BAB V

ANALISIS PEMBEBANAN STRUKTUR DAN PERHITUNGAN PENULANGAN

A. Perencanaan Beban Kuda-kuda

1. Beban Mati

Panjang bentang = 10 m

Sudut kemiringan (α) = 30°

Berat seng = 10 kg/m^2

Jarak antara kuda-kuda = 3,5 m

Dimensi kayu = 8 x 12

Jenis kayu = kayu besi, BJ = 1040 kg/m^3

Jarak gording = 1,925 m

a. Berat sendiri kuda-kuda = 32,575 kg

b. Berat alat sambung 20 % x BS = 6,515 kg

c. Berat penutup atap : 3,5 x 1,925 x 10 = 67,375 kg

d. Berat gording : 0,08 x 0,12 x 3,5 x 1040 = 34,944 kg +

= 141,409 kg

2. Beban Hidup

a. Beban air hujan (qah) = (40 - 0,8.α) = 16 kg/m^2

= 1,925 x 3,5 x 16 = 107,8 kg

3. Beban Angin

Lokasi di daerah pesisir pantai, P = 40 kg/m^2

C = (0,02.α – 0,4) (w. tekan)

C = 0,4 (w. hisap)

qw tekan = (0,02.α – 0,4) x 40 x 1.925 x 3,5 = 53,9 kg

qw hisap = 0,4 x 40 x 1,925 x 3,5 = 107,8 kg

B. Beban Gempa

1. Berat total bangunan

Berat bangunan untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Berat total bangunan

Lantai	Diaphragma	Massa (Kg)
Lantai 5	D1	180728,913
Lantai 4	D1	232040,235
Lantai 3	D1	244848,608
Lantai 2	D1	235195,711
Lantai 1	D1	62823,952
	Berat total (Wt)	955637,419

Sumber : output etabs v.9.6.0

a. Waktu getar bangunan (T)

Menurut SNI 1726-2002 pasal 5.6, gedung harus dibatasi agar tidak terlalu fleksibel. Hal ini untuk mencegah kerusakan komponen struktur gedung serta menyediakan kenyamanan bagi pengguna gedung.

Dengan rumus empiris menggunakan metode A dari UBC 1997, waktu

$T = 0{,}06.\ H^{3/4}$

$H = 23$ m

$Tx = Ty = 0{,}06.\ 23^{3/4}$

$= 0{,}63$ detik

Menurut SNI 1726-2002 pasal 5.6 tabel 8, untuk wilayah gempa 5 pembatasan waktu getar alami adalah :

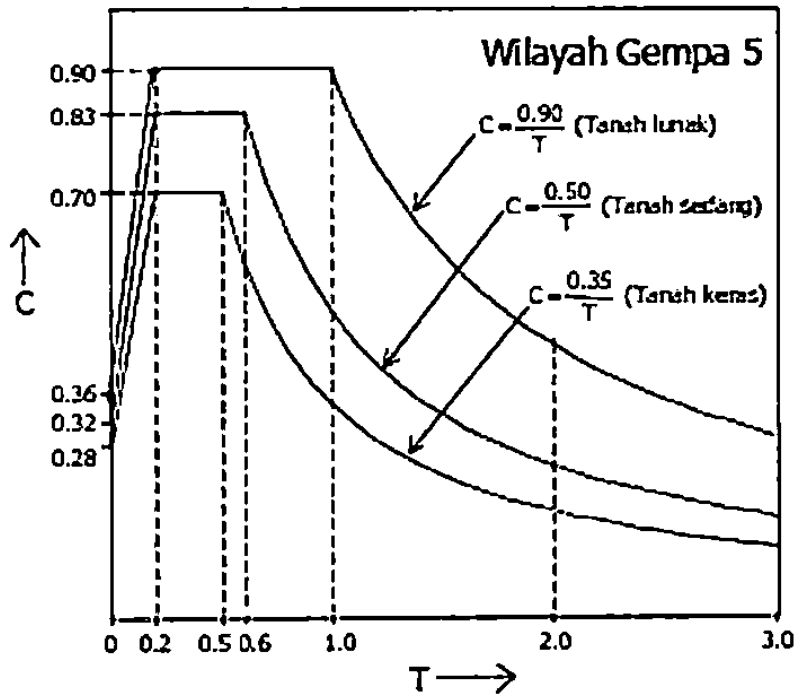
$T = \zeta.\ n$

$\zeta = 0{,}16$

$n = 5$ tingkat

$T = 0{,}16.\ 5 = 0{,}8$ detik

Sehingga T empiris = 0,63 detik < T = 0,8 detik ⟶ Ok



Gambar 5.1 Respon Spektrum Gempa

Dari diagram respon spektrum gempa rencana untuk wilayah gempa 5, tanah keras dengan nilai T = 0,63 detik didapat nilai faktor respon gempa (C) = 0,35

b. Fakor keutamaan (I) dan faktor reduksi beban gempa (R)

SNI 1726-2002 pasal 4.1(2) tabel 1 ketentuan khusus untuk perencanaan gempa diperoleh faktor I untuk gedung umum = 1, dan faktor reduksi gempa sesuai tabel 3 untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus, R= 8,5.

c. Gaya geser dasar (V) dan beban gempa horizontal (Fi)

Perhitungan gaya geser dasar (V) dan beban gempa horizontal (Fi) untuk portal arah X dan arah Y, didapat seperti terlihat pada tabel 5.2

Wt = 955637.419 kg

$$Vx = Vy = \frac{C.I}{R}.Wt$$

$$= \frac{0,35.1}{8,5}.955637,419$$

$$= 39349,776 \text{ kg}$$

Distribusi gaya geser horizontal akibat gempa pada masing-masing lantai :

$$Fi_{xy} = \frac{Wi.zi}{\sum Wi.zi}.V$$

$$= \frac{180728,913.20}{12398266,81}.39349,776$$

$$= 11471,994 \text{ kg}$$

Tabel 5.2 Distribusi gaya geser horizontal akibat gempa

Lantai	zi (m)	Wi (kg)	wi.zi	$Fi_{x,y}$ (kg)
Lantai 5	20	180728,913	3614578,258	11471,994
Lantai 4	16	232040,235	3712643,754	11783,236
Lantai 3	12	244848,608	2938183,298	9325,243
Lantai 2	8	235195,711	1881565,691	5971,737
Lantai 1	4	62823,952	251295,808	797,566
	$\sum$	955637,419	12398266,810	

2. Kontrol Waktu Getar dengan cara T. Rayleigh

Persamaan Rayleigh dinyatakan dengan :

$$Tr = 6,3\sqrt{\frac{\sum Wi.di^2}{g.\sum Fi.di}}$$

Syarat batas waktu getar alami bangunan :

Tr – 20%.Tr < T = 0,8 detik

Perhitungan waktu getar alami pada portal dapat dilihat pada tabel 5.3 dan 5.4

a. Portal Arah X

Tabel 5.3 Waktu getar alami portal arah X

lantai	wi	dix	dix^2	fi(x)	$wi.dix^2$	fix.dix
5	180728,913	0,962	0,925	11471,994	167219,718	11034,911
4	232040,235	0,846	0,716	11783,236	166114,172	9969,796
3	244848,608	0,692	0,479	9325,243	117350,867	6455,866
2	235195,711	0,452	0,204	5971,737	47966,415	2696,836
1	62823,952	0,223	0,050	797,566	3118,571	177,698
					501769,743	30335,107

Tr = 0,818 detik

0,818 – (0,2 . 0,818) = 0,654 detik < 0,8 detik → ok

b. Portal Arah Y

Tabel 5.4 Waktu getar alami portal arah Y

lantai	wi	diy	diy^2	fi(y)	$wi.diy^2$	fiy.diy
5	180728,913	0,993	0,987	11471,994	178351,164	11396,279
4	232040,235	0,862	0,742	11783,236	172216,143	10151,258
3	244848,608	0,691	0,477	9325,243	116741,429	6439,081
2	235195,711	0,433	0,187	5971,737	44035,526	2583,971
1	62823,952	0,267	0,071	797,566	4482,012	213,030
					515826,275	30783,618

Tr = 0,823 detik

= 0,823 – (0,2 x 0,823) = 0,659 detik < 0,8 detik ⟶ok

C. Kontrol Simpangan

1. Kinerja batas layan (Δs)

Besar simpangan antar tingkat Δs tidak boleh melebihi :

$$\Delta s = \frac{0,03}{R}.hi \text{ atau} < 30 \text{ mm}$$

Untuk setiap lantai (h= 4000 mm)

$$\Delta s = \frac{0,03}{8,5}.4000$$

= 14,12 mm < 30 mm

Tabel 5.5 Analisa Δs akibat gempa arah X

lantai	hi (m)	Δs (mm)	drift Δs (mm)	syarat drift Δs (mm)	ket
5	4	10,62	1,07	14,12	ok
4	4	9,55	1,7	14,12	ok
3	4	7,85	2,43	14,12	ok
2	4	5,42	3,28	14,12	ok
1	4	2,14	2,14	14,12	ok

Tabel 5.6 Analisa Δs akibat gempa arah Y

lantai	hi (m)	Δs (mm)	drift Δs (mm)	syarat drift Δs (mm)	ket
5	4	16,53	1,53	14,12	ok
4	4	15	2,6	14,12	ok
3	4	12,4	3,97	14,12	ok
2	4	8,43	5,02	14,12	ok
1	4	3,41	3,41	14,12	ok

2. Kinerja batas ultimit (Δm)

Δm = 0,7. R. Δs

= 0,7. 8,5. 2,14

= 12,73 mm

Batas Δm tidak boleh melebihi :

Δm = 0,02. hi

= 0,02. 4000

= 80 mm

Rekapitulasi kinerja batas ultimit (Δm) dapat dilihat pada tabel 5.7 dan 5.8

Tabel 5.7 Analisa Δm akibat gempa arah X

lantai	hi (m)	drift Δs (mm)	drift Δm(mm)	syarat drift Δm (mm)	ket
5	4	1,07	6,37	80	ok
4	4	1,7	10,12	80	ok
3	4	2,43	14,46	80	ok
2	4	3,28	19,52	80	ok
1	4	2,14	12,73	80	ok

Tabel 5.8 Analisa Δm akibat gempa arah Y

lantai	hi (m)	drift Δs (mm)	drift Δm(mm)	syarat drift Δm (mm)	ket
5	4	1,53	9,10	80	ok
4	4	2,6	15,47	80	ok
3	4	3,97	23,62	80	ok
2	4	5,02	29,87	80	ok
1	4	3,41	20,29	80	ok

D. Distribusi Beban Gravitasi

Distribusi beban gravitasi Lantai 1-5 :

a. Beban mati (DL)

Berat sendiri komponen struktur sudah dihitung secara otomatis oleh ETABS berdasarkan *input* data dimensi dan karasteristik material yang direncanakan.

Beban mati tambahan :

Berat finishing lantai (Spesi) 5cm = 105 kg/m^2

Keramik = 24 kg/m^2

Berat instalasi ME = 25 kg/m^2

Berat langit-langit + penggantung = 18 kg/m^2 +

Berat dinding bata (1/2 bata) = 250 kg/m^2

b. Beban hidup (LL)

Beban hidup = 250 kg/m^2 (pertokoan)

= 100 kg/m^2 (atap)

c. P kuda-kuda = 1748,2 kg

E. Analisis Struktur

Analisis struktur menggunakan data-data yang didapat dari pembebanan yang kemudian dilakukan kombinasi beban dengan menggunakan persamaan berikut :

Kombinasi 1 : 1,4 DL

Kombinasi 2 : 1,2 DL + 1,6 LL

Kombinasi 3 : 1,2 DL + LL + Fx + 0,3 Fy

Kombinasi 4 : 1,2 DL + LL + Fx - 0,3 Fy

Kombinasi 5 : 1,2 DL + LL - Fx + 0,3 Fy

Kombinasi 6 : 1,2 DL + LL - Fx - 0,3 Fy

Kombinasi 7 : 0,9 DL + Fx + 0,3 Fy

Kombinasi 8 : 0,9 DL + Fx - 0,3 Fy

Kombinasi 9 : 0,9 DL - Fx + 0,3 Fy

Kombinasi 10 : 0,9 DL - Fx - 0,3 Fy

Kombinasi 11 : 1,2 DL + LL + 0,3 Fx + Fy

Kombinasi 12 : 1,2 DL + LL + 0,3 Fx - Fy

Kombinasi 13 : 1,2 DL + LL - 0,3 Fx + Fy

Kombinasi 14 : 1,2 DL + LL - 0,3 Fx - Fy

Kombinasi 15 : 0,9 DL + 0,3 Fx + Fy

Kombinasi 16 : 0,9 DL + 0,3 Fx - Fy

Kombinasi 17 : 0,9 DL - 0,3 Fx + Fy

Kombinasi 18 : 0,9 DL - 0,3 Fx – Fy

Dimana : DL adalah beban mati

LL adalah beban hidup

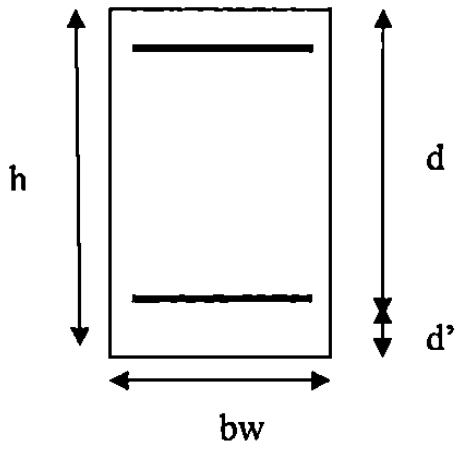
Fx adalah beban gempa arah X

Fy adalah beban gempa arah Y

Data-data pembebanan yang telah ada digunakan untuk mendapatkan gaya-gaya terfaktor dengan analisis struktur menggunakan bantuan program ETABS v9.6.0 (*Extended Three Dimensional Analysis of Building System v9.6.0*)

F. Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan balok dalam perencanaan diambil contoh tipe balok B1 (300x600) seperti terlihat pada gambar 4.2



Gambar 5.2 Penampang Balok

Lebar bawah (bw)	: 300 mm
Tinggi Balok (h)	: 600 mm
Tinggi efektif (d)	: 550 mm
Selimut beton (d')	: 50 mm

fy = 400 MPa

fc' = 25 Mpa

1. Penulangan terhadap lentur

a. Tulangan Tumpuan

Pada tumpuan flens tertarik, maka bukan balok T karena flens tertarik akibat tekanan balok selebar bw sehingga lebar daerah tekan b = bw= 300

Mu = -162409216 Nmm, B19 kombinasi 12 (1,2DL+LL+0,3Fx-Fy)

$$Mn = \frac{Mu}{0,8} = \frac{162409216}{0,8} = 203011520 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85.fc'} = \frac{400}{0,85.25} = 18,824$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{bw.d^2} = \frac{203011520}{300.550^2} = 2,237 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{18,824}.\left(1-\sqrt{1-\frac{2.18,824.2,237}{400}}\right)$$

$$= 0,0059$$

$$\rho_b = \frac{0,85.fc'.\beta_1}{fy}.\left(\frac{600}{600+fy}\right)$$

$$= \frac{0,85.25.0,85}{400}.\left(\frac{600}{600+400}\right)$$

$$= 0,0271$$

$$\rho_{maks} = 0,75.\ \rho_b$$

$$= 0,75.\ 0,0271 = 0,0203$$

$$\rho_{min} = 0,0035 < \rho_{perlu} = 0,0059 < \rho_{maks} = 0,0203$$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}$. b. d

$= 0{,}0059.\ 300.\ 550$

$= 973{,}5\ mm^2$

Digunakan tulangan D22

$$Ast = \frac{1}{4}.\pi.d^2$$

$$= \frac{1}{4}.\pi.22^2$$

$$= 380{,}133\ mm^2$$

Maka didapat jumlah tulangan

$$n = \frac{As_{perlu}}{Ast}$$

$$= \frac{973{,}5}{380{,}133}$$

$= 2{,}56 \approx 3$ batang

$As_{pakai} = n.\ Ast$

$= 3.\ 380{,}133 = 1140{,}39\ mm^2$

$As_{pakai} > As_{perlu}$

Digunakan tulangan tarik 3 D22

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

s $= \dfrac{b - 2.d' - 2.\varnothing sengkang - n.\varnothing tul.lentur}{n-1}$

$= \dfrac{300 - 2.50 - 2.10 - 3.22}{3-1}$

= 57 mm > 25 mm, maka dipakai tulangan 1 lapis.

Kontrol kelelehan :

$a = \dfrac{(As - As').fy}{0,85.fc'.b}$

$= \dfrac{(1140,39 - 760,266).400}{0,85.25.300}$

= 23,85 mm

c $= \dfrac{a}{\beta_1} = \dfrac{23,85}{0,85} = 28,05$ mm

$\varepsilon_y = \dfrac{fy}{Es} = \dfrac{400}{200000} = 0,002$

$\varepsilon s = \dfrac{d-c}{c}.0,003$

$= \dfrac{550 - 28,05}{28,05}.0,003$

$= 0,056 > \varepsilon_y = 0,002 \longrightarrow$ asumsi benar, tulangan tarik leleh.

$\varepsilon s' = \dfrac{c - d'}{c}.0,003$

$= \dfrac{28,05 - 50}{28,05}.0,003$

$= 0,002 < \varepsilon_y = 0,002 \longrightarrow$ asumsi salah, tulangan tekan belum

Karena $\varepsilon s > \varepsilon_y > \varepsilon s'$, tulangan baja tarik sudah leleh tetapi baja tekan belum leleh. Dengan demikian, ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan mencari latak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ($\Sigma Hf = 0$), $TS = C_c + C_s$, yaitu:

Dengan nilai c tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$fs' \quad = \varepsilon s'.Es$

$= \dfrac{c-d'}{c}.0,003.200000$

$= \dfrac{64,877-50}{64,877}.0,003.200000$

$= 137,586$ Mpa $< fy = 400$ Mpa

Dengan demikian anggapan yang digunakan benar.

$a \quad = \beta_1.c$

$= 0,85.\ 64,877 = 55,145$ mm

$C_c \quad = (0,85.fc').a.b$

$= (0,85.25).55,145.300$

$= 351549,375$ N

$C_T \quad = As'.fs'$

$= 760,266.137,586$

$= 104601,958$ N

Cek, $\quad TS = C_c + C_T$

$As.fy = C_c + C_T$

$1140,39.400 = 351549,375 \text{ N} + 104601,958 \text{ N}$

$456156 \text{ N} = 456156 \text{ N} \longrightarrow$ Ok

$$= 351549,375.\left(550 - \frac{55,145}{2}\right)$$

$= 183659061,1$ Nmm

$Mn_2 \quad = C_T.(d - d')$

$= 104601,958.(550 - 50)$

$= 52300979$ Nmm

$Mn \quad = Mn_1 + Mn_2$

$= 183659061,1 + 52300979$

$= 235960040$ Nmm

$\phi Mn \quad > Mu$

0,8. 235960040 Nmm > 162409216 Nmm

188768032 Nmm > 162409216 Nmm ⟶ Ok

Dengan demikian balok tumpuan aman terhadap lentur.

Berdasarkan syarat mengenai tulangan lentur tarik minimal di sepanjang bentang balok pasal 23.3(2(1)), tiap potongan balok harus ada tulangan

b. Tulangan Lapangan

Mu = 126667320 Nmm, B19 (gempa Y)

$$Mn = \frac{Mu}{0,8} = \frac{126667320}{0,8} = 158334150 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85.fc'} = \frac{400}{0,85.25} = 18,824$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{bw.d^2} = \frac{158334150}{300.550^2} = 1,745 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \frac{1}{18,824}.\left(1-\sqrt{1-\frac{2.18,824.1,745}{400}}\right)$$

$$= 0,0046$$

$$\rho_b = \frac{0,85.fc'.\beta_1}{fy}.\left(\frac{600}{600+fy}\right)$$

$$= \frac{0,85.25.0,85}{400}.\left(\frac{600}{600+400}\right)$$

$$= 0,0271$$

$$\rho_{maks} = 0,75.\ \rho_b$$

$$= 0,75.\ 0,0271 = 0,0203$$

$\rho_{min} = 0,0035 < \rho_{perlu} = 0,0046 < \rho_{maks} = 0,0203$

Sehingga digunakan ρ = 0,0046

$As_{perlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$

$= 0{,}0046 \cdot 300 \cdot 550$

$= 759 \text{ mm}^2$

Digunakan tulangan D22

$Ast = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$

$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2$

$= 380{,}133 \text{ mm}^2$

Maka didapat jumlah tulangan

$n = \frac{As_{perlu}}{Ast}$

$= \frac{759}{380{,}133}$

$= 1{,}997 \approx 3$ batang

$As_{pakai} = n \cdot Ast$

$= 3 \cdot 380{,}133 = 1140{,}39 \text{ mm}^2$

$As_{pakai} > As_{perlu}$

Digunakan tulangan tarik 3 D22

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$As' > 0{,}5 \cdot As$

$0{,}5 \cdot 1140{,}39 = 570{,}196 \text{ mm}^2$

Digunakan 2 D22

$As' = 760{,}266 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{b - 2.d' - 2.\varnothing sengkang - n.\varnothing tul.lentur}{n-1}$$

$$= \frac{300 - 2.50 - 2.10 - 3.22}{3-1}$$

= 57 mm > 25 mm, maka dipakai tulangan 1 lapis.

Kontrol kelelehan :

$$a = \frac{(As - As').fy}{0,85.fc'.b}$$

$$= \frac{(1140,39 - 760,266).400}{0,85.25.300}$$

= 23,85 mm

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{23,85}{0,85} = 28,05 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{400}{200000} = 0,002$$

$$\varepsilon s = \frac{d-c}{c}.0,003$$

$$= \frac{550 - 28,05}{28,05}.0,003$$

$= 0,056 > \varepsilon_y = 0,002$ ⟶ asumsi benar, tulangan tarik leleh.

$$\varepsilon s' = \frac{c - d'}{c}.0,003$$

$$= \frac{28,05 - 50}{28,05}.0,003$$

$= 0,002 < \varepsilon_y = 0,002$ ⟶ asumsi salah, tulangan tekan belum

Karena $\varepsilon s > \varepsilon_y > \varepsilon s'$, tulangan baja tarik sudah leleh tetapi baja tekan belum leleh. Dengan demikian, ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan mencari latak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ($\sum$Hf = 0), TS = C_c + C_T, yaitu mencari nilai c dengan persamaan berikut :

$$c = \pm\sqrt{\left(Q + R^2\right)} - R$$

dengan :

$$R = \frac{600.As' - As.fy}{1,7.fc'.b.\beta_1} \quad \text{dan} \quad Q = \frac{600.d'.As'}{0,85.fc'.b.\beta_1}$$

Maka :

$$R = \frac{600.As' - As.fy}{1,7.fc'.b.\beta_1}$$

$$= \frac{600.760,266 - 1140,39.400}{1,7.25.300.0,85}$$

$$= 0,00033 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{600.d'.As'}{0,85.fc'.b.\beta_1}$$

$$= \frac{600.50.760,266}{0,85.25.300.0,85}$$

$$= 4209,085 \text{ mm}$$

$$c = \pm\sqrt{\left(Q + R^2\right)} - R$$

Dengan nilai c tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$fs' \quad = \varepsilon s'.Es$

$= \frac{c-d'}{c}.0,003.200000$

$= \frac{64,877-50}{64,877}.0,003.200000$

$= 137,586$ Mpa $< fy = 400$ Mpa

Dengan demikian anggapan yang digunakan benar.

$a \quad = \beta_1.c$

$= 0,85.\ 64,877 = 55,145$ mm

$C_c \quad = (0,85.fc').a.b$

$= (0,85.25).55,145.300$

$= 351549,375$ N

$C_T \quad = As'.fs'$

$= 760,266.137,586$

$= 104601,958$ N

Cek, $\quad TS = C_c + C_T$

$As.fy = C_c + C_T$

$1140,39.400 = 351549,375$ N $+ 104601,958$ N

456156 N $= 456156$ N $\longrightarrow$ Ok

Kapasitas momen penampang balok

$Mn_1 \quad = Cc.\left(d - \frac{a}{2}\right)$

$$= 351549,375.\left(550 - \frac{55,145}{2}\right)$$

$= 183659061,1$ Nmm

$Mn_2 \quad = C_T.(d - d')$

$= 104601,958.(550 - 50)$

$= 52300979$ Nmm

$Mn \quad = Mn_1 + Mn_2$

$= 183659061,1 + 52300979$

$= 235960040$ Nmm

$\phi Mn \quad > Mu$

0,8. 235960040 Nmm > 126667320 Nmm

188768032 Nmm > 126667320 Nmm ⟶ Ok

Dengan demikian balok lapangan aman terhadap lentur.

Berdasarkan syarat mengenai tulangan lentur tarik minimal di sepanjang bentang balok pasal 23.3(2(1)), tiap potongan balok harus ada tulangan.

$$As_{min} = \frac{1,4.bw.d}{fy}$$

$$= \frac{1,4.300.550}{400}$$

$= 577,5$ mm^2

$As \quad > As_{min}$

$$As_{pakai} = 3.\frac{1}{4}.\pi.d^2$$

$= 1140,398$ mm^2 > 577,5 mm^2 ⟶ Ok

Berdasarkan pasal 23.3(2(2)), kuat momen positif terpasang di muka kolom > 50% kuat momen negatifnya.

M (+) = 188768032 Nmm

M (-) = 188768032 Nmm

M (+) > 50% M (-)

188768032 Nmm > 0,5. 188768032 Nmm

188768032 Nmm > 94384016 Nmm ⟶ Ok.

Disetiap potongan sepanjang balok tidak boleh ada kuat momen positif/negative yang kurang dari $\frac{1}{4}$ M_{max}.

188768032 Nmm > $\frac{1}{4}$ 188768032 Nmm

188768032 Nmm > 47192008 Nmm ⟶ Ok.

Tiap potongan disepanjang balok baik sisi atas atau sisi bawah harus ada 2 batang tulangan yang diteruskan (pasal23.3(2(1)).

Berdasarkan pasal 23.5(1(4)), bila tulangan longitudinal balok melewati hubungan balok kolom, maka h atau d > 20 db (tulangan lentur)

d = 550 mm > 20.22 = 440 mm ⟶ Ok.

2. Kontrol balok terhadap lendutan

Lendutan balok diperhitungkan pada sisi penulangan lapangan.

$fc' = 25$ Mpa

$Ec = 4700.\sqrt{25} = 23500$ Mpa

$n = 3$

Pada lapangan balok diperhitungkan sebagai balok persegi biasa dengan dimensi :

b = 300 mm

h = 600 mm

d = 550 mm

d' = 50 mm

As = 1140,39 mm^2

As' = 760,266 mm^2

M_{max} = 126667320 Nmm.

M_{DL} = 16107030 Nmm

M_{LL} = 9568321 Nmm

Persamaan untuk mencari letak garis netral untuk balok persegi penulangan rangkap :

$$\frac{1}{2}.b.y^2 + n.As'.y - n.As'.d' - n.As.d + n.As.y = 0$$

$$\frac{1}{2}.300.y^2 + 3.760,266.y - 3.760,266.50 - 3.1140,39.550 + 3.1140,39.y = 0$$

$$150.y^2 + 2280,798.y - 114039,9 - 1881643,5 + 3421,17.y = 0$$

$$150.y^2 + 5701,968.y - 1995683,4 = 0$$

Untuk mendapatkan nilai y, maka digunakan rumus ABC :

y_1 = 97,89 mm

y_2 = -135,91 mm

Momen inersia penampang retak transformasi :

$$Icr = \frac{1}{3}.b.y^3 + n.As.(d-y)^2 + n.As'.(y-d)^2$$

$$= \frac{1}{3}.300.(97,89)^3 + 3.1140,39.(550-97,89)^2 + 3.760,266.(97,89-550)^2$$

$$= 93802623,6 + 699298958,2 + 466202984,7$$

$$= 12,593.10^8 \text{ mm}^4$$

Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang (Ig)

$$Ig = \frac{1}{12}.b.h^3$$

$$= \frac{1}{12}.300.600^3$$

$$= 54.10^8 \text{ mm}^4$$

Momen pada saat timbul retak pertama (Mcr)

$$Mcr = \frac{fr.Ig}{yt}$$

$$fr = 0,7.\sqrt{fc'} = 3,5 \text{ Mpa}$$

$$yt = \frac{1}{2}.h = \frac{1}{2}.600 = 300 \text{ mm}$$

$$Mcr = \frac{3,5.54.10^8}{300}$$

$$= 63000000 \text{ Nmm}$$

Beban-beban yang dianggap bekerja selama umur bangunan :

a. Baban mati (M_{DL})

b. Beban hidup (M_{LL})

c. Kombinasi II = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}

Sedangkan beban-beban yang dianggap mengakibatkan lendutan seketika adalah kombinasi beban gempa maksimal (M_{maks}).

Inersia efektif (Ie)

$$Ie = \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3 .Ig + \left(1 - \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3\right).Icr$$

Kondisi 1

Ma = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}

= (1,2. 16107030) + (1,6. 9568321)

= 34637749,6 Nmm

$$Ie = \left(\frac{63000000}{34637749,6}\right)^3 .54.10^8 + \left(1 - \left(\frac{63000000}{34637749,6}\right)^3\right).12,593.10^8$$

= 261,735. 10^8 Nmm^4

Kondisi II

Ma = M_{maks}

$$Ie = \left(\frac{63000000}{126667320}\right)^3 .54.10^8 + \left(1 - \left(\frac{63000000}{126667320}\right)^3\right).12,593.10^8$$

= 17,687. 10^8 mm^4

$$= \frac{5.16107030.5000^2}{48.23500.12,593.10^8}$$

$$= 1,417 \text{ mm}$$

Lendutan akibat kondisi I

$$\Delta c_1 \quad = \frac{5.(1,2.M_{DL} + 1,6M_{LL}).\ln^2}{48.Ec.Ie_1} - \frac{5.M_{DL}.\ln^2}{48.Ec.Icr}$$

$$= \frac{5.(34637749,6).5000^2}{48.23500.261,735.10^8} - \frac{5.16107030.5000^2}{48.23500.12,593.10^8}$$

$$= -\ 1,271 \text{ mm}$$

$$\Delta c_2 \quad = \frac{5.M_{maks}.\ln^2}{48.Ec.Ie_2} - \frac{5.M_{DL}.\ln^2}{48.Ec.Icr}$$

$$= \frac{5.126667320.5000^2}{48.23500.17,687.10^8} - \frac{5.16107030.5000^2}{48.23500.12,593.10^8}$$

$$= 6,519 \text{ mm}$$

Lendutan jangka panjang

$$\Delta_{LT} \quad = \Delta_{DL}.\left(\frac{\xi}{1+50.\rho}\right) + \Delta c_1.\left(\frac{\xi}{1+50.\rho}\right) + \Delta c_2$$

Nilai faktor ξ untuk umur 5 tahun atau lebih = 2

$$\rho \quad = \frac{As'}{b.d} = \frac{760,266}{300.550} = 0,0046$$

$$\Delta \quad = 1,417\left(\quad 2 \quad\right) + 1,271\left(\quad \xi \quad\right) + 6,519$$

Lendutan yang diizinkan berdasarkan nilai yang tertera pada tabel :

$$\frac{l}{180} = \frac{5000}{180} = 27{,}778 \text{ mm} \quad > \quad \Delta c_1 = -1{,}271 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{360} = \frac{5000}{360} = 13{,}889 \text{ mm} \quad > \quad \Delta c_2 = 6{,}519 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{480} = \frac{5000}{480} = 10{,}417 \text{ mm} \quad < \quad \Delta_{LT} = 10{,}889 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{240} = \frac{5000}{240} = 20{,}883 \text{ mm} \quad > \quad \Delta_{LT} = 10{,}889 \text{ mm}$$

Dari nilai izin maksimum yang diperoleh, dapat diketahui bahwa balok aman terhadap lendutan.

3. Penulangan geser balok

Kuat geser rencana balok dihitung dengan persamaan :

$$\text{Vu} = \frac{Mpr_1 + Mpr_2}{\ln} \pm \frac{Wu.\ln}{2} \text{ atau;}$$

Gaya geser terfaktor akibat kombinasi terhadap 2 x beban gempa (Vce)

Keterangan :

[illegible] nominal tumpuan kiri dan kanan balok

fc' = 25 Mpa

fy = 240 Mpa

b. Penulangan geser daerah sendi plastis

Vu = 161787,234 N, B19 kombinasi 13 (1,2DL+LL-0,3Fx+Fy)

$$Vc = \frac{1}{6}.\sqrt{fc'}.bw.d$$

$$= \frac{1}{6}.\sqrt{25}.300.550$$

$$= 137500 \text{ N}$$

dengan menganggap Vc = 0

Koefisien reduksi, $\phi = 0,75$

$$Vs = \frac{Vu}{\phi}$$

$$= \frac{161787,234}{0,75}$$

$$= 215716,313 \text{ N}$$

Dengan memakai tulangan geser 2 Ø10 ($Av = 157,08$ mm^2)

$$= \frac{157,08.240.550}{100}$$

$= 207345,6$ N

Vn $= Vc + Vs_{pakai}$

$= 137500 + 207345,6$

$= 344845,115$ N

Cek kuat geser

$\phi Vn > Vu$

0,75. 344845,115 N > 161787,234 N

258633,836 N > 161787,234 N ⟶ Ok

Kontrol kuat geser nominal tidak boleh lebih besar dari Vs maksimum

$$Vs_{maks} = \frac{2}{3}.bw.d.\sqrt{fc'}$$

$$= \frac{2}{3}.300.550.\sqrt{25}$$

= 550000 N > 207345,6 N ⟶ Ok

Berdasarkan pasal 23.3(3), sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

Spasi tulangan maksimum (S_{maks}) :

$\frac{1}{4}.d$	$= \frac{1}{4}.550$	= 137,5 mm
8. Ø tulangan lentur	= 8. 22	= 176 mm
24. Ø tulangan geser	= 24. 10	= 240 mm

c. Penulangan geser daerah luar sendi

Vu pada jarak 2.h = 1200 mm = 149783,9 N

$$Vc = \frac{1}{6}.\sqrt{fc'}.bw.d$$

$$= \frac{1}{6}.\sqrt{25}.300.550$$

$$= 137500 \text{ N}$$

Dengan memakai tulangan geser 2 Ø10 (Av = 157,08 mm^2)

S_{pakai} = 150 mm < S_{maks}

$$Vs_{pakai} = \frac{Av.fy.d}{150}$$

$$= \frac{157,08.240.550}{150}$$

$$= 138230,4 \text{ N}$$

$$Vn = Vc + Vs_{pakai}$$

$$= 137500 + 138230,4$$

$$= 275730,4 \text{ N}$$

Cek kuat geser

ϕVn > Vu

0,75. 275730,4 N > 149783,9 N

206797,557 N > 149783,9 N ⟶ Ok

Dengan demikian balok aman terhadap geser

4. Penulangan torsi balok

Tu = 11413348 Nmm

Vu = 161787,234 N

b = 300 mm

h = 600 mm

fc' = 25 Mpa

$$\frac{\phi.\sqrt{fc'}}{12}.\left(\frac{A_{cp}^{\ 2}}{P_{cp}}\right) > \text{Tu}$$

A_{cp} = b.h = 300. 600 = 180000 mm^2

P_{cp} = 2. (b + h) = 2. (300 + 600) = 1800 mm

$$\frac{\phi.\sqrt{fc'}}{12}.\left(\frac{A_{cp}^{\ 2}}{P_{cp}}\right) = \frac{0,75.\sqrt{25}}{12}.\left(\frac{180000^2}{1800}\right)$$

= 5625000 Nmm < 11413348 Nmm

Tulangan torsi diperlukan

Menghitung properti penampang

Dengan selimut beton 50 mm dan sengkang Ø 10

$$x_1 = 300 - 2\left(50 + \frac{10}{2}\right) = 190 \text{ mm}$$

$$y_1 = 600 - 2\left(50 + \frac{10}{2}\right) = 490 \text{ mm}$$

A_{oh} = (x_1. y_1) = (190. 490) = 93100 mm^2

Ao = 0,85. A_{oh} = 0,85. 93100 = 79135 mm^2

d = 550 mm

Cek penampang

$$Vc = \frac{1}{6}.\sqrt{fc'}.bw.d$$

$$= \frac{1}{6}.\sqrt{25}.300.550$$

$$= 137500 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7.A_{oh}^{\ 2}}\right)^2} \leq \phi.\left(\frac{Vc}{bw.d} + 2.\frac{\sqrt{fc'}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{161787,234}{300.550}\right)^2 + \left(\frac{11413348.1360}{1,7.93100^2}\right)^2} \leq 0,75.\left(\frac{137500}{300.550} + 2.\frac{\sqrt{25}}{3}\right)$$

$$1,439 \text{ N/mm}^2 \leq 3,125 \text{ N/mm}^2$$

Penampang cukup besar.

Menentukan tulangan torsi transversal yang diperlukan :

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{11413348}{0,75} = 15217797,33 \text{ Nmm}$$

Asumsikan $\theta = 45°$

$$\frac{At}{S} = \frac{Tn}{2.Ao.fy.\cot\theta}$$

$$= \frac{15217797,33}{2.79135.400.1}$$

$= 0,2401$ mm^2/mm untuk 1 kaki dari sengkang

$= 326{,}536 \text{ mm}^2$

$$\text{Min Al} = \frac{5.\sqrt{fc'}.Acp}{12.fy_l} - \frac{At}{S}.Ph.\frac{fy_v}{fy_t}$$

$$= \frac{5.\sqrt{25}.180000}{12.400} - 0{,}2401.1360.\frac{400}{400}$$

$$= 610{,}964 \text{ mm}^2$$

$$\frac{At}{S} = 0{,}2401 \quad > \quad \frac{bw}{6.fy_v} = 0{,}125 \quad \text{Ok}$$

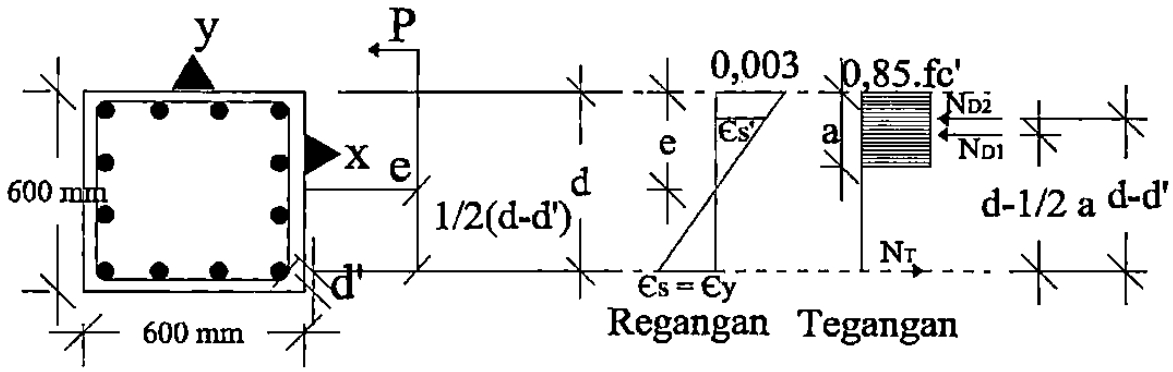
Tulangan longitudinal tambahan disebar pada keempat sudut bagian sengkang dan secara vertikal diantaranya. Asumsikan sepertiga di atas = $\frac{610{,}964}{3}$ = 203,655 mm^2.

Digunakan tulangan torsi 2 D13 (265,464 mm^2) untuk sisi samping

G. Penulangan Kolom

1. Penulangan akibat lentur dan aksial

Perencanaan kolom untuk tipe kolom K1 (600x600)



Gambar 5.3 Penampang dan Diagram Regangan-Tegangan Kolom

fc' = 25 Mpa

fy = 400 Mpa

h = 600 mm

a. Kontrol terhadap kelangsingan kolom

k = 1 (kedua ujung jepit ada gerak lateral)

Pu = 1198860,375 N, K37 kombinasi 2 (1,2DL+1,6LL)

M_{1b} = -146347312 Nmm

M_{2b} = 144249712 Nmm

r = 0,3. h

= 0,3. 600 = 180 mm

Goyangan struktur ditahan terhadap goyangan kesamping oleh plat lantai,

sehingga syarat kelangsingan dihitung dengan persamaan :

$$\frac{k.lu}{r} < \left(34-12\left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}}\right)\right)$$

$$\frac{k.lu}{r} = \frac{1.3400}{180} = 18{,}889$$

$$\left(34-12\left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}}\right)\right) = \left(34-12\left(\frac{-146347312}{144249712}\right)\right)$$

$$= 21{,}825 > 18{,}889$$

Dengan demikian efek kelangsingan dari kolom dapat diabaikan.

b. Gaya aksial maksimum kolom

Digunakan rasio tulangan (ρg) = 2 %, sehingga :

$Asg = 0{,}02.\ 600^2$

$= 7200\ mm^2$

Digunakan tulangan 16 D22

$Ast = 16.\frac{1}{4}.\pi.22^2$

$= 6082{,}123\ mm^2$

Dengan penulangan simetris pada arah x dan arah y, maka :

$As \quad = As'$

$= 5.\frac{1}{4}.\pi.22^2$

$= 1900{,}663 \text{ mm}^2$

Batas peningkatan faktor reduksi ϕ :

$\frac{h-2.d'}{h} \quad = \frac{600-2.550}{600}$

$= 0.83 > 0{,}65$

Maka ϕ untuk ϕPn < $0{,}1.fc'.Ag$ berlaku :

$\phi \quad = 0{,}8 - \frac{0{,}2.\phi.Pn}{0{,}1.fc'.Ag}$

$Ag \quad = 600.600 = 360000 \text{ mm}^2$

$0{,}1.fc'.Ag \quad = 0{,}1.\ 25.\ 360000 = 900000 \text{ N}$

Beban aksial maksimum ϕPn_{maks} yang dapat dipikul oleh kolom :

$\phi Pn_{maks} \quad = 0{,}8.\phi.(0{,}85.fc'.(Ag - Ast) + Ast.fy)$

$= 0{,}8.0{,}65.(0{,}85.25.(360000 - 6082{,}123) + 6082{,}123.400)$

$= 5175874{,}124 \text{ N} > 900000 \text{ N}$, ϕ tetap

c. Kuat momen kolom

Peninjauan terhadap kondisi seimbang sebagai batas kelelehan tulangan

$$cb = \frac{600}{600+fy}.d$$

$$= \frac{600}{600+400}.550$$

$$= 330 \text{ mm}$$

$$a = 0{,}85.cb$$

$$= 0{,}85.\ 330 = 280{,}5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon s' = \frac{cb-d'}{cb}.0{,}003$$

$$= \frac{330-50}{330}.0{,}003$$

$$= 0{,}00255 > \varepsilon y = 0{,}002$$

$$\varepsilon s' > \varepsilon y$$

$$fs' = fy$$

$$N_{D1} = 0{,}85.fc'.a.b$$

$$= 0{,}85.25.280{,}5.600$$

$$= 3576375 \text{ N}$$

$$N_{D2} = As'.(fy - 0{,}85.fc')$$

$$= 1900{,}663.(400 - 0{,}85.25)$$

$$= 719876{,}11 \text{ N}$$

$$NT = As.fy$$

$$= 1900{,}663.\ 400$$

$$= 760265{,}2 \text{ N}$$

Pn_b $= N_{D1} + N_{D2} + NT$

$= 3576375 + 719876{,}11 - 760265{,}2$

$= 3535985{,}91$ N

ϕPn_b $= 0{,}65.\ 3535985{,}91$

$= 2298390{,}841$ N $> Pu = 1198860{,}375$ N

Maka bila $Pu < Pn_b$ maka kolom mengalami kelelehan tarik.

Kemudian untuk batas dimana tulangan tekan mengalami peralihan leleh yaitu pada saat $\varepsilon s' = \varepsilon y = 0{,}0025$

$$c = \frac{\varepsilon c}{\varepsilon s'}.(cb - d')$$

$$= \frac{0{,}003}{0{,}00255}.(330 - 50)$$

$= 329{,}411$ mm

$$fs = \frac{d - c}{c}.600$$

$$= \frac{550 - 329{,}411}{329{,}411}.600$$

$= 401{,}788 = 400$ Mpa, asumsi benar

Kedua tulangan leleh

$fs = fs' = fy$

$$Pn = 0{,}85^2.fc'.c.b + As'.(fy - 0{,}85.fc') - As.fy$$

$= 0{,}85^2.25.329{,}411.600 + 1900{,}663.(400 - 0{,}85.25) - 1900{,}663.400$

ϕPn = 0,65. 3529602,622

= 2294241,704 N > Pu = 1198860,375 N

Pu < ϕPn maka kondisi kedua tulangan leleh.

Dengan demikian penampang kolom mampu menahan beban Pu.

2. Penulangan geser kolom

Perencanaan tulangan geser kolom K1 (600x600)

Vu = 106860,632 N, K32 kombinasi 4 (1,2DL+LL+Fx -0,3Fy)

Nu = 1198860,375 N

bw = 600 mm

d = 550 mm

hn = 3400 mm

fc' = 25 Mpa

fy = 240 Mpa

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton :

$$Vc = \left(1+\frac{Nu}{14.Ag}\right).\frac{\sqrt{fc'}}{6}.bw.d$$

$$Vc = \left(1+\frac{1198860,375}{14.600^2}\right).\frac{\sqrt{25}}{6}.600.550$$

= 340414 N

Digunakan tulangan 2 Ø10 jarak 100 mm pada rentang lo = 600 mm

$Vs_{pakai} = \frac{Av.fy.d}{S}$

$= \frac{157,08.400.550}{100}$

$= 207344,28$ N

$Vn = Vc + Vs_{pakai}$

$= 340414 + 207344,28$

$= 547759,124$ N

Cek kuat geser

$\phi Vn > Vu$

0,75. 547759,124 N > 106860,632 N

410819,343 N > 106860,632 N ⟶ Ok

Spasi tulangan maksimum (So) :

$\frac{1}{4}.d = \frac{1}{4}.550 = 137,5$ mm

8. Ø tulangan lentur = 8. 22 = 176 mm

24. Ø tulangan geser = 24. 10 = 240 mm

300 mm

Rentang lo diambil terbesar dari :

$\frac{1}{6}$. Tinggi bersih kolom $= \frac{1}{6}.3400 = 566,67$ mm

Dimensi terbesar penampang kolom = 600 mm

Digunakan tulangan 2 Ø10 jarak 150 mm pada rentang diluar lo = 600 mm

$$Vs_{pakai} = \frac{Av.fy.d}{S}$$

$$= \frac{157,08.400.550}{150}$$

$$= 138230,077 \text{ N}$$

$$Vn = Vc + Vs_{pakai}$$

$$= 340414 + 138230,077$$

$$= 478644,085 \text{ N}$$

Cek kuat geser

$\phi Vn > Vu$

0,75. 478644,085 N > 106860,632 N

358983,064 N > 106860,632 N ⟶ Ok

Dengan demikian kolom aman terhadap geser