

$$\begin{aligned}
 M_{\frac{1}{2}l} &= \left[ R_D \cdot 3375 - \frac{1}{2} (1288)^2 \cdot 2516 - 1288 \cdot \frac{(2087)^2}{2} \right] q \\
 &= 6988413012 \cdot 9,856 \cdot 10^{-3} = 68877798,65 \text{ N.mm} \\
 q_{\text{ex}} &= \frac{8 \cdot 68877798,65}{(6750)^2} = 12,0938 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$R_D = \frac{1888(1888+2974)}{2} q = 4589728 \cdot q$$

$$\begin{aligned}
 M_{\frac{1}{2}l} &= \left[ R_D \cdot 3375 - \frac{1}{2} (1888)^2 \cdot 2116 - 1888 \cdot \frac{(1487)^2}{2} \right] q \\
 &= 9631700912 \cdot 9,856 \cdot 10^{-3} = 94930044,19 \text{ N.mm} \\
 q_{\text{ex}} &= \frac{8 \cdot 94930044,19}{(6750)^2} = 16,6681 \text{ N/mm} \\
 q_{\text{ex total}} &= 12,0938 + 16,6681 = 28,7619 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

(2).elemen.123,124 (gambar 19, di lampiran No.2)

$$R_A = \frac{1288(1288+3353)}{2} q = 2988804 \cdot q$$

$$\begin{aligned}
 M_{\frac{1}{2}l} &= \left[ R_A \cdot 2964,5 - \frac{1}{2} (1288)^2 \cdot 2106 - 1288 \cdot \frac{(1676)^2}{2} \right] q \\
 &= 5304460882 \cdot 9,856 \cdot 10^{-3} = 52280766,45 \text{ N.mm} \\
 q_{\text{ex}} &= \frac{8 \cdot 52280766,45}{(5929)^2} = 11,8979 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$R_A = \frac{1888(1888+2153)}{2} q = 3814704 \cdot q$$

#### 4.5.2 Beban Titik Terpusat A - J.

1- Titik 1./elemen .53(gambar33, di lampiran No.2)

$$\begin{aligned}
 P &= \left[ \frac{1}{2} (2300)^2 + 2115 \frac{(1267+1218)}{2} + \frac{1}{2} [(1267)^2 + (1218)^2] \right] q \\
 &= 6817294 \cdot 10,144 \cdot 10^{-3} = 69154,6303 \text{ N} \\
 P &= \left[ \frac{1}{2} [(1878)^2 + (1621)^2] + \frac{(1878+1621)}{2} 2430 \right] q + \\
 &\quad \frac{1}{2} \left[ (2507)^2 + (2404)^2 + \frac{(2507+2404)}{2} \right] 1018 \cdot q \\
 &= 15860379 \cdot q = 15860379 \cdot 10,144 \cdot 10^{-3} \\
 &= 160887,69 \text{ N Basement I}
 \end{aligned}$$

$$\text{"Ground Floor"} : 15860379 \cdot 9,856 \cdot 10^{-3} = 156319,90 \text{ N}$$

2 - Titik 2./elemen 54 (gambar34, di lampiran No.2)

$$\begin{aligned}
 P &= \left[ (4123+903) 903 + \frac{1}{2} [(1354)^2 + (994)^2] + 3581 \cdot \frac{(1354+994)}{2} \right] q \\
 &= 10153248 \cdot q = 10153248 \cdot 9,856 \cdot 10^{-3} = 100070,41 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3 - Titik 3./elemen portal 2 dimensi (gambar35, di lampiran No.2)

$$\begin{aligned}
 P &= q [(1288+3353) 1288 + (1482+2965) 1482] \\
 &= 12568062 \cdot q = 12568062 \cdot 9,586 \cdot 10^{-3} \\
 &= 123870,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4 -Titik 4./elemen .55 (gambar36, di lampiran No.2)

$$\begin{aligned}
 P &= 2 \cdot q [(3353+1288) 1288] = 11955216 \cdot q \\
 &= 11955216 \cdot 9,586 \cdot 10^{-3} = 117830,61 \text{ N}
 \end{aligned}$$

5 -Titik 5 /elemen portal 2 dimensi(gambar37, di lampiran No.2)

$$\begin{aligned}
 P &= q [(1288+3353) 1288 + (1888+2153) 1888] \\
 &= 13607016 \cdot q = 13607016 \cdot 9,586 \cdot 10^{-3} \\
 &= 134110,75 \text{ N}
 \end{aligned}$$

11 - Beban Merata dan Beban titik Balok Anak. (gambar 43, di lampiran No.2)

$$\begin{aligned} \text{Beban terpusat } P &= \frac{1}{2} \cdot q (8292 \cdot 1210) + (2788 + 3624) 2788 q = 22893316 \cdot q \\ &= 22893316 \cdot 10,144 \cdot 10^{-3} = 232229,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{[0,5 (1210)^2 \cdot 7485 + 0,5 \cdot 7082 \cdot 1210 \cdot 4721 + (2788 + 3624) 2788 \cdot 3692]}{8292} q \\ &= 11059774,72 q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{(2788 + 3624) 2788 \cdot 4600 + \frac{1}{2} (1210)^2 \frac{1210 \cdot 2}{3} + \frac{7028 \cdot 1210}{2} \left(1210 + \frac{7028}{3}\right)}{22893316 q} q \\ &= 4286,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= \left[ 11059774,72 \cdot 4286,06 - \frac{1}{2} (2788)^2 \cdot 2427,4 - 2788 \cdot \frac{(1498,06)^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot (1210)^2 \cdot 3479,4 - \right. \\ &\quad \left. \left[ \frac{2796 \cdot 1210}{7028} + 1210 \right] 0,5 \cdot \frac{(3076)^2}{2} \right] q \end{aligned}$$

$$= 2,83012 \cdot 10^{10} \cdot 10,144 \cdot 10^{-3} = 287086962,50 \text{ N.mm}$$

$$q_{ex} = \frac{8 \cdot 287086962,50}{(8292)^2} = 33,4030 \text{ N/mm}$$

12-.Beban merata balok anak, dengan balok suslan ( gambar 44, lampiran 2)

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{\left[ \frac{1}{2} \cdot 4600 \cdot 2300 \cdot 6446 + \frac{1}{2} \cdot 4600 \cdot 2300 \cdot 2300 + \frac{1}{2} \cdot 901 \cdot 3692 \cdot 6006,75 + \frac{1}{2} (1218)^2 \cdot 371 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} (1267)^2 \cdot 845 + \frac{(1267 + 1218)}{2} \cdot 2115 \cdot 2324,5 \right]}{8292} q \end{aligned}$$

$$= 8029935,78 q$$

$$R_B = 16415540 q - 8029935,78 q = 8385604,22 q$$

$$x = \frac{8029935,78 \cdot 8292}{16415540} = 4056,17 \text{ mm}$$

#### 4.6 Hasil Analisis Struktur

Hasil Analisis Struktur disini berupa “print out running program SAP90” yang disajikan pada lampiran No.3. Hasil yang disajikan tidak menyeluruh, tetapi hanya meliputi besaran Gaya dan Momen pada elemen struktur disekitar (yang berdekatan) dengan lokasi balok susulan, karena dianggap terkena pengaruh langsung dari perubahan perilaku struktur tersebut.



$$= 532754921,50 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 532754921,50$$

$$= 426203937,20 \text{ Nmm}$$

## 5.4 Kolom

### 5.4.1 Kolom K11

Dari data di lapangan diketahui:

1. dimensi Kolom = 500 mm x 500 mm,
2.  $d' = 25 + 12 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 50 \text{ mm}$  ;  $d = 500 - 50 = 450 \text{ mm}$ ,
3.  $f'c = 45 \text{ MPa}$  ;  $f_y = 400 \text{ MPa}$ ,
4. jarak tulangan as ke as (p.k.p) =  $\frac{500 - 2 \cdot (50)}{3} = 133,33 \text{ mm}$ .

Penyelesaian analisis adalah sebagai berikut ini.

a. Analisis pada kondisi regangan seimbang.

$$x_b = \frac{0,003 \cdot d}{(f_y / e_s) + 0,003} = \frac{0,003 \cdot (450)}{(400 / 200000) + 0,003} = 257,1429 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,73 \cdot 257,1429 = 187,7143 \text{ mm}.$$

Regangan yang terjadi pada Baja Tulangan.

$$\epsilon'_{s1} = \frac{x - d'}{x} \cdot 0,003 = \frac{257,1492 - 50}{257,1492} \cdot 0,003 = 0,00242 > 0,002$$

baja sudah leleh

$$= 589048.62 - \frac{107992227,4}{x} - 37551,8495$$

- Tulangan tarik As2 dianggap sudah leleh:

$$T_{s2} = \left[ \frac{(d - p_{kp}) - x}{x} \cdot 0,003 \cdot E_s \right] \cdot A_{s2}$$

$$= \left( \frac{316,6667 - x}{x} \cdot 600 \right) \cdot 981,7477$$

$$= \frac{186532082,60}{x} - 589048,620$$

- gaya tekan beton

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 45 \cdot 500 \cdot 0,73 \cdot x$$

$$= 13961,25 \cdot x$$

$$P_n = C_c - C_{s1} + C_{s2} - T_{s1} - T_{s2}$$

$$= 13961,25 \cdot x - 710294,464 + 589048,62 - \frac{107992227,4}{x} - 37551,8495 -$$

$$785398,16 - \frac{186532082,60}{x} - 589048,620$$

$$= 13961,25 \cdot x - \frac{294524310}{x} + 1065441,695$$

$$\Sigma M_{T_{s1}} = 0$$

$$P_n \cdot [e + \frac{1}{2}(d - d')] + T_{s2} \cdot (p_{kp}) = C_c \cdot (d - \frac{1}{2}(\beta \cdot x)) + C_{s1} \cdot (d - d') + C_{s2} \cdot [d - (d' + p_{kp})]$$

$$(13961,25 \cdot x - \frac{294524310}{x} + 1065441,695) \cdot (282,1801 + \frac{1}{2}(450 - 50))$$

$$\begin{aligned}
M_b &= C_c \cdot (\frac{1}{2}h - \frac{1}{2}a) + C_{s1} \cdot (\frac{1}{2}h - d') + C_{s2} \cdot [\frac{1}{2}h - (d' - p_{kp})] \\
&+ C_{s3} \cdot (\frac{1}{2}h - (d' - 2 \cdot p_{kp})) + C_{s4} \cdot (\frac{1}{2}h - (d' - 3 \cdot p_{kp})) \\
&+ T_{s5} \cdot (\frac{1}{2}h - (d' - 2 \cdot p_{kp})) + T_{s6} \cdot [\frac{1}{2}h - (d' - p_{kp})] + T_{s7} \cdot (\frac{1}{2}h - d') \\
M_b &= 4020840 \cdot (193,6) + 710294,464 \cdot (275) + 319607,9637 \cdot (183,33) \\
&+ 170578,6629 \cdot (91,667) + 19782,2162 \cdot (0) + 92676,9829 \cdot (91,667) \\
&+ 242688,0314 \cdot (183,33) + 785398,16 \cdot (275) \\
&= 1316969426 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} = \frac{1316969426}{4120340,133} = 319,6264 \text{ mm}$$

Beban Aksial dan momen Kolom K14 yang didapat dari analisis struktur adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Momen} = 155960000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Aksial} = 563039,94 \text{ N} + \text{berat sendiri}$$

$$= 563039,94 \text{ N} + 37440 \text{ N}$$

$$= 600479,94 \text{ N}$$

$$e = \frac{155960000}{600479,94} = 259,7526 \text{ mm} > e_b = 319,6264 \text{ mm}$$

kolom mengalami patah desak.

Kontrol regangan yang terjadi lebih kecil atau lebih besar dari  $\epsilon_y = 0,002$ , luasan beton diperhitungkan penuh.

- Tulangan tekan As'1 dimisalkan sudah leleh,

kontrol x:

$$(399,87487)^3 + 180,120548 \cdot (399,87487)^2 + 334863,1493$$

$$\cdot 399,87487 - 169042055 = 0 \text{ ---- ok}$$

Kontrol regangan

$$\varepsilon's1 = \frac{x - d'}{x} \cdot 0,003 = \frac{399,87487 - 50}{399,87487} \cdot 0,003 = 0,00262 > 0,002$$

$$\varepsilon's2 = \frac{x - (d' + pkp)}{x} \cdot 0,003 = \frac{399,87487 - (50 + 91,6667)}{399,87487} \cdot 0,003$$

$$= 0,001937 < 0,002 \text{ baja tulangan belum leleh}$$

$$\varepsilon s1 = \frac{d - x'}{x} \cdot 0,003 = \frac{600 - 399,87487}{399,87487} \cdot 0,003 = 0,00150 > 0,002$$

Jadi semua regangan yang terjadi sesuai dengan anggapan semula. Gaya dalam dan

$P_n$  dapat dihitung.

$$C_c = 11169 \cdot x = 11169 \cdot 399,87487 = 4466202,423 \text{ N}$$

$$C_{s1} = 710294,464 \text{ N}$$

$$C_{s2} = 551496,7705 - \frac{83448574,13}{399,87487} = 342810,0527 \text{ N}$$

$$C_{s3} = 551496,7705 - \frac{137444717,30}{399,87487} = 207777,4532 \text{ N}$$

$$C_{s4} = 551496,7705 - \frac{191440860,4}{399,87487} = 72744,8539 \text{ N}$$

$$T_{s5} = \frac{245436885,7}{399,87487} - 589048,62 = 24735,60134 \text{ N}$$



$$0,85 \cdot f'c \cdot be \cdot a = Fy \cdot As$$

$$As = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 1240 \cdot 130}{400} = 11989,25 \text{ mm}^2 > As \text{ tersedia}$$

garis netral jatuh pada sayap

$$\begin{aligned} a &= \frac{Fy \cdot As}{0,85 \cdot be \cdot f'c} \\ &= \frac{400 \cdot 20,25 \cdot \pi \cdot 22^2}{0,85 \cdot 1240 \cdot 35} \\ &= 8,2436 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$x = \frac{8,2436}{0,73} = 11,2926 \text{ mm}$$

cek tulangan A's sebagai tulangan tarik

$$\begin{aligned} \epsilon_{s2} &= \frac{d' - x}{x} \cdot 0,003 = \frac{48 - 11,2926}{11,2926} \cdot 0,003 \\ &= 0,00975 > 0,002, \text{ baja sudah leleh} \end{aligned}$$

3.) Kontrol kapasitas tampang dalam kesetimbangan gaya

$$\begin{aligned} Cc &= 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot be \\ &= 0,85 \cdot 35 \cdot 8,2436 \cdot 1240 \\ &= 304106,404 \text{ N} \end{aligned}$$

$$fs1 = fs2 = fy$$

$$\begin{aligned} Ts1 = Ts2 &= As \cdot fy \\ &= 2 \cdot \emptyset 22 \cdot 400 \\ &= 760,2654 \cdot 400 \end{aligned}$$

$$26929,7.x + 152053,0844 - \frac{21895644,16}{x} = 0$$

$$x^2 + 5,6463.x - 813,0668 = 0$$

$$x = 25,83059 \text{ mm}$$

cek gaya dalam:

$$0,85.f'c.\beta.x.be - A_s'.f_s = A_s.f_y$$

$$0,85.35.1240.0,73.25,830594 - 760,2654 \cdot \left( \frac{48 - 25,830594}{25,830594} \cdot 0,003 \right) \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$= 760,2645.400$$

$$695610,1363 - 391503,9674 = 304106,1689$$

$$304106,1689 = 304106,1689 \text{ -----ok}$$

Kontrol  $\epsilon_s2$

$$\epsilon_s2 = \frac{48 - x}{x} \cdot 0,003$$

$$= \frac{48 - 25,83059}{25,83059} \cdot 0,003$$

$$= 0,00257 > 0,002$$

jadi anggapan tulangan tarik sudah leleh memenuhi

$$f_{s1} = f_{s2} = f_y$$

$$C_c = T_{s1} + T_{s2}$$

$$0,85.f'c.be.a = (A's + A_s).f_y$$

$$a = \frac{(760,2654 + 760,2654) \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 1240} = 16,4872 \text{ mm}$$

Jadi balok anak (B-21) tidak dapat dianggap sebagai balok induk dari portal utama dan balok susulan juga tidak dapat dianggap sebagai elemen struktur portal utama.

### 3. Kolom

Kolom yang mendukung langsung struktur dengan balok susulan pada portal utama masih mampu mendukung struktur yang mengalami perubahan pembebanan tersebut.

### 6.2 Saran

Alternatif solusi yang terbaik berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya adalah dengan membatasi beban kerja maksimal yang bekerja diatas struktur yang mengalami perubahan tersebut yaitu  $255,12 \text{ kg/m}^2$  atau berat kendaraan maksimal yang boleh lewat pada struktur tersebut adalah 2000 Kg. Perhitungan Beban kendaraan maksimum dapat dilihat pada lampiran No. 6