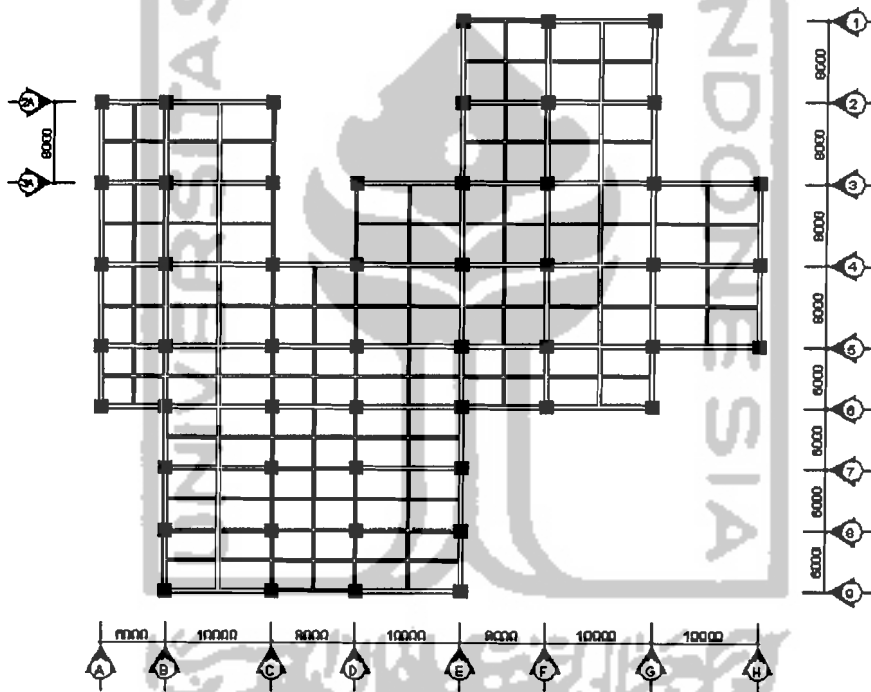


BAB VI

IMPLEMENTASI DESAIN

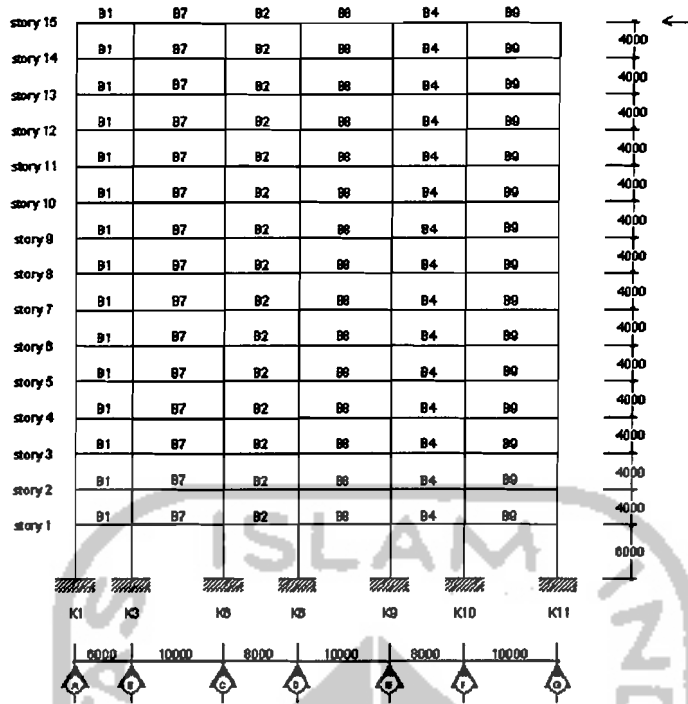
6.1. Desain Struktur

Analisis struktur pada tahap pendisainan ini menggunakan analisis struktur 3 dimensi dengan jumlah tingkat 15 lantai. Pada Gambar 6. 1 berikut menunjukkan denah struktur beserta penamaannya.



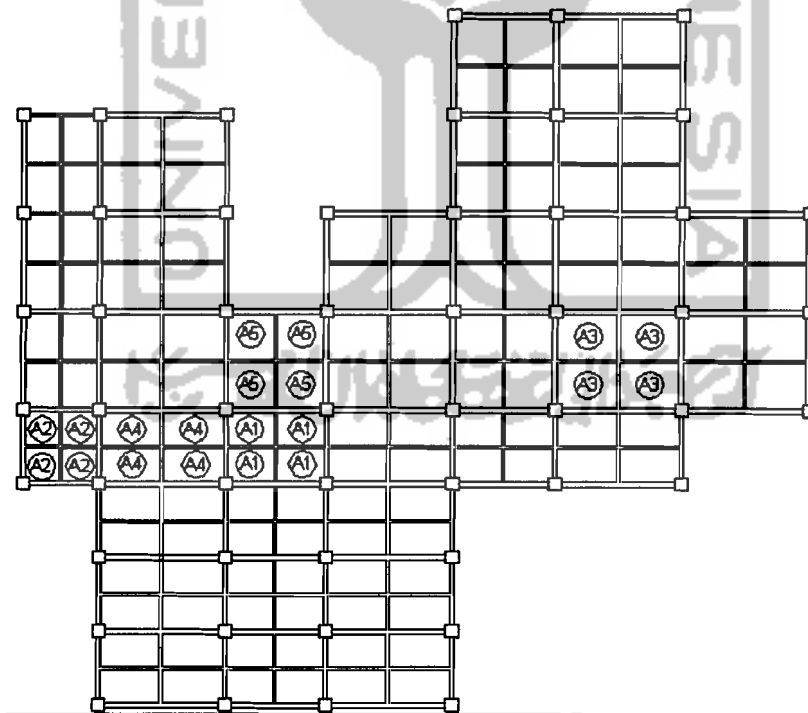
Gambar 6. 1. Denah struktur beserta penamaan setiap portalnya dan jarak bentang

Untuk bab ini contoh desain diambil portal 6. untuk gambar struktur tampak samping akan ditunjukkan pada Gambar 6. 2 berikut ini.



Gambar 6. 2. Struktur Tampak samping beserta penamaan balok dan kolom

Gambar berikut akan menunjukkan denah plat lantai.



Gambar 6. 3. Denah Plat Lantai

6.2. Perhitungan Perencanaan Plat

Direncanakan data plat untuk tipe plat II

Untuk atap = 100 mm

Untuk lantai = 120 mm

Mutu Beton ($f'c$) = 30 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 240 Mpa

Untuk tipe plat lantai A5

Dengan $L_x = L_y = 3000$ mm $Q_u = 9,208$ kN/m²

Didapat nilai C dari table koefisien dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 hal 202-203

- untuk $L_x = L_y = 21$

- untuk $T_x = T_y = 52$

Tebal penutup Beton = 20 mm, dan ϕ Tulangan = 8 mm

A_1 tulangan = $0,25 \times \pi \times 8^2 = 50,2857$ mm²

$d_s = pb + 1/2 \times 8 = 24$ mm untuk L_x , sedangkan untuk L_y adalah

$d_s = pb + 8 + 1/2 \times 8 = 32$ mm

$d = h - d_s$

$d = 120 - 24 = 96$ mm

$$Mn_1 = \frac{M}{0,8}$$

$$Rn = \frac{Mn_1}{b \cdot d^2}$$

$$Mn_1 = \frac{1,17403}{0,8} = 2,1754 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{2,1754 \cdot 10^6}{1000 \cdot 96^2} = 0,2360 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c}$$

untuk $f'c \leq 30$ MPa $\rightarrow \beta = 0,85$

$$m = \frac{240}{0,85 \cdot 30} = 9,4118$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,4118 \cdot 0,2360}{240}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,0010$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240}$$

$$\rho_{balance} = 0,0645$$

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

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$1,33 \cdot \rho_{perlu} = 1,33 \cdot 0,0010$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot 0,0645$$

$$1,33 \cdot \rho_{perlu} = 0,0013$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$\rho_{max} = 0,0484$$

1,33 $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka dipakai 1,33 ρ_{perlu}

$\rho_{pakai} = 0,0013 \rightarrow$ maka luas tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho_{pakai} \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 96 = 126,1625 \text{ mm}^2$$

maka dipakai jarak tulangan : $S = 200 \text{ mm}$, sehingga luas tulangan yang

tersedia adalah :

$$A_{s\text{ada}} = \frac{A_1 \cdot 1000}{S}$$

$$A_{s\text{ada}} = \frac{50,2857 \cdot 1000}{200} = 251,4286 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tersedia minimal \geq luas tulangan yang dibutuhkan.

Kontrol kapasitas :

$$a = \frac{A_{s\text{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot 1000}$$

$$Mn_2 = A_{s\text{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{251,4286 \cdot 240}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$Mn_2 = 251,4286 \cdot 240 \cdot \left(96 - \frac{2,3664}{2} \right)$$

$$a = 2,3664 \text{ mm}$$

$$Mn_2 = 5,7215 \text{ KNm}$$

$$Mn_3 = 1,33 \cdot 2,1754 = 2,893282 \text{ KNm}$$

Hasil cek kapasitas didapat bahwa $Mn_2 > Mn_3$

Maka hasil desain plat lantai cukup aman!

6.3. Perencanaan Balok

6.3.1. Redistribusi Momen Balok

Bagian struktur yang didisain untuk menahan beban yang menekuknya (beban lentur) dinamakan balok. Efek tekuk pada setiap titik diketahui dengan menghitung momen tekuknya. Balok biasanya terbuat dari kayu, baja, campuran baja ringan atau beton bertulang atau beton pra tekan. Dalam hal ini, balok yang didisain menggunakan beton bertulang.

Dalam mendisain balok, momen yang digunakan sebaiknya ditinjau terlebih dahulu nilainya apakah momen balok tersebut perlu didistribusi atau tidak. Redistribusi dilakukan ketika situasi momen tumpuan yang terlalu besar dan adanya perbedaan momen tumpuan balok di samping kiri dan kanan pada momen muka kolom (momen tumpuan balok pada kolom interior). Akibat dari momen yang terlalu besar tersebut, dapat mengakibatkan tulangan lentur balok yang berlebihan sehingga akan membawa konsekuensi pada pembesaran momen rencana kolom dan pondasi. (Gideon 3, 1993).

Tujuan dari redistribusi momen dalam proses perencanaan adalah :

1. Mengurangi besarnya momen maksimum tumpuan dan mengalihkan ke lapangan, sehingga di dapat distribusi kekuatan lentur yang lebih rata.
2. Menyamakan momen akibat beban gempa bolak balik yang bekerja pada balok menerus di kiri dan kolom interior.
3. Memanfaatkan secara penuh tulangan lentur positif di daerah tumpuan yang jumlahnya disyaratkan minimum 50% dari jumlah tulangan lentur negatif, sehingga perencanaan menjadi lebih ekonomis.
4. Mengurangi besarnya momen yang “masuk” dalam kolom.

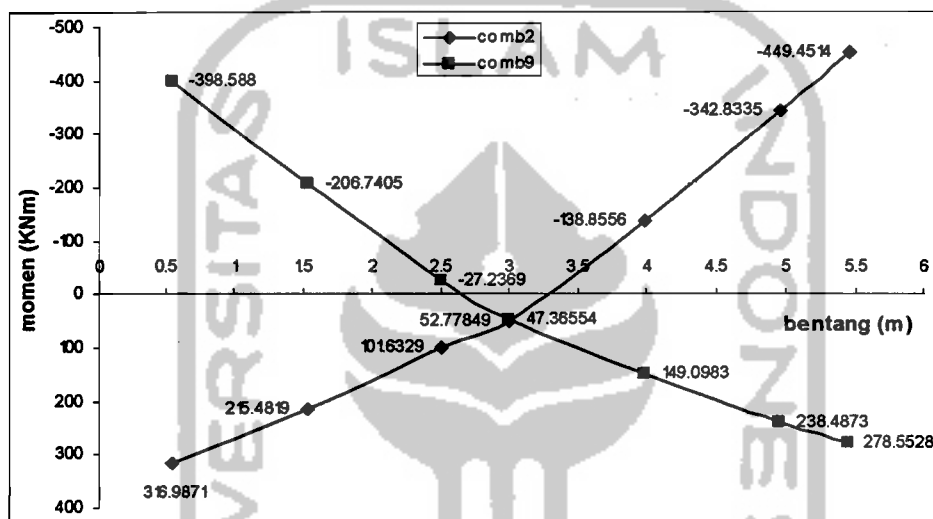
Pada dasarnya dalam melakukan redistribusi momen harus diusahakan agar:

- Prinsip keseimbangan statis selalu terpenuhi.
- Kemampuan portal dalam menahan beban lateral tidak berubah.
- Tidak terjadi sendi plastis pada ujung-ujung kolom di atas lantai dasar.

Di samping itu perlu diperhatikan pembatasan besar momen yang boleh didistribusi, sebab redistribusi momen yang terlalu jauh berbeda dari hasil analisa elastis struktur dapat mengakibatkan retak yang berlebihan saat struktur dilanda gempa kecil dan sedang SKSNI T-15-1991-03 menyatakan nilai maksimum

redistribusi momen adalah sebesar $30\left(1 - \rho - \frac{\rho'}{\rho_b}\right)\%$ dengan $\rho - \rho' < 0,5 \cdot \rho_b$ dan ρ adalah rasio tulangan tarik, ρ' adalah rasio tulangan tekan sedangkan ρ_b adalah rasio tulangan tarik dalam keadaan seimbang (balance). (Gideon 3, 1993)

Berikut contoh-contoh perhitungan beserta grafik momen balok hasil analisis struktur dari *ETABS*, yang selanjutnya diperhitungkan perlu atau tidaknya untuk di redistribusi.



Gambar 6.4. Grafik perbandingan momen balok B1 (story 1) akibat gempa kiri arah X (comb2) dgn akibat gempa kanan arah Y (comb9)

Untuk momen balok tumpuan akibat gempa dari arah kiri (comb3) adalah :

$$M^- = 449,4514 \text{ KNm}$$

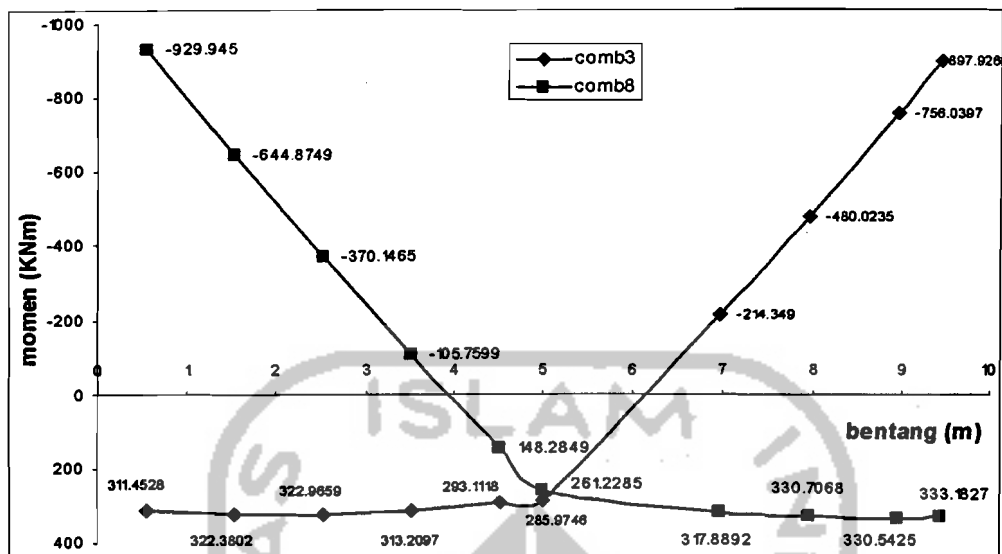
$$M^+ = 316,9871 \text{ KNm}$$

Untuk momen balok tumpuan akibat gempa dari arah kanan (comb9) adalah :

$$M^- = 398,588 \text{ KNm}$$

$$M^+ = 278,5528 \text{ KNm}$$

Dari gambar 1 tampak jelas bahwa nilai M^+ sudah lebih besar dari $0,5 \times M^-$. Oleh karena itu, maka momen balok ini tidak perlu di redistribusi lagi dan telah sesuai dengan persyaratan jumlah tulangan lentur positif $> 50\%$ dari jumlah tulangan lentur negatif, sehingga perencanaan menjadi lebih ekonomis. Sedangkan contoh dibawah ini adalah jika $M^+ < 0,5 \times M^-$, maka langkah-langkah yang ditempuh adalah:



Gambar 6. 5. Grafik perbandingan momen balok B6 (story 1) akibat gempa kiri arah X (comb3) dgn akibat gempa kanan arah Y (comb8)

Gambar 2 terlihat bahwa momen tumpuan yang terbesar nilainya yang diakibatkan oleh gempa adalah momen yang nilainya sebesar 929,945 KNm yang diakibatkan oleh gempa dari arah kanan. Nilai yang terbesar ini dipergunakan untuk digunakan dalam mendisain balok. Untuk nilai momen balok akibat gempa dari arah kanan (comb8) adalah :

$$M^- = 929,945 \text{ KNm}$$

$$M^+ = 333,1827 \text{ KNm}$$

Dilihat dari gambar 4.2 tampak jelas bahwa nilai M^+ lebih kecil dari $0.5 \times M^-$. Karena $M^+ < 0.5 \times M^-$, maka momen balok ini perlu di redistribusi. Perbedaan antara keduanya (M^+ dan M^-) sangat besar, sehingga jika tidak di redistribusi maka yang terjadi adalah kurangnya efisiensi dari disain balok tersebut. Total *required strength* balok menurut grafik 2 adalah ;

$$M_t = 929,945 + 333,1827 = 1263,1277 \text{ KNm}$$

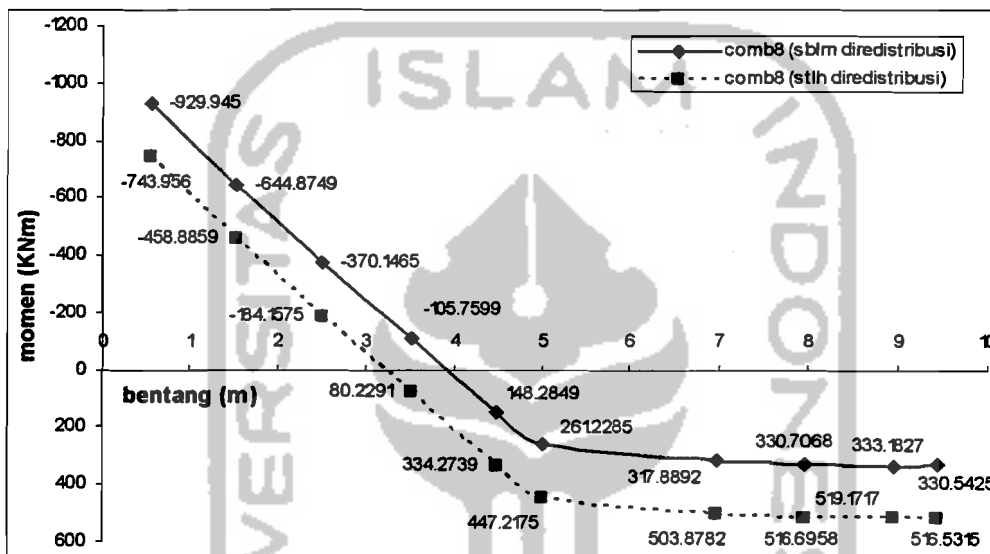
Setelah dilakukan redistribusi momen maka *required strength* harus tetap nilainya, atau $M_t = 1263,1277 \text{ KNm}$. Hal yang harus diperhatikan dalam meredistribusi momen adalah tidak diperbolehkan lebih dari 30%. Batas tersebut

berarti bahwa maksimum $\Delta M = 30\% \times 929,945 = 278,9835$ KNm. Misalnya diambil redistribusi sebesar 20%, maka $\Delta M = 20\% \cdot 929,945 = 185,989$ KNm. Sehingga :

$$M^- = 929,945 - 185,989 = 743,956 \text{ KNm}$$

$$M^+ = 333,1827 + 185,989 = 516,5315 \text{ KNm}$$

Gambar 4.3 akan menunjukkan hasil hitungan momen yang telah didistribusi, dapat dilihat bahwa momen balok yang terjadi berubah dari semula. Berikut adalah gambar grafik momen yang telah didistribusi.



Gambar 6. 6. Grafik perbandingan momen balok B6 (story 1) setelah didistribusi akibat gempa kiri arah Y (comb8)

6.3.2. Perhitungan Perencanaan Balok

- Desain Tulangan Lentur

Balok B1 (Story 1) (lampiran T3.1)

1. Tulangan Tumpuan

Data input :

$$M_u = 449,4514 \text{ KNm}$$

$$M_u = 316,9871 \text{ KNm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} d' &= D_{tul-pokok} + D_{bege} + Pb \\ &= 0,5 \cdot 19 + 10 + 40 = 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho_{balance} = \frac{\beta \cdot \epsilon_c}{m \cdot \epsilon_c + \epsilon_y} \quad (\text{pers 3.18})$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot 0,003}{15,6863 \cdot 0,003 + 0,002} = 0,0325$$

$$\rho_m = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0244$$

$$\begin{aligned} R_b &= \rho_b \cdot fy \cdot (1 - 0,5 \cdot \rho_b \cdot m) \\ &= 0,0325 \cdot 400 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,0325 \cdot 15,6863) = 9,6887 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$R_m = 0,75 \cdot R_b = 0,75 \cdot 9,6887 = 7,2665 \text{ Mpa} \quad (\text{pers 3.46})$$

$$b_{balok} = \frac{M/0,8}{\sqrt[3]{4 \cdot R_m}} = \frac{449,4514 \cdot 10^6 / 0,8}{\sqrt[3]{4 \cdot 7,2665}} = 268,37 \text{ mm}$$

maka dipakai b balok = 300 mm

$$\begin{aligned} z &= D_{tul-pokok} + D_{bege} + Pb + 0,5 \cdot D_{tul-pokok} \\ &= 19 + 10 + 40 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 81,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h_{balok} = 2 \cdot b_{balok-pakai} + z = 2 \cdot 300 + 81,5 = 681,5 \text{ mm}$$

maka tinggi balok yang digunakan adalah sebesar = 600 mm

$$d_{balok} = h_{balok-pakai} - z = 600 - 81,5 = 518,5 \text{ mm}$$

Desain Tulangan Sebelah

Selisih momen = 29,5 %

Nilai koefisien = 0,20

$$R_1 = koef \cdot R_b = 0,20 \cdot 9,6887 = 1,9377 \text{ MPa}$$

$$M_1 = R_1 \cdot b \cdot d^2 \quad (\text{pers 3.33})$$

$$= 1,9377 \cdot 300 \cdot 518,5^2 \cdot 10^{-6} = 156,2843 \text{ KNm}$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{pers 3.49})$$

$$156,2843 = 0,85 \cdot 30 \cdot a \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{diambil akar-akar nilai } a)$$

$$a = 41,02 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,02}{0,85} = 48,26$$

$$\epsilon_s = \frac{(c - d')}{c} \cdot \epsilon_c = 0 \quad \rightarrow \text{maka baja desak belum luluh}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 41,02 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 313,8314 \text{ KN}$$

$$A_{s1} = \frac{C_c}{f_y} \quad (\text{pers 3.51})$$

$$= \frac{313,8314 \cdot 10^3}{400} = 784,5785 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba pakai tulangan } \phi 19 \rightarrow A_{tul} = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{A_{s1}}{A_{tul}} = 2,77 \rightarrow \text{maka diambil jumlah}$$

tulangan = 3 buah

Kontrol Balok tulangan sebelah

$$A_{s1} = A_{tul} \cdot n_{tul} = 283,53 \cdot 3 = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_y = 850,59 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 340,23 \text{ KN}$$

$$a = \frac{T_{s1}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{340,23 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 44,48 \text{ mm}$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 44,48 \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{44,48}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 168,85 \text{ KNm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{44,48}{0,85} = 52,32 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{52,32 - 59,5}{52,32} \right) \cdot 0,003 \approx 0$$

\rightarrow maka baja desak belum luluh

Komponen Tulangan Rangkap

$$M_2 = \frac{Mu}{0,8} - M_1 \quad (\text{pers 3.39})$$

$$= \frac{449,4514}{0,8} - 168,85 = 392,97 \text{ KNm}$$

$$T_{s2} = \frac{M_2}{d - d'} \quad (\text{pers 3.40})$$

$$= \frac{392,97 \cdot 10^3}{518,5 - 59,5} = 856,14 \text{ KN}$$

$$A_{s2} = \frac{T_{s2}}{f_y} \quad (\text{pers 3.41})$$

$$= \frac{856,14 \cdot 10^3}{400} = 2140,35 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan dengan ϕ 19 mm. $\rightarrow A_{tul} = 283,53 \text{ mm}^2$. Jumlah tulangan yang

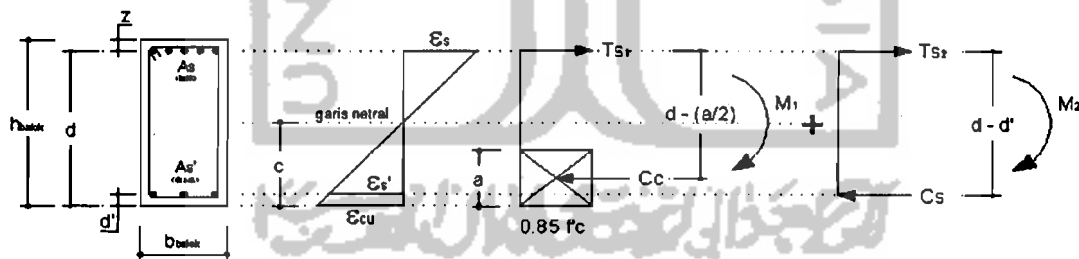
dibutuhkan = $\frac{A_{s2}}{A_{tul}} = 7,55 \rightarrow$ diambil jumlah tulangan = 8 buah.

Jumlah tulangan tarik = 11 buah ϕ 19 mm $\rightarrow A_s = 3118,82 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan desak = 8 buah ϕ 19 mm $\rightarrow A_{s'} = 2268,23 \text{ mm}^2$.

Dengan analisis balok tulangan rangkap dengan tulangan desak belum leleh.

Keseimbangan gaya-gaya horisontal pada balok.



Gambar 6. 7. Diagram Regangan Tegangan Balok Tulangan Rangkap

$$T_{s1} + T_{s2} = C_c + C_s \quad (\text{pers 3.55})$$

$$A_{st} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_{s'} \cdot f_s$$

$$A_{st} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \epsilon_s \cdot E_s$$

$$A_{st} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \epsilon_c \cdot E_s$$

$$3118,82 \cdot 400 = 0,85 \cdot 30 \cdot a \cdot 300 + 2268,23 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot 59,5}{a} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

diambil akar-akarnya nilai a.

$$a = 87,73 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{87,73}{0,85} = 103,21 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{103,21 - 59,5}{103,21} \right) \cdot 0,003 = 0,0013$$

→ maka baja desak belum luluh

$$f_s' = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,0013 \cdot 200000 = 254,11 \text{ MPa}$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 87,73 \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{87,73}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 318,547 \text{ KNm}$$

$$M_2 = (A_{tul} \cdot n_{tul}) \cdot f_s' \cdot (d - d')$$

(pers 3.56)

$$= (283,53 \cdot 8) \cdot 254,11 \cdot (518,5 - 59,5) \cdot 10^{-6} = 264,561 \text{ KNm}$$

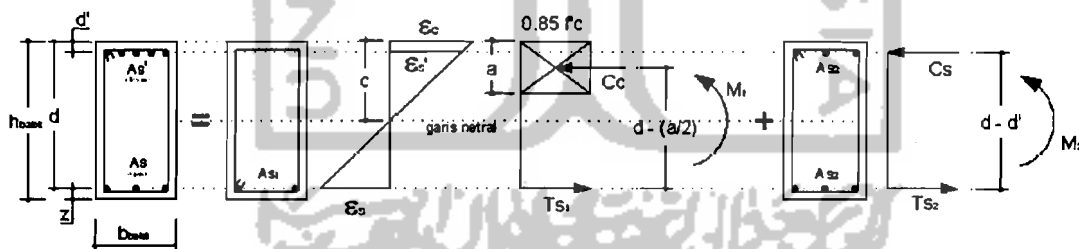
$$M_n = M_1 + M_2 = 318,547 + 264,561 = 583,108 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_n \cdot \phi = 583,108 \cdot 0,8 = 466,486 \text{ KNm}$$

→ aman! $M_u > M'_{tumpuan}$ (449,4514 KNm) (pers 3.57)

Kontrol Kuat lentur Momen positif

Persamaan keseimbangan gaya horizontal



Gambar 6. 8. Tegangan Regangan dan momen kopel pada Balok Tulangan Rangka baja desak belum leleh

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s' \cdot f_y = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d}{a} \cdot \varepsilon_c \cdot E_s$$

$$3118,82 \cdot 400 = 0,85 \cdot a \cdot 300 + 2268,23 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot 518,5}{a} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

diambil akar-akar untuk nilai a nya.

$$a = 81,62 \text{ m}$$

$$c = a/0,85 = 81,62/0,85 = 96,02 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{c-d'}{c} \right) \cdot \epsilon_c = \left(\frac{96,02-59,5}{96,02} \right) \cdot 0,003 = 0,0004536$$

→ maka baja desak belum luluh

$$f_s' = \epsilon_s \cdot E_s = 0,0004536 \cdot 200000 = 90,72 \text{ MPa}$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left((h-d') - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 81,62 \cdot 300 \cdot \left((600-59,5) - \frac{81,62}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 311,986 \text{ KNm}$$

$$M_2 = A_s' \cdot f_s' \cdot \left((h-d') - z \right)$$

$$= 3118,82 \cdot 90,72 \cdot \left((600-59,5) - 81,5 \right) = 129,868 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_1 + M_2 = 311,986 + 129,868 = 441,854 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_n \cdot \phi = 441,854 \cdot 0,8 = 353,483 \text{ KNm}$$

→ aman! $M_u > M^+_{\text{tumpuan}} (316,9871 \text{ KNm})$

Tulangan Susut

$$A_s = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 300 \cdot 600 = 360 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba pakai tulangan } \phi 13 \rightarrow A_{\text{tul}} = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{A_{s1}}{A_{\text{tul}}} = 2,7 \rightarrow \text{maka diambil jumlah}$$

tulangan = 4 buah

$$\text{Tul}_1 \text{ lapis} = \frac{b-55}{D+25} = \frac{300-55}{19+25} = 5,57$$

→ dipakai tul 1 lapis = 6.

2. Tulangan Lapangan

Data input (Lampiran T3.1):

$$M_u = 109,4297 \text{ KNm}$$

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Penyelesaian :

$$d' = D_{\text{tul-pokok}} + D_{\text{begel}} + Pb$$

$$= 0,5 \cdot 19 + 10 + 40 = 59,5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho_{balance} = \frac{\beta \cdot \varepsilon_c}{m \cdot \varepsilon_c + \varepsilon_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85}{15,6863} \cdot \frac{0,003}{0,003 + 0,002} = 0,0325$$

$$\rho_m = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0244$$

$$R_b = \rho_b \cdot f_y \cdot (1 - 0,5 \cdot \rho_b \cdot m)$$

$$= 0,0325 \cdot 400 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,0325 \cdot 15,6863) = 9,6887 \text{ MPa}$$

$$R_m = 0,75 \cdot R_b = 0,75 \cdot 9,6887 = 7,2665 \text{ MPa}$$

$$b_{balok} = \frac{M/0,8}{\sqrt[3]{4 \cdot R_m}} = \frac{109,4297 \cdot 10^6 / 0,8}{\sqrt[3]{4 \cdot 7,2665}} = 167,58 \text{ mm}$$

maka dipakai b balok = 300 mm

$$z = D_{tul-pokok} + D_{begel} + Pb + 0,5 \cdot D_{tul-pokok}$$

$$= 19 + 10 + 40 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 81,5 \text{ mm}$$

$$h_{balok} = 2 \cdot b_{bslok-pakai} + z = 2 \cdot 300 + 81,5 = 681,5 \text{ mm}$$

maka tinggi balok yang digunakan adalah sebesar = 600 mm

$$d_{balok} = h_{balok-pakai} - z = 600 - 81,5 = 518,5 \text{ mm}$$

Desain Tulangan Sebelah

Selisih momen = 20,5 %

Nilai koefisien = 0,20

$$R_1 = koef \cdot R_b = 0,20 \cdot 9,6887 = 1,9377 \text{ MPa}$$

$$M_1 = R_1 \cdot b \cdot d^2 = 1,9377 \cdot 300 \cdot 518,5^2 \cdot 10^{-6} = 156,2843 \text{ KNm}$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{diambil dari diagram momen kopel})$$

$$156,2843 = 0,85 \cdot 30 \cdot a \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{diambil akar-akar nilai } a)$$

$$a = 41,02 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,02}{0,85} = 48,26$$

$$\epsilon_s = (c - d')/c \cdot \epsilon_c \approx 0 \quad \rightarrow \text{maka baja desak belum luluh}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 41,02 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 313,8314 \text{ KN}$$

$$A_{s1} = C_c / f_y = 313,8314 / 400 = 784,5786 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba pakai tulangan } \phi 19 \rightarrow A_{tul} = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = A_{s1} / A_{tul} = 2,77 \rightarrow \text{maka diambil jumlah}$$

tulangan = 2 buah

Kontrol Balok tulangan sebelah

$$A_{s1} = A_{tul} \cdot n_{tul} = 283,53 \cdot 2 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_y = 567,06 \cdot 400 = 226,82 \text{ KN}$$

$$a = T_{s1} / (0,85 \cdot f'_c \cdot b) = 226,82 \cdot 10^3 / (0,85 \cdot 30 \cdot 300) = 29,65 \text{ mm}$$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) \\ = 0,85 \cdot 30 \cdot 29,65 \cdot 300 \cdot (518,5 - 29,65/2) \cdot 10^{-6} = 114,25 \text{ KNm}$$

$$c = a / \beta_1 = 29,65 / 0,85 = 34,88 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = ((c - d')/c) \cdot \epsilon_c = ((34,88 - 58,5) / 34,88) \cdot 0,003 \approx 0$$

\rightarrow maka baja desak belum luluh

Komponen Tulangan Rangkap

$$M_2 = Mu / 0,8 - M_1 = 109,4297 / 0,8 - 114,25 = 22,54 \text{ KNm}$$

$$T_{s2} = M_2 / (d - d') = 22,54 \cdot 10^3 / (518,5 - 59,5) = 49,11 \text{ KN}$$

$$A_{s2} = T_{s2} / f_y = 49,11 \cdot 10^3 / 400 = 122,78 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan dengan $\phi 19$ mm. $\rightarrow A_{tul} = 283,53 \text{ mm}^2$. Jumlah tulangan yang

dibutuhkan = $A_{s2} / A_{tul} = 0,43 \rightarrow$ diambil jumlah tulangan = 2 buah.

Jumlah tulangan tarik = 4 buah $\phi 19$ mm $\rightarrow A_s = 1134,11 \text{ mm}^2$.

Jumlah tulangan desak = 2 buah ϕ 19 mm \rightarrow $A_s' = 567,06 \text{ mm}^2$.

Dengan analisis balok tulangan rangkap dengan tulangan desak belum leleh.

Keseimbangan gaya-gaya horisontal pada balok.

$$T_{s_1} + T_{s_2} = C_c + C_s$$

$$A_{st} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s$$

$$A_{st} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \varepsilon_s \cdot E_s$$

$$A_{st} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \cdot \varepsilon_c \cdot E_s$$

$$1134,11 \cdot 400 = 0,85 \cdot 30 \cdot a \cdot 300 + 567,06 \cdot \frac{a - 0,85_1 \cdot 59,5}{a} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

diambil akar-akarnya nilai a.

$$a = 55,42 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{55,42}{0,85} = 65,19 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{65,19 - 59,5}{65,19} \right) \cdot 0,003 = 0,0003$$

\rightarrow maka baja desak belum luluh

$$f_s' = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,0003 \cdot 200000 = 52,41 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 55,42 \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{55,42}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 208,060 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (A_{tul} \cdot n_{tul}) \cdot f_s' \cdot (d - d') \\ &= (283,53 \cdot 2) \cdot 52,41 \cdot (518,5 - 59,5) \cdot 10^{-6} = 13,641 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$M_n = M_1 + M_2 = 208,060 + 13,641 = 221,071 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_n \cdot \phi = 221,071 \cdot 0,8 = 177,361 \text{ KNm}$$

\rightarrow aman! $M_u > M_{lapangan}^+$ (109,4297 KNm)

Kontrol Kuat lentur Momen negatif

Persamaan keseimbangan gaya horisontal

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s' \cdot f_y = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d}{a} \cdot \varepsilon_c \cdot E_s$$

$$1134,11 \cdot 400 = 0,85 \cdot a \cdot 300 + 567,06 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot 518,5}{a} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

diambil akar-akar untuk nilai a nya.

$$a = 54,26 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{54,26}{0,85} = 63,84 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = \left(\frac{54,26 - 59,5}{63,84} \right) \cdot 0,003 = 0$$

→ maka baja desak belum luluh

$$f_s' = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,000485 \cdot 200000 = 97,03 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left((h - d') - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 54,26 \cdot 300 \cdot \left((600 - 59,5) - \frac{54,26}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 213,100 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= A_s' \cdot f_s' \cdot \left((h - d') - z \right) \\ &= 2835,29 \cdot 0 \cdot \left((600 - 59,5) - 81,5 \right) = 0 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$M_n = M_1 + M_2 = 213,100 + 0 = 213,100 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_n \cdot \phi = 213,100 \cdot 0,8 = 170,480 \text{ KNm}$$

→ aman! $M_u > M_{\text{lapangan}}$

Tulangan Susut

$$A_s = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 300 \cdot 600 = 360 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba pakai tulangan } \phi 13 \rightarrow A_{\text{tul}} = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{A_s}{A_{\text{tul}}} = 2,7 \rightarrow \text{maka diambil jumlah}$$

tulangan = 4 buah

$$\text{Tul}_1 \text{ lapis} = \frac{b - 55}{D} + 25 = \frac{300 - 55}{22} + 25 = 5,21$$

→ dipakai tul 1 lapis = 5.

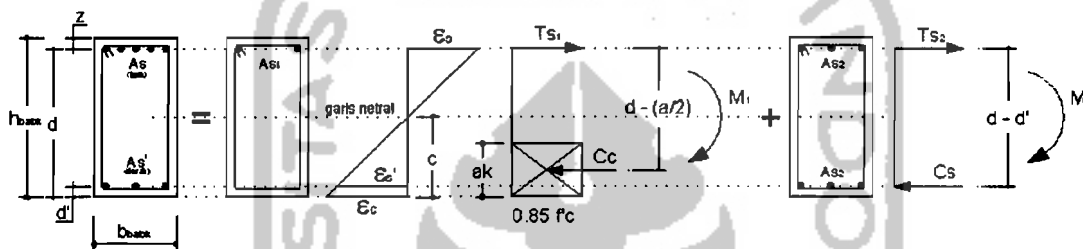
- Momen Kapasitas balok

1. Momen Kapasitas Negatif (M_{kap})

Data input (Lampiran T3.1):

M_u	= 449,4514 kNm	f'_c	= 30 MPa
f_y	= 400 MPa	z	= 81,5 mm (rangkap)
\sum tul tarik	= 11 buah tulangan	D tul tarik	= 19 mm
\sum tul desak	= 8 buah tulangan	D tul desak	= 19 mm
ϵ_c	= 0,003	E_s	= 200000 MPa
d'	= 59,5 mm		

Penyelesaian :



Gambar 6.9. Tegangan Regangan Dan Momen Kopel Pada Momen Kapasitas Balok (negatif)

$$A_{s \text{ ada}} = \sum \text{tul tarik} \cdot A \text{ tul tarik} \\ = 11 \cdot 283,53 = 3120,0714 \text{ mm}^2$$

$$A_{s' \text{ ada}} = \sum \text{tul desak} \cdot A \text{ tul desak} \\ = 8 \cdot 283,53 = 2269,1429 \text{ mm}^2$$

$$a_k = \frac{(A_{s \text{ ada}} \times \phi_0 - A_{s' \text{ ada}}) \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \quad (\text{pers 3.58}) \\ = \frac{(3120,0714 \times 1,25 - 2269,1429) \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 82,2782 \text{ mm}$$

$$c_k = \frac{a_k}{0,85} \quad (\text{pers 3.59}) \\ = \frac{82,2782}{0,85} = 100,3273 \text{ mm}$$

$$c_l = \frac{d'}{1 - \frac{f_y}{\epsilon_c \times E_s}} = \frac{59,5}{1 - \frac{400}{0,003 \times 200000}} = 178,5 \text{ mm}$$

Ternyata $c_1 > c_k$, maka baja desak belum luluh.

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) \cdot 300 = 6502,500 \text{ c KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s'_{ada} \times \frac{c-d'}{c} \times 600 = 2269,1429 \times \frac{c-59,5}{c} \times 600 \\ &= 1361485,74 \times \frac{c-59,5}{c} \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \Phi_0 \cdot A_s'_{ada} \cdot f_y \\ &= 1,25 \cdot 3120,0714 \cdot 400 = 1560035,7 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$C_c + C_s - T_s = 0 \quad (\text{pers 3.62})$$

$$6502,500 \text{ c} + 1361485,74 \times \frac{c-59,5}{c} - 1560035,7 = 0$$

Nilai c didapat dengan menggunakan rumus persamaan kuadrat, maka didapat :

$$c_1 = 127,9221 \text{ mm}$$

$$c_2 = 1,57912\text{E-}06 \text{ mm}$$

maka nilai c yang dipakai adalah $c = c_1 = 127,9221 \text{ mm}$

$$a = 0,85 \cdot c = 0,85 \cdot 127,9221 = 108,7338 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{c-d'}{c} \times 600 = \frac{127,9221 - 59,5}{127,9221} \times 600 = 320,9239 \text{ MPa} < f_y$$

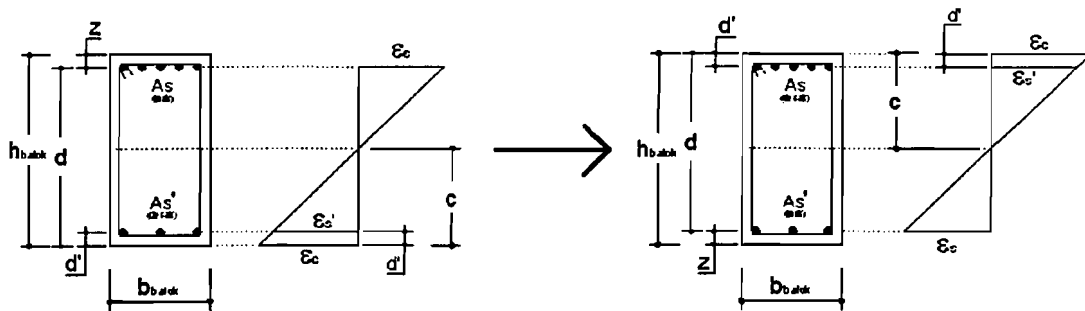
$$\text{Maka } f_s'_{pakai} = 320,9239 \text{ MPa}$$

$$M_{kap}^- = M_1 + M_2 \quad (\text{pers 3.64})$$

$$\begin{aligned} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s'_{ada} \cdot f_s'_{pakai} \cdot (d - d') \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 108,7338 \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{108,7338}{2}\right) + \\ &\quad 2269,1429 \cdot 320,9239 \cdot (518,5 - 59,5) \\ &= 720,3261 \text{ KNm} \end{aligned}$$

2. Momen kapasitas Positif (M_{kap}^+)

Pada hitungan M_{kap}^+ , nilai z menjadi d' dan nilai d' menjadi nilai z.



Gambar 6. 10. Tegangan Regangan Pada Momen Kapasitas Balok (positif)

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2269,1429 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 3120,0714 \text{ mm}^2 \\
 C_c &= 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) \cdot 300 \\
 &= 6502,500 c \text{ KN} \\
 C_s &= A_s' \cdot a_s \cdot \frac{c - d'}{c} \times 600 \\
 &= 3120,0714 \times \frac{c - 59,5}{c} \times 600 = 1872042,84 \times \frac{c - 59,5}{c} \text{ KN} \\
 T_s &= \Phi_0 \cdot A_s \cdot f_y \\
 &= 1,25 \cdot 2269,1429 \cdot 400 = 1134571,45 \text{ KN} \\
 C_c + C_s - T_s &= 0 \\
 6502,500c + 1872042,84 \times \frac{c - 59,5}{c} - 1134571,45 &= 0
 \end{aligned}$$

Nilai c didapat dengan menggunakan rumus persamaan kuadrat, maka didapat :

$$c_1 = 106,6308 \text{ mm}$$

$$c_2 = 6,98891\text{E-}07 \text{ mm}$$

maka nilai c yang dipakai adalah $c = c_1 = 106,6308 \text{ mm}$

$$a = 0,85 \cdot c = 0,85 \cdot 106,6308 = 90,6362 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 600 = \frac{106,6308 - 59,5}{106,6308} \times 600 = 141,4048 \text{ MPa} < f_y$$

Maka $f_s'_{\text{pakai}} = 141,4048 \text{ MPa}$

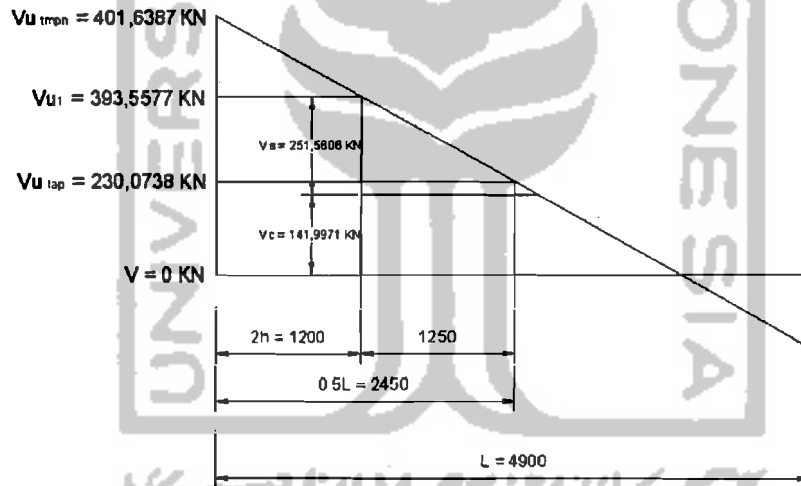
$$M_{\text{kap}}^+ = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot a_s \cdot f_s'_{\text{pakai}} \cdot (d - d')$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 90,6362 \cdot 300 \cdot \left(518,5 - \frac{90,6362}{2} \right) + 3120,0714 \cdot 141,4048 \cdot (518,5 - 59,5) = 555,5621 \text{ KNm}$$

- Perhitungan Senggang Balok

Data input (lampiran T3.3):

M_{kap}^-	= 720,3261 KNm	M_{kap}^+	= 555,5621 KNm
f_c	= 30 MPa	f_y	= 400 MPa
b_{balok}	= 300 mm	h_{balok}	= 600 mm
L_{balok}	= 6000 mm	$V_{D,tmpn}$	= 57,68761 KN (ETABS)
$V_{L,tmpn}$	= 21,9749 KN (ETABS)	$V_{E,tmpn}$	= 138,292 KN (ETABS)
$V_{D,lap}$	= 47,2977 KN (ETABS)	$V_{L,lap}$	= 21,9749 KN (ETABS)
$V_{E,lap}$	= 138,292 KN (ETABS)		



Gambar 6. 11. Gaya geser yang terjadi pada abalok B1 (story 1)

$$\begin{aligned}
 V_{G,tmpn} &= V_{D,tmpn} + V_{L,tmpn} \\
 &= 57,68761 + 21,9749 = 79,66251 \text{ KN} \\
 V_{G,lap} &= V_{D,lap} + V_{L,lap} \\
 &= 47,2977 + 21,9749 = 69,27255 \text{ KN} \\
 V_{u,tmpn} &= \frac{0,7 \times (M_{kap}^- + M_{kap}^+)}{Ln} + 1,05 \times V_{G,tmpn} \quad (\text{pers 3.74}) \\
 &= \frac{0,7 \times (720,3261 + 555,5621)}{5400} + 1,05 \times 79,66251
 \end{aligned}$$

$$= 247,5212 \text{ KN}$$

$$V_{\max, \text{tmpn}} = 1,05 \times (V_{D, \text{tmpn}} + V_{L, \text{tmpn}} + \frac{4}{k} \times V_{E, \text{tmpn}}) \quad (\text{pers 3.76})$$

$$= 1,05 \cdot (57,68761 + 21,9749 + \frac{4}{1} \cdot 138,292)$$

$$= 664,4720 \text{ KN}$$

V_u rencana di daerah tumpuan diambil yang terkecil antara $V_{u, \text{tmpn}}$ dengan $V_{\max, \text{tmpn}}$. Maka, V_u rencana di daerah tumpuan adalah 247,5212 KN. Selanjutnya V_u rencana ini digunakan untuk menghitung kebutuhan sengkang balok di daerah dalam sendi plastis.

$$V_{u, \text{lap}} = \frac{0,7 \times (M_{\text{kap}}^- + M_{\text{kap}}^+)}{Ln} + 1,05 \times V_{G, \text{lap}} \quad (\text{pers 3.74})$$

$$= \frac{0,7 \times (720,3261 + 555,5621)}{5400} + 1,05 \times 69,27255$$

$$= 236,6117 \text{ KN}$$

$$V_{\max, \text{lap}} = 1,05 \times (V_{D, \text{lap}} + V_{L, \text{lap}} + \frac{4}{k} \times V_{E, \text{lap}}) \quad (\text{pers 3.76})$$

$$= 1,05 \cdot (47,29765 + 21,9749 + \frac{4}{1} \cdot 138,929) = 653,5626 \text{ KN}$$

V_u rencana di daerah lapangan diambil yang terkecil antara $V_{u, \text{lap}}$ dengan $V_{\max, \text{lap}}$. Maka, V_u rencana di daerah lapangan adalah 236,6117 KN. Selanjutnya V_u rencana ini digunakan untuk menghitung kebutuhan sengkang balok di daerah luar sendi plastis.

a. Sengkang dalam sendi plastis (dalam $2h_{\text{balok}}$)

$$V_{u, \text{rencana}} = 247,5212 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_{u, \text{rencana}}}{\phi} = \frac{247,5212}{0,6} = 412,5353 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \text{Pakai sengkang P12 (3kaki)} \rightarrow A_v &= 3 \cdot (1/4) \cdot \pi \cdot 12^2 \\ &= 339,4286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$d = 518,5 \text{ mm}$$

$$S_1 = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \quad (\text{pers 3.78})$$

$$= \frac{339,4286 \times 240 \times 518,5}{412,5353 \cdot 10^3} = 102,3876 \text{ mm}$$

$$S_2 = d/4 \quad (\text{pers 3.79})$$

$$= 518,5/4 = 129,625 \text{ mm}$$

$$S_3 = 8 \cdot D_{\text{tul.pokok}} \quad (\text{pers 3.80})$$

$$= 8 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S_4 = 24 \cdot D_{\text{tul.senggang}} \quad (\text{pers 3.81})$$

$$= 24 \cdot 12 = 288 \text{ mm}$$

$$S_5 = \frac{1600 \times f_y \times A_v}{(A_1 + A_2) \times f_y} \quad (\text{pers 3.82})$$

Keterangan rumus S_5 adalah :

f_y = kuat leleh tulangan longitudinal, MPa.

A_v = luas satu kaki dari tulangan transversal, mm^2 .

A_1 = luas tulangan longitudinal atas, mm^2 .

A_2 = luas tulangan longitudinal bawah, mm^2 .

$$= \frac{1600 \times 240 \times 339,4286}{(283,53 + 283,53) \times 400} = 318,95 \text{ mm}$$

$$S_6 = 200 \text{ mm}$$

Nilai S_1 dibandingkan dengan S_2 , S_3 , S_4 , S_5 dan S_6 . Jarak sengkang tidak boleh melebihi dari nilai S_2 , S_3 , S_4 , S_5 dan S_6 . (SKSNI T-15-1991-03). Jadi, sengkang yang dipasang di daerah dalam sendi plastis adalah 3P12-100.

b. Sengkang di luar sendi plastis

$$V_{u,\text{rencana}} = \frac{\left(\frac{Ln}{2} - 2h_{\text{balok}}\right) \times (V_{U,\text{impn}} - V_{U,\text{lap}})}{\frac{Ln}{2}} + V_{U,\text{lap}}$$

$$= \frac{\left(\frac{5400}{2} - 2 \times 600\right) \times (247,5212 - 236,6117)}{\frac{5400}{2}} + 236,6117$$

$$= 242,7120 \text{ KN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 518,5 = 141,9971 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_{u,\text{rencana}}}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{242,7120}{0,6} - 141,9971 = 262,5313 \text{ KN}$$

$$\text{Pakai sengkang P12 (2kaki)} \rightarrow A_v = 2 \cdot (1/4) \cdot \pi \cdot 12^2 \\ = 226,2857 \text{ mm}^2$$

$$d = 518,5 \text{ mm}$$

$$S_1 = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,2857 \times 240 \times 518,5}{262,5313 \times 10^3} = 107,2595647 \text{ mm}$$

$$S_2 = d/2 = 518,5/2 = 259,25 \text{ mm}$$

$$S_3 = 600 \text{ mm}$$

Nilai S_1 dibandingkan dengan S_2 dan S_3 . Jarak sengkang tidak boleh melebihi dari nilai S_2 dan S_3 . (SKSNI 3.4.5-4).

Jadi, sengkang yang dipasang di daerah luar sendi plastis adalah 2P12-100.

6.4. Perencanaan Kolom

6.4.1. Momen Rencana Kolom

Pada perhitungan kolom dibawah ini, kolom yang didisain sebagai contoh adalah kolom K1 pada Portal 6.

Story 1 (Joint 1 - kolom tepi kiri). Hasil dilampirkan pada Tabel T3.4 - T3.7

Data input:

$$M_{\text{kap}^+, \text{balok kanan}} = 555,5621 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{kap}^-, \text{balok kanan}} = 720,3262 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{kap}^+, \text{balok kiri}} = 0 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{kap}^-, \text{balok kiri}} = 0 \text{ KNm}$$

$$L_{\text{balok kanan}} (L_a) = 6000 \text{ m}$$

$$L_{\text{balok kanan}} (L'_a) = 4900 \text{ m}$$

$$L_{\text{balok kiri}} (L_i) = 0 \text{ m}$$

$$L_{\text{balok kiri}} (L'_i) = 0 \text{ m}$$

$$E_c = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$b_{\text{balok}} = 300 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok}} = 600 \text{ mm}$$

$$b_{\text{kolom, atas joint 1}} = 1100 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom, atas joint 1}} = 1100 \text{ mm}$$

$$b_{\text{kolom, bawah joint 1}} = 1100 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom, bawah joint 1}} = 1100 \text{ mm}$$

$$H_{\text{kolom, atas joint 1}} (H_a) = 4 \text{ m}$$

$$H_{\text{kolom, bawah joint 1}} (H_b) = 6 \text{ m}$$

$$H'_{\text{kolom, atas joint 1}} (H'_a) = 3,4 \text{ m}$$

$$H'_{\text{kolom, bawah joint 1}} (H'_b) = 5,7 \text{ m}$$

$$k = 1$$

$$M_{\text{D kolom, atas joint 1}} (M_{D,a}) = 54,80007 \text{ KNm (ETABS)}$$

$$M_{\text{D kolom, bawah joint 1}} (M_{D,b}) = 33,31359 \text{ KNm (ETABS)}$$

$$M_{\text{L kolom, atas joint 1}} (M_{L,a}) = 13,08876 \text{ KNm (ETABS)}$$

$$M_L \text{ kolom, bawah joint 1 } (M_{L,b}) = 7,423412 \text{ KNm (ETABS)}$$

$$M_E \text{ kolom, atas joint 1 } (M_{E,a}) = 191,5681 \text{ KNm (ETABS)}$$

$$M_E \text{ kolom, bawah joint 1 } (M_{E,b}) = 41,47684 \text{ KNm (ETABS)}$$

$$\omega \text{ (magnification factor)} = 1$$

$$\phi_0 \text{ (overstrenght factor)} = 1,25$$

Penyelesaian :

Hitungan inersia (I) kolom:

$$\begin{aligned} I \text{ kolom, atas joint 1} &= (1/12) \cdot b_{\text{kolom, atas joint 1}} \cdot (h_{\text{kolom, atas joint 1}})^3 \\ &= (1/12) \cdot 1100 \cdot 1100^3 = 1,22E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ kolom, bawah joint 1} &= (1/12) \cdot b_{\text{kolom, bawah joint 1}} \cdot (h_{\text{kolom, bawah joint 1}})^3 \\ &= (1/12) \cdot 1100 \cdot 1100^3 = 1,22E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Hitungan kekakuan (K) kolom :

$$\begin{aligned} K \text{ kolom, atas joint 1 } (K_a) &= (E \cdot I) / H_{\text{kolom, atas joint 1}} \\ &= (25742,96 \cdot 1,22E+11) / 4 = 6,1E+15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K \text{ kolom, bawah joint 1 } (K_b) &= (E \cdot I) / H_{\text{kolom, bawah joint 1}} \\ &= (25742,96 \cdot 1,22E+11) / 6 = 4,067E+15 \end{aligned}$$

Hitungan nilai α (faktor distribusi momen kolom portal yang ditinjau sesuai dengan kekakuan relatif kolom atas dan kolom bawah. (Gideon 3, 1993).

$$\begin{aligned} \alpha \text{ kolom, atas joint 1 } (\alpha_a) &= K_a / (K_a + K_b) \\ &= 6,1E+15 / (6,1E+15 + 4,067E+15) = 0,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha \text{ kolom, bawah joint 1 } (\alpha_b) &= K_b / (K_a + K_b) \\ &= 4,067E+15 / (6,1E+15 + 4,067E+15) = 0,40 \end{aligned}$$

Rumus umum:

$$Mu_k = 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'}{H} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \quad (\text{pers 3.86})$$

Tinjauan momen rencana akibat gempa dari arah kiri (arah x):

$$\begin{aligned} Mu_{k,a} &= 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'a}{Ha} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \\ &= 0,7 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 0,60 \cdot \frac{3,4}{4} \cdot \left(0 + \frac{6000}{4900} \cdot 555,5621 \right) \\ &= 394,6475 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,b} &= 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'b}{Hb} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \\ &= 0,7 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,40 \cdot \frac{5,7}{6} \cdot \left(0 + \frac{6000}{4900} \cdot 555,5621 \right) \\ &= 226,1931 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,a \text{ max}} &= 1,05 \cdot (M_{D,a} + M_{L,a} + (4/k) \cdot M_{E,a}) \\ &= 1,05 \cdot (54,80007 + 13,08876 + (4/1) \cdot 191,5681) \\ &= 875,86929 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,b \text{ max}} &= 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{L,b} + (4/k) \cdot M_{E,b}) \\ &= 1,05 \cdot (33,31359 + 7,423412 + (4/1) \cdot 41,47684) \\ &= 216,97658 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Nilai $\text{Mu}_{k,a}$ dan $\text{Mu}_{k,a \text{ max}}$ diambil yang terkecil. Hal ini berlaku juga untuk nilai $\text{Mu}_{k,b}$ dan $\text{Mu}_{k,b \text{ max}}$, diambil yang terkecil juga. Maka momen rencana yang dipakai akibat gempa dari arah kiri adalah:

$$\text{Mu}_{k,a \text{ gempa kiri}} = 394,6475 \text{ KNm} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Mu}_{k,b \text{ gempa kiri}} = 216,97658 \text{ KNm} \dots\dots\dots(2)$$

Tinjauan momen rencana akibat gempa dari arah kanan (arah x):

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,a} &= 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'a}{Ha} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \\ &= 0,7 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 0,60 \cdot \frac{3,4}{4} \cdot \left(\frac{6000}{4900} \cdot 720,3262 + 0 \right) \\ &= 511,6889 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,b} &= 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'b}{Hb} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \\ &= 0,7 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,40 \cdot \frac{5,7}{6} \cdot \left(\frac{6000}{4900} \cdot 720,3262 + 0 \right) \\ &= 293,2757 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,a \text{ max}} &= 1,05 \cdot (M_{D,a} + M_{L,a} + (4/k) \cdot M_{E,a}) \\ &= 1,05 \cdot (54,80007 + 13,08876 + (4/1) \cdot 191,5681) \\ &= 875,8700 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu}_{k,b \text{ max}} &= 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{L,b} + (4/k) \cdot M_{E,b}) \\ &= 1,05 \cdot (33,31359 + 7,423412 + (4/1) \cdot 41,47684) \end{aligned}$$

$$= 216,97658 \text{ KNm}$$

Nilai $M_{k,a}$ dan $M_{k,a \text{ max}}$ diambil yang terkecil. Hal ini berlaku juga untuk nilai $M_{k,b}$ dan $M_{k,b \text{ max}}$ diambil yang terkecil juga. Maka momen rencana yang dipakai akibat gempa dari arah kiri adalah :

$$M_{k,a \text{ gempa kiri}} = 511,6889 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$M_{k,b \text{ gempa kiri}} = 216,97658 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Kolom direncanakan mampu menahan momen akibat gempa kiri dan kanan.

Hal ini dikarenakan gempa yang terjadi tidak selalu datangnya dari arah kiri atau kanan saja. Oleh karena itu, momen-momen yang telah direncanakan (1) s/d (4) harus dibandingkan lagi. Setelah dibandingkan, kemudian diambil nilainya yang terbesar. Nilai dari (1) dibandingkan dengan (3), diambil yang terbesar. Maka untuk nilai $M_{k,a} = 511,6889 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(5)$

Nilai dari (2) dibandingkan dengan (4), diambil yang terbesar. Maka untuk nilai $M_{k,b} = 216,97658 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(6)$

Tinjauan momen rencana akibat gempa dari arah kiri (arah y):

$$\begin{aligned} M_{k,a} &= 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'a}{Ha} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \\ &= 0,7 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 0,60 \cdot \frac{3,4}{4} \cdot \left(0 + \frac{6000}{4900} \cdot 555,5621 \right) \\ &= 394,6475 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,b} &= 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'b}{Hb} \cdot \left(\frac{Li}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{La}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right) \\ &= 0,7 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,40 \cdot \frac{5,7}{6} \cdot \left(0 + \frac{6000}{4900} \cdot 555,5621 \right) \\ &= 226,1931 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,a \text{ max}} &= 1,05 \cdot (M_{D,a} + M_{L,a} + (4/k) \cdot M_{E,a}) \\ &= 1,05 \cdot (49,6630 + 11,2584 + (4/1) \cdot 321,0947) \\ &= 1412,5652 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,b \text{ max}} &= 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{L,b} + (4/k) \cdot M_{E,b}) \\ &= 1,05 \cdot (30,13911 + 6,13 + (4/1) \cdot 137,8642) \\ &= 617,1112 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Nilai $M_{u_{k,a}}$ dan $M_{u_{k,a} \max}$ diambil yang terkecil. Hal ini berlaku juga untuk nilai $M_{u_{k,b}}$ dan $M_{u_{k,b} \max}$ diambil yang terkecil juga. Maka momen rencana yang dipakai akibat gempa dari arah kiri adalah:

$$M_{u_{k,a} \text{ gempa kiri}} = 394,6475 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$M_{u_{k,b} \text{ gempa kiri}} = 226,1931 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Tinjauan momen rencana akibat gempa dari arah kanan (arah y):

$$M_{u_{k,a}} = 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'a}{H_a} \cdot \left(\frac{L_i}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{L_a}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right)$$

$$= 0,7 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 0,60 \cdot \frac{3,4}{4} \cdot \left(\frac{6000}{4900} \cdot 720,3262 + 0 \right)$$

$$= 511,6889 \text{ KNm}$$

$$M_{u_{k,b}} = 0,7 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot \alpha_a \cdot \frac{H'b}{H_b} \cdot \left(\frac{L_i}{L'i} \cdot M_{kap}^- + \frac{L_a}{L'a} \cdot M_{kap}^+ \right)$$

$$= 0,7 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,40 \cdot \frac{5,7}{6} \cdot \left(\frac{6000}{4900} \cdot 720,3262 + 0 \right)$$

$$= 293,2757 \text{ KNm}$$

$$M_{u_{k,a} \max} = 1,05 \cdot (M_{D,a} + M_{L,a} + (4/k) \cdot M_{E,a})$$

$$= 1,05 \cdot (49,6630 + 11,2584 + (4/1) \cdot 321,0947)$$

$$= 1412,5652 \text{ KNm}$$

$$M_{u_{k,b} \max} = 1,05 \cdot (M_{D,b} + M_{L,b} + (4/k) \cdot M_{E,b})$$

$$= 1,05 \cdot (30,13911 + 6,13 + (4/1) \cdot 137,8642)$$

$$= 617,1112 \text{ KNm}$$

Nilai $M_{u_{k,a}}$ dan $M_{u_{k,a} \max}$ diambil yang terkecil. Hal ini berlaku juga untuk nilai $M_{u_{k,b}}$ dan $M_{u_{k,b} \max}$ diambil yang terkecil juga. Maka momen rencana yang dipakai akibat gempa dari arah kiri adalah:

$$M_{u_{k,a} \text{ gempa kiri}} = 511,6889 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$M_{u_{k,b} \text{ gempa kiri}} = 293,2757 \text{ KNm} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Kolom direncanakan mampu menahan momen akibat gempa kiri dan kanan. Hal ini dikarenakan gempa yang terjadi tidak selalu datangnya dari arah kiri atau kanan saja. Oleh karena itu, momen-momen yang telah direncanakan (7) s/d (10) harus dibandingkan lagi. Setelah dibandingkan, kemudian diambil nilainya yang terbesar.

Nilai dari (7) dibandingkan dengan (9), diambil yang terbesar. Maka untuk nilai $Mu_{k,a} = 511,6889 \text{ KNm}$ (11)

Nilai dari (8) dibandingkan dengan (10), diambil yang terbesar. Maka untuk nilai $Mu_{k,b} = 293,2757 \text{ KNm}$ (12)

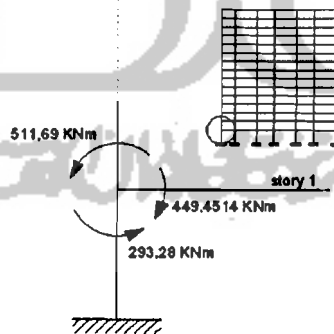
Setelah momen yang direncanakan telah ditinjau dan dipilih sesuai arahnya masing-masing (arah x dan y) maka momen-momen yang telah dipilih tersebut dibandingkan lagi antara arah x dengan arah y. Nilai (5) dibandingkan dengan (11), diambil yang terbesar. Maka untuk nilai $Mu_{k,a} = 511,6889 \text{ KNm}$. Nilai (6) dibandingkan dengan (12), diambil yang terbesar. Maka untuk nilai $Mu_{k,b} = 293,2757 \text{ KNm}$ Jadi, momen rencana untuk kolom K1 pada story 1 adalah:

$$Mu_{k,a} = 511,6889 \text{ KNm}$$

$$Mu_{k,b} = 293,2757 \text{ KNm}$$

Lampiran G1 akan menunjukkan gambar momen kolom K1 dari tingkat 1 sampai dengan tingkat 15. Jumlah Momen ultimate kolom (ΣMu_{k}) pada kolom K1 story 1 adalah:

$\Sigma Mu_{k} = Mu_{k,a} + Mu_{k,b} = 511,69 + 293,28 = 804,97 \text{ KNm}$. Gambar 6. 12, menunjukkan ΣMu_{k} . Jumlah momen balok (ΣMu_{b}) B1 yang terjadi pada kolom K1 story 1 adalah sebesar 449,4514 KNm. Nilai tersebut didapat dari hasil analisis struktur.



Gambar 6. 12. Momen kolom lebih kuat dari pada momen balok

Apabila ΣMu_{k} dibagi dengan ΣMu_{b} maka akan didapatkan nilai sebesar 1,7910. Dengan kata lain, jika dirumuskan akan menjadi: $\Sigma Mu_{k} = 1,7910 \times \Sigma Mu_{b}$. Hal ini mengatakan bahwa nilai momen yang terjadi pada kolom lebih

besar dibandingkan momen yang terjadi pada balok. Inilah yang dimaksud dengan kolom lebih kuat daripada balok atau “*strong coloumn weak beam*”.

6.4.2. Gaya Aksial Kolom

Story 15 (Joint 15 – kolom tepi kiri)

Data input (lampiran T3.8):

Portal arah x :

$$M_{kap^+, balok\ kanan} = 202,3340 \text{ KNm (balok atas – lampiran T3.1)}$$

$$M_{kap^-, balok\ kanan} = 316,6422 \text{ KNm (balok atas – lampiran T3.1)}$$

$$M_{kap^+, balok\ kiri} = 0 \text{ KNm}$$

$$M_{kap^-, balok\ kiri} = 0 \text{ KNm}$$

$$L_{balok\ kanan} (L_a) = 6 \text{ m}$$

$$L_{balok\ kiri} (L_i) = 0 \text{ m}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$b_{kolom, atas\ joint\ 15} = 0 \text{ mm}$$

$$h_{kolom, atas\ joint\ 15} = 0 \text{ mm}$$

$$b_{kolom, bawah\ joint\ 15} = 700 \text{ mm}$$

$$h_{kolom, bawah\ joint\ 15} = 700 \text{ mm}$$

$$n = 0 \quad k = 1$$

$$P_{D\ kolom, 15} (P_{D,15}) = 145,8631 \text{ KN (ETABS)}$$

$$P_{L\ kolom, 15} (P_{L,15}) = 23,95921 \text{ KN (ETABS)}$$

$$P_{E\ kolom, 15} (P_{E,15}) = 12,01195 \text{ KN (ETABS)}$$

Penyelesaian :

$$RV = 1,1 - (0,025 \times n)$$

$$= 1,1 - (0,025 \times 0)$$

$$= 1,1$$

$$P_g = P_{D,15} + P_{L,15}$$

$$= 145,8631 + 23,95921$$

$$= 169,7953 \text{ KN}$$

$$P_u = 0,7 \cdot RV \cdot \left(\frac{M_{kap^+} + M_{kap^-}}{L} \right) \quad (\text{pers 3.89})$$

$$= 0,7 \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{202,3340 + 316,6422}{6} \right)$$

$$= 66,6019 \text{ KN} \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{u_{max}} = 1,05 \cdot \left(P_{D,15} + P_{L,15} + \left(\frac{4}{k} \cdot P_{E,15} \right) \right) \quad (\text{pers 3.90})$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,05 \cdot \left(145,8631 + 23,95921 + \left(\frac{4}{1} \cdot 12,01195 \right) \right) \\
 &= 228,7353 \text{ KN} \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

Portal arah y :

$$M_{kap}^+, \text{balok kanan} = 202,3340 \text{ KNm (balok atap – lampiran T3.1)}$$

$$M_{kap}^-, \text{balok kanan} = 316,6422 \text{ KNm (balok atap – lampiran T3.1)}$$

$$M_{kap}^+, \text{balok kiri} = 0 \text{ KNm}$$

$$M_{kap}^-, \text{balok kiri} = 0 \text{ KNm}$$

$$L_{\text{balok kanan}} (L_a) = 6 \text{ m}$$

$$L_{\text{balok kiri}} (L_i) = 0 \text{ m}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$b_{\text{kolom,atas joint 15}} = 0 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom,atas joint 15}} = 0 \text{ mm}$$

$$b_{\text{kolom,bawah joint 15}} = 1000 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kolom,bawah joint 15}} = 1000 \text{ mm}$$

$$n = 0 \quad k = 1$$

$$P_{D \text{ kolom, 15}} (P_{D,15}) = 145,8631 \text{ KN (ETABS)}$$

$$P_{L \text{ kolom, 15}} (P_{L,15}) = 23,95921 \text{ KN (ETABS)}$$

$$P_{E \text{ kolom, 15}} (P_{E,15}) = 1,8947 \text{ KN (ETABS)}$$

Penyelesaian :

$$RV = 1,1 - (0,025 \times n)$$

$$= 1,1 - (0,025 \times 0)$$

$$= 1,1$$

$$P_g = P_{D,15} + P_{L,15}$$

$$= 145,8631 + 23,95921$$

$$= 169,79531 \text{ KN}$$

$$P_u = 0,7 \cdot RV \cdot \left(\frac{M_{kap}^+ + M_{kap}^-}{L} \right)$$

$$= 0,7 \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{202,3340 + 316,6422}{6} \right)$$

$$= 66,6019 \text{ KN} \dots \dots \dots (3)$$

$$P_{u_{\max}} = 1,05 \cdot \left(P_{D,15} + P_{L,15} + \left(\frac{4}{k} \cdot P_{E,15} \right) \right)$$

$$= 1,05 \cdot \left(145,8631 + 23,95921 + \left(\frac{4}{1} \cdot 1,8947 \right) \right)$$

$$= 186,2429 \text{ KN} \dots\dots\dots(4)$$

Selanjutnya nilai dari (2) dan (4) dibandingkan, kemudian diambil yang terbesar, yaitu = 228,7353 KN(5)

Lalu nilai (5) dibandingkan dengan $(P_x + P_y + (1,05 \cdot P_g))$. Jika nilai $(P_x + P_y + (1,05 \cdot P_g))$ melebihi nilai (5) maka digunakan nilai (5), dan sebaliknya. Nilai gaya aksial untuk lantai 15 adalah: $P_{u, \text{pakai}} = 228,7353 \text{ KN}$
Lampiran T3.8 akan menunjukkan gambar gaya aksial kolom K1 dari tingkat 1 sampai dengan tingkat 15.

6.4.3. Grafik Mn dan Pn

Kolom Ukuran $(1100 \times 1100) \text{ mm}^2 \rightarrow A_{st} = 1\% A_g$ (lampiran T3.9 - T3-11)

$$f_c = 30 \text{ MPa} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

keadaan patah desak ($C > C_b$)

$$d' = h - d$$

$$d' = 1100 - 1040 = 60 \text{ mm}$$

$$C_b = \frac{600}{(600 + f_y)} \cdot d \quad (\text{pers 3.91})$$

$$C_b = \frac{600}{(600 + 400)} \cdot 1040 = 624 \text{ mm}$$

ditentukan faktornya 1.8 maka nilai C adalah:

$$C = \text{faktor} \cdot C_b$$

$$C = 1.8 \cdot 624 = 1123 \text{ mm}$$

$$a = 0.85 \cdot C \quad (\text{pers 3.96})$$

$$a = 0.85 \cdot 1123 = 955 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{d - C}{C} \cdot 600$$

$$f_s = \frac{1040 - 1123}{1123} \cdot 600 = -44 \text{ MPa}$$

Jika $f_y > f_s$ maka digunakan f_y , jika $f_y \leq f_s$ maka digunakan f_s . Maka $f_{s, \text{pakai}} = -44 \text{ MPa}$

$$f_s' = \frac{C - d'}{C} \cdot 600$$

$$f_s' = \frac{1123 - 60}{1123} \cdot 600 = 568 \text{ MPa}$$

jika $f_s' > f_y$ maka digunakan f_y , namun jika $f_s' \leq f_y$ digunakan f_s' . $\rightarrow f_s'_{\text{pakai}} = 400 \text{ MPa}$

$$A_{st} = 1\% \cdot A_g$$

$$A_{st} = 0.01 \cdot 1100^2 = 12100 \text{ mm}^2 \quad (\text{pers 3.94})$$

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot A_{st} \cdot f_s$$

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot 12100 \cdot (-44) \cdot 10^{-3} = -269 \text{ kN}$$

$$A_s' = A_s = \frac{1}{2} A_{st} \quad (\text{pers 3.95})$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c')$$

$$C_s = 6050 \cdot (400 - 0.85 \cdot 30) \cdot 10^{-3} = 2266 \text{ KN} \quad (\text{pers 3.97})$$

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$C_c = 0.85 \cdot 30 \cdot 955 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 26780 \text{ KN} \quad (\text{pers 3.11})$$

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

$$M_n = 26780 \cdot \left(\frac{1100 - 955}{2} \right) + 2266 \cdot (550 - 60) + (-269) \cdot (1040 - 550)$$

$$M_n = 2924 \text{ KNm}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$P_n = 26780 + 2266 - (-269) = 29315 \text{ kN} \quad (\text{pers 3.98})$$

Untuk keadaan seimbang maka nilai faktor nya menjadi 1 karena $C = C_b$ dan $f_s = f_y$

Untuk $\rightarrow A_{st} = 1\% A_g$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

keadaan patah desak ($f_s = f_y$)

$$d' = h - d$$

$$d' = 1100 - 1040 = 60 \text{ mm}$$

$$C_b = \frac{600}{(600 + f_y)} \cdot d$$

$$C_b = \frac{600}{(600 + 400)} \cdot 1040 = 624 \text{ mm}$$

ditentukan faktornya 1 maka nilai C adalah:

$$C = \text{faktor} \cdot Cb$$

$$a = 0.85 \cdot C$$

$$C = 1 \cdot 624 = 624 \text{ mm}$$

$$a = 0.85 \cdot 624 = 530 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{d - C}{C} \cdot 600$$

$$f_s = \frac{1040 - 624}{624} \cdot 600 = 400 \text{ MPa}$$

Jika $f_y > f_s$ maka digunakan f_y , jika $f_y \leq f_s$ maka digunakan f_s . Maka $f_{s\text{pakai}} = 400 \text{ MPa}$

$$f_s' = \frac{C - d'}{C} \cdot 600$$

$$f_s' = \frac{624 - 60}{624} \cdot 600 = 542 \text{ MPa}$$

jika $f_s' > f_y$ maka digunakan f_y , namun jika $f_s' \leq f_y$ digunakan f_s' . $\rightarrow f_{s'\text{pakai}} = 400 \text{ MPa}$

$$A_{st} = 1\% \cdot A_g$$

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot A_{st} \cdot f_s$$

$$A_{st} = 0.01 \cdot 1100^2 = 12100 \text{ mm}^2$$

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot 12100 \cdot (400) \cdot 10^{-3} = 2420 \text{ KN}$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{1}{2} A_{st}$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f_c)$$

$$C_s = 6050 \cdot (400 - 0.85 \cdot 30) \cdot 10^{-3} = 2266 \text{ KN}$$

$$C_c = 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b$$

$$C_c = 0.85 \cdot 30 \cdot 530 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 14878 \text{ KN}$$

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

$$M_n = 14878 \cdot \left(\frac{1100 - 530}{2} \right) + 2266 \cdot (550 - 60) + 2420 \cdot (1040 - 550)$$

$$M_n = 6533 \text{ KNm}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$P_n = 14878 + 2266 - 2420 = 14723 \text{ kN}$$

Untuk keadaan patah tarik maka nilai faktor nya akan < 1 dimana ($e > e_b$) atau ($C < C_b$)

Untuk $\rightarrow A_{st} = 1\% A_g$

$f_c = 30 \text{ MPa}$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d' = h - d$$

$$d' = 1100 - 1040 = 60 \text{ mm}$$

$$Cb = \frac{600}{(600 + f_y)} \cdot d$$

$$Cb = \frac{600}{(600 + 400)} \cdot 1040 = 624 \text{ mm}$$

ditentukan faktornya 0.6 maka nilai C adalah:

$$C = \text{faktor} \cdot Cb$$

$$C = 0.6 \cdot 624 = 374 \text{ mm}$$

$$a = 0.85 \cdot C$$

$$a = 0.85 \cdot 374 = 318 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{d - C}{C} \cdot 600$$

$$f_s = \frac{1040 - 374}{374} \cdot 600 = 1067 \text{ MPa}$$

Jika $f_y > f_s$ maka digunakan f_y , jika $f_y \leq f_s$ maka digunakan f_s . Maka $f_{s\text{pakai}} = 400 \text{ MPa}$

$$f_s' = \frac{C - d'}{C} \cdot 600$$

$$f_s' = \frac{374 - 60}{374} \cdot 600 = 504 \text{ MPa}$$

jika $f_s' > f_y$ maka digunakan f_y , namun jika $f_s' \leq f_y$ digunakan f_s' . $\rightarrow f_{s'\text{pakai}} = 400 \text{ MPa}$

$$A_{st} = 1\% \cdot A_g$$

$$A_{st} = 0.01 \cdot 1100^2 = 12100 \text{ mm}^2$$

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot A_{st} \cdot f_s$$

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot 12100 \cdot (400) \cdot 10^{-3} = 2420 \text{ KN}$$

$$A_{s'} = A_s = \frac{1}{2} A_{st}$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_s' - 0.85 \cdot f'_c)$$

$$C_s = 6050 \cdot (400 - 0.85 \cdot 30) \cdot 10^{-3} = 2266 \text{ KN}$$

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$C_c = 0.85 \cdot 30 \cdot 318 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 8927 \text{ KN}$$

$$Mn = Cc \cdot \left(\bar{Y} - \frac{a}{2} \right) + Cs \cdot (\bar{Y} - d') + Ts \cdot (d - \bar{Y})$$

$$Mn = 8927 \cdot \left(\frac{1100 - 318}{2} \right) + 2266 \cdot (550 - 60) + 2420 \cdot (1040 - 550)$$

$$Mn = 5785 \text{ KNm}$$

$$Pn = Cc + Cs - Ts$$

$$Pn = 8927 + 2266 - 2420 = 8772 \text{ KN}$$

6.4.4. Desain Tulangan Kolom

Story 1 (lampiran T3.12)

Data input :

$$Mu = 1339,00 \text{ KNm (Lampiran Tabel T3.7)}$$

$$Pu = 7328,03 \text{ KN (Lampiran Tabel T3.8)}$$

$$b_{\text{kolom}} = 1100 \text{ mm} \quad h_{\text{kolom}} = 1100 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,65$$

Penyelesaian :

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{1339,00}{0,65} = 2059,998 \text{ KNm} \quad (\text{pers 3.102})$$

$$Pn = \frac{Pu}{\phi} = \frac{7328,03}{0,65} = 11273,9 \text{ KN} \quad (\text{pers 3.103})$$

Nilai Mn dan Pn diplotkan ke gambar grafik Mn-Pn untuk mencari berapa persen tulangan yang dibutuhkan oleh kolom. Setelah diplotkan maka didapat: 1 %

$$\begin{aligned} A_{st} &= A_{s'} + A_s = 1\% \times A_g \\ &= 1\% \times (1100 \times 1100) = 12100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Pakai tulangan D25} \rightarrow A_{tul} = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{A_{st}}{A_{tul}} = \frac{12100}{490,87} = 24,65 \rightarrow 26 \text{ buah tulangan}$$

$$n_{\text{tul tarik}} = n_{\text{tul desak}} = \frac{n}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ buah tulangan}$$

Jadi, tulangan yang dibutuhkan oleh kolom K1 pada story 2 adalah: 26D25.

Kebutuhan luas tulangan (A_s) pada kolom K1 masih dibawah 1% dari luas bruto kolom (A_g), dikarenakan syarat kebutuhan luas tulangan (A_s) pada kolom minimal adalah 1% dari luas bruto kolom (A_g) maka kebutuhan tulangan pada kolom dibulatkan menjadi 1% dari luas bruto kolom (A_g). Dengan adanya pembulatan luas tulangan (A_s) pada kolom maka nilai gaya aksial nominal (P_n) dan nilai momen nominal (M_n) berubah juga. Untuk mengetahui nilai gaya aksial nominal (P_n) pada kolom dengan menggunakan rumus whitney, berikut ini cara penyelesaiannya.

$$A_s = 26 \cdot 490,87 = 6381,36 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{d \cdot b}$$

$$\rho = \frac{6381,36}{1040 \cdot 1000} = 0,0056$$

$$Cb = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d$$

$$Cb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \cdot 1040 = 624 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85 \cdot Cb$$

$$ab = 0,85 \cdot 624 = 530,4 \text{ mm}$$

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

$$f_s' = \frac{624 - 60}{624} \cdot 600 = 542,308 \text{ MPa}$$

$f_y < f_s'$ maka dipakai $f_y = 400 \text{ MPa}$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot 30 \cdot 530,4 \cdot 1100 = 14877,72 \text{ KN}$$

$$0,65 \cdot P_{nb} = 0,65 \cdot 14877,72 = 9670,52 \text{ KN}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1339,00}{7328,03} = 182,72 \text{ mm}$$

Runtuh Tarik $P_u < 0,65 P_n$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,96$$

$$P_n = 0,85 \times f'c \times b \times d \times \left(\left(\frac{h-2 \times e}{2 \times d} \right) + \sqrt{\left(\frac{h-2 \times e}{2 \times d} \right)^2 + 2 \times m \times \rho \times \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right)$$

$$P_n = 0,85 \cdot 30 \cdot 1100 \cdot 1040 \cdot$$

$$\left(\left(\frac{1100 - 2 \cdot 182,72}{2 \cdot 182,72} \right) + \sqrt{\left(\frac{1100 - 2 \cdot 182,72}{2 \cdot 1040} \right)^2 + 2 \cdot 15,96 \cdot 0,0056 \cdot \left(1 - \frac{60}{1040} \right)} \right)$$

$$= 25786,59 \text{ KN}$$

maka $P_n = 25786,59 \text{ KN}$

(pers 3.105)

$$A_{st} = \frac{2 \cdot A_s}{A_g} \cdot 100\%$$

$$A_{st} = \frac{2 \cdot 6381,36}{1210000} \cdot 100\% = 1,05\%$$

dari grafik M_n - P_n didapat nilai $M_n = 4300 \text{ KNm}$, Sehingga Mkap kolom nya menjadi $= 1,25 \cdot 4300 = 5375 \text{ KNm}$.

6.4.5. Geser Kolom

Kolom K1 lantai 1 (lampiran T3.14)

$P_u = 25786,59 \text{ KN}$ (lampiran T3.8)

$M_{a,kolom} = 293,28 \text{ KN}$ (lampiran T3.6)

$M_{b,kolom} = 5375 \text{ KN}$ (lampiran T3.6)

$H' \text{ netto lt } 2 = 3,2 \text{ m}$

$b_{kolom} = 1100 \text{ mm}$

$h_{kolom} = 1100 \text{ mm}$

$H_{kolom} = 6000 \text{ mm}$

$H'_{kolom} = 5400 \text{ mm}$

$A_g = 1100 \times 1100 = 1210000 \text{ mm}^2$

$d' = 60 \text{ mm}$

$d = 1040 \text{ mm}$

$f_y = 240 \text{ MPa}$

$f'c = 30 \text{ MPa}$

Dalam sendi plastis

$$Vu_1 = \frac{Ma + Mb}{H'}$$

$$Vu_1 = \frac{293,28 + 5375}{5,6} = 1012,19 \text{ KN}$$

(pers 3.107)

$$Vs_1 = \frac{Vu}{0.6}$$

$$Vs_1 = \frac{1012,19}{0.6} = 1686,99 \text{ KN}$$

dicoba pakai $\phi 12 \rightarrow A_{tulangan} = 113.10 \text{ mm}^2$

jumlah kaki = 4

$$\text{Senggang 4 kaki} = \frac{4 \cdot A \cdot fy \cdot d}{Vs_1}$$

$$\text{Senggang 4 kaki} = \frac{4 \cdot 113,10 \cdot 240 \cdot 1040}{1686,99} = 111,56 \text{ mm}$$

dipakai jarak senggang tulangan 110 mm.

Diluar sendi plastis.

$$Vc = \left(1 + \frac{Pu}{Ag \cdot 14} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \right)$$

$$Vc = \left(1 + \frac{25786,59 \cdot 10^3}{1210000 \cdot 14} \right) \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{30} \cdot 1100 \cdot 1040 \right) = 2634,03 \text{ KN}$$

(pers 3.109)

$$Vu_2 = Vu_1 = 1012,19 \text{ KN}$$

$$Vs_2 = \frac{Vu_2}{0.6} - Vc$$

$$Vs_2 = \frac{1012,19}{0.6} - 2634,03 = -947,04 \text{ KN}$$

dicoba pakai $\phi 10 \rightarrow A_{tulangan} = 78.54 \text{ mm}^2$

jumlah kaki = 2

$Vs_2 < 0$ maka dipakai jarak tulangan 200 mm. Dan S yang dipakai 200 mm.

6.4.6. Joint

Joint untuk K1 pada lantai 1 gempa arah X dari Kanan (lampiran T3.15)

$h_{\text{ balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$

$h_{\text{ balok, kanan}} = 600 \text{ mm}$

$L_{\text{ balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$

$L_{\text{ balok, kanan}} = 6000 \text{ mm}$

$$L' \text{ balok, kiri} = 0 \text{ mm}$$

$$L' \text{ balok, kanan} = 4900 \text{ mm}$$

$$d \text{ balok, kiri} = 0 \text{ mm}$$

$$d \text{ balok, kanan} = 518,5 \text{ mm}$$

$$C \text{ balok, kiri} = 0 \text{ mm}$$

$$C \text{ balok, kanan} = 103,2127 \text{ mm}$$

$$a \text{ balok, kiri} = 0 \text{ mm}$$

$$a \text{ balok, kanan} = 87,7308 \text{ mm}$$

$$Z \text{ balok, kiri} = 0 \text{ mm}$$

$$Z \text{ balok, kanan} = \left(d - \frac{a}{2} \right) = \left(518,5 - \frac{103,2127}{2} \right) = 474,6346 \text{ mm}$$

$$M_{kap^-} \text{ balok, kiri (gempa kiri)} = 0$$

$$M_{kap^+} \text{ balok, kanan (gempa kiri)} = 555,5621 \text{ KNm}$$

$$M_{kap^+} \text{ balok, kiri (gempa kanan)} = 0$$

$$M_{kap^-} \text{ balok, kanan (gempa kanan)} = 720,3262 \text{ KNm}$$

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h \text{ kolom} = 1100 \text{ mm}$$

$$b \text{ kolom} = 1100 \text{ mm}$$

$$H \text{ kolom, atas} = 4000 \text{ mm}$$

$$H \text{ kolom, bawah} = 6000 \text{ mm}$$

$$P_u = 6866,64 \text{ KN}$$

$$A_g \text{ kolom} = 1100 \times 1100 = 1210000 \text{ mm}^2$$

Gempa Kanan

$$C_{\text{balok, kanan}} = \frac{0,7 \cdot M_{\text{kap}^-, \text{kanan (gempa kanan)}}}{Z_{\text{balok kanan}}} \quad (\text{pers 3.112})$$

$$C_{\text{balok, kanan}} = \frac{0,7 \cdot 720,3262}{474,6346 \cdot 10^{-3}} = 1062,35 \text{ KN}$$

$$T_{\text{balok kiri}} = 0 \text{ karena } M_{\text{kap}^+ \text{ balok, kiri (gempa kanan)}} = 0$$

$$V_{\text{kolom}} = \left(\frac{0,7 \left(\frac{L_{ki}}{L_{ki'}} \cdot M_{\text{kap}^-} + \frac{L_{ka}}{L_{ka'}} \cdot M_{\text{kap}^+} \right)}{\frac{1}{2} \cdot (H_{\text{kolom, atas}} + H_{\text{kolom, bawah}})} \right) \quad (\text{pers 3.110})$$

$$V_{\text{kolom}} = \left(\frac{0,7 \cdot \left(\frac{6}{4,9} \cdot 720,3262 \right)}{\frac{1}{2} \cdot (4 + 6)} \right) = 123,48 \text{ KN}$$

$$V_{j,h} = C + T - V_{\text{kolom}}$$

$$V_{j,h} = 1062,53 - 123,48 = 938,87 \text{ KN}$$

$$V_{jh} = \frac{V_{j,h}}{b_{kolom} \cdot h_{balok}} \quad (\text{pers 3.114})$$

$$V_{jh} = \frac{938,87}{1100 \cdot 600} = 0,0014 \text{ KN}$$

kontrol geser minimum

$$V_{jh} < 1.5 \cdot \sqrt{f'c} \rightarrow \text{aman!} \quad (\text{pers 3.115})$$

Jika $\frac{Pu}{Ag} \leq 0.1 \cdot f'c$ maka $V_{ch} = 0$. jika $\frac{Pu}{Ag} \geq 0.1 \cdot f'c$ maka V_{ch} adalah dihitung

dengan persamaan berikut:

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{Pu}{Ag}\right) - 0.1 \cdot f'c} \cdot b_{kolom} \cdot h_{balok} \quad (\text{pers 3.116})$$

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{6866,64 \cdot 10^3}{1210000}\right) - 0.1 \cdot 30} \cdot 1100 \cdot 600 = 719,63 \text{ KN}$$

$$V_{sh} = V_{j,h} - V_{ch}$$

$$V_{sh} = 938,87 - 719,63 = 219,24 \text{ KN} \quad (\text{pers 3.117})$$

$$A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_y}$$

$$A_{jh} = \frac{219,24 \cdot 10^3}{240} = 913,50 \text{ mm}^2 \quad (\text{pers 3.118})$$

dipakai tulangan dengan $\phi 12$ maka $A = 113.10 \text{ mm}^2$

dicoba dipasang dengan sengkang 2 kaki

$$n = \frac{A_{jh}}{A_v}$$

jumlah sengkang

$$n = \frac{913,50}{2 \cdot 113.10} = 4,039$$

maka n yang dipakai 4. Dan jarak sengkang yang digunakan

$$S = \frac{h_{balok}}{n}$$

$$S = \frac{600}{4} = 150$$

maka dipakai jarak sengkang 150 mm.

Untuk gempa dari arah kanan

Joint untuk K1 pada lantai 1

$$C_{balok,kiri} = 0$$

$$T_{balok,kanan} = \frac{0,7 \cdot M_{kap^-,kanan(gempa\ kiri)}}{z_{balok\ kanan}}$$

$$T_{balok,kanan} = \frac{0,7 \cdot 555,5621}{474,634 \cdot 10^{-3}} = 819,35 \text{ KN}$$

$$V_{kolom} = \left(\frac{0,7 \left(\frac{L_{ki}}{L_{ki'}} \cdot M_{kap^-} + \frac{L_{ka}}{L_{ka'}} \cdot M_{kap^+} \right)}{\frac{1}{2} \cdot (H_{kolom,atas} + H_{kolom,bawah})} \right)$$

$$V_{kolom} = \left(\frac{0,7 \cdot \left(\frac{6}{4,9} \cdot 555,5621 \right)}{\frac{1}{2} \cdot (4 + 6)} \right) = 95,24 \text{ KN}$$

$$V_{j,h} = C + T - V_{kolom}$$

$$V_{j,h} = 0 + 819,35 - 95,24 = 724,11 \text{ KN}$$

$$V_{jh} = \frac{V_{j,h}}{b_{kolom} \cdot h_{balok}}$$

$$V_{jh} = \frac{724,11}{1100 \cdot 600} = 0,0011 \text{ KN}$$

kontrol geser minimum

$$V_{jh} < 1,5 \cdot \sqrt{f'c} \rightarrow \text{aman!}$$

Jika $\frac{Pu}{Ag} \leq 0,1 \cdot f'c$ maka $V_{ch} = 0$. jika $\frac{Pu}{Ag} \geq 0,1 \cdot f'c$ maka V_{ch} adalah dihitung

dengan persamaan berikut:

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{Pu}{Ag} \right) - 0,1 \cdot f'c \cdot b_{kolom} \cdot h_{balok}}$$

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{6866,64 \cdot 10^3}{1210000} \right) - 0,1 \cdot 30 \cdot 1100 \cdot 600} = 719,63 \text{ KN}$$

$$V_{sh} = V_{j,h} - V_{ch}$$

$$V_{sh} = 724,11 - 719,63 = 4,49 \text{ KN}$$

$$A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_y}$$

$$A_{jh} = \frac{4,49 \cdot 10^3}{240} = 18,70 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan dengan $\phi 12$ maka $A = 113,10 \text{ mm}^2$

dicoba dipasang dengan sengkang 2 kaki

$$n = \frac{A_{jh}}{A_v}$$

jumlah sengkang

$$n = \frac{18,70}{2 \cdot 113,10} = 0,08$$

maka n yang dipakai 2. Dan jarak sengkang yang digunakan

$$S = \frac{h_{balok}}{n}$$

$$S = \frac{600}{2} = 300$$

maka dipakai jarak sengkang 300 mm.

Joint untuk Gempa arah Y dari Kanan

$$h_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok, kanan}} = 600 \text{ mm}$$

$$L_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$L_{\text{balok, kanan}} = 6000 \text{ mm}$$

$$L'_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$L'_{\text{balok, kanan}} = 4900 \text{ mm}$$

$$d_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$d_{\text{balok, kanan}} = 518,5 \text{ mm}$$

$$C_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$C_{\text{balok, kanan}} = 103,2127 \text{ mm}$$

$$a_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$a_{\text{balok, kanan}} = 87,7308 \text{ mm}$$

$$Z_{\text{balok, kiri}} = 0 \text{ mm}$$

$$Z_{\text{balok, kanan}} = \left(d - \frac{a}{2} \right) = \left(518,5 - \frac{87,7308}{2} \right) = 474,634 \text{ mm}$$

$$M_{\text{kap}}^-_{\text{balok, kiri (gempa kiri)}} = 0$$

$$M_{\text{kap}}^+_{\text{balok, kanan (gempa kiri)}} = 555,5621 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{kap}}^+_{\text{balok, kiri (gempa kanan)}} = 0$$

$$M_{\text{kap}}^-_{\text{balok, kanan (gempa kanan)}} = 720,3262 \text{ KNm}$$

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h_{\text{kolom}} = 1100 \text{ mm}$$

$$b_{\text{kolom}} = 1100 \text{ mm}$$

$$H_{\text{kolom, atas}} = 4000 \text{ mm}$$

$$H_{\text{kolom, bawah}} = 6000 \text{ mm}$$

$$P_u = 6866,64 \text{ KN}$$

$$A_g_{\text{kolom}} = 1100 \times 1100 = 1210000 \text{ mm}^2$$

Penyelesaian:

$$C_{\text{balok,kanan}} = \frac{0,7 \cdot M_{\text{kap}^-, \text{kanan}}(\text{gempa kanan})}{Z_{\text{balok kanan}}}$$

$$C_{\text{balok,kanan}} = \frac{0,7 \cdot 720,3262}{474,634 \cdot 10^{-3}} = 1062,35 \text{ KN}$$

$$T_{\text{balok kiri}} = 0 \text{ karena } M_{\text{kap}^+ \text{ balok,kiri}}(\text{gempa kanan}) = 0$$

$$V_{\text{kolom}} = \frac{\left(0,7 \left(\frac{L_{ki}}{L_{ki}'} \cdot M_{\text{kap}^-} + \frac{L_{ka}}{L_{ka}'} \cdot M_{\text{kap}^+} \right) \right)}{\frac{1}{2} \cdot (H_{\text{kolom,atas}} + H_{\text{kolom,bawah}})}$$

$$V_{\text{kolom}} = \frac{\left(0,7 \cdot \left(\frac{6}{4,9} \cdot 720,6232 \right) \right)}{\frac{1}{2} \cdot (4+6)} = 123,48 \text{ KN}$$

$$V_{j,h} = C + T - V_{\text{kolom}}$$

$$V_{j,h} = 1062,35 + 0 - 123,48 = 938,87 \text{ KN}$$

$$V_{jh} = \frac{V_{j,h}}{b_{\text{kolom}} \cdot h_{\text{balok}}}$$

$$V_{jh} = \frac{938,87}{1100 \cdot 600} = 0,0014 \text{ KN}$$

kontrol geser minimum

$$V_{jh} < 1,5 \cdot \sqrt{f'c} \rightarrow \text{aman!}$$

Jika $\frac{Pu}{Ag} \leq 0,1 \cdot f'c$ maka $V_{ch} = 0$. jika $\frac{Pu}{Ag} \geq 0,1 \cdot f'c$ maka V_{ch} adalah dihitung

dengan persamaan berikut:

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{Pu}{Ag} \right) - 0,1 \cdot f'c} \cdot b_{\text{kolom}} \cdot h_{\text{balok}}$$

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{6866,64 \cdot 10^3}{1210000} \right) - 0,1 \cdot 30} \cdot 1100 \cdot 600 = 719,63 \text{ KN}$$

$$V_{sh} = V_{j,h} - V_{ch}$$

$$V_{sh} = 938,87 - 719,63 = 219,24 \text{ KN}$$

$$A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_y}$$

$$A_{jh} = \frac{219,24 \cdot 10^3}{240} = 913,5 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan dengan $\phi 12$ maka $A = 113,10 \text{ mm}^2$

dicoba dipasang dengan sengkang 2 kaki

$$n = \frac{A_{jh}}{A_v}$$

jumlah sengkang

$$n = \frac{913,5}{2 \cdot 113,10} = 4,039$$

maka n yang dipakai 4. Dan jarak sengkang yang digunakan

$$S = \frac{h_{balok}}{n}$$

$$S = \frac{600}{4} = 150$$

maka dipakai jarak sengkang 200 mm.

Gempa Kanan

$$C_{balok,kiri} = 0$$

$$T_{balok,kanan} = \frac{0,7 \cdot M_{kap^-,kanan(gempa\ kiri)}}{Z_{balok\ kanan}}$$

$$T_{balok,kanan} = \frac{0,7 \cdot 555,5621}{474,634 \cdot 10^{-3}} = 819,35 \text{ KN}$$

$$V_{kolom} = \left(\frac{0,7 \left(\frac{L_{ki}}{L_{ki'}} \cdot M_{kap^-} + \frac{L_{ka}}{L_{ka'}} \cdot M_{kap^+} \right)}{\frac{1}{2} \cdot (H_{kolom,atas} + H_{kolom,bawah})} \right)$$

$$V_{kolom} = \left(\frac{0,7 \cdot \left(\frac{6}{4,9} \cdot 555,5621 \right)}{\frac{1}{2} \cdot (4 + 6)} \right) = 95,24 \text{ KN}$$

$$V_{j,h} = C + T - V_{kolom}$$

$$V_{j,h} = 0 + 819,35 - 95,24 = 724,11 \text{ KN}$$

$$V_{jh} = \frac{V_{j,h}}{b_{kolom} \cdot h_{balok}}$$

$$V_{jh} = \frac{724,11}{1100 \cdot 600} = 0,0011 \text{ KN}$$

kontrol geser minimum

$$V_{jh} < 1,5 \cdot \sqrt{f'c} \rightarrow \text{aman!}$$

Jika $\frac{Pu}{Ag} \leq 0,1 \cdot f'c$ maka $V_{ch} = 0$. jika $\frac{Pu}{Ag} \geq 0,1 \cdot f'c$ maka V_{ch} adalah dihitung

dengan persamaan berikut:

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{Pu}{Ag}\right) - 0,1 \cdot f'c} \cdot b_{kolom} \cdot h_{balok}$$

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{6866,64 \cdot 10^3}{1210000}\right) - 0,1 \cdot 30} \cdot 1100 \cdot 600 = 719,63 \text{ KN}$$

$$V_{sh} = V_{j,h} - V_{ch}$$

$$V_{sh} = 724,11 - 719,63 = 4,490 \text{ KN}$$

$$A_{jh} = \frac{V_{sh}}{fy}$$

$$A_{jh} = \frac{4,49 \cdot 10^3}{240} = 18,70 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan dengan $\phi 12$ maka $A = 113,10 \text{ mm}^2$

dicoba dipasang dengan sengkang 2 kaki

$$n = \frac{A_{jh}}{A_s}$$

jumlah sengkang

$$n = \frac{18,70}{2 \cdot 113,10} = 0,08$$

maka n yang dipakai 2. Dan jarak sengkang yang digunakan

$$S = \frac{h_{balok}}{n}$$

$$S = \frac{600}{2} = 300$$

maka dipakai jarak sengkang 300 mm.

6.5. Perencanaan Pondasi

Untuk kapasitas tiang tunggal, pada penulisan ini diasumsikan kapasitas tiang tunggal sebesar 1000 kN.

Data yang ada dari hasil analisis untuk desain pondasi ini adalah:

- $P_u = 25786,59$ KN (lampiran T3.13)
- $M_{u,x} = 5375$ KN (lampiran T3.13)
- $M_{u,y} = M_{u,x}$

Untuk desain pondasi diambil data-data sebagai berikut:

- diameter tiang pancang 300 mm
- tebal pile cap (poer) 2500 mm

$$P = \frac{P_{u,k}}{1,05}$$

$$P = \frac{25786,59}{1,05} = 24558,657 \text{ KN}$$

jarak antar tiang yang dipakai adalah $2,5 D$,

$$s = 2,5 \cdot D$$

$$s = 2,5 \cdot 300 = 750 \text{ mm}$$

jumlah baris dalam konfigurasi tiang (n) = 8

jumlah tiang dalam satu baris (m) = 8

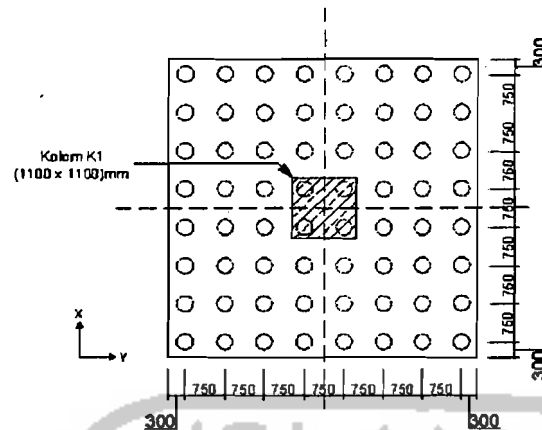
maka nilai efisiensi tiang yang didapat adalah

$$E_g = 1 - \arctg \frac{d}{s} \left(\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot n \cdot m} \right)$$

$$E_g = 1 - \arctg \frac{300}{750} \left(\frac{(8-1) \cdot 8 + (8-1) \cdot 8}{90 \cdot 8 \cdot 8} \right) \quad (\text{pers 3.119})$$

$$E_g = 0,5544$$

$$EY^2 = EX^2 = 189 \text{ m}^2$$



Gambar 6. 13. Konfigurasi Kelompok Tiang Pancang

Beban yang diterima tiang

$$\sum P = P + \text{berat pile cap} + \text{berat tanah urug}$$

$$\sum P = 25786,59 + 5,85^2 \cdot 2,5 \cdot 24 + ((5,85^2 - 1,1^2) \cdot 1 \cdot 18)$$

$$\sum P = 28434,165 \text{ KN}$$

$$\sum Pu = 1,05 \cdot \sum P$$

$$\sum Pu = 29855,873 \text{ KN}$$

(pers 3.121)

$$P_{max} = \frac{\sum Pu}{n} + \frac{Mu_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \sum Y^2} + \frac{Mu_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \sum X^2}$$

$$P_{max} = \frac{29855,873}{64} + \frac{5375 \cdot 2,625}{8 \cdot 189} + \frac{5375 \cdot 2,625}{8 \cdot 189}$$

(pers 3.122)

$$P_{max} = 485,16121 \text{ KN} < E_g \cdot Qu = 554,37515 \rightarrow \text{OK!}$$

$$P_{min} = \frac{\sum Pu}{n} - \frac{Mu_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \sum Y^2} - \frac{Mu_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \sum X^2}$$

$$P_{min} = \frac{29855,873}{64} - \frac{5375 \cdot 2,625}{8 \cdot 189} - \frac{5375 \cdot 2,625}{8 \cdot 189}$$

(pers 3.123)

$$P_{min} = 447,83483 \text{ KN}$$

Kontrol terhadap geser satu arah (d)

Dipakai tebal pile cap $t_p = 2500 \text{ mm}$

$$d = t_p - p_b - \frac{1}{2} \phi_{tul} = 2500 - 75 - 12,5 = 2412,5 \text{ mm}$$

Letak bidang kritis geser satu arah searah L pile cap

$$= 0.5 h_k + d = 550 + 2412,5 = 2962,5 \text{ mm}$$

dari pusat kolom. Letak tiang pondasi 2625 mm dari pusat kolom. Dengan demikian letak bidang kritis geser satu arah berada diluar tiang, sehingga geser satu arah tidak perlu ditinjau. Untuk geser satu arah searah B pile cap = 2962,5 mm dari pusat kolom, maka geser satu arah searah B pile cap juga tidak perlu ditinjau.

Kontrol terhadap geser dua arah ($d/2$)

$$V_u = \sum n \cdot P$$

$$V_u = 27989,881 \text{ KN}$$

$$b_o = 2 \cdot (h_c + d) + 2 \cdot (b_c + d)$$

$$b_o = 2 \cdot (1100 + 912,5) = 14050 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{1}{1} = 1$$

$$V_c = \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \cdot 2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot \sqrt{30} \cdot 2 \cdot 14050 \cdot 2412,5 \cdot 10^{-3} = 1113923,9 \text{ KN}$$

$$V_c = 4 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_c = 4 \cdot \sqrt{30} \cdot 14050 \cdot 2411,5 \cdot 10^{-3} = 742615,94 \text{ KN}$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot \sqrt{f'c}\right) \cdot b_o \cdot d$$

$$V_c = \left(\frac{20 \cdot 2411,5}{14050} + 2\right) \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot \sqrt{30}\right) \cdot 14050 \cdot 2411,5 = 84072845 \text{ KN}$$

kemudian nilai V_c diambil yang terkecil, maka:

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 742615,94 = 445569,56 \text{ KN}$$

Ternyata $V_u < \phi V_c$ maka tinjauan geser dua arah OK!

Penulangan Lentur

$$M_{u,x} = 8053,6762 \text{ KN}$$

$$\frac{Mu}{\phi} = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\frac{8053,6762}{0,8} = 0,85 \cdot 30 \cdot a \cdot 1000 \cdot \left(2412,5 - \frac{a}{2} \right)$$

$$a^2 - 4825a + 789576,09 = 0$$

$$a = 5,9 \text{ mm}$$

$$As_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{fy}$$

$$As_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 5,9 \cdot 1000}{400} = 376,125 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy} \cdot b \cdot d$$

$$As_{\text{min}} = \frac{1,4}{400} \cdot 1000 \cdot 2412,5 = 8443,75 \text{ mm}^2$$

maka luas tulangan yang dipakai adalah 8443,75 mm² dicoba dengan menggunakan tulangan diameter 40 mm maka akan didapat luas tulangan yang tersedia adalah

$$A_{36} = 0,25 \cdot \pi \cdot 40^2 = 1256,6371 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{1256,6371 \cdot 1000}{8443,75} = 148,8245 \text{ mm}$$

maka dipakai jarak 100 mm

didapat luas tulangan yang tersedia adalah

$$As_{\text{ada}} = \frac{1256,6371 \cdot 1000}{100} = 12566,3706 \text{ mm}^2$$

maka $As_{\text{ada}} > As_{\text{perlu}}$ luas tulangan sudah terpenuhi. OK!

Cek kapasitas

$$a = \frac{As_{\text{ada}} \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$a = \frac{12566,37061 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 197,1196 \text{ mm}$$

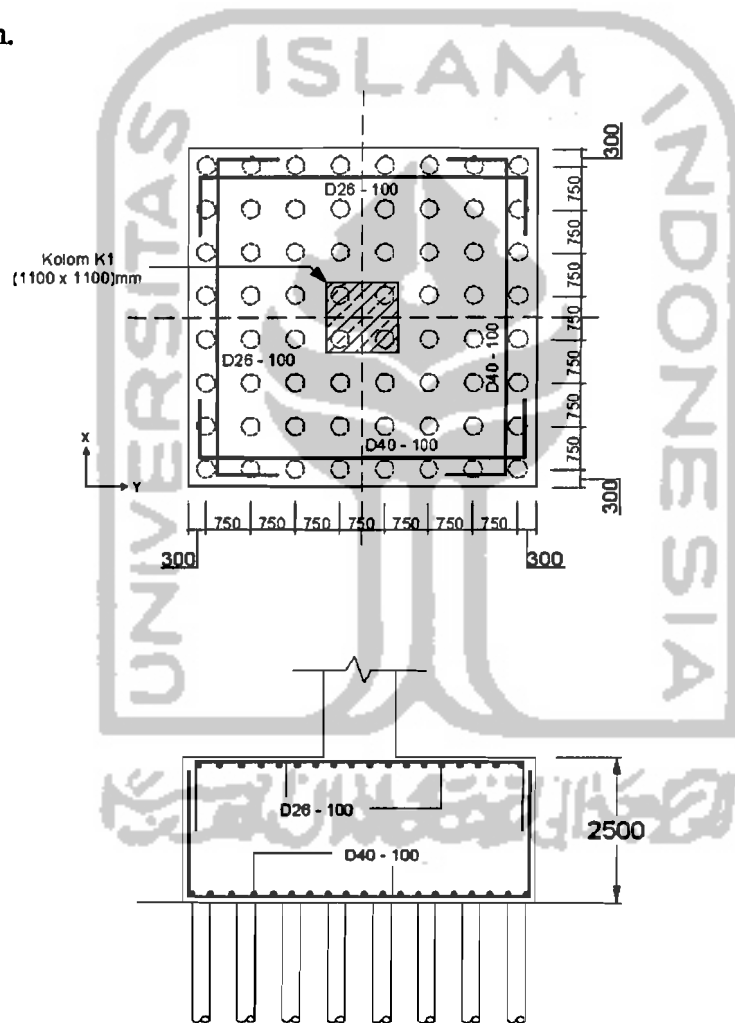
$$Mn = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 12566,37061 \cdot 400 \cdot \left(2412,5 - \frac{197,1196}{2} \right)$$

$$Mn = 11631,13221 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn = 11631,13221 \cdot 0,8 = 9304,9058 > Mu = 8053,6762 \text{ OK!}$$

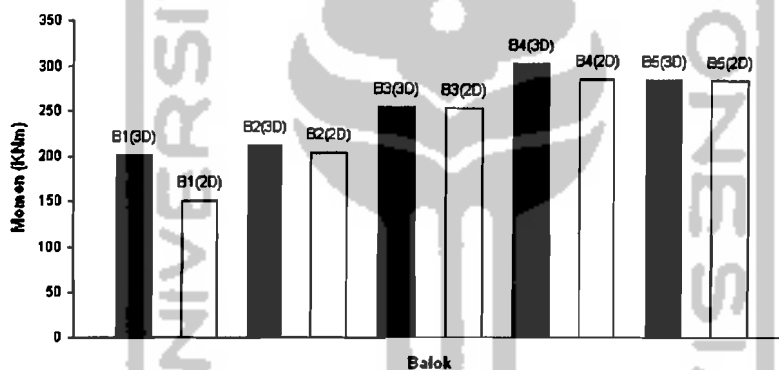
Gambar 6. 14 berikut menunjukkan gambar penulangan pile cap dari hasil disain yang diperoleh.



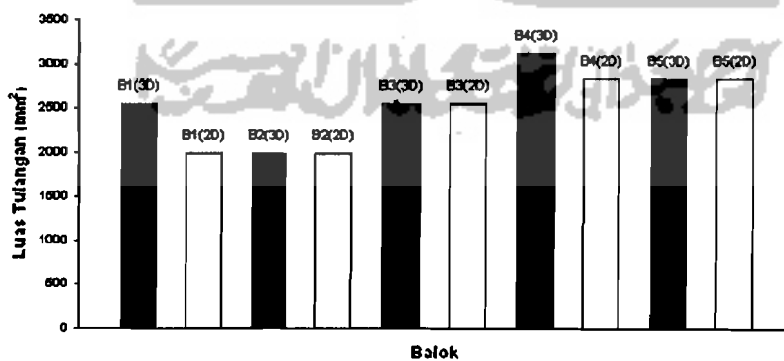
Gambar 6. 14. Penulangan Pile Cap

6.6. Perbandingan Hasil Desain

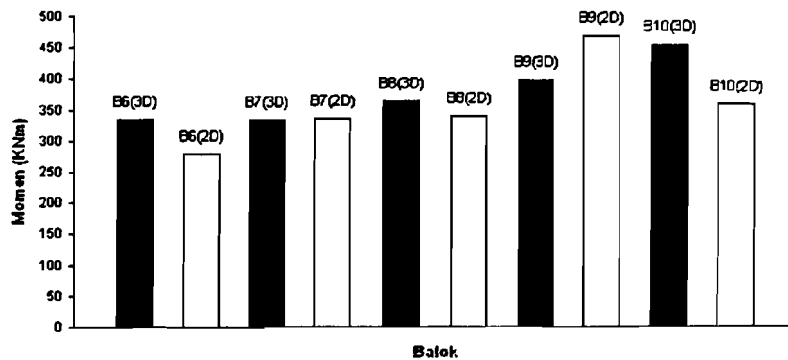
Untuk perbandingan hasil desain dari respon struktur 2D dan 3D beberapa didapat hasil yang sama, untuk momen dan luas tulangan. Seperti yang terlihat pada Gambar 6. 15 untuk balok B3 momen hasil respon 2D dan 3D adalah sama sehingga implikasi pada desain akan membutuhkan luas tulangan yang sama pula. Nilai momen yang sama dapat terjadi pada saat pengambilan keputusan untuk nilai momen yang diambil untuk di desain, yang dalam proses generalisasi dianggap dapat mewakili nilai *demand* kekuatan balok tersebut. Gambar-gambar berikut ini menunjukkan hasil desain yang diperoleh dari respon struktur antara analisis 2 dimensi dan 3 dimensi.



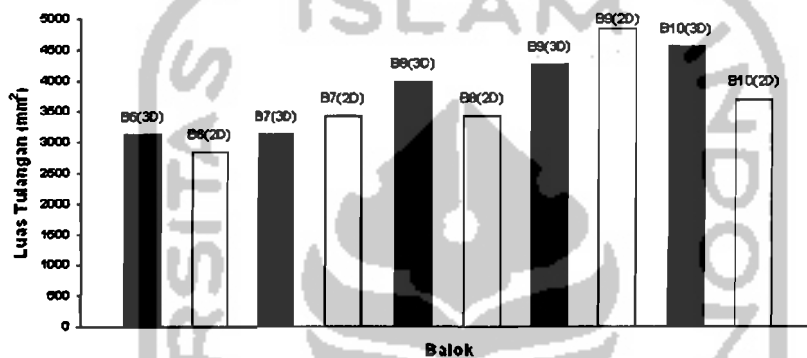
Gambar 6. 15. Momen yang diambil untuk balok B1-B5 lantai 15



Gambar 6. 16. Kebutuhan luas tulangan balok B1-B5 lantai 15

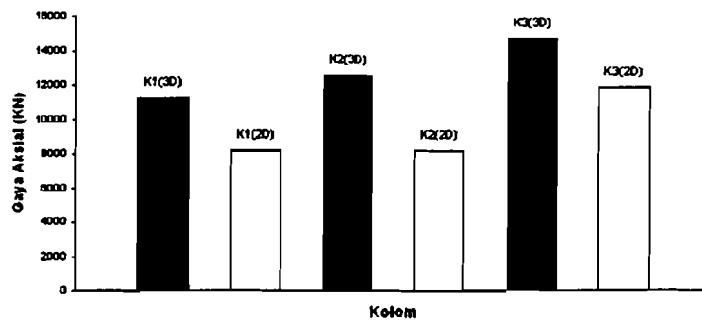


Gambar 6. 17. Momen desain yang diambil untuk balok B6-B10 lantai 15

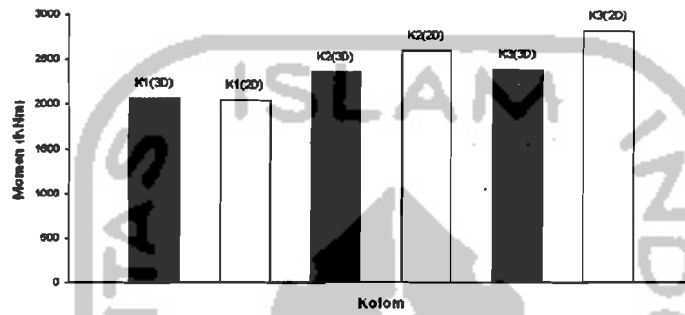


Gambar 6. 18. Kebutuhan luas tulangan B6-B10 lantai 15

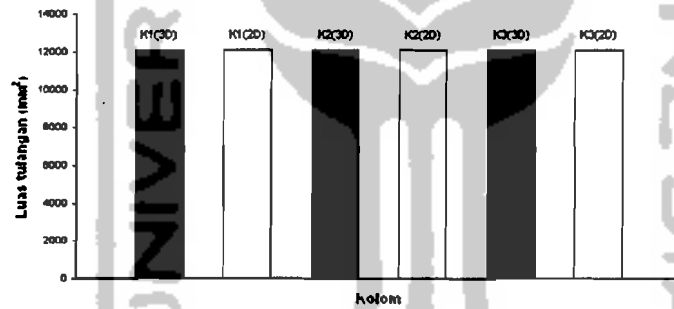
Sedangkan pada kolom, hasil desain yaitu luas tulangan bisa dikatakan sama antara hasil dari 2D dan 3D. Momen yang diambil untuk desain dapat berbeda, namun berdasarkan grafik Mn-Pn, kebutuhan luas tulangan untuk kolom dapat diperhitungkan. Dan berdasarkan hal tersebut maka kebutuhan luas tulangan menunjukkan hasil dibawah 1%. Sehingga mengakibatkan jumlah luas tulangan dari respon 2D dan 3D mendekati atau bahkan sama. Gambar 6. 17 sampai dengan Gambar 6. 21 berikut ini akan menunjukkan besaran gaya aksial, momen dan hasil desain antara respon analisis 2D dan analisis 3D.



Gambar 6. 19. Gaya aksial kolom K1-K3 lantai 1



Gambar 6. 20. Momen desain untuk K1-K3 lantai 1



Gambar 6. 21. Kebutuhan luas tulangan K1-K3 lantai 1