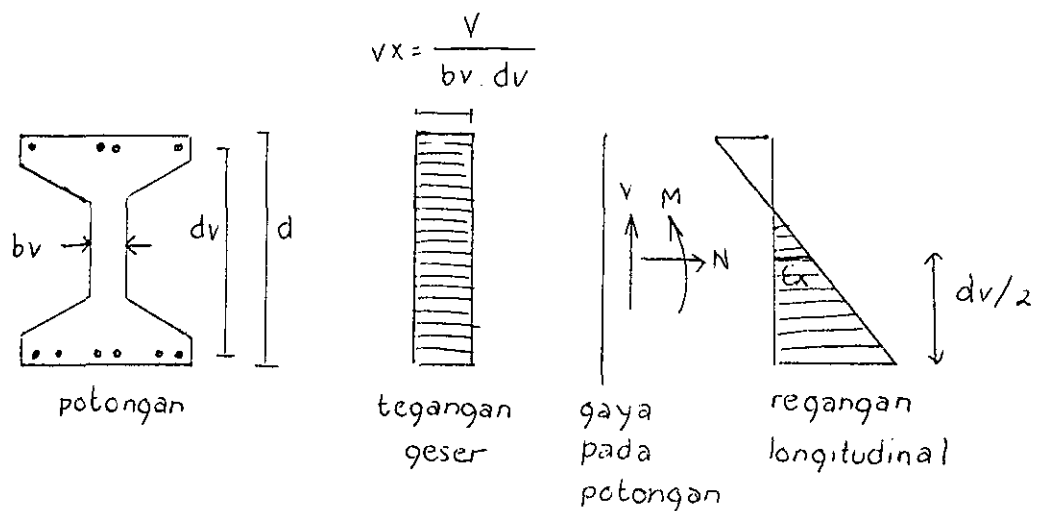


### III. MODIFIED COMPRESSION FIELD THEORY UNTUK BALOK YANG MENERIMA KOMBINASI BEBAN GESER, LENTUR DAN NORMAL.

Suatu balok yang menerima kombinasi beban geser, lentur dan normal dapat dianalisa sebagai berikut:



Untuk penyederhanaan dianggap bahwa distribusi tegangan-tegangan geser merata meliputi luasan dengan lebar  $b_v$  dan tinggi badan dianggap tetap konstan sepanjang tinggi  $d_v$ .

Seperti pernah dibahas didepan bahwa:

$$f_x = f_{cx} + \rho_{sx} \cdot f_{sx}$$

$$f_{cx} = f_{cl} - v_x / \text{tg } \theta$$

$$N = f_{cx} \cdot b_v \cdot d_v + \rho_{sx} \cdot f_{sx} \cdot b_v \cdot d_v$$

$$N = N_v + N_p$$

$$N_v = f_{cl} \cdot b_v \cdot d_v - \frac{V}{\text{tg } \theta}$$

$$N_p = \rho_{sx} \cdot f_{sx} \cdot b_v \cdot d_v$$

dimana ;  $N_v$  = beban aksial yang diterima oleh luasan

geser efektif  $b_v \cdot d_v$

$N_p$  = beban aksial yang diterima oleh tulangan

III.1. Langkah-langkah penyelesaian untuk balok yang menerima kombinasi beban aksial, geser dan momen

Untuk sebuah balok yang dibebani momen dan gaya aksial, teknik pemecahan yang dianjurkan, hampir sama dengan teori yang dibahas di depan, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Pilih suatu harga  $\epsilon_1$  ( regangan tarik utama pada tengah-tengah tinggi dari badan ).

Langkah 2: Estimasi arah tegangan tekan utama pada tengah-tengah tinggi badan ( $\theta$ )

Langkah 3: Hitung lebar retak rata-rata pada tengah-tengah tinggi badan,  $w$

$$\zeta_{\theta} = \frac{1}{\left( \frac{\sin \theta}{\zeta_{mx}} + \frac{\cos \theta}{\zeta_{my}} \right)}$$

$$w = \epsilon_1 \cdot \zeta_{\theta}$$

$\epsilon_1$  adalah regangan yang terbesar

Langkah 4: Estimasi tegangan rata-rata dalam tulangan badan,  $f_{sy}$

$$f_{sy} \leq f_{sy}^* \text{ (estimasi } f_{sy} \approx 0,7 \epsilon_1 \cdot E_s \text{)}$$

Langkah 5: Hitung tegangan tarik rata-rata dalam beton,  $f_{c1}$

Jika  $\varepsilon_1 \leq \varepsilon_{cr}$ , maka  $f_{c1} = \varepsilon_1 \cdot 2f_c' / \varepsilon_{c*}$

Jika  $\varepsilon_1 > \varepsilon_{cr}$ , maka  $f_{c1} = f_{cr} / (1 + \sqrt{200 \cdot \varepsilon_1})$

$v_{ci \max} = \sqrt{-f_c} / (0,31 + 24w / (a + 16))$ ,

dimana  $f_c'$  harus dalam Mpa

$K = 1,64 - 1/\text{tg } \theta$  tetapi jika  $K < 0$ , maka  $K = 0$

$f_{c1} \leq v_{ci \max} (0,18 + 0,3 K^2) \text{tg } \theta + \rho_{sy}(f_{sy*} - f_{sy})$

a adalah ukuran agregat max dalam mm

Langkah 6 : Hitung gaya geser dari keseimbangan:

$$V = \frac{f_{c1} \cdot b_v \cdot d_v}{\text{tg } \theta} + \frac{A_v \cdot f_{sy}}{s} \cdot \frac{d_v}{\text{tg } \theta}$$

$$v_x = (f_{c1} + \rho_{sy} \cdot f_{sy}) / \tan \theta$$

s adalah jarak sengkang

$A_v$  adalah luasan tulangan melintang

Langkah 7 : Hitung tegangan tekan utama  $f_{c2}$  sebagai berikut:

$$f_{c2} = f_{c1} - v_x (\text{tg } \theta + 1/\text{tg } \theta)$$

Langkah 8 : Hitung  $f_{c2 \max}$  dari hubungan tegangan-regangan

$$f_{c2 \max} = \frac{f_c'}{(0,8 - 0,34 \cdot \varepsilon_1 / \varepsilon_{c*})}$$

tetapi  $f_{c2 \max}$  harus  $> f_c'$

Langkah 9 : Check harga  $f_{c2} / f_{c2 \max} \leq 1,0$

Bila  $> 1$ , maka tak mungkin diselesaikan

dan kembali ke langkah 2 serta pilih  $\theta$

mendekati 45 atau kembali ke langkah 1 dan pilih harga  $\beta$  yang lebih kecil.

Langkah 10: Hitung  $\epsilon_2$  pada tengah tinggi badan dari hubungan tegangan-regangan sebagai berikut:

$$\epsilon_2 = \epsilon_c * (1 - \sqrt{1 - f_c^2 / f_c^2 \max})$$

Langkah 11: Hitung  $\epsilon_y$  pada tengah tinggi badan

$$\epsilon_y = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 \cdot \text{tg}^2 \theta}{1 + \text{tg}^2 \theta}$$

Langkah 12: Hitung tegangan dalam tulangan badan

$$f_{sy} = E_s \cdot \epsilon_y, \text{ tetapi } f_{sy} \leq f_{sy}^*$$

Langkah 13: Check apakah  $f_{sy}$  hasil perhitungan sama dengan  $f_{sy}$  estimasi. Bila tidak maka diadakan estimasi baru untuk  $f_{sy}$  dan kembali ke langkah 5

$$f_{sy}(\text{baru}) = \frac{f_{sy}(\text{est}) + 3 f_{sy}(\text{hit})}{4}$$

Langkah 14: Hitung regangan longitudinal pada tengah tinggi badan.

$$\epsilon_x = \epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_y$$

Langkah 15: Dengan analisa bidang datar untuk regangan pada tengah tinggi, mulai  $\epsilon_x$ , dicari distribusi regangan yang berhubungan dengan momen M dan kemudian cari hubungan gaya aksial  $N_p$

(hitung  $\epsilon_{\text{top}}$  dan  $\epsilon_{\text{bottom}}$ )

Langkah 16 : Hitung  $N_v$

$$N_v = f_{c1}.b_v.d_v - V/tg \theta$$

Langkah 17 : Hitung beban aksial pada potongan

$$N = N_v + N_p$$

$$N_p = \rho_{sx}.f_{sx}.b_v.d_v$$

Langkah 18 : check apakah N (hasil hitungan) memenuhi (sama) dengan harga yang diberikan, N.

Bila tidak, maka buat estimasi baru dari  $\theta$  dan kembali ke langkah 3. Peningkatan  $\theta$  meningkatkan N

Untuk mendapatkan respon yang sempurna/lengkap dari balok, hitungan ini diulangi untuk harga-harga  $\xi_1$  yang bermacam-macam. Perhatikan bahwa  $\xi_1$  tidak dapat diambil lebih kecil dari regangan tarik pada tengah tinggi balok akibat momen saja.

### III.2. PERKIRAAN PENAMPANG

Teori tekanan diagonal yang telah dimodifikasi termasuk teori plastis beton, maka dalam desain, harus ditentukan dimensi penampang dan pemasangan tulangan, luas tulangan, kemudian dianalisa tentang kemampuan penampang tersebut. Dalam penentuan dimensi-dimensi tersebut diatas tidak terdapat pedoman yang pasti, maka disini dianjurkan suatu perkiraan dimensi:

Perkiraan dimensi harus memenuhi [12]:

$$l_n / b_w \leq 37$$

$$l_n . h / b_w^2 \leq 150$$

dimana;  $l_n$  adalah bentang bersih

bw adalah lebar balok

h adalah tinggi balok

Untuk penampang bujur sangkar, ruas kanan dikalikan dengan  $2/3$

$$\begin{aligned} \text{Jarak sengkang[5] harus memenuhi : } & \leq 30 \text{ cm} \\ & \leq dv/3 \text{ tg } \theta \\ & \leq dv \end{aligned}$$

$$\text{Diameter sengkang[5]} \geq 6 \text{ mm}$$

$$\text{Luas sengkang minimum[5]} = 0,35 \text{ bw} \cdot s / f_{sy}^* \text{ dalam mm}$$

dimana : bw dalam mm

s dalam mm

$f_{sy}^*$  dalam Mpa

$$\text{Luas sengkang yang diperlukan[5]} = V_u \cdot s / f_{sy}^* \cdot dv$$

dimana:  $V_u$  adalah gaya geser rencana

$f_{sy}^*$  adalah tegangan leleh tulangan arah y

Perkiraan tulangan longitudinal:

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih antar tulangan-tulangan[11]} & \leq 4/3 a \\ & \geq 3 \text{ cm} \end{aligned}$$

dimana: a adalah ukuran diameter maksimum agregat.

Bila diperlukan tulangan longitudinal 2 lapis atau lebih[11], maka jarak bersih lapisan-lapisan :

$$\begin{aligned} & \geq 0,75 \text{ diameter batang terbesar} \\ & \geq 0,5 a \\ & \geq 2,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan[5]} \geq 12 \text{ mm}$$

$$\geq s \text{ tg } 0 / 16$$

Luas tulangan minimum[12] =  $12/\sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d_v$

Luas tulangan yang diperlukan[5]:  $A_{long} = M_u / (d_v \cdot f_{sy})$

$$M_u = M_f + 0,5 N \cdot d_v$$

dimana :  $M_u$  adalah momen rencana

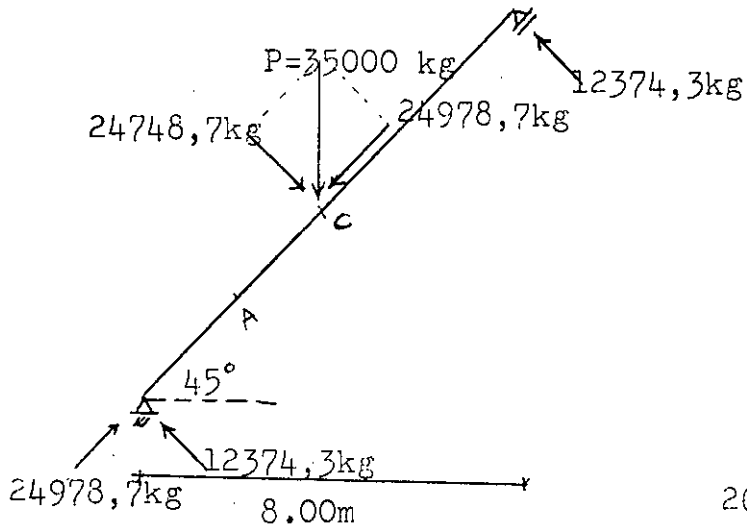
$M_f$  adalah momen akibat beban hidup dan mati

$N$  adalah gaya normal

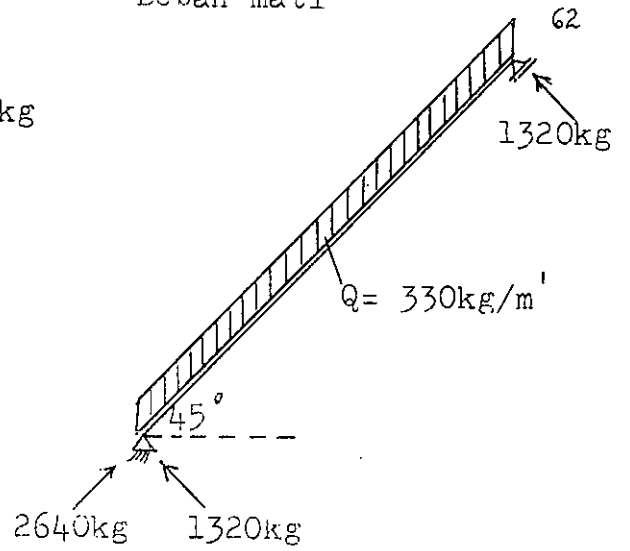
### III.3. Contoh

Suatu balok empat persegi panjang dengan perletakan sendi rol, lebar bentang 8m, dengan sudut kemiringan  $45^\circ$ , dibebani dengan beban terpusat vertikal sebesar 35.000 kg. Beban-beban tersebut diatas sudah dikalikan dengan faktor beban. Pembebanan akibat beban hidup dan beban mati dapat dilihat pada halaman berikut:

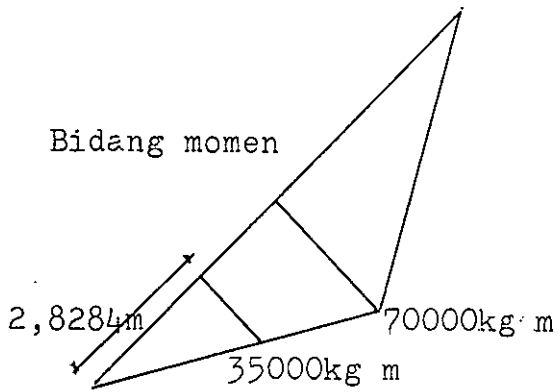
Beban hidup



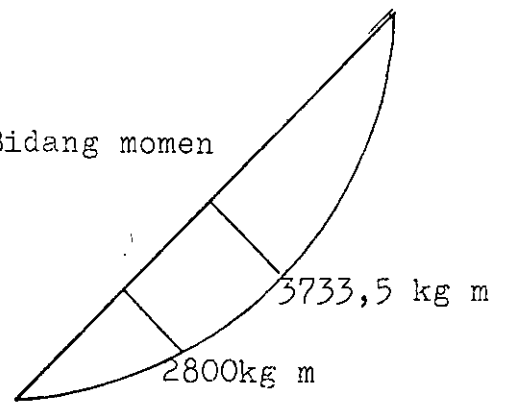
Beban mati



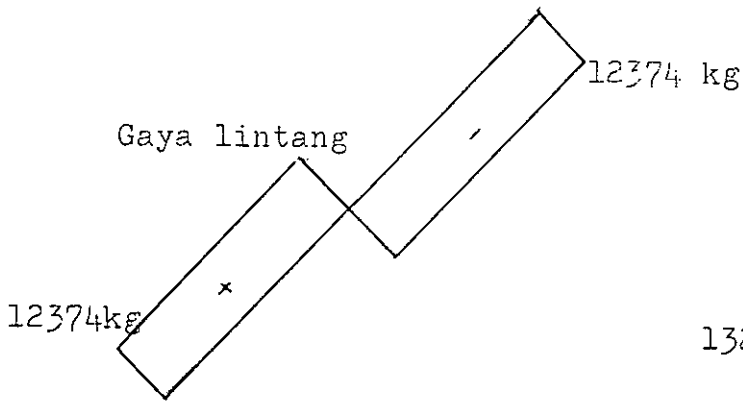
Bidang momen



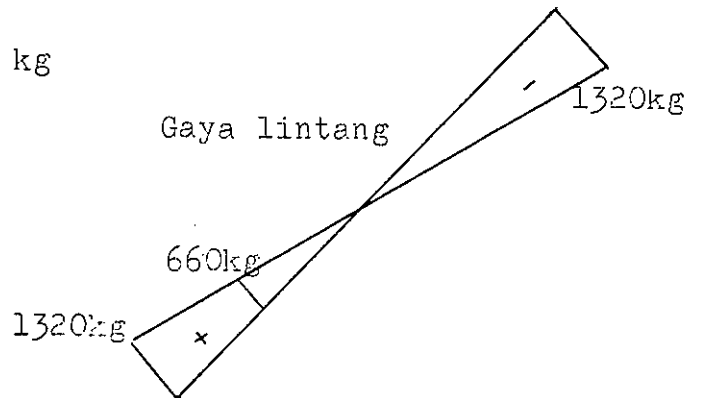
Bidang momen



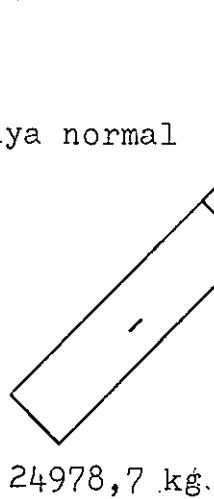
Gaya lintang



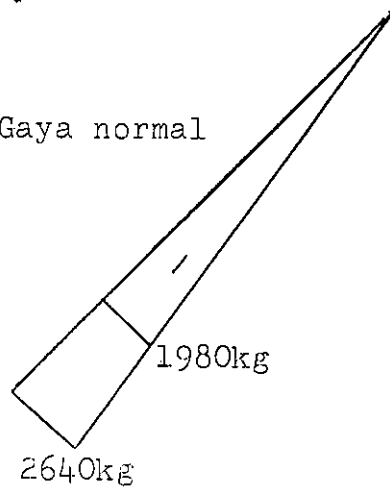
Gaya lintang



Gaya normal



Gaya normal



Ditinjau untuk titik sedikit disebelah kiri C

Momen total akibat beban mati dan beban hidup =

$$70.000 \text{ kgm} + 3733,5 \text{ kgm} = 73.733,5 \text{ kgm}$$

Gaya lintang total akibat beban mati dan hidup =

$$12.374 \text{ kg} + 0 \text{ kg} = 12.374 \text{ kg}$$

Gaya normal total akibat beban mati dan hidup =

$$- 24.978,7 \text{ kg} - 2640 \text{ kg} = -27.618,7 \text{ kg}$$

Jadi beban mati yang bekerja pada penampang sedikit dikiri C:

$$M_f = 73.733,5 \text{ kgm}$$

$$D = 12.374 \text{ kg}$$

$$N = -27.618,7 \text{ kg}$$

Dicoba dimensi balok :  $h = 60 \text{ cm}$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

Bentang bersih =  $l_n = 11 \text{ m}$

$$l_n / b_w = 11 / 0,3 = 36,7 < 37$$

$$l_n \cdot h / b_w^2 = 11 \cdot 0,6 / 0,3^2 = 73,33 < 150$$

Senggang :  $\leq 30 \text{ cm}$

$$\leq 55 / 3 \text{tg} 32,1^\circ = 29,23 \text{ cm} \quad \left. \vphantom{\leq 55 / 3 \text{tg} 32,1^\circ} \right\} \text{diambil } 25 \text{ cm}$$

$$\leq 55 \text{ cm}$$

Luas sengkang minimum:

$$= 0,35 b_w \cdot s / f_{sy}^* = 0,35 \times 300 \times 250 / 240 = 109,375 \text{ mm}^2$$

$$= 1,094 \text{ cm}^2$$

Luas sengkang yang diperlukan:

$$= V_{u,s} / f_{sy}^* \cdot d_v =$$

$$= 12.374 \times 25 / 2400 \times 55 = 2,3455 \text{ cm}^2$$

Dipakai sengkang  $\emptyset 14$ , maka  $A_v = 3,08 \text{ cm}^2$

dipakai dengkan  $\emptyset 14 \rightarrow A_v = 3,08 \text{ cm}^2$

Tulangan longitudinal:

$$M_u = M_f + 0,5 N \cdot d_v = 73.733,5 + 0,5 \times 13.694 \times 0,5 = 77.157 \text{ kgm}$$

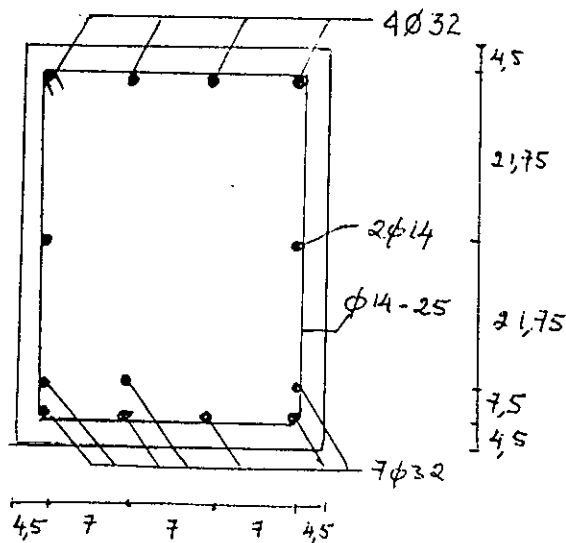
$$A_{\text{long}} = M_u / d_v \cdot f_{sy}^* = 7.715.700 / (55 \times 2400) = 58,45 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipakai } 7 \emptyset 32 \rightarrow A = 56,28 \approx 58,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{minimum}} = 12 b_w d_v / \sigma_{au}^* = 12 \times 30 \times 55 / 2080 = 9,5 \text{ cm}^2$$

$$9,5 \text{ cm}^2 < 56,28 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipakai } A_{\text{longitudinal}} = 7 \emptyset 32$$



Mutu beton K225

Mutu baja U24

Semua dimensi balok

dalam cm, kecuali un

tuk diameter tulangan

mm

$$f_{sy}^* = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bk} = 225 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c^l = \sigma_{bk} / 0,83 = 225 / 0,83 = 271 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{c}^* = f_c / E_c = 271 / 2 \times 10^4 = 1,355 \times 10^{-3}$$

$$c_{mx} = 0,5 \sqrt{(21,75)^2 + (7)^2} = 11,4243 \text{ cm}$$

$$\sigma_{my} = 1,5 \times 11,4243 = 17,1365 \text{ cm}$$

$$c_{my} = \sqrt{(21,75)^2 + (12,5)^2} = 25,086 \text{ cm}$$

$$\delta_{my} = 1,5 \times 25,0861 = 37,62 \text{ cm}$$

$$\rho_{sy} = \frac{A_v}{s \cdot b_v} = \frac{2 \text{ } \emptyset \text{ } 14}{25 \times 25} = \frac{3,08}{25 \times 25} = 4,928 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_s}{A_c} = \frac{11 \text{ } \emptyset \text{ } 32 + 2 \text{ } \emptyset \text{ } 14}{25 \times 55} = \frac{88,46 + 3,08}{1375} = \frac{91,54}{1375} = 0,06657$$

$$a = 15 \text{ mm}$$

$$b_v = 25 \text{ cm}$$

$$d_v = 55 \text{ cm}$$

$$s = 25 \text{ cm}$$

$$A_v = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$\epsilon_{cr} = f_{cr}/E_c = 17,179/2 \cdot 10^5 = 8,5895 \cdot 10^{-5}$$

$$E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil komputer dengan estimasi  $\epsilon_1 = 0,0016$

$$\theta = 32,1^\circ$$

$$F_{sy} \text{ estimate} = 2241 \text{ kg/cm}^2$$

didapat:

$$\text{Langkah 3: } s\theta = 15,733 \text{ cm}$$

$$\text{Langkah 3: } w = 0,025 \text{ cm}$$

$$\text{Langkah 5: } f_{c1} = 10,972 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 6: } v_x = 35,099 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 7: } f_{c2} = -66,997 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 8: } f_{c2} \text{ max.} = -225,555 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 10: } \epsilon_2 = -2,1893 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Langkah 11: } \epsilon_y = 0,001086$$

$$\text{Langkah 14: } \epsilon_x = 2,9471 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Langkah 4: } F_{sy} = 2241,323 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 6: } V = 48693,355 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 16: } N_v = -62537,096 \text{ kg}$$

Langkah 17:  $N_p = 34831,276 \text{ kg}$

Langkah 18:  $N = -27705,82 \text{ kg}$

Dengan perhitungan berdasarkan langkah-langkah di depan:

Langkah 1: Estimasi  $\epsilon_1 = 0,0016$

Langkah 2: Estimasi  $\theta = 32,1$

Langkah 4:  $F_{sy}$  estimasi =  $2241 \text{ kg/cm}^2$

Langkah 3:

$$\begin{aligned} \delta\theta &= \frac{1}{\left(\frac{\sin 32,1^\circ}{\delta m_x} + \frac{\cos 32,1^\circ}{\delta m_y}\right)} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{0,5314}{17,137} + \frac{0,8471}{37,629}\right)} = 15,7342 \text{ cm} \end{aligned}$$

Langkah 3:  $w = \epsilon_1 \times \delta\theta = 0,0016 \times 15,734 = 0,025 \text{ cm}$

Langkah 5:  $f_{c1} = f_{cr} / (1 + \sqrt{200 \cdot \epsilon_1}) = 17,179 / (1 + \sqrt{200 \cdot 0,0016})$   
 $= 10,972 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned} v_{ci \text{ max}} &= \sqrt{-f_{c1}} / \left(0,31 + \frac{24 w}{a + 16}\right) = \\ &= \sqrt{27,1} / \left(0,31 + \frac{24 \times 0,025}{15 + 16}\right) = 15,8059 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$K = 1,64 - 1/\text{tg } 32,1^\circ = 0,0459$$

$$K = 0,0459$$

$$f_{c1} \ll v_{ci \text{ max}} \cdot (0,18 + 0,3 K^2) \text{ tg } \theta + f_{sy}(f_{sy}^* - f_{sy})$$

$$10,972 \ll 158,059 (0,18 + 0,3 \times 0,0459^2) \text{ tg } 32,1^\circ +$$

$$4,928 \cdot 10^{-3} (2400 - 2241)$$

$$10,972 \ll 29,567, \text{ maka } f_{c1} = 10,972 \text{ kg/cm}^2$$

Langkah 6:  $v_x = (10,972 + 4,928 \cdot 10^{-3} \times 2241) / \text{tg } 32,1^\circ$

$$= 35,096 \text{ kg/cm}^2$$

Langkah 7:  $f_{c2} = 10,972 - 35,096 \left(\text{tg } 32,1^\circ + \frac{1}{\text{tg } 32,1^\circ}\right) =$   
 $= -66,992 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Langkah 8: } f_{c2 \text{ max}} = \frac{-271}{0,8 - 0,34 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{-1,355 \cdot 10^{-3}}} = -225,56$$

$$-225,56 \text{ kg/cm}^2 > -271 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c2 \text{ max.}} = -225,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 9: } f_{c2}/f_{c2 \text{ max.}} = -71,936/-225 < 1 \text{ (ok)}$$

$$\text{Langkah 10: } \xi_2 = -1,355 \cdot 10^{-3} (1 - \sqrt{1 - 71,936/225,56}) = -2,189 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \text{Langkah 11: } \xi_y &= \frac{1,6 \cdot 10^{-3} + (-2,189 \cdot 10^{-4}) \operatorname{tg}^2 32,1}{1 + \operatorname{tg}^2 32,1} = 1,086 \cdot 10^{-3} \\ &= 1,086 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\text{Langkah 12: } F_{sy} = F_s \cdot \xi_y = 2280,6 \text{ kg/cm}^2 < f_{sy}^* = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 14: } \xi_x = 1,6 \cdot 10^{-3} - 2,189 \cdot 10^{-4} - 1,086 \cdot 10^{-3} = 2,951 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Langkah 13: } F_{sy} = 2280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 6: } V = \frac{10,972 \cdot 25 \cdot 55}{\operatorname{tg} 32,1^\circ} + \frac{3,08 \cdot 2241 \cdot 55}{25 \cdot \operatorname{tg} 32,1^\circ} = 48256,93 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 16: } N_v = 10,972 \cdot 25 \cdot 55 - 48256,93 / \operatorname{tg} 32,1^\circ = -61841,64 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 17: } N_p = 2,951 \cdot 10^{-4} \times 2,1 \cdot 10^6 \times 56,28 = 34877,28 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 18: } N = -61841,64 + 34877,28 = -26964,36 \text{ kg}$$

$$\approx -26964 \text{ kg}$$

Sekarang akan ditinjau, suatu potongan balok pada  $1/4$  bentang, dapat dilihat di gambar depan, yaitu potongan pada titik A

Momen total akibat beban mati dan beban hidup=

$$35.000 + 2.800 = 37.800 \text{ kgm}$$

Gaya lintang akibat beban mati dan hidup=

$$12.374 + 660 = 13.034 \text{ kg}$$

Gaya normal total akibat beban mati dan hidup=

$$24.978,7 + 1980 = - 26958 \text{ kg}$$

Jadi beban yang bekerja pada penampang titik A:

$$M_f = 37.800 \text{ kgm}$$

$$D = 13.034 \text{ kg}$$

$$N = -26.958,7 \text{ kg}$$

Dicoba dimensi balok:  $h=60 \text{ cm}$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

Bentang bersih  $= l_n = 11 \text{ m}$

$$l_n / b_w = 11 / 0,3 = 36,7 < 37$$

$$l_n \cdot h / b_w^2 = 11 \times 0,6 / 0,3^2 = 73,33 < 150$$

Jarak sengkang:  $\leq 30 \text{ cm}$

$$\leq 55 / 3 \text{tg} 34^\circ = 27,18 \text{ cm}$$

$$\leq 55 \text{ cm}$$

} diambil 25 cm

Dalam menentukan syarat sengkang minimum yang diperlukan untuk daktilitas balok, digunakan rumus :

$$= 0,35 b_w \cdot s / f_s^* = 0,35 \times 300 \times 250 / 240 = 109,375 \text{ mm}^2$$

$$= 1,094 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas sengkang yang diperlukan} = 13034 \times 25 / (2400 \times 55) = 2,469 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jadi dipakai sengkang } \emptyset 14, \quad A_v = 3,08 \text{ cm}^2$$

Tulangan longitudinal:

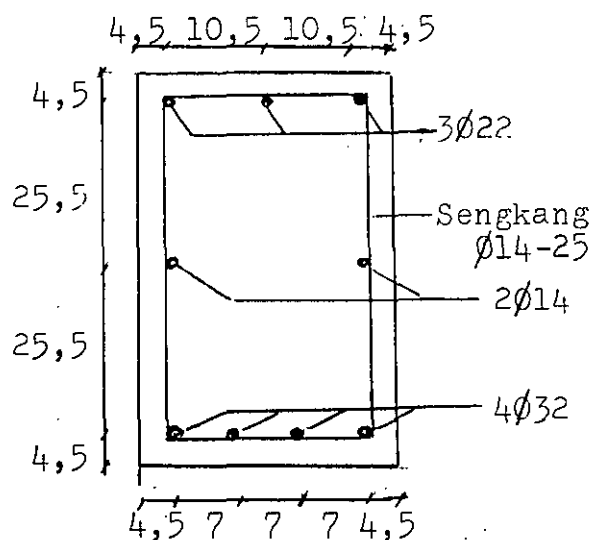
$$M_u = 37800 + 0,5 \times 26958,7 \times 0,5 = 44539,675 \text{ kgm}$$

$$\text{Along.} = 4453967,5 / (55 \times 2400) = 31,35 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipakai } 4\emptyset 32 \quad \text{Along.} = 32,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{min.}} = \frac{12}{2080} \times 30 \times 55 = 9,5 \text{ cm}^2 < 32,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipakai } A_{\text{long.}} = 4 \emptyset 32$$



Mutu beton K 225

Mutu baja U 24

Dimensi balok dalam satuan cm, dimensi diameter tulangan dalam satuan mm.

$$F_{sy}^* = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sqrt{b_k'} = 225 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c' = \sqrt{b_k'} / 0,83 = 225 / 0,83 = 271 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 0,33 \sqrt{f_c'} = 17,179 \text{ kg/cm}^2$$

$$\xi_c^* = f_c' / E_c = 271 / 2.10^5 = 1,355 \cdot 10^{-3}$$

$$c_{mx} = 0,5 \sqrt{(25,5)^2 + (10,5)^2} = 13,78858 \text{ cm}$$

$$s_{mx} = 1,5 \times 13,78858 = 20,68287 \text{ cm}$$

$$c_{my} = \sqrt{(25,5)^2 + (12,5)^2} = 28,39894 \text{ cm}$$

$$s_{my} = 1,5 \times 28,39894 = 42,5984 \text{ cm}$$

$$f_{sy} = \frac{A_v}{s \cdot b_v} = \frac{2 \varnothing 14}{25 \times 25} = \frac{3,08}{625} = 4,928 \cdot 10^{-3}$$

$$f_{sx} = \frac{A_s}{A_c} = \frac{4 \varnothing 32 + 2 \varnothing 14}{55 \times 25} = \frac{32,16 + 3,08}{1357} = 0,02597$$

$$a = 15 \text{ mm}$$

$$b_v = 25 \text{ cm}$$

$$d_v = 55 \text{ cm}$$

$$s = 25 \text{ cm}$$

$$A_v = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$A_x = 32,16 \text{ cm}^2$$

$$\epsilon_{cr} = f_{cr} / E_c = 17,179 / 2 \cdot 10^5 = 8,5895 \cdot 10^{-5}$$

$$E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan komputer didapat hasil:

$$\text{Estimasi: } \epsilon_1 = 1,65 \cdot 10^{-3}$$

$$\theta = 33,85$$

$$F_{sy} \text{ estimasi} = 2200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 3: } \epsilon_{\theta} = 18,786 \text{ cm}$$

$$\text{Langkah 3: } w = 0,031 \text{ cm}$$

$$\text{Langkah 5: } f_{c1} = 10,911 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 6: } v_x = 32,608 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 7: } f_{c2} = -59,575 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 8: } f_{c2} \text{ max.} = -223,225 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 10: } \epsilon_2 = -1,948 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Langkah 14: } \epsilon_x = 3,776 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Langkah 4: } F_{sy} = 2223,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Langkah 6: } V = 45230,831 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 16: } N_v = -52434,909 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 17: } N_p = 25499,973 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 18: } N = -26934,94 \text{ kg}$$

$$\text{Langkah 11: } \epsilon_y = 0,001078$$