750 - 500}{2} = 125 \text{ mm.}$$

$$Mu_b = \rho \cdot F \cdot \frac{1}{2} F \cdot lp = 0,213 \cdot 125 \cdot 62,5 \cdot 1500 = 2496094,1 \text{ Nmm}$$

Penulangan arah panjang:

$$k = \frac{Mu_l}{\Phi \cdot Bp \cdot d^2} = \frac{19968750}{0,80 \cdot 750 \cdot 505^2} = 0,13$$

$$\rho = \frac{fc' - \sqrt{fc'^2 - 2,36 \cdot k \cdot fc'}}{1,18 \cdot fy} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 0,13 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300} = 0,0004$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{300} = 0,0047 > \rho = 0,0004$$

→ digunakan $\rho = 0,0047$

$$As = \rho \cdot Bp \cdot d = 0,0047 \cdot 750 \cdot 505 = 1780,125 \text{ mm}^2.$$

$$s = \frac{AD \cdot Bp}{As} = \frac{254,34 \cdot 750}{1780,125} = 107,2 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm.}$$

$$s_{\max} = 500 \text{ mm.} \quad s_{\min} = 40 \text{ mm.}$$

$$s_{\min} < s < s_{\max} \dots \text{Ok!}$$

→ digunakan D18-100mm.

Penulangan arah lebar:

$$k = \frac{Mu_b}{\Phi \cdot lp \cdot d^2} = \frac{2496094}{0,80 \cdot 1500 \cdot 505^2} = 0,008$$

$$\rho = \frac{fc' - \sqrt{fc'^2 - 2,36 \cdot k \cdot fc'}}{1,18 \cdot fy} = \frac{30 - \sqrt{30^2 - 2,36 \cdot 0,008 \cdot 30}}{1,18 \cdot 300} = 0,00003$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{300} = 0,0047 > \rho = 0,00003$$

→ digunakan $\rho = 0,0047$

$$As = \rho \cdot Lp \cdot d = 0,0047 \cdot 1500 \cdot 505 = 3560,25 \text{ mm}^2.$$

$$jb = \frac{As}{AD} = \frac{3560,25}{254,34} = 14 \text{ buah.}$$

$$\beta = \frac{Lp}{Bp} = \frac{1500}{750} = 2$$

$$z = \frac{2}{\beta+1} = \frac{2}{2+1} = 0,67$$

$$jb_1 = z \cdot jb = 0,67 \cdot 14 = 9,4 \text{ buah} \approx 10 \text{ buah.}$$

$$\text{Sisa} = jb - jb_1 = 14 - 10 = 4 \text{ buah.}$$

$$s = \frac{Bp}{n-1} = \frac{750}{9} = 83,3 \text{ mm} \approx 80 \text{ mm.}$$

$$s_{maks} = 500 \text{ mm.} \quad s_{min} = 40 \text{ mm.}$$

$$s_{min} < s < s_{maks} \dots \dots \text{Ok!}$$

$$\rightarrow \text{digunakan } D18 - 80 \text{ mm.}$$

dipasang merata dalam rentang 750 mm disepanjang sisi panjang dan 4 buah

dipasang merata di luar rentang.

$$j = \sqrt{\frac{Ap}{Ak}} = \sqrt{\frac{1125000}{250000}} = 2,12 > 2 \rightarrow j = 2$$

$$Pt_p = \Phi(0,85 \cdot fc'_p \cdot Ak) \cdot j = 0,70(0,85 \cdot 30 \cdot 250000) \cdot 2 = 8925000 \text{ N}$$

$$Pt_k = \Phi(0,85 \cdot fc'_k \cdot Ak) = 0,70(0,85 \cdot 30 \cdot 250000) = 4462500 \text{ N}$$

$$Pu = 2,4 \cdot 10^5 \text{ N} < Pt_k = 4462500 \text{ N} < Pt_p = 8925000 \text{ N} \dots \dots \text{Ok!}$$

Penulangan “dowel” atau pasak:

$$As_{perlu} = 0,005 \cdot Ak = 0,005 \cdot 250000 = 1250 \text{ mm}^2.$$

$$AD = \frac{1}{4} \pi \cdot Dp_k^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2.$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{AD} = \frac{1250}{113,04} = 11,06 \text{ buah} \approx 12 \text{ buah.}$$

$$A_s = n \cdot AD = 12 \cdot 113,04 = 1356,48 \text{ mm}^2.$$

$$x = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s} = \frac{1250}{1356,48} = 0,92$$

$$l_{d_{\min}} = 0,04 \cdot D p_k \cdot F_y = 0,04 \cdot 12 \cdot 300 = 144 \text{ mm.}$$

$$l_{d_b} = \frac{D p_k \cdot F_y}{4 \sqrt{f_c p'}} = \frac{12 \cdot 300}{4 \sqrt{30}} = 164,3 \text{ mm.}$$

$$l_{d_{\min}} = 200 \text{ mm.}$$

$$l_{d_b} = 164,3 \text{ mm} > l_{d_{\min}} = 144 \text{ mm} \dots \dots \text{ok!}$$

$$l_d = x \cdot l_{d_b} = 0,92 \cdot 164,3 = 150,9 \text{ mm} < l_{d_{\min}} = 200 \text{ mm.}$$

→ digunakan tulangan pasak 12D12, $l_d = 200 \text{ mm.}$

Hasil disain di atas sama dengan hasil disain dengan menggunakan program disain elemen struktur beton dengan “inputing” data dari keluaran program Microcap II (P1-Module).