BAB II
PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Penetapan SIstem Penahan Gaya Gempa

Merujuk pada ketentuan SNI 1726:2019, klasifikasi sistem struktur pada bangunan gedung terbagi ke dalam beberapa jenis, antara lain:

2.1.1 Sistem Pemikul Gaya Seismik (Seismik-Force-Resisting System).

Bagian dari struktur ini dirancang secara khusus untuk menopang beban gempa rencana sesuai standar regulasi bangunan yang berlaku, dengan mempertimbangkan kombinasi pembebanan yang relevan.

2.1.2 Sistem Rangka Pemikul Momen (Moment Frame).

Kerangka kerja struktural tempat elemen balok, kolom, pelat, dan sambungan (*joint*) bekerja bersama dalam merespons aksi gaya aksial, geser, serta momen lentur.

2.1.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Sistem ini mencakup rakitan balok-kolom atau pelat-kolom (baik metode *cast-in-situ* maupun *precast*) yang memenuhi kriteria tertentu. Secara spesifik, skema ini ditujukan bagi struktur gedung yang tergolong dalam Kategori Desain Seismik (KDS) B.

2.1.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Penggunaan rangka ini diwajibkan untuk struktur beton yang masuk dalam klasifikasi KDS C, D, hingga E. Adapun pada perencanaan Gedung Dr's Clinique, konfigurasi struktur yang diterapkan adalah SRPMK dengan tingkat kerentanan gempa kategori KDS D.

2.2 *Preliminary* Pelat

Fungsi utama pelat beton adalah menghadirkan bidang datar horizontal sebagai alas lantai, atap, maupun area struktur lain. Elemen ini dapat ditopang oleh dinding pemikul, balok, kolom, atau diletakkan langsung di atas permukaan tanah. Dalam sistem balok-pelat, pengerjaan pengecoran biasanya dilakukan secara bersamaan guna membentuk struktur yang terintegrasi penuh (*monolit*). Ketebalan nominal elemen pelat secara umum relatif jauh lebih tipis apabila dibandingkan dengan dimensi panjang

bentangannya. Rincian kriteria dan ketentuan estimasi dimensi ketebalan pelat disajikan pada **Tabel 2.1** berikut:

Tabel 2. 1 Perencanaan Dimensi Pelat

Tipe Pelat	Bentang Panjang L_y (mm)	Bentang Pendek L_x (mm)	Rasio Bentang (L_y/L_x)	Klasifikasi Sistem Pelat
A	3000	2325	1.29	2 Arah
B	3000	2000	1.5	2 Arah
C	3000	2200	1.36	2 Arah
D	3000	1300	2.31	1 Arah
E	2075	2000	1.04	2 arah
F	2325	2075	1.12	2 Arah
G	2200	2075	1.06	2 Arah
H	2075	1300	1.6	2 Arah
I	2500	2000	1.25	2 Arah
J	2500	2325	1.07	2Arah
K	2500	2200	1.14	2 Arah
L	2500	2300	1.92	2 Arah
M	2500	2000	2	2 Arah
N	2325	2000	1.16	2 Arah
O	2200	2000	1.1	2 Arah
P	2000	1300	1.54	2 Arah

Penentuan batas minimum ketebalan pelat mengacu pada acuan *SNI 2874:2019* sesuai dengan tabel di atas. Berdasarkan acuan tersebut, tebal minimum untuk pelat masif satu arah non-prategang yang ditetapkan adalah sebesar **125 mm** (atau **12,5 cm**)*. Rincian data mengenai kalkulasi dan dimensi ketebalan pelat lantai disajikan secara komprehensif pada **Tabel 2.2 Estimasi Ketebalan Pelat**.

Tabel 2. 2 Ukuran Tebal Pelat

No.	Jenis Pelat	Ukuran Tebal
1.	Pelat Lantai	125 mm
2.	Pelat Tangga	140 mm
3.	Pelat Atap	100 mm

2.3 Perencanaan Pelat

Tujuan utama dari perancangan pelat lantai, atap, serta tangga adalah menjamin seluruh komponen tersebut sanggup memikul beban yang bekerja, sekaligus memenuhi standar keamanan dan tingkat kenyamanan struktur.

2.3.1 Perencanaan Pelat atap

Pelat merupakan komponen struktur mendatar yang menyalurkan pembebanan ke elemen balok dan kolom. Perancangan pelat dilakukan agar komponen ini dapat beroperasi secara optimal, aman, serta efisien dari segi biaya sesuai kriteria desain. Secara umum, sistem pelat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni pelat satu arah (*one-way slab*) dan pelat dua arah (*two-way slab*). Klasifikasi tipe pelat yang diaplikasikan pada struktur gedung ini disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Tipe Pelat Lantai

Tipe Pelat	Bentang Panjang L_y (mm)	Bentang Pendek L_x (mm)	Rasio Bentang (L_y/L_x)	Klasifikasi Sistem Pelat
A	3000	2325	1.29	2 Arah
B	3000	2000	1.5	2 Arah
C	3000	2200	1.36	2 Arah
D	3000	1300	2.31	1 Arah
E	2075	2000	1.04	2 arah
F	2325	2075	1.12	2 Arah
G	2200	2075	1.06	2 Arah
H	2075	1300	1.6	2 Arah
I	2500	2000	1.25	2 Arah

J	2500	2325	1.07	2Arah
K	2500	2200	1.14	2 Arah
L	2500	2300	1.92	2 Arah
M	2500	2000	2	2 Arah
N	2325	2000	1.16	2 Arah
O	2200	2000	1.1	2 Arah
P	2000	1300	1.54	2 Arah

2.3.2 Pembebanan Pelat Atap

Guna menghasilkan rancangan yang efisien dan memenuhi standar keamanan, besaran beban yang bekerja pada pelat atap perlu dihitung secara presisi. Adapun komponen pembebanan yang diperhitungkan pada bagian atap ini terdiri dari beban mati beserta beban hidup.

Tabel 2. 4 Gaya Dalam Geser

No.	Jenis Beban Mati	Berat Satuan	Tebal	Q (kN/m²)
1.	Berat Sendiri Pelat (kN/m2)	24	0.100	2,4
2.	Berat pasir (kN/m2)	18	0,05	0,90
3.	Berat plafon dan rangka (kN/m2)	0.2	-	0,2
4.	Berat Instalasi ME (kN/m2)	0,25	-	0,25

Berdasarkan rincian pembebanan pada Tabel 2.4, parameter beban mati total (Q_{DL}) dan beban hidup (Q_{LL}) untuk Pelat Atap P1 ditentukan sebagai berikut:

$DL = 24 \text{ kN/m}^3 \times 0{,}100 \text{ m} = 2{,}40 \text{ kN/m}^2$

$SIDL = 1{,}35 \text{ kN/m}^2$

$Q_{DL} = DL + SIDL = 2{,}40 + 1{,}35 = 3{,}75 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup Atap (Q_{LL}):

Merujuk pada *SNI 1727:2020* Tabel 4.3.1, beban hidup untuk pelat atap ditetapkan sebesar:Analisis Pembebanan Pelat P1

$Q_{DL} = DL + SIDL = 2{,}40 + 1{,}35 = 3{,}75$ kN/m^2

$Q_{LL} = 0{,}90$ kN/m^2

$Q_u = 1{,}2 \cdot Q_{DL} + 1{,}6 \cdot Q_{LL}$

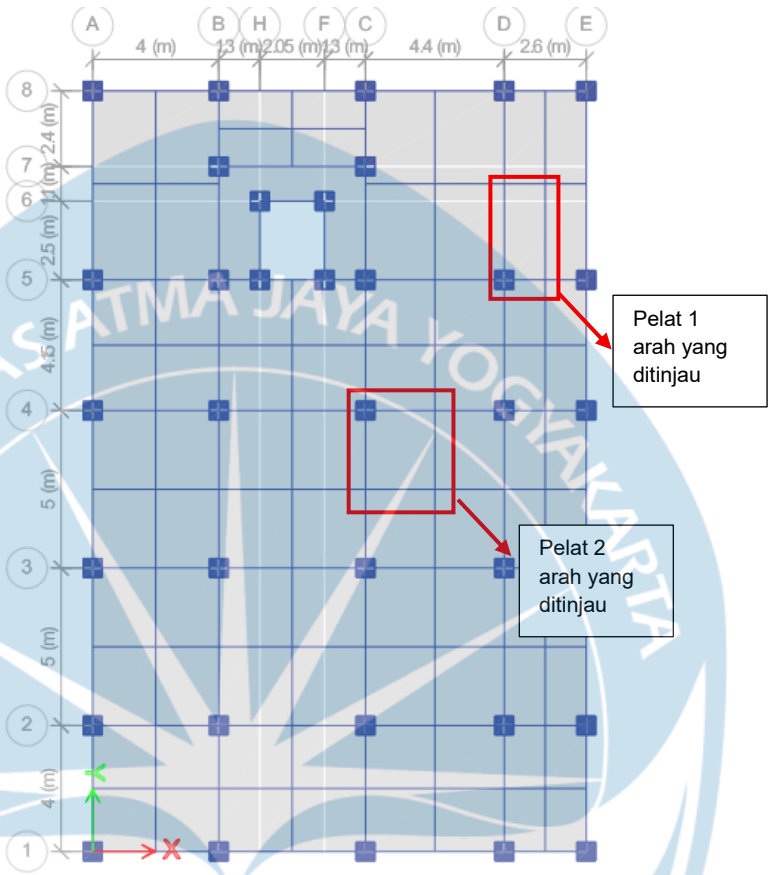
$SIDL = 1{,}35$ kN/m^2

$Q_{LL} = 0{,}90$ kN/m^2

Kombinasi Pembebanan Rencana Terfaktor (Q_u)

$Q_u = (1{,}2 \times 3{,}75) + (1{,}6 \times 0{,}90) = 4{,}50 + 1{,}44 = 5{,}94$ kN/m^2

Rekapitulasi Parameter Pembebanan Pelat P1



Gambar 2. 1 Pelat 1 Arah Dan 2 Arah Yang Ditinjau

QDL = 3,75 kN/m^2
QLL = 0,9 kN/m^2
Qu = 1,2 QDL + 1,6 QLL = 1,2 x 3,75 + 1,6 x 0,9 = 5,94 kN/m^2
$DL = 24\ \text{kN/m}^3 \times 0{,}100\ \text{m} = 2{,}40\ \text{kN/m}^2$
$SIDL$ = 1,35 kN/m^2
Q_{LL} = 0,9 kN/m^2

2.3.3 Analisis Kapasitas Lentur Pelat Atap Satu Arah (*One-Way Roof Slab*)

Perhitungan Momen Kapasitas Lentur

Kalkulasi Momen Lentur Terfaktor Bentang Utama (Sumbu Pendek)

Momen Lentur Negatif $= Ma^- = \frac{Qu.la^2}{12} = \frac{5{,}94 \times 1{,}3^2}{12} = 0{,}71\ \text{kN/m}^2$

Momen Lentur Positif $= Ma^+ = \frac{Qu.la^2}{16} = \frac{5{,}94 \times 1{,}3^2}{16} = 0{,}53\ \text{kN/m}^2$

Perhitungan Geser

Vu $= \frac{Qu.Ln}{2} = \frac{5{,}94 \times 1{,}3}{2} = 3{,}56\ kN$

2.3.4 Properti Material dan Penampang Pelat 1 Arah

Panjang Pelat Arah Sumbu 1 (L1) = 1300 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2 (L2) = 2950 mm

Tebal Pelat (t) = 125 mm

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Selimut Bersih (Cc) = 20 mm (SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1)

Tebal Fektif Penampang $= h - Cc - ds - \frac{db}{2}$

$= 125 - 20 - 10 - \frac{10}{2}$

$= 100\ mm$

Kuat Tekan Beton (fc') = 30 MPa

Kuat Leleh Tulangan (fy) = 420 MPa

Modulus Elastisitas Beton (Ec) $= 4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{30} = 25742{,}96\ MPa$

Faktor Material Beton (β_1) = 0,85 (SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

Faktor Modifikasi (λ) = 1 (Asumsi menggunakan beton normal)

(SNI 2847:2019 tabel 25.4.24)

2.3.5 Rekapitulasi Gaya Dalam Pelat Satu Arah

Besarnya gaya-gaya dalam terfaktor berupa momen lentur nominal dan gaya geser rencana yang dihasilkan dari kalkulasi analisis kapasitas Pelat P1 dirangkum sebagai berikut:

Momen negatif arah pendek = -0,94 kN-m

Momen positif arah pendek = 0,70 kN-m

Vu = 4,33 kN

Penulangan Lentur Tulangan Pokok Pelat 1 Arah

Tumpuan

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times 0{,}71\times 10^6}{1{,}7\times 0{,}9\times 30\times 1000\times 100^2}}\right] = 0{,}000188$$

As perlu = $\rho.b.d = 0{,}000249\times 1000\times 100 = 18{,}8$ mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225 = 349{,}07$ mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(1) 3h = 375 mm

(2) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2) = 261{,}8$ mm^2

$$a = \frac{As \times f'c}{0{,}85 \times fy \times b} = \frac{261{,}8 \times 30}{0{,}85 \times 420 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

= 10212745,1 Nmm = 10,213 kNm

$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$

Lapangan

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$= \frac{0,85 \times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 0,53 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 30 \times 1000 \times 100^2}}\right] = 0,000140$

As perlu = $\rho . b . d = 0,0004006 \times 1000 \times 100 = 14$ mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= 1000×(0,25× $\pi \times 10^2$)/225 = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(1) 3h = 375 mm

(2) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = 1000/300 ×(0,25× $\pi \times 10^2$) = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{261,8 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{4,314}{0,8357} = 5,16\ mm$$

$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0,003}{5,16}(125 - 5,16)$ =0,0697 > 0,005 OK

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

$$= 0,85 \times 30 \times 4,314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4,314}{2}\right)$$

= 0,9 × 10212745,1 Nmm = 9,19 kNm

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Pemeriksaan Kapasitas Geser Nominal Beton (V_c)

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 22.5.5.1, kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pelat tanpa tulangan geser dihitung untuk lebar tinjauan $b = 1000$ mm, tinggi efektif $d = 100$ mm, dan mutu beton $f'_c = 30$ MPa:

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 100 \times 10^{-3} = 93,11 \text{ kN}$$

Faktor Reduksi Strength Geser (ϕ):

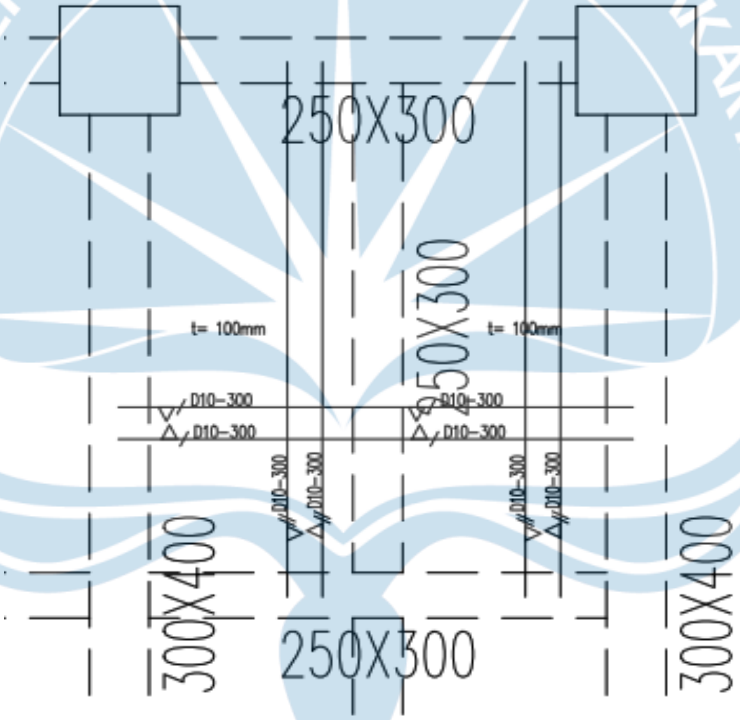
Merujuk pada *SNI 2847:2019* Tabel 21.2.1, faktor reduksi kekuatan untuk gaya geser adalah $\phi = 0{,}79$

Ambang Batas Minimum Geser Beton ($0{,}5 \cdot \phi V_c$):

$0{,}5 \cdot \phi V_c = 0{,}5 \times 0{,}75 \times 93{,}11 \text{ kN} = 41{,}89 \text{ kN}$

Evaluasi Kebutuhan Tulangan Geser Pelat

$V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c \Longrightarrow 4{,}33 \text{ kN} \leq 34{,}92 \text{ kN}$ (Tidak Memerlukan Tulangan Geser / OK)



Gambar 2. 2 Penulangan Plat Atap 1 Arah

2.3.6 Perhitungan Pelat Atap 2 Arah

Perhitungan Momen Kapasitas Lentur

Arah Pendek

Momen Negatif arah pendek $= Ma^{-} = \frac{Qu.la^2}{18} = \frac{5{,}94 \times 2{,}2^2}{18} = 1{,}59$ kN/m^2

Momen positif arah pendek $= Ma^{+} = \frac{Qu.la^2}{35} = \frac{5{,}94 \times 2{,}2^2}{35} = 0{,}76$ kN/m^2

α arah pendek = 0,6

Arah Panjang

Momen Negatif Arah Panjang $= Ma^{-} = \frac{Qu.lb^2}{25} = \frac{5{,}94 \times 2{,}5^2}{25} = 1{,}49$ kN/m^2

Momen Positif Arah Panjang $= Ma^{+} = \frac{Qu.lb^2}{50} = \frac{5{,}94 \times 2{,}5^2}{50} = 0{,}74$ kN/m^2

α arah 14anjang = 0,4

Perhitungan Geser

Arah Pendek

Vu $= \frac{\propto.Qu.Ln}{2} = \frac{0{,}6 \times 5{,}94 \times 2{,}2}{2} = 3{,}92\ kN$

Arah Panjang

Vu $= \frac{\propto.Qu.Ln}{2} = \frac{0{,}4 \times 5{,}94 \times 2{,}5}{2} = 2{,}97\ kN$

2.3.7 Properti Material dan Penampang Pelat 2 Arah

Panjang Pelat Arah Sumbu 1 (L1) = 2200 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2 (L2) = 2500 mm

Tebal Pelat (t) = 125 mm

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Selimut Bersih (Cc) = 20 mm (SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1)

Tebal Fektif Penampang $= h - Cc - ds - \frac{db}{2}$

$= 125 - 20 - 10 - \frac{10}{2}$

$= 100\ mm$

Kuat Tekan Beton (fc') = 30 Mpa

Kuat Leleh Tulangan (fy) = 420 Mpa

Modulus Elastisitas Beton (Ec) = $4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{25} = 23500\ MPa$

Faktor Material Beton (β_1) = 0,85 (SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

Faktor Modifikasi (λ) = 1 (Asumsi menggunakan beton normal)

(SNI 2847:2019 tabel 25.4.24)

2.3.8 Gaya Dalam Pelat 2 Arah

Gaya yang berupan momen dan gaya geser yang didapat dari pelat P1 dengan Perhitungan Momen Kapasitas Lentur.

Momen negatif arah pendek = -1,59 kN-m

Momen positif arah pendek = 0,76 kN-m

Vu = 4,40 kN

Momen negative arah panjang = -1,49 kN-m

Momen momen positif arah Panjang = 0,74 kN-m

Vu = 3,33 kN

Penulangan Lentur Tulangan Pokok Pelat 2 Arah

Tumpuan (Arah Memendek)

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times 1{,}59\times 10^6}{1{,}7\times 0{,}9\times 30\times 1000\times 100^2}}\right] = 0{,}000475$$

As perlu = $\rho.b.d = 0{,}000475\times 1000\times 100$ = 47,5 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225$ = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(1) 3h = 375 mm

(2) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2)$ = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16)$ =0,0697 > 0,005 OK

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

= 0,9 × 10212745,1 Nmm = 9,19 kNm

$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$

Lapangan (Arah Memendek)

$$\rho = \frac{0{,}85 f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85 \times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 0{,}76 \times 10^6}{1{,}7 \times 0{,}9 \times 30 \times 1000 \times 100^2}}\right] = 0{,}0002439$$

As perlu = $\rho . b . d$ = 0,0002439×1000× 100 = 24,39 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= 1000×(0,25× $\pi \times 10^2$)/225 = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(1) 3h = 375 mm

(2) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = 1000/300 ×(0,25× $\pi \times 10^2$) = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d-c) = \frac{0,003}{5,16}(125-5,16)$ =0,0697 > 0,005 OK

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

$$= 0,85 \times 30 \times 4,314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4,314}{2}\right)$$

= 0,9 × 10212745,1 Nmm = 9,19 kNm

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Pengecekan Kapasitas Geser

Kapasitas Geser Beton

Vc = $0,17\sqrt{fc'}\ b\ d$ = 0,17 × $\sqrt{30}$ × 1000 × $\frac{100}{1000}$ = 93,11 kN

Faktor Reduksi (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

ϕ = 0,9

Batas Ambang Geser Pelat (SNI 2847:2019 pasal 7.6.3.1)

0,5 ϕ Vc = 0,5 x 0,9 x 93,11 = 41,89 kN

Cek Keperluan Tulangan Geser Pelat: Vu > 0,5 ϕ Vc = 41,89 kN > 4,40 kN (Tidak)

Tumpuan (Arah Memanjang)

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0,85\times30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times1,49\times10^6}{1,7\times0,9\times30\times1000\times100^2}}\right] = 0,0004434$$

As perlu = $\rho.b.d$ = 0,0009524×1000× 100 = 44,34 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= 1000×(0,25× π × 10^2)×225 = 349,07 mm^2

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(3) 3h = 375 mm

(4) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2)$ = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

= 0,9 × 10212745,1 Nmm = 9,19 kNm

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Lapangan (Arah Memanjang)

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times 0{,}74\ \times 10^6}{1{,}7\times 0{,}9\times 30\times 1000\times 100^2}}\right] = 0{,}0002130$$

As perlu = $\rho.b.d$ = 0,0002130×1000× 100 = 21,30 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225$ = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(5) 3h = 375 mm

(6) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2)$ = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

$$= 0{,}9 \times 10212745{,}1 \text{ Nmm} = 9{,}19 \text{ kNm}$$

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Pemeriksaan Kapasitas Geser Nominal Beton (V_c)

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 22.5.5.1, kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pelat tanpa tulangan geser dihitung untuk lebar tinjauan $b = 1000$ mm, tinggi efektif $d = 100$ mm, dan mutu beton $f'_c = 30$ MPa:

$$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 100 \times 10^{-3} = 93{,}11 \text{ kN}$$

Faktor Reduksi Strength Geser (ϕ):

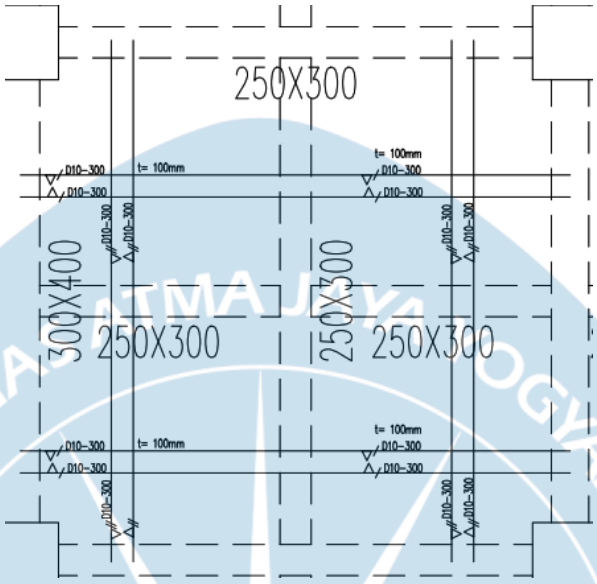
Merujuk pada *SNI 2847:2019* Tabel 21.2.1, faktor reduksi kekuatan untuk gaya geser adalah $\phi = 0{,}79$

Ambang Batas Minimum Geser Beton ($0{,}5 \cdot \phi V_c$):

$0{,}5 \cdot \phi V_c = 0{,}5 \times 0{,}75 \times 93{,}11 \text{ kN} = 41{,}89 \text{ kN}$

Evaluasi Kebutuhan Tulangan Geser Pelat

$V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c \Longrightarrow 4{,}33 \text{ kN} \leq 34{,}92 \text{ kN}$ (Tidak Memerlukan Tulangan Geser / OK)



Gambar 2. 3 Penulangan Plat Atap 2 Arah

2.3.9 Pembebanan Pelat Lantai

Penentuan beban yang bekerja pada pelat lantai dilakukan untuk menghasilkan rancangan elemen yang ekonomis namun tetap memenuhi standar keamanan. Adapun jenis beban yang ditinjau dalam perencanaan lantai ini terdiri atas beban mati dan beban hidup.

Beban Mati

Tabel 2. 5 Berat Satuan Lantai Tipikal

No.	Jenis Beban Mati	Berat Satuan	Tebal	Q (kN/m^2)
1.	Berat Sendiri Pelat (kN/m2)	24	0.125	3
2.	Berat pasir (kN/m2)	18	0,05	0,90
3.	Berat penutup lantai keramik (kN/m2)	24	0,02	0,48
4.	Berat Spesi penutup lantai (kN/m2)	23	0,03	0,69
5.	Berat plafon dan rangka (kN/m2)	0.2	-	0,2
6.	Berat Instalasi ME (kN/m2)	0,25	-	0,25

Berat Satuan Lantai Tipikal

DL = 3 kN/m^2

SIDL = 2,52 kN/m^2

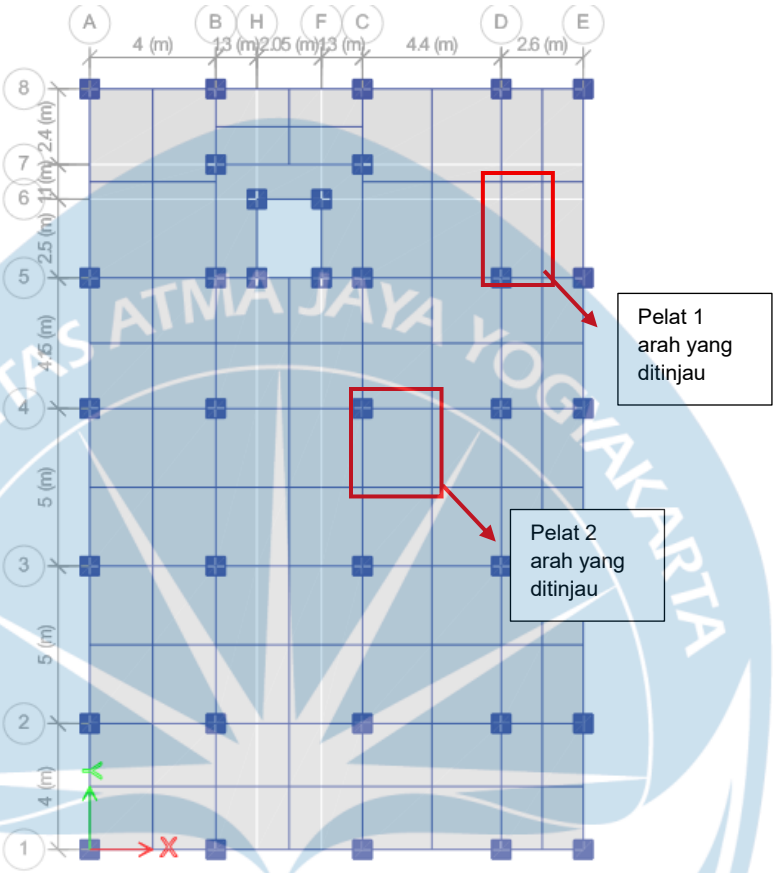
QDL = 5,52 kN/m

Beban Hidup

Berdasarkan acuan standar *SNI 1727:2020*, besaran kriteria beban hidup nominal yang bekerja pada penampang pelat lantai ditentukan sebesar:

$Q_{LL} = 4{,}79$ kN/m^2

Analisis Pembebanan Pelat P1



Gambar 2. 4 Pelat Lantai 1 Arah Dan 2 Arah Yang Ditinjau

QDL = 5,52 kN/m^2

QLL = 4,79kN/m^2

Qu = 1,2 QDL + 1,6 QLL = 1,2 x 1,65 + 1,6 x 4,79 = 14,288 kN/m^2

Berat Sendiri Pelat = 24 kN x 0,125 m = 3 kN/m^2

SIDL = 2,52 kN/m^2

LL = 4,79 kN/m^2

Pembeban Rencana Terfaktor

Qu = 1,2 QDL + 1,6 QLL = 1,2 x 5,52 + 1,6 x 4,79 = 14,288 kN/m^2

2.3.10 Perhitungan Pelat Lantai 1 Arah

Perhitungan Momen Kapasitas Lentur

Arah Pendek

Momen Negatif Arah Pendek = $Ma^- = \frac{Qu.la^2}{12} = \frac{14{,}288 \times 1{,}3^2}{12}$ = 2,01 kN/m^2

Momen Positif Arah Pendek = $Ma^+ = \frac{Qu.la^2}{16} = \frac{14{,}288 \times 1{,}3^2}{16}$ = 1,51 kN/m^2

Perhitungan Geser

Vu = $\frac{Qu.Ln}{2} = \frac{14{,}288 \times 1{,}3}{2} = 9{,}29\ kN$

2.3.11 Properti Material dan Penampang Pelat 1 Arah

Panjang Pelat Arah Sumbu 1 (L1) = 1300 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2 (L2) = 2950 mm

Tebal Pelat (t) = 125 mm

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Selimut Bersih (Cc) = 20 mm (SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1)

Tebal Fektif Penampang = $h - Cc - ds - \frac{db}{2}$

= $125 - 20 - 10 - \frac{10}{2}$

= $100\ mm$

Kuat Tekan Beton (fc') = 30 MPa

Kuat Leleh Tulangan (fy) = 420 MPa

Modulus Elastisitas Beton (Ec) = $4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{25} = 23500\ MPa$

Faktor Material Beton (β_1) = 0,85 (SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

Faktor Modifikasi (λ) = 1 (Asumsi menggunakan beton normal)

(SNI 2847:2019 tabel 25.4.24)

2.3.12 Gaya Dalam Pelat 1 Arah

Berikut adalah gaya dalam berupa momen dan gaya geser yang diperoleh dari pelat P1 dengan Perhitungan Momen Kapasitas Lentur.

Momen negatif arah pendek = -2,01 kN-m

Momen positif arah pendek = 1,51 kN-m

Vu = 9,29 kN

Penulangan Lentur Tulangan Pokok Pelat 1 Arah

Tumpuan

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times2{,}01\times10^6}{1{,}7\times0{,}9\times30\times1000\times100^2}}\right] = 0{,}0005347$$

As perlu = $\rho.b.d = 0{,}0005347\times1000\times 100 = 53{,}47$ mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225 = 349{,}07$ mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(3) 3h = 375 mm

(4) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2) = 261{,}8$ mm^2

$$a = \frac{As \times f'c}{0{,}85 \times fy \times b} = \frac{261{,}8 \times 30}{0{,}85 \times 420 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

= 10212745,1 Nmm = 10,213 kNm

$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$

Lapangan

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times1{,}51\times10^6}{1{,}7\times0{,}9\times30\times1000\times100^2}}\right] = 0{,}0004006$$

As perlu = $\rho.b.d = 0{,}0004006\times1000\times 100 = 40{,}06$ mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225 = 349{,}07$ mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(3) 3h = 375 mm

(4) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang $= 1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2) = 261{,}8$ mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

$= 0{,}9 \times 10212745{,}1$ Nmm = 9,19 kNm

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Pemeriksaan Kapasitas Geser Nominal Beton (V_c)

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 22.5.5.1, kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pelat tanpa tulangan geser dihitung untuk lebar tinjauan $b = 1000$ mm, tinggi efektif $d = 100$ mm, dan mutu beton $f'_c = 30$ MPa:

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 100 \times 10^{-3} = 93{,}11$ kN

Faktor Reduksi Strength Geser (ϕ):

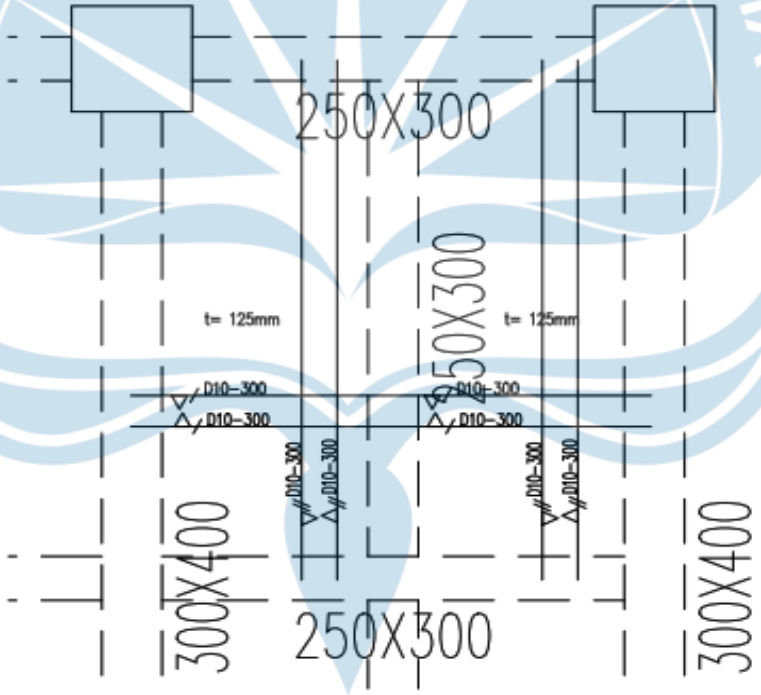
Merujuk pada *SNI 2847:2019* Tabel 21.2.1, faktor reduksi kekuatan untuk gaya geser adalah $\phi = 0{,}79$

Ambang Batas Minimum Geser Beton ($0{,}5 \cdot \phi V_c$):

$0{,}5 \cdot \phi V_c = 0{,}5 \times 0{,}75 \times 93{,}11$ kN $= 41{,}89$ kN

Evaluasi Kebutuhan Tulangan Geser Pelat

$V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c \Longrightarrow 4{,}33$ kN $\leq 34{,}92$ kN (Tidak Memerlukan Tulangan Geser / OK)



Gambar 2. 5 Penulangan Plat Lantai 1 Arah

2.3.13 Perhitungan Pelat Lantai 2 Arah
Perhitungan Momen Kapasitas Lentur
Arah Pendek

2.3.14 Perhitungan Pelat Lantai 2 Arah
Perhitungan Momen Kapasitas Lentur
Arah Pendek

Momen negatif arah pendek $= Ma^{-} = \frac{Qu.la^2}{18} = \frac{14{,}288 \times 2{,}2^2}{18} = 3{,}84$ kN/m^2

Momen positif arah pendek $= Ma^{+} = \frac{Qu.la^2}{35} = \frac{14{,}288 \times 2{,}2^2}{35} = 1{,}98$ kN/m^2

α arah pendek $= 0{,}6$

Arah Panjang

Momen Negatif Arah Panjang $= Ma^{-} = \frac{Qu.lb^2}{25} = \frac{14{,}288 \times 2{,}5^2}{25} = 3{,}57$ kN/m^2

Momen Positif Arah Panjang $= Ma^{+} = \frac{Qu.lb^2}{50} = \frac{14{,}288 \times 2{,}5^2}{50} = 1{,}79$ kN/m^2

α arah panjang $= 0{,}4$

Perhitungan Geser

Arah Pendek

Vu $= \frac{\propto.Qu.Ln}{2} = \frac{0{,}6 \times 14{,}288 \times 2{,}2}{2} = 9{,}43\ kN$

Arah Panjang

Vu $= \frac{\propto.Qu.Ln}{2} = \frac{0{,}4 \times 14{,}288 \times 2{,}5}{2} = 7{,}14\ kN$

2.3.15 Properti Material dan Penampang Pelat 2 Arah

Panjang Pelat Arah Sumbu 1 (L1) = 2200 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2 (L2) = 2500 mm

Tebal Pelat (t) = 125 mm

Diameter Tulangan (d_b) = 10 mm

Selimut Bersih (Cc) = 20 mm (SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1)

Tebal Fektif Penampang $= h - Cc - ds - \frac{db}{2}$

$= 125 - 20 - 10 - \frac{10}{2}$

$= 100\ mm$

Kuat Tekan Beton (fc') = 30 MPa

Kuat Leleh Tulangan (fy) = 420 MPa

Modulus Elastisitas Beton (Ec) = $4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{25} = 23500\ MPa$

Faktor Material Beton (β_1) = 0,85 (SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

Faktor Modifikasi (λ) = 1 (Asumsi menggunakan beton normal)

(SNI 2847:2019 tabel 25.4.24)

Gaya Dalam Pelat 2 Arah

Berikut adalah gaya dalam berupa momen dan gaya geser yang diperoleh dari pelat P1 dengan Perhitungan Momen Kapasitas Lentur.

Momen negatif arah pendek = -3,84 kN-m

Momen positif arah pendek = 1,98 kN-m

Vu = 9,43 kN

Momen negatif arah panjang = -3,57 kN-m

Momen positif arah panjang = 1,79 kN-m

Vu = 7,14 kN

Penulangan Lentur Tulangan Pokok Pelat 2 Arah

Tumpuan (Arah Memendek)

$$\rho = \frac{0{,}85f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times 3{,}84\times 10^6}{1{,}7\times 0{,}9\times 30\times 1000\times 100^2}}\right] = 0{,}0010250$$

As perlu = $\rho.b.d = 0{,}0010250\times 1000\times 100 = 102{,}5\ mm^2$

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225 = 349{,}07$ mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(5) 3h = 375 mm

(6) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2)$ = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\,mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

$$= 0{,}9 \times 10212745{,}1 \text{ Nmm} = 9{,}19 \text{ kNm}$$

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Lapangan (Arah Memendek)

$$\rho = \frac{0{,}85 f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c b d^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85\times 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\times 1{,}98\times 10^6}{1{,}7\times 0{,}9\times 30\times 1000\times 100^2}}\right] = 0{,}0005250$$

As perlu = $\rho.b.d = 0{,}0005250\times 1000\times 100$ = 52,50 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= $1000\times(0{,}25\times \pi \times 10^2)/225$ = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(5) 3h = 375 mm

(6) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = $1000/300 \times(0{,}25\times \pi \times 10^2)$ = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16)$ =0,0697 > 0,005 OK

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

= 0,9 × 10212745,1 Nmm = 9,19 kNm

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Pemeriksaan Kapasitas Geser Nominal Beton (V_c)

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 22.5.5.1, kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pelat tanpa tulangan geser dihitung untuk lebar tinjauan $b = 1000$ mm, tinggi efektif $d = 100$ mm, dan mutu beton $f'_c = 30$ MPa:

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 100 \times 10^{-3} = 93{,}11$ kN

Faktor Reduksi Strength Geser (ϕ):

Merujuk pada *SNI 2847:2019* Tabel 21.2.1, faktor reduksi kekuatan untuk gaya geser adalah $\phi = 0{,}79$

Ambang Batas Minimum Geser Beton ($0{,}5 \cdot \phi V_c$):

$0{,}5 \cdot \phi V_c = 0{,}5 \times 0{,}75 \times 93{,}11$ kN $= 41{,}89$ kN

Evaluasi Kebutuhan Tulangan Geser Pelat

$V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c \Longrightarrow 4{,}33$ kN $\leq 34{,}92$ kN (Tidak Memerlukan Tulangan Geser / OK)

Tumpuan (Arah Memanjang)

$$\rho = \frac{0{,}85 f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1{,}7\emptyset f'_c b d^2}}\right]$$

$= \frac{0,85\times30}{420}\left[1-\sqrt{1-\frac{4\times3,57\times10^6}{1,7\times0,9\times30\times1000\times100^2}}\right]$= 0,0009524

As perlu = $\rho.b.d$ = 0,0009524×1000× 100 = 95,24 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= 1000×(0,25× $\pi \times 10^2$)×225 = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(7) 3h = 375 mm

(8) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = 1000/300 ×(0,25× $\pi \times 10^2$) = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{261,8 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{4,314}{0,8357} = 5,16\,mm$$

$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d-c) = \frac{0,003}{5,16}(125-5,16)$ =0,0697 > 0,005 OK

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

$$= 0,85 \times 30 \times 4,314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4,314}{2}\right)$$

= 0,9 × 10212745,1 Nmm = 9,19 kNm

$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$

Lapangan (Arah Memanjang)

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{4M_u}{1,7\emptyset f'_c bd^2}}\right]$$

$= \frac{0,85\times30}{420}\left[1-\sqrt{1-\frac{4\times1,79\times10^6}{1,7\times0,9\times30\times1000\times100^2}}\right]$= 0,0004743

As perlu = $\rho.b.d$ = 0,0004743×1000× 100 = 47,43 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×125 = 225 mm^2

As perlu < As min, sehingga gunakan As min = 225 mm^2

S= 1000×(0,25× $\pi \times 10^2$)/225 = 349,07 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

(7) 3h = 375 mm

(8) 450 mm

Digunakan D10-300

As Terpasang = 1000/300 ×(0,25× $\pi \times 10^2$) = 261,8 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{261{,}8 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 4{,}314mm$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} = \frac{4{,}314}{0{,}8357} = 5{,}16\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{5{,}16}(125 - 5{,}16) = 0{,}0697 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 30 \times 4{,}314 \times 1000 \times \left(100 - \frac{4{,}314}{2}\right)$$

$$= 0{,}9 \times 10212745{,}1 \text{ Nmm} = 9{,}19 \text{ kNm}$$

$$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$$

Pemeriksaan Kapasitas Geser Nominal Beton (V_c)

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 22.5.5.1, kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pelat tanpa tulangan geser dihitung untuk lebar tinjauan $b = 1000$ mm, tinggi efektif $d = 100$ mm, dan mutu beton $f'_c = 30$ MPa:

$$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 100 \times 10^{-3} = 93{,}11 \text{ kN}$$

Faktor Reduksi Strength Geser (ϕ):

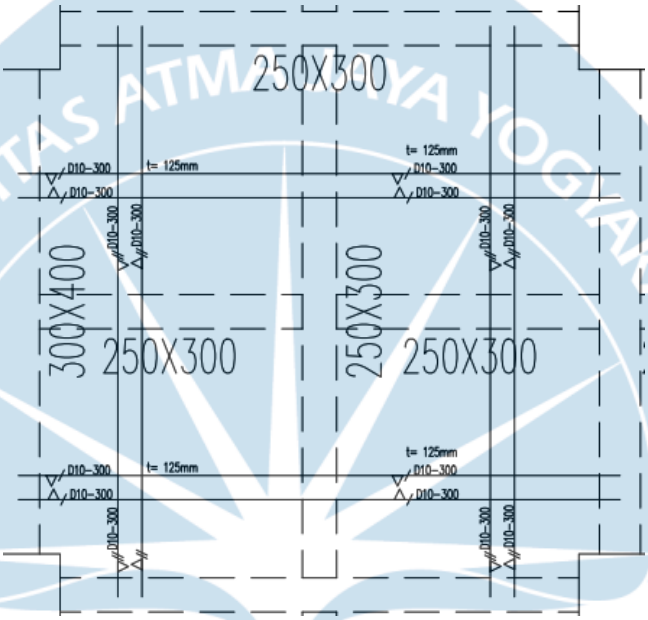
Merujuk pada *SNI 2847:2019* Tabel 21.2.1, faktor reduksi kekuatan untuk gaya geser adalah $\phi = 0{,}79$

Ambang Batas Minimum Geser Beton ($0{,}5 \cdot \phi V_c$):

$0{,}5 \cdot \phi V_c = 0{,}5 \times 0{,}75 \times 93{,}11 \text{ kN} = 41{,}89 \text{ kN}$

Evaluasi Kebutuhan Tulangan Geser Pelat

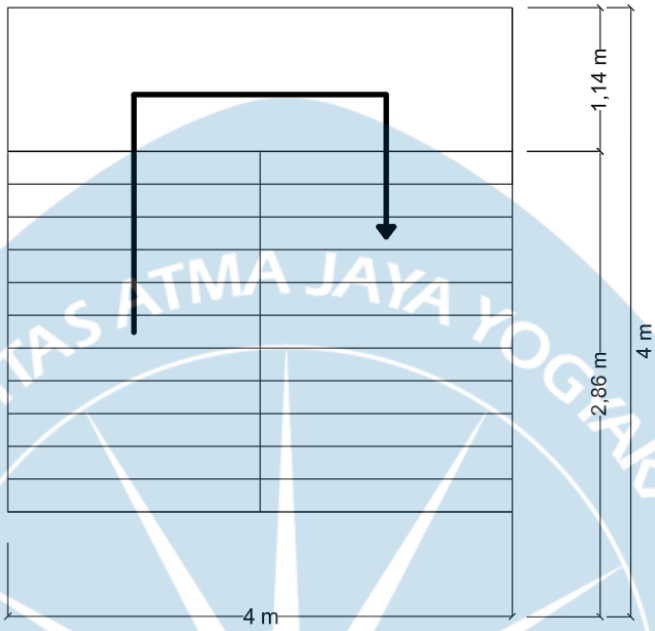
$V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c \Longrightarrow 4{,}33 \text{ kN} \leq 34{,}92 \text{ kN}$ (Tidak Memerlukan Tulangan Geser / OK)



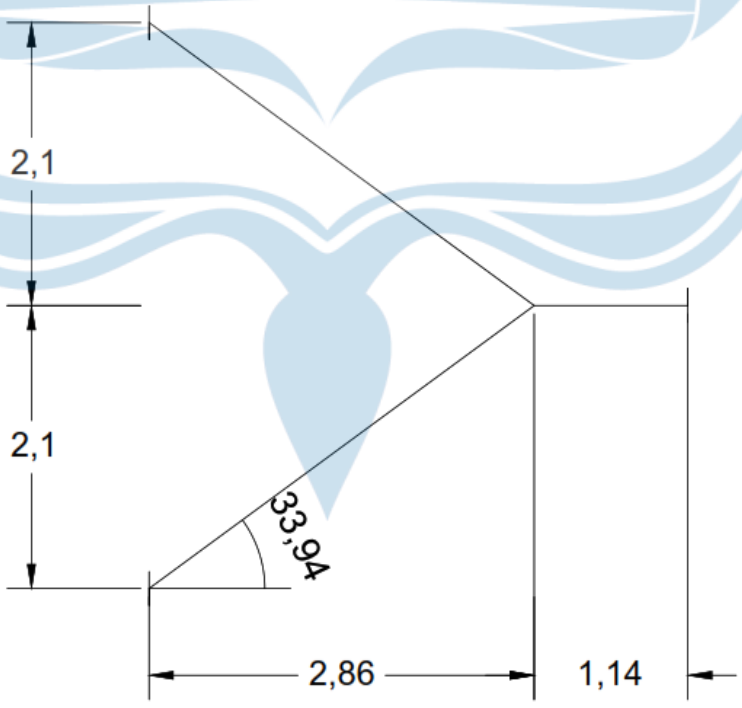
Gambar 2. 6 Penulangan Plat Lantai 2 Arah

2.4 Perencanaan Tangga

Desain tangga bertujuan untuk menciptakan sarana penghubung antarlantai yang aman, fungsional, serta memiliki nilai estetika. Tahapan perancangan ini mencakup penetapan tata letak, pemilihan konfigurasi tangga, perhitungan dimensi geometris (seperti tinggi antar-lantai, bentang tangga, lebar tangga, serta ukuran *optrede* dan *antrede*), hingga penentuan material struktur yang tepat. Visualisasi perencanaan tangga disajikan secara rinci pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11.



Gambar 2. 7 Gambar Rencana Tangga Tampak Atas



Gambar 2. 8 Gambar Rencana Tangga Tampak Samping

2.4.1 Perhitungan Tangga

Tinggi antar lantai (h): 4,20 m = 420 cm

Panjang ruang tangga (L): 4,00 m

Lebar efektif tangga (b): 2,00 m

Tinggi tanjakan / Optrade (O): 17,5 cm = 0,175 m

Lebar pijakan / Antrade (A): 26,0 cm = 0,26 m

Kalkulasi Jumlah Anak Tangga (n):

$$n = \frac{h}{O} - 1 = \frac{420}{17{,}5} - 1 = 24 - 1 = 23$$

Kalkulasi Lebar Bordes (b_o):

$$b_o = L - (0{,}5 \cdot (n-1) \cdot A) = 4{,}00 - (0{,}5 \times 22 \times 0{,}26) = 4{,}00 - 2{,}86 = 1{,}14 \text{ m}$$

Sudut Kemiringan Tangga (α):

$$\alpha = \arctan\left(\frac{O}{A}\right) = \arctan\left(\frac{0{,}175}{0{,}26}\right) = 33{,}94°$$

Diset tebal pelat tangga dan bordes konstan $t_b = 0{,}14$ m = 14 cm.

2.4.2 Pembebanan Tangga

Perhitungan permeter beban lebar tangga

Beban mati :

Berat Sendiri Pelat Miring	$= \frac{0{,}14}{\cos(33{,}94°)} \times 24$ kN/m^3	= 4,05 kN/m
Anak tangga	= 0,5 x 0,175 x 24	= 0,55 kN/m
Finishing Tegel (2 cm)	= 0,02 x 21	= 0,42 kN/m
Finishing Spesi (2 cm)	= 0,02 x 21	= 0,42 kN/m
Railing Tangga		= 0,89 kN/m
	qDL	= 6,33 kN/m

Beban hidup : qLL = 4,79 kN/m

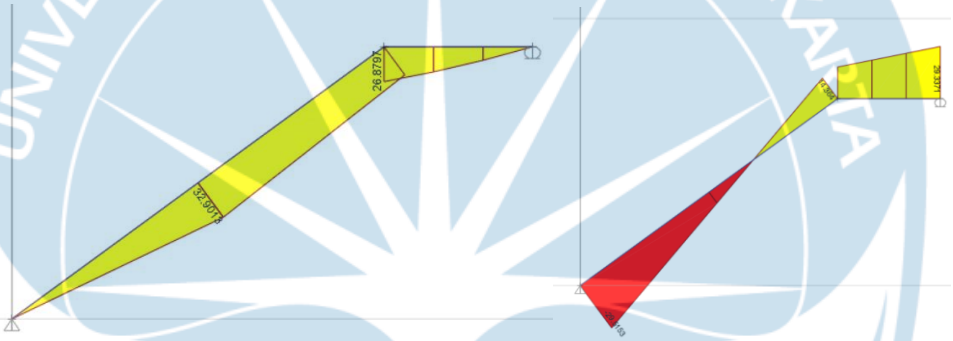
Perhitungan permeter beban lebar bordes

Beban mati :

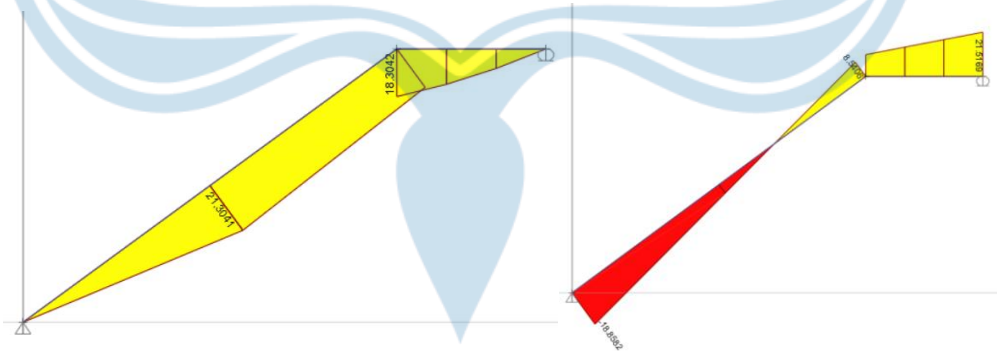
Berat sendiri	= 0,14 x 24	= 3,36 kN/mm
Tegel (2 cm)	= 0,02 x 21	= 0,42 kN/m
Spesi (2 cm)	= 0,02 x 21	= 0,42 kN/m
Railing		= 0,89 kN/m
	qDL	= 5,09 kN/m

Beban hidup : qLL = 4,79 kN/m

2.4.3 Reaksi Momen dan Geser Tangga



Gambar 2. 9BMD dan SFD tangga berdasarkan DL



Gambar 2. 10 BMD dan SFD tangga berdasarkan LL

M_{DL} = 32,90 kNm

M_{LL} = 21.30 kNm

$M_{u,\text{tangga}} = (1{,}2 \times 32{,}90) + (1{,}6 \times 21{,}30) = 39{,}48 + 34{,}08 = 73{,}56$ kNm

V_{DL} = 29,51 kN

V_{LL} = 21,52 kN

$V_{u,\text{tangga}} = (1{,}2 \times 29{,}51) + (1{,}6 \times 21{,}52) = 35{,}412 + 34{,}432 = 69{,}84$ kN

2.4.4 Penulangan Tangga

Tulangan Tumpuan Tangga

M_u = M_{max} = 0,5 x 73,56 = 36,78 kNm

Data :

Tulangan Pokok Terencana D16

Kuat Tekan Beton Karakteristik (f'_c): 25 *MPa*

Tegangan Leleh Nominal Baja Tulangan (f_y): 420 MPa

Lebar Efektif Penampang Tinjauan (b_w): 1,0 m = 1000 mm

$d = h - p - (0{,}5 \cdot \emptyset) = 140 - 20 - (0{,}5 \times 16) = 112$ mm = 0,112 m

$$\rho = \frac{0{,}85 \cdot f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot M_u}{1{,}7 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot b_w \cdot d^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85 \times 25}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 36{,}78 \times 10^6}{1{,}7 \times 0{,}9 \times 25 \times 1000 \times 112^2}}\right] = 0{,}00846$$

As perlu = $\rho.b.d$ = 0,00846×1000× 112 = 948,07 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×140 = 252 mm^2

As perlu > As min, sehingga gunakan As perlu = 948,07 mm^2

S= 1000×(0,25× $\pi \times 16^2$)/948,07 = 212,16 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

a. 2h = 280 mm
b. 450 mm

Digunakan D16-200

As Terpasang = $1000/200 \times (0{,}25 \times \pi \times 16^2)$ = 1005 mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{1005 \times 420}{0{,}85 \times 25 \times 1000} = 16{,}56mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{16{,}56}{0{,}8357} = 19{,}816\ mm$$

$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{19{,}816}(140 - 19{,}816)$ =0,0182 > 0,005 OK

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

$$= 0{,}85 \times 25 \times 16{,}56 \times 1000 \times \left(100 - \frac{16{,}56}{2}\right)$$

= 0,9 × 43794114,58 Nmm = 39,41 kNm

$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$

Tulangan Lapangan Tangga

M_u = M_{max} = 0,5 x 73,56 = 58,85 kNm

Data :

Tulangan Pokok Terencana D16

Kuat Tekan Beton Karakteristik (f'_c): 25 *MPa*

Tegangan Leleh Nominal Baja Tulangan (f_y): 420 MPa

Lebar Efektif Penampang Tinjauan (b_w): 1,0 m = 1000 mm

$d = h - p - (0{,}5 \cdot \emptyset) = 140 - 20 - (0{,}5 \times 16) = 112$ mm = 0,112 m

$$\rho = \frac{0{,}85 \cdot f'_c}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot M_u}{1{,}7 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot b_w \cdot d^2}}\right]$$

$$= \frac{0{,}85 \times 25}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 58{,}85 \times 10^6}{1{,}7 \times 0{,}9 \times 25 \times 1000 \times 112^2}}\right] = 0{,}01448$$

As perlu = $\rho.b.d$ = 0,01448×1000× 112 = 1622,22 mm^2

As min = 0,0018.b.h = 0,0018×1000×140 = 252 mm^2

As perlu > As min, sehingga gunakan As perlu = 1622,22 mm^2

S= $1000 \times (0{,}25 \times \pi \times 16^2)/1622{,}22$ = 123,99 mm

Cek syarat spasi tulangan maksimum :

a. 2h = 280 mm
b. 450 mm

Digunakan D16-100

As Terpasang = $1000/100 \times (0{,}25 \times \pi \times 16^2) = 2010$ mm^2

$$a = \frac{As \times fy}{0{,}85 \times f'c \times b} = \frac{2010 \times 420}{0{,}85 \times 25 \times 1000} = 33{,}12mm$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{33{,}12}{0{,}8357} = 39{,}64\ mm$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{39{,}64}(140 - 33{,}12) = 0{,}00809 > 0{,}005 \text{ OK}$$

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

$$= 0{,}85 \times 25 \times 33{,}12 \times 1000 \times \left(100 - \frac{33{,}12}{2}\right)$$

$= 0{,}9 \times 80596926{,}51$ Nmm = 72,54 kNm

$\emptyset M_n > M_{u-}\ OKE$

Tulangan Susut

As min = $\rho_{min} . b_w . h$ = 0,002 x 1000 x 120 = 240 mm^2

Digunakan tulangan P8

Jarak tulangan s = $\frac{1000 . 0{,}25 . \pi . 8^2}{240}$ = 209,44 mm ~ 200 mm

Digunakan tulangan P18 – 200

Pemeriksaan Kapasitas Geser Nominal Pelat (V_c)

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 112\right) \times 10^{-3} = 93{,}33 \text{ kN}$$

Evaluasi Kebutuhan Sengkang ($V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c$):

$0{,}5 \cdot \phi V_c = 0{,}5 \times 0{,}75 \times 93{,}33$ kN $= 35{,}00$ kN

Cek Vu < Ø Vc = 69,84/2 < 0,75 x 95,2

Dengan gaya geser terfaktor $V_u = 24{,}407$ kN:
$V_u \leq 0{,}5 \cdot \phi V_c \Longrightarrow 24{,}407$ kN $\leq 35{,}00$ kN

Penulangan Balok Bordes

Dimensi balok bordes yang dirancangkan adalah $b_w \times h = 25$ cm $\times$ 40 cm (250 mm $\times$ 400 mm).

Beban mati :

Beban Dinding Pasangan = 1,20 m $\times$ 4,00 kN/m^2 = 4,80 kN/m

Berat Sendiri Balok Beton = 0,25 m $\times$ 0,40 m $\times$ 24 kN/m^3 = 2,40 kN/m

Reaksi tangga per m lebar (R_B) = 21,862 kN/m

(q_{DL}) = 29,062 kN/m

Beban hidup :

qLL = 1,6 x 3 = 4,8 kN/m

$q_u = 1{,}2 \cdot q_{DL} + 1{,}6 \cdot q_{LL} = (1{,}2 \times 29{,}062) + (1{,}6 \times 3{,}00) = 39{,}674$ kN/m

2.4.5 Penulangan Lentur Tumpuan

Bentang Efektif Balok (L): 4,00 m

Lebar Balok (b_w): 250 mm

Tinggi Total Balok (h): 400 mm

Diameter Sengkang Rencana ($\emptyset_{sengkang}$): 10 mm

Diameter Tulangan Utama Rencana: **D16** ($\emptyset_{tulangan} = 16$ mm)

$d = h - p - \emptyset_{sengkang} - (0{,}5 \cdot \emptyset_{tulangan}) = 400 - 40 - 10 - (0{,}5 \times 16) = 342$ mm

$= 0{,}342$ m

Penulangan Negatif

$$M_u = \frac{1}{12} \cdot q_u \cdot L^2 = \frac{1}{12} \times 33{,}766 \times 4^2 = 45{,}021 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{45{,}021 \times 10^6}{0{,}9 \times 250 \times 342^2} = 1{,}711 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \left(\frac{0{,}85.f'c}{fy}\right).\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0{,}85.f'c}}\right]$$

$$= \left(\frac{0{,}85 \times 25}{420}\right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1{,}711}{0{,}85 \times 25}}\right]$$

$= 0{,}00425$

$$\rho_{\max 1} = 0{,}75 \cdot \left[0{,}85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)\right]$$

$$\rho_{\max 1} = 0{,}75 \times 0{,}85 \times 0{,}85 \times \frac{25}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420}\right) = 0{,}0190$$

$$\rho_{\max 2} = 0{,}0250$$

Maka, nilai rasio maksimum yang digunakan adalah $\rho_{\max} = 0{,}0190$.

$$\rho_{\min 1} = \frac{0{,}25 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{25}}{420} = 0{,}00298 \approx 0{,}0030$$

$$\rho_{\min 2} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{420} = 0{,}00333$$

Maka, nilai rasio minimum yang mengontrol adalah $\rho_{\min} = 0{,}00333$.

$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \Longrightarrow 0{,}0033 \leq 0{,}00425 \leq 0{,}0190$ (Memenuhi Syarat / OK)

$\rho_{\min}$ Digunakan $= 0{,}00425$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b_w \cdot d = 0{,}00425 \times 250 \times 342 = 363{,}375 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,\text{perlu}}}{A_{s1}} = \frac{363{,}375}{0{,}25 \cdot \pi \cdot 16^2} = \frac{363{,}375}{201{,}062} = 1{,}807 \approx 2 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan utama 2D-16

$$A_{s,\text{aktual}} = 2 \times (0{,}25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402{,}124 \text{ mm}^2$$

$A_{s,\text{aktual}} \geq A_{s,\text{perlu}} \Longrightarrow 402{,}124 \text{ mm}^2 \geq 363{,}375 \text{ mm}^2$ (Aman / OK)

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0{,}85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{402{,}124 \times 420}{0{,}85 \times 25 \times 250} = 31{,}79 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{31{,}79}{0{,}85} = 37{,}40 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d - c}{c}\right) \cdot \varepsilon_u = \left(\frac{342 - 37{,}40}{37{,}40}\right) \times 0{,}003$$

$= 0{,}0244 > 0{,}005$ (Penampang Terkontrol Tarik / $\boldsymbol{\phi = 0{,}90}$)

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0{,}90 \times 402{,}124 \times 420 \times \left(342 - \frac{31{,}79}{2}\right) \times 10^{-6} = 49{,}58 \text{ kNm}$$

$\phi M_n \geq M_u \Longrightarrow 49{,}58 \text{ kNm} \geq 45{,}021 \text{ kNm}$ (Aman / OK)

Penulangan Positif

$M_u = 0{,}25 \times \phi M_n = 0{,}25 \times 49{,}569 = 24{,}785 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$R_{n\,perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi . b_w . d^2}\right) = \left(\frac{24{,}785 \times 10^{-3}}{0{,}9 \times 0{,}25 \times 0{,}342^2}\right) = 0{,}942 \text{ kN/m}^2$

$\rho_{perlu} = \left(\frac{0{,}85 . f'c}{fy}\right) . \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 . R_n}{0{,}85 . f'c}}\right]$

$= \left(\frac{0{,}85 \times 25}{420}\right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0{,}942}{0{,}85 \times 25}}\right]$

$= 0{,}00229$

$$\rho_{max\,1} = 0{,}75 \cdot \left[0{,}85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)\right]$$

$$\rho_{max\,1} = 0{,}75 \times 0{,}85 \times 0{,}85 \times \frac{25}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420}\right) = 0{,}0190$$

$\rho_{max\,2} = 0{,}0250$

Maka, nilai rasio maksimum yang digunakan adalah $\rho_{max} = 0{,}0190$.

$$\rho_{min\,1} = \frac{0{,}25 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{25}}{420} = 0{,}00298 \approx 0{,}0030$$

$$\rho_{min\,2} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{420} = 0{,}00333$$

Maka, nilai rasio minimum yang mengontrol adalah $\rho_{min} = 0{,}00333$.

$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max} \Longrightarrow 0{,}0033 \leq 0{,}00425 \leq 0{,}0190$ (Memenuhi Syarat / OK)

ρ_{min} Digunakan $= 0{,}00425$

$A_{s,perlu} = \rho_{perlu} \cdot b_w \cdot d = 0{,}00425 \times 250 \times 342 = 363{,}375 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{s,perlu}}{A_{s1}} = \frac{363{,}375}{0{,}25 \cdot \pi \cdot 16^2} = \frac{363{,}375}{201{,}062} = 1{,}807 \approx 2 \text{ batang}$$

Digunakan tulangan utama 2D-16

$A_{s,aktual} = 2 \times (0{,}25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402{,}124 \text{ mm}^2$

$A_{s,\text{aktual}} \geq A_{s,\text{perlu}} \Longrightarrow 402{,}124\ \text{mm}^2 \geq 363{,}375\ \text{mm}^2$ (Aman / OK)

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0{,}85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{402{,}124 \times 420}{0{,}85 \times 25 \times 250} = 31{,}79\ \text{mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{31{,}79}{0{,}85} = 37{,}40\ \text{mm}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d-c}{c}\right) \cdot \varepsilon_u = \left(\frac{342 - 37{,}40}{37{,}40}\right) \times 0{,}003$$

$= 0{,}0244 > 0{,}005$ (Penampang Terkontrol Tarik / $\boldsymbol{\phi = 0{,}90}$)

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0{,}90 \times 402{,}124 \times 420 \times \left(342 - \frac{31{,}79}{2}\right) \times 10^{-6} = 49{,}58\ \text{kNm}$$

$\phi M_n \geq M_u \Longrightarrow 49{,}58\ \text{kNm} \geq 45{,}021\ \text{kNm}$ (Aman / OK)

Penulangan Negatif Lapangan

$M_u = 0{,}25 \times \phi M_n = 0{,}25 \times 49{,}569 = 12{,}392\ \text{kN} \cdot \text{m}$

$R_{n\ perlu} = \left(\frac{M_u}{\phi . b_w . d^2}\right) = \left(\frac{12{,}392 \times 10^{-3}}{0{,}9 \times 0{,}25 \times 0{,}342^2}\right) = 0{,}471\ \text{kN/m}^2$

$\rho_{perlu} = \left(\frac{0{,}85 . f'c}{fy}\right) . \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 . R_n}{0{,}85 . f'c}}\right]$

$= \left(\frac{0{,}85 \times 25}{420}\right) \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0{,}471}{0{,}85 \times 25}}\right]$

$= 0{,}00113$

$\rho_{max1} = 0{,}75 . 0{,}85 . \beta . \frac{f'c}{fy} . \left[\frac{600}{600 + fy}\right]$

$= 0{,}75 \times 0{,}85 \times 0{,}85 \times \frac{25}{420} \times \left[\frac{600}{600 + 420}\right]$

$= 0{,}0190$

$P_{max2} = 0{,}025$

$\rho_{max} = 0{,}0190$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0{,}25 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{25}}{420} = 0{,}0030$$

$$\rho_{\min 2} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{420} = 0{,}0033$$

Nilai $\rho_{\min}$ yang dipakai adalah 0,033. Dengan kondisi hubungan rasio $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ ($0{,}00113 < 0{,}0039 < 0{,}0190$), maka digunakan nilai $\rho_{\text{perlu}} = 0{,}0039$.

$A_{s,\text{perlu}} = \rho \cdot b_w \cdot d = 0{,}0039 \times 250 \times 342 = 333{,}45 \text{ mm}^2$

Jumlah Tulangan $= \frac{333{,}45}{0{,}25 \times \pi \times 16^2} = 1{,}658 \approx 2$ batang

Pada perancangan ini, diputuskan menggunakan tulangan utama $2D-16$ dengan luas aktual terpasang $A_{s,\text{pakai}} = 1.005{,}310 \text{ mm}^2$. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa $A_{s,\text{pakai}} > A_{s,\text{perlu}}$ ($1.005{,}310 \text{ mm}^2 > 282{,}15 \text{ mm}^2$), sehingga dinyatakan **Memenuhi Syarat (OK)**.

Pemeriksaan Momen Nominal

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0{,}85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{1.005{,}310 \times 420}{0{,}85 \times 25 \times 250} = 79{,}479 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{79{,}479}{0{,}8357} = 95{,}105 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{c_u}{c}(d - c) = \frac{0{,}003}{95{,}105}(342 - 95{,}105) = 0{,}0078 > 0{,}005 \quad \text{(OK / Daktail)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0{,}9 \times 1.005{,}310 \times 420 \times \left(345 - \frac{79{,}479}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 12.392.205{,}14 \text{ N} \cdot \text{mm} = 123{,}922 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Evaluasi akhir kapasitas penampang menunjukkan bahwa $\phi M_n > M_u$ ($123{,}922 \text{ kN} \cdot \text{m} > 49{,}569 \text{ kN} \cdot \text{m}$), sehingga desain struktur dinyatakan **aman dan Memenuhi Syarat (OK)**.

Penulangan Geser

$$q_u = 1{,}2 \cdot q_{DL} + 1{,}6 \cdot q_{LL} = 33{,}766 \text{ kN/m}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L = 0{,}5 \times 33{,}766 \times 4{,}00 = 67{,}532 \text{ kN}$$

$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 250 \times 342\right) \times 10^{-3} = 71{,}25$ kN

$\phi V_c = 0{,}75 \times 71{,}25 = 53{,}438$ kN

$V_u > \phi V_c \Longrightarrow 67{,}532$ kN $> 53{,}438$ kN (Memerlukan Tulangan Geser / Sengkang)

Perhitungan Gaya Geser Nominal Sengkang (V_s) dan Spasi (s)

$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{67{,}532 - 53{,}438}{0{,}75} = 18{,}792$ kN

Digunakan tulangan P10

$A_{sv} = 2 \times (0{,}25 \cdot \pi \cdot 10^2) = 157{,}080$ mm^2

fy = 240 MPa

S $= \frac{As_v \,.\, fy \,.\, d}{Vs} = \frac{100{,}531 \times 240 \times 342}{90{,}043 \times 10^{-3}} = 92{,}444$ mm

Menentukan Spasi Maksimum

Tumpuan

Banyak Kaki = 2

$s_{\max 1} = \frac{d}{4} = \frac{342}{4} = 85{,}50$ mm

$s_{\max 2} = 8 \cdot \emptyset_{\text{tul.pokok}} = 8 \times 16 = 128{,}00$ mm

$s_{\max 3} = 24 \cdot \emptyset_{\text{sengkang}} = 24 \times 10 = 240{,}00$ mmGunakan spasi 85 mm

Maka, spasi kontrol terkecil yang membatasi adalah $s = 85$ mm.

→ **Digunakan Sengkang Tumpuan: 2P10 – 85 mm**

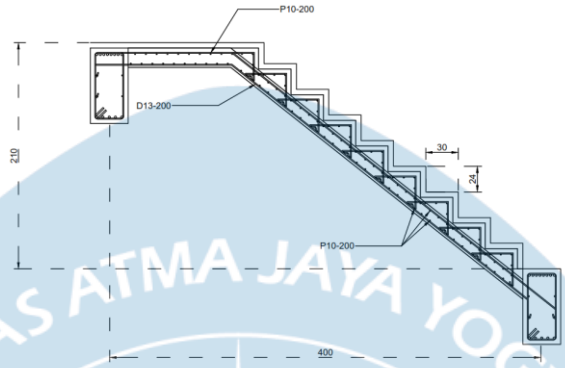
Lapangan

Banyak kaki = 2

$s_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171$ mm atau 300 mm

Ditetapkan spasi lapangan aman sebesar $s = 150$ mm (menggunakan sengkang P8).

→ **Digunakan Sengkang Lapangan: 2P8 – 150 mm**



Gambar 2. 11 Penulangan Tangga

2.5 Preliminary Design

Preliminary Design merupakan tahap analisis awal untuk mengestimasi ukuran dimensi elemen-elemen struktur. Ukuran awal ini kemudian diinput ke dalam perangkat lunak pemodelan struktur dengan memasukkan parameter beban dan kondisi perletakan yang dirancang.

Apabila berdasarkan hasil analisis dimensi tersebut tidak mampu menahan gaya yang bekerja, maka penyesuaian atau perubahan dimensi awal wajib dilakukan. Dalam estimasi awal (*preliminary design*) balok dan kolom, terdapat beberapa pertimbangan utama seperti kapasitas tahanan geser, interaksi sambungan balok-kolom, serta kekuatan tarik maupun tekan dari material yang dipakai.

Pasca penentuan dimensi awal, langkah berikutnya adalah mengevaluasi struktur melalui analisis lanjutan untuk menjamin kekuatan dan keamanan bangunan secara menyeluruh.

Perhitungan dan estimasi dimensi awal untuk balok, kolom, serta pelat menggunakan formulasi dan hasil sebagai berikut:

2.5.1 Preliminary Balok

Tahapan *preliminary design* penampang balok dilakukan dengan merujuk pada standar *SNI 2847:2019* Tabel 9.3.1.1 mengenai ambang batas tinggi minimum balok

nonprategang. Evaluasi dimensi ini ditujukan untuk menjamin kekakuan serta keamanan struktur balok terhadap bahaya lendutan.**Balok Induk memanjang (B1)**

Panjang Bentang Balok (l): 6000 mm (6,00 m)

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \cdot l = \frac{1}{16} \times 6000 \text{ mm} = 375 \text{ mm} > 400 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 400 = 266{,}67 \text{ mm} \Longrightarrow \text{Diambil } b = 300 \text{ mm}$$

→ **Dimensi Balok Induk Memanjang (B1) yang digunakan:** 30 × 40 cm (300 × 400 mm)

Balok Induk melintang (B2)

Panjang Bentang (l): 4650 mm

Tinggi Penampang Minimum ($h_{\min}$):

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \cdot l = \frac{1}{16} \times 4650 = 290{,}625 \text{ mm} \Longrightarrow \text{Diambil } h = 300 \text{ mm}$$

Lebar Penampang Rencana (b):

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 300 = 200 \text{ mm}$$

→ **Dimensi Balok Induk Melintang (B2) yang digunakan:** 20 × 30 cm (200 × 300 mm)

Balok Anak memanjang (BA1)

Panjang Bentang (l): 6000 mm

Tinggi Penampang Minimum ($h_{\min}$):

$$h_{\min} = \frac{1}{18{,}5} \cdot l = \frac{1}{18{,}5} \times 6000 \approx 324{,}32 \text{ mm}$$

Lebar Penampang Rencana (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 350 = 233{,}33 \text{ mm} \Longrightarrow \text{Diambil } b = 250 \text{ mm}$$

→ **Dimensi Balok Anak Memanjang (BA1) yang digunakan:** 25 × 35 cm (250 × 350 mm)

Balok Anak memanjang (BA2)

Panjang Bentang (l): 4650 mm

Tinggi Penampang Minimum ($h_{\min}$):

$$h_{\min} = \frac{1}{18} \cdot l = \frac{1}{18} \times 4650 = 258{,}333 \text{ mm} \Longrightarrow \text{Diambil } h = 300 \text{ mm}$$

Lebar Penampang Rencana (b):

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 300 = 200 \text{ mm}$$

→ **Dimensi Balok Anak Melintang (BA2) yang digunakan:** 20 × 30 cm (200 × 300 mm)

2.5.2 Preliminary Kolom

Perancangan estimasi dimensi awal penampang kolom mengacu pada regulasi *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.2.1. Ketentuan ini menetapkan kriteria geometris minimum untuk elemen kolom rangka momen khusus (SMRK) guna menjamin kestabilan serta keandalan struktur terhadap bahaya tekuk dan beban gempa. Berdasarkan pasal tersebut, dimensi penampang kolom wajib memenuhi dua persyaratan utama::

a. Dimensi penampang terkecil (b atau h) yang diukur melintasi pusat geometri penampang minimal sebesar 300 mm.
b. Rasio antara dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak boleh kurang dari 0,40 ($\frac{b}{h} \geq 0{,}40$).

Kolom 1

Bentang memanjang balok ($l_x = 6000$ mm):

$$h_{\text{kolom}} = \frac{1}{12} \cdot l_x = \frac{1}{12} \times 6000 \text{ mm} = 500 \text{ mm} \Longrightarrow \text{Ditetapkan } 600 \text{ mm}$$

Bentang melintang balok ($l_y = 4650$ mm):

$$b_{\text{kolom}} = \frac{1}{12} \cdot l_y = \frac{1}{12} \times 4650 \text{ mm} = 387{,}5 \text{ mm} \Longrightarrow \text{Ditetapkan } 600 \text{ mm}$$

Dengan demikian, ditetapkan dimensi awal untuk **Kolom Utama (K1)** sebesar 60 × 60 cm (600 × 600 mm)

.

2.6 Kombinasi Pembebanan

Pada penerapan metode desain ultimit untuk komponen struktur dan elemen pondasi, kombinasi beban harus dirancang sedemikian rupa sehingga kapasitas kekuatan rencana bernilai setara atau melebihi pengaruh pembebanan terfaktor. Ketentuan mengenai kombinasi beban terfaktor ini mengacu pada *SNI 2847:2019* Pasal 5.3.1 (halaman 84), dengan rincian lengkap yang disajikan pada Tabel 2.7 Kombinasi Pembebanan.

Tabel 2. 6 Kombinasi Pembebanan

Nomor		DL	SIDL	LL	L_r	R	W_x	W_y	E_x	E_y
1	1,1	1,4	1,4							
2	2,1	1,2	1,2	1,6	0,5					
	2,2	1,2	1,2	1,6		0,5				
3	3,1	1,2	1,2	1	1,6					
	3,2	1,2	1,2		1,6		0,5			
	3,3	1,2	1,2		1,6			0,5		
	3,4	1,2	1,2		1,6		0,375	0,375		
	3,5	1,2	1,2	1		1,6				
	3,6	1,2	1,2			1,6	0,5			
	3,7	1,2	1,2			1,6		0,5		
	3,8	1,2	1,2			1,6	0,375	0,375		
4	4,1	1,2	1,2	1	0,5		1			
	4,2	1,2	1,2	1	0,5			1		
	4,5	1,2	1,2	1	0,5		0,75	0,75		
	4,3	1,2	1,2	1		0,5	1			
	4,4	1,2	1,2	1		0,5		1		
	4,6	1,2	1,2	1		0,5	0,75	0,75		
5	5,1	0,9	0,9				1			
	5,2	0,9	0,9					1		
	5,3	0,9	0,9				0,75	0,75		
6	6,1	1,2156	1,2156	1					1,3	0,39
	6,2	1,2156	1,2156	1					1,3	-0,39
	6,3	1,2156	1,2156	1					-1,3	0,39
	6,4	1,2156	1,2156	1					-1,3	-0,39
	6,5	1,2156	1,2156	1					0,39	1,3
	6,6	1,2156	1,2156	1					-0,39	1,3
	6,7	1,2156	1,2156	1					0,39	-1,3

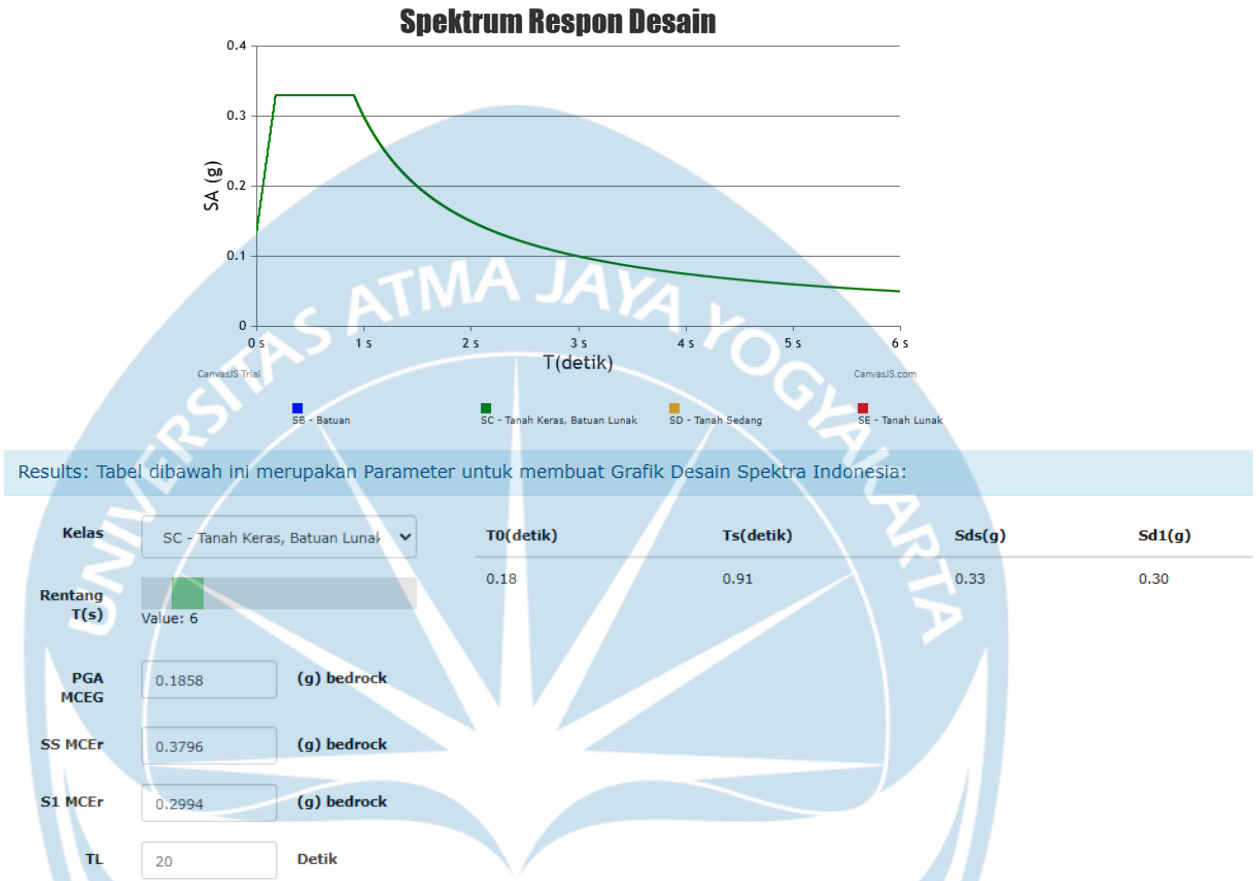
Nomor		DL	SIDL	LL	L_r	R	W_x	W_y	E_x	E_y
	6,8	1,2156	1,2156	1					-0,39	-1,3
7	7,1	0,8844	0,8844						1,3	0,39
	7,2	0,8844	0,8844						1,3	-0,39
	7,3	0,8844	0,8844						-1,3	0,39
	7,4	0,8844	0,8844						-1,3	-0,39
	7,5	0,8844	0,8844						0,39	1,3
	7,6	0,8844	0,8844						-0,39	1,3
	7,7	0,8844	0,8844						0,39	-1,3
	7,8	0,8844	0,8844						-0,39	-1,3

2.7 Pembebanan gempa

Penerapan analisis beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini berpatokan pada regulasi dan standar berikut :

1. *SNI 1726:2019* mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
2. *ASCE 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.

Tingkat gempa yang ditinjau berupa periode ulang 2500 tahun, yang merepresentasikan probabilitas melampaui sebesar 2% dalam kurun waktu layanan Gedung selama 50 tahun. Analisis beban seismik dilakukan dengan metode respon spektra yang disesuaikan berdasarkan kondisi geografis Lokasi proyek di pekanbaru, riau. Permodelan struktur dibantu menggunakan perangkat lunak ETABS, di mana parameter respon seismik diperoleh melalui platform situshttp://rsa.ciptakarya.pu.go.id/, berdasarkan koordinat atau nama kota setempat.



Gambar 2. 12 Grafik Spektrum Respon Desain

Tabel 2. 7 Tabel koefisien situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimu yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, Ss					
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss = 1,25	Ss ≥ 1,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS[a]					

Catatan:

(a) SS= Lokasi/Situs yang mewajibkan adanya investigasi geoteknik khusus serta analisis respons dinamik situs-spesifik, sebagaimana dirinci dalam tabel 2.9 Koefisien Situs Fa.

Tabel 2. 8 Tabel Koefisien situs, Fy

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS[a]					

Catatan:

(a) **SS (Situs Spesifik):** Mengindikasikan kelas situs tanah yang memerlukan investigasi geoteknik serta analisis respons situs khusus secara spesifik, sebagaimana diatur dalam Tabel Koefisien Situs F_v. Berdasarkan evaluasi dari gambar dan tabel di atas, diperoleh parameter-parameter pembebanan gempa yang digunakan dalam kalkulasi analisis respon spektra dengan merujuk pada *SNI 1726:2019* Pasal 6 (Hal. 33).

2.7.1 Kategori Risiko Gedung

Klasifikasi kategori risiko struktur gedung ditetapkan berdasarkan fungsi dan peruntukan utamanya. Untuk bangunan dengan fungsi fasilitas kesehatan (seperti rumah sakit atau puskesmas dengan fasilitas rawat inap/bedah darurat), klasifikasi tergolong ke dalam **Kategori Risiko IV** (atau **Kategori Risiko III** untuk fasilitas kesehatan tanpa fasilitas gawat darurat/rawat inap). Penjabaran kriteria ini disajikan pada **Tabel 2.10** di bawah ini.

Tabel 2. 9 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, pertenakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Pusat pembangkit listrik biasa – Fasilitas penanganan air – Fasilitas penanganan limbah – Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran	

2.7.2 Kategori Desain Seismik

Klasifikasi Kategori Desain Seismik (KDS) difungsikan untuk menetapkan tingkat proteksi atruktur gendung terhadap ancaman gempa bumi. Penentuan kategori ini memperhitungkan tingkat risiko seismik di lokasi proyek, kondisi perlapisan tanah, serta peruntukan fungsi bangunan guna mengaplikasikan standar perancangan yang sesuai demi menjamin keamanan dan stabilitas struktur.

A. Berdasarkan SDS (Tabel 8 SNI 1726:2019)

Penetapan Kategori Desain Seismik yang ditinjau dari parameter respons percepatan pada periode pendek disajikan pada Tabel 2.11 berikut:

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau III atau III	IV
$S_{DS} < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq S_{DS} < 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}50$	C	D
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

Berdasarkan Berdasarkan nilai parameter percepatan spektral desain $S_{DS} = 0{,}3290$ g dengan kategori risiko III, maka penentuan Kategori Desain Seismik (KDS) berdasarkan parameter S_{DS} berada pada **Kategori B**.

B. Penentuan Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1} (Tabel 8 SNI 1726:2019)

Klasifikasi KDS yang ditinjau dari parameter respons percepatan pada periode 1 detik selengkapnya disajikan melalui Tabel 2.12 di bawah ini:

Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SD1

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau III atau III	IV
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{D1} < 0{,}133$	B	C
$0{,}133 \leq S_{D1} < 0{,}20$	C	D
$0{,}20 \leq S_{D1}$	D	D

Berdasarkan nilai $S_{D1} = 0{,}2994$ g serta kategori risiko III, diperoleh KDS berdasarkan parameter S_{D1} yaitu **Kategori D**. Melalui tinjauan gabungan dari parameter (a) dan (b), ditetapkan KDS akhir dengan memilih tingkat kategori yang paling tinggi. Dengan demikian, Kategori Desain Seismik untuk struktur **Gedung Dr's Clinique Laser & Medical Aesthetic Pekanbaru** ditetapkan pada **Kategori D.**

2.7.3 Menentukan Parameter Gempa

Estimasi parameter kegempaan merupakan krusial dalam analisis struktur gedung tahan gempa. Penetapan standar serta metode kalkulasi untuk

menetapkan variabel seismik seperti percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration*/PGA), periode getar, dan grafik spektrum respons menjadi landasan utama dalam merancang bangunan yang aman serta sesuai dengan tingkat kerentaan gempa di area setempat. Nilai parameter tersebut disajikan pada Tabel 2.13 di bawah ini.

Tabel 2. 12 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Tabel 2. 13 Tabel Faktor R, Cd, dan Ω0 untuk sistem pemikul gaya seismic (lanjutan) 2

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0{}^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d{}^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus[D]	6	$2^1/_2$	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus[g,h]	$6^1/_2$	$2^1/_2$	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	$2^1/_2$	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menegah	$3^1/_2$	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	$5^1/_2$	$2^1/_2$	$4^1/_2$	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	$3^1/_2$	$2^1/_2$	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0{}^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d{}^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	$4^1/_2$	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa[g]	$5^1/_2$	$2^1/_2$	$4^1/_2$	TB	TB	TI	TI	TI

Berdasarkan kriteria perencanaan struktur penahan beban gempa, bangunan **Gedung DR'S Clinique** dikategorikan ke dalam spesifikasi teknis parameter struktur sebagai berikut:

Kategori Risiko Gedung DR'S CLINIQUE : III

Faktor Keutamaan Gempa (I_e): 1,25

Koefisien Modifikasi Respons (R): 6,5

Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0): 2,5

Faktor Pembesaran Defleksi (C_d): 5

2.7.4 Menghitung Periode (Waktu Getar) Fundamental Gedung (T)

Periode getar fundamental (T) merupakan parameter krusial dalam menganalisis perilaku dinamis bangunan gedung terhadap pengaruh beban gempa rencana. Bagian ini menguraikan metode pendekatan empiris untuk menghitung waktu getar struktur berdasarkan konfigurasi ketinggian dan material bangun. Rumus pendekatan empiris yang digunakan adalah:

Tabel 2. 14 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan X

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: Rangka baja pemikul momen Rangka beton pemikul momen	 0,0724 0,0466	 0,8 0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Berdasarkan acuan data tabel di atas, diperoleh parameter koefisien periode pendekatan C_t serta eksponen x dengan rincian berikut:

$h_n = 21$ m

$C_t = 0{,}0466$

$x = 0{,}9$

$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0{,}0466 \times 21^{0{,}9} = 0{,}7217$ detik

Untuk memperoleh koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dapat dilihat pada tabel 2.16 di bawah ini.

Tabel 2. 15 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, 1 S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Evaluasi parameter percepatan spektral periode 1 detik menetapkan nilai $S_{D1} = 0{,}2994$ detik. Berdasarkan ketentuan standar acuan, karena nilai $S_{D1} \geq$

0,1 detik, maka besaran koefisien batas periode ditetapkan sebesar $C_u = 1,6$.Batas maksimum periode fundamental struktur ($T_{\max}$) dihitung melalui formulasi berikut:

$T_{\max} = C_u \times T_a = 1,5 \times 0,7217 = 1,083$ detik

Sebagai opsi alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a dalam detik) menggunakan persamaan empiris bagi bangunan dengan ketinggian maksimum 12 tingkat. Persyaratan ini berlaku untuk sistem pemikul gaya seismik dari rangka pemikul momen beton atau baja, dengan rata-rata tinggi tingkat minimum 3 m.

Formulasi pendekatan periode struktur adalah:

$T_a = 0,1N$

$T = 0,1 \times 5 = 0,5$ detik

2.7.5 Bentuk dan Jumlah Ragam Getar

Subbab ini menguraikan konfigurasi serta kuantitas ragam getar (*mode shape*) yang terbentuk pada bangunan Gedung DR'S CLINIQUE. Pembahasan meliputi identifikasi, deskripsi teknis, hingga pengelompokan pola ragam berdasarkan karakteristik dinamiknya. Hasil bentuk dan jumlah ragam getar ini diekstrak langsung dari pemodelan menggunakan aplikasi ETABS.

2.7.6 Gaya Geser dan Dasar Seisimik

Bagian ini mengulas konsep dasar gaya geser dasar seismik (*base shear*) beserta parameter utama yang mempengaruhi respon dinamis struktur saat dilanda gempa. Evaluasi gaya geser dasar sangat krusial guna memahami karakteristik dan perilaku mekanis bangunan terhadap beban aktivitas seismik.

a. Koefisien Respons Seismik

Koefisien Koefisien respons seismik merupakan parameter esensial dalam menentukan besaran beban gempa nominal yang bekerja pada struktur bangunan. Analisis ini ditujukan untuk mengukur dampak getaran gempa terhadap

karakteristik respon dinamis gedung. Formulasi perhitungan koefisien respons seismik dirumuskan sebagai berikut:

.

$$C_s = S_{DS}/ R/I_e) = 0{,}3290/ (6{,}5/1) = 0{,}0633$$

b. Batas Atas

Evaluasi nilai batas atas diterapkan dalam analisis struktur guna menentukan ambang batas maksimum koefisien respons seismik sebelum mencapai titik batas kegagalan sistem. Merujuk pada *SNI 1726:2019*, batasan atas koefisien respons seismik ($C_{s,\max}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$C_{s,\max} = \frac{S_{D1}}{T \cdot (R/I_e)}$$

$$C_{s,\max,X} = \frac{0{,}2994}{[0{,}5 \times (6{,}5/1)]} = 0{,}092$$

$$C_{s,\max,Y} = \frac{0{,}2994}{[0{,}5 \times (6{,}5/1)]} = 0{,}092$$

c. Batas Minimum Koefisien Seismik Khusus ($S_1 \geq 0{,}6g$)

Evaluasi ambang batas bawah (*lower bound*) menjelaskan batasan nilai minimum koefisien gempa demi menjamin kestabilan dan keamanan global bangunan. Berdasarkan ketentuan *SNI 1726:2019*, nilai batas bawah ditetapkan melalui persamaan:

$$C_{s,\min} = 0{,}044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0{,}01$$

d. Koefisien Respon Seismik Pakai (C_s)

Subbab ini memaparkan penentuan nilai koefisien respons seismik desain akhir yang diaplikasikan untuk menghitung besarnya gaya geser dasar seismik pada bangunan. Penggunaan nilai koefisien yang tepat sangat penting

demi mewujudkan perancangan struktur yang aman dan mematuhi regulasi *SNI 1726:2019*.

e. Berat Seismik Efektif (*W*)

Berat seismik efektif merupakan variabel utama dalam evaluasi respon dinamik struktur terhadap getaran gempa. Penjelasan pada bagian ini meliputi definisi dasar, metodologi kalkulasi, serta pengaruh bobot efektif terhadap stabilitas bangunan saat menerima gaya seismik.

$W = 15.647$ kN

f. Gaya Geser Dasar Seismik (*Base Shear* / *V*)

Gaya geser dasar (*base shear*) merupakan parameter krusial dalam evaluasi ketahanan struktur terhadap beban gempa. Analisis gaya geser ini diperlukan untuk merancang elemen struktur yang sanggup menahan kombinasi gaya lateral akibat beban seismik. Formulasi perhitungan gaya geser dasar dirumuskan sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

$$V_X = 0{,}092 \times 15.647 = 1.439{,}52 \text{ kN}$$

$$V_Y = 0{,}092 \times 15.647 = 1.439{,}52 \text{ kN}$$

g. Gaya Geser Statik (ETABS)

Subbab ini mengulas evaluasi gaya geser statik ekivalen yang disimulasikan melalui perangkat lunak ETABS. Pembahasan mencakup metode analisis, pengaruhnya terhadap kapasitas elemen struktur, serta pengaplikasian hasilnya dalam perancangan bangunan tahan gempa.

VX = 187,764 kN

VY = 187,764 kN (2.1)

2.7.7 Penskalaan Gaya

Penskalaan gaya (*scale factor*) merupakan teknik penting dalam analisis respon spektrum untuk menyesuaikan beban gempa dinamik agar sebanding dengan kriteria desain. Proses penskalaan ini memungkinkan perancang untuk

mengestimasi respon dinamis bangunan secara presisi terhadap beban lateral yang bekerja.

a. Faktor Skala Awal

Parameter faktor skala awal diterapkan dalam analisis dinamik respon spektrum guna mengonversi nilai spektrum percepatan. Pembahasan mencakup peran faktor ini serta pengaruhnya terhadap hasil kalkulasi beban lateral gedung.

$$\text{SF} = \frac{g}{(R/I_e)} = \frac{9{,}81}{(6{,}5/1)} = \frac{9{,}81}{6{,}5} = 1{,}509 \text{ m/s}^2 = 1.509{,}23 \text{ mm/s}^2$$

Gaya Geser Dasar Analisis Struktur

Poin ini memaparkan besarnya gaya geser dasar (*base shear*) hasil simulasi perangkat lunak ETABS. Peninjauan variabel ini krusial untuk mengukur tingkat kekuatan dan ketahanan struktur saat menerima aksi gaya lateral gempa.

Vi,X = 245,7704 kN

Vi,Y = 306,9836 kN

b. Penskalaan Gaya Gempa

Perhitungan faktor rasio dilakukan untuk memastikan respon gaya geser dinamik memenuhi ambang batas minimum gaya geser statik. Evaluasi rasio ini merupakan syarat mutlak dalam perancangan struktur bangunan tahan gempa.

fy = Vx / Vi,x = 832,14 / 245,7704 = 3,386

fy = Vy / Vi,y = 935,51 / 306,9836 = 3,047

c. Faktor Skala Baru

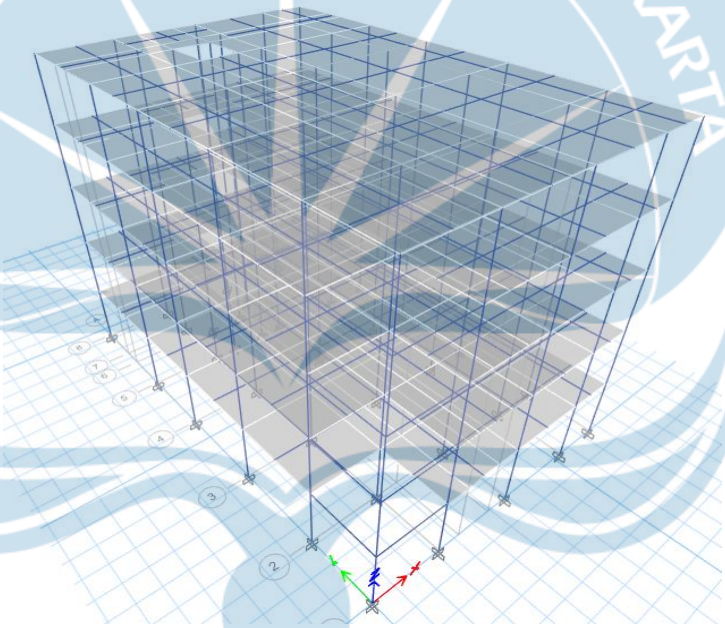
Nilai faktor skala baru merupakan luaran koreksi yang akan diaplikasikan dalam pemodelan ETABS tahap lanjut. Faktor ini memperhitungkan responsik struktur agar sesuai dengan tingkat keamanan dan keandalan bangunan pada berbagai kondisi pembebanan.

SFX = SF x fx = 1885,89 x 3,386= 6385,37 mm/s^2

SFY = SF x fy = 1885,89 x 3,047= 5747,10 mm/s^{2^2}

2.8 Pemodelan Struktur

Guna mempermudah proses analisis perilaku sistem struktur, bentuk geometris fisik bangunan perlu disederhanakan ke dalam bentuk model ideal. Tahapan simplifikasi ini dikenal sebagai pemodelan struktur. Dalam perancangan ini, simulasi dan pemodelan struktur dilakukan berbasis komputer menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS. Visualisasi hasil pemodelan struktur tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Pemodelan Struktur dengan ETABS

2.9 Ketidakberaturan Sturuktur

Evaluasi ketidakberaturan struktur (baik arah horizontal maupun vertikal) dilakukan guna memenuhi ketentuan acuan *SNI 1726:2019* Tabel 13 dan Tabel 14. Setiap tipe ketidakberaturan yang teridentifikasi pada bangunan memiliki acuan klausul pasal tersendiri yang wajib diterapkan sebagai pedoman pembatasan dan perancangan struktur.

2.9.1 Ketidakberaturan Horizontal

Kalkulasi beserta hasil evaluasi ketidakberaturan horizontal mengacu pada ketentuan *SNI 1726:2019* Pasal 7.3.2.1 (Tabel 13, halaman 59) dengan rincian sebagai berikut:

a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan Torsi Tipe 1a

Ketidakberaturan torsi terdefinisi apabila nilai simpangan antar-tingkat maksimum di salah satu Ujung struktur (yang memperhitungkan efek torsi tidak terduga dengan faktor $A_x = 1{,}0$) melampaui **1,2 kali** nilai simpangan antar-tingkat rata-rata pada kedua Ujung struktur tersebut. Ketentuan regulasi mengenai ketidakberaturan torsi ini khusus diterapkan bagi sistem struktur yang menggunakan diafragma kaku (*rigid*) maupun setengah kaku (*semi-rigid*).

Ketidakberaturan Torsi Berlebihan Tipe 1b

Kondisi ketidakberaturan torsi berlebihan dinyatakan terjadi bilamana simpangan antar-tingkat maksimum pada satu Ujung struktur melintang (termasuk dampak torsi tak terduga dengan $A_x = 1{,}0$) bernilai lebih besar dari **1,4 kali** simpangan antar-tingkat rata-rata kedua Ujungnya. Ketetapan pasal ini juga berlaku terbatas pada struktur bertipe diafragma kaku atau setengah kaku.

Berdasarkan evaluasi ketidakberaturan torsi terhadap kedua sumbu ortogonal, diperoleh hasil bahwa nilai simpangan antar-tingkat maksimum melampaui ambang batas 1,2 dan 1,4 kali simpangan rata-rata. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa bangunan ini mengindikasikan adanya **ketidakberaturan horizontal Tipe 1a dan Tipe 1b**. Rincian kalkulasi ketidakberaturan torsi untuk kedua arah tinjauan dapat dilihat pada Tabel 2.17 berikut.

Tabel 2. 16 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b pada Arah X

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
5	1,099	OK	1,014	OK
4	1,096	OK	1,014	OK
3	1,094	OK	1,014	OK
2	1,091	OK	1,014	OK
1	1,086	OK	1,011	OK

b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan horizontal Tipe 2 diidentifikasi terjadi apabila ukuran proyeksi denah struktur dari lokasi sudut melebihi **15%** terhadap total dimensi denah dalam orientasi yang dievaluasi. Berdasarkan pengujian pada kedua sumbu ortogonal, dapat disimpulkan bahwa **ketidakberaturan horizontal Tipe 2 tidak terdeteksi** pada bangunan ini.

c. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Diskontinuitas diafragma dinyatakan ada bilamana sistem lantai memiliki bidang bukaan (*open area*) atau rongga melampaui **50%** dari total luas bruto diafragma, atau terjadi perubahan kekakuan efektif diafragma secara mendadak melebihi **50%** antar-tingkat yang berurutan.

a. Syarat 1

$\frac{A_{bukaan}}{A_{Total}} = \frac{21{,}125 m^2}{357{,}8225\ m^2} = 0{,}059 = 0{,}59\% < 50\%$ (Memenuhi Syarat)

b. Syarat 2

Kekakuan efektif diafragma sangat ditentukan oleh konfigurasi denah dan ketebalan pelat. Karena tipe denah dan ketebalan pelat lantai dirancang seragam pada tiap tingkat, maka besarnya kekakuan diafragma bernilai konstan. Berdasarkan evaluasi terhadap kedua parameter di atas, seluruh kriteria batas telah dipenuhi sehingga dapat disimpulkan bahwa **ketidakberaturan horizontal Tipe 3 tidak ditemukan**.

d. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Turus Terhadap Bidang

Jenis ketidakberaturan Tipe 4 terdefinisi jika terdapat diskontinuitas pada jalur penyaluran gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus bidang (*out-of-plane offset*) pada sekurang-kurangnya satu elemen pemikul gaya lateral vertikal. Dari hasil evaluasi, diketahui bahwa seluruh elemen kolom dan dinding geser (*shear wall*) dibuat menerus dari lantai dasar hingga tingkat atas tanpa adanya offset bidang, sehingga **ketidakberaturan Tipe 4 tidak terjadi**.

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Klasifikasi ketidakberaturan horizontal tipe 5 dianggap terjadi apabila elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak terletak sejajar dengan sumbu utama ortogonal dari sistem pemikul beban seismik. Berdasarkan hasil pemeriksaan, seluruh komponen kolom dan dinding geser (*shear wall*) dirancang tegak lurus terhadap sumbu X dan Y, sehingga dipastikan **tidak ada ketidakberaturan horizontal tipe 5 yang terdeteksi**.

2.9.2 Evaluasi Ketidakberaturan Vertikal

Tahapan kalkulasi dan hasil evaluasi ketidakberaturan vertikal berpatokan pada ketentuan *SNI 1726:2019* Pasal 7.3.2.2 (Tabel 14, halaman 61) dengan Rincian sebagai berikut:

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Tipe 1a & Tipe 1b)

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Tipe 1a: Kondisi ini dinyatakan hadir apabila terdapat suatu lantai yang memiliki nilai kekakuan lateral kurang dari 70% dari kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau kurang dari 80% dari rata-rata kekakuan lateral tiga tingkat di atasnya.

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Tipe 1b: Kondisi ini diidentifikasi bilamana kekakuan lateral suatu tingkat bernilai kurang dari 60% dari kekakuan lateral tingkat tepat di atasnya, atau kurang dari 70% dari kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Berdasarkan hasil verifikasi numerik, tidak dijumpai adanya nilai kekakuan lateral tingkat yang berada di bawah persentase ambang batas tersebut. Dengan demikian, disimpulkan bahwa **struktur tidak mengalami ketidakberaturan vertikal**

Tipe 1a maupun Tipe 1b. Rincian perhitungan kekakuan tingkat lunak untuk kedua arah ortogonal disajikan pada **Tabel 2.18**.

Tabel 2. 17 Perhitungan Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
5	55087,065	OK	91293,714	OK
4	78730,375	OK	119563,4	OK
3	87256,431	OK	127135,187	OK
2	104045,927	OK	145220,297	OK
1	212536,188	OK	276587,443	OK

b. Evaluasi Ketidakberaturan Massa Struktur (Tipe 2)

Potensi ketidakberaturan vertikal Tipe 2 diidentifikasi jika terdapat selisih massa efektif antar lantai yang melebihi batas ambang 150%, dengan pengecualian khusus pada struktur tingkat atap. Berdasarkan rekam data perhitungan, struktur bangunan terbukti memenuhi persyaratan batas toleransi massa antar tingkat sehingga dipastikan **tidak mengalami ketidakberaturan vertikal Tipe 2** (lihat **Tabel 2.19**).

Tabel 2. 18 Perhitungan Ketidakberaturan Vertikal 2

Lantai	Massa	Cek
	kg	
5	254500,16	OK
4	342529,38	OK
3	332831,8	OK
2	332831,8	OK
1	332831,8	OK

c. Ketidakberaturan Geometri Vertikal (Tipe 3)

Klasifikasi ketidakberaturan Tipe 3 terdeteksi bilamana ukuran dimensi horizontal dari sistem penahan gaya seismik (seperti kolom atau dinding geser/*shear wall*) pada suatu tingkat lantai melampaui 130% dari dimensi horizontal sistem pada tingkat di dekatnya (baik tingkat di atas maupun di bawahnya).Berdasarkan evaluasi data pada Tabel 2.20, tidak ditemukan adanya dimensi horizontal sistem pemikul beban gempa yang melebihi ambang batas **130%** terhadap tingkat yang berdekatan. Dengan demikian, disimpulkan bahwa ketidakberaturan vertikal Tipe 3 tidak terjadi pada struktur bangunan ini.

Tabel 2. 19 Perhitungan Ketidakberaturan Vertikal 3

Lantai	L	Cek
	mm	
5	600	OK
4	600	OK
3	600	OK
2	600	OK
1	600	OK

d. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal (Tipe 4)

Ketidakberaturan Ketidakberaturan vertikal Tipe 4 diidentifikasi apabila besaran pergeseran (*offset*) pada elemen pemikul beban lateral melebihi ukuran panjang elemen itu sendiri, atau jika terjadi penurunan nilai kekakuan elemen

pemikul pada tingkat di bawahnya. Kasus tipikal ini mencakup komponen dinding geser atau kolom yang posisinya tidak menerus secara vertikal dari lantai atas hingga bawah sehingga mengalami diskontinuitas posisi lateral.

Hasil verifikasi struktur memperlihatkan bahwa seluruh elemen pemikul beban lateral terpasang secara menerus sepanjang tinggi bangunan tanpa adanya pergeseran (*offset*). Oleh karena itu, disimpulkan bahwa **ketidakberaturan vertikal Tipe 4 tidak terjadi** pada struktur gedung.

e. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Kekuatan Lateral (Tipe 5a)

Kondisi ketidakberaturan vertikal Tipe 5a dikategorikan hadir apabila kapasitas kekuatan lateral pada suatu tingkat lantai bernilai kurang dari 80% dari kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat ini didefinisikan sebagai total daya tahan kumulatif dari seluruh elemen sistem penahan gaya seismik yang berorientasi pada arah tinjauan.

.

e. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas Kekuatan Lateral (Tipe 5b)

Klasifikasi ketidakberaturan vertikal Tipe 5b terjadi bilamana kapasitas kekuatan lateral suatu tingkat bangunan bernilai kurang dari 65% dari kekuatan lateral tingkat tepat di atasnya. Besaran kekuatan lateral ini merepresentasikan total kapasitas tahanan kumulatif dari seluruh komponen pemikul beban gempa yang menahan gaya geser pada arah yang dievaluasi.

Berdasarkan hasil verifikasi ketidakberaturan tingkat lemah pada kedua arah ortogonal, tidak terdeteksi adanya nilai kekuatan lateral antar-lantai yang berada di bawah ambang batas persentase yang disyaratkan ($< 80\%$ maupun $< 65\%$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa **struktur terbebas dari ketidakberaturan vertikal Tipe 5a dan Tipe 5b**. Rekapitulasi hasil analisis kekuatan lateral disajikan pada Tabel 2.21 berikut:

Tabel 2. 20 Perhitungan Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
5	96,3536		140,7938	
4	192,7841	OK	288,567	OK
3	256,7379	OK	392,7721	OK
2	294,0696	OK	459,093	OK
1	308,9431	OK	489,7253	OK

2.10 Drift Analysis

a. Simpangan Antar Tingkat Izin

Tabel 2. 21 Simpangan Antar Tingkat Izin $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpang antar tingkat.	$0,025h_{xx}^{c}$	$0,020_{hxx}$	$0,015h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata[d]	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$	$0,010_{hxx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$	$0,007_{hxx}$
Semua struktur lainnya	$0,002h_{xx}$	$0,015h_{xx}$	$0,010h_{xx}$

Dari tabel simpangan antar tingkat Izin $\Delta_a^{a,b}$ diperoleh simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a = 0,020h$.

b. Faktor Redundansi

$\rho = 1{,}3$

c. Faktor Pembesaran Defleksi

$C_d = 5$

d. Keutamaan Gempa (I_e)

$I_e = 1$

e. Simpangan Antar Tingkat Inelastik Aktual (*Inelastic Story Drift*)

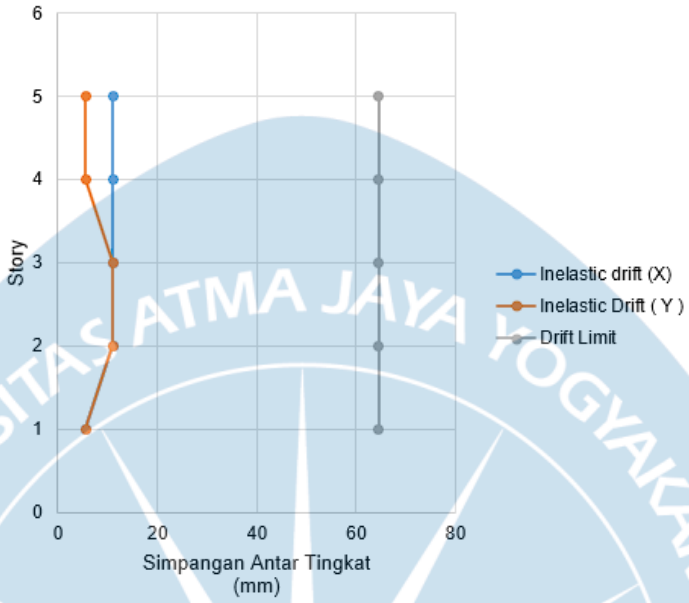
Perhitungan nilai simpangan antar tingkat inelastik aktual pada struktur bangunan dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$\Delta = \frac{\delta \cdot C_d}{I_e}$$

Tabel 2. 22 Perhitungan dan Pengecekan Simpangan Antar Tingkat

Story	*Displacement*		*Elastic Drift*		*h*	*Inelastic Drift*		*Drift Limit*	*Cek*
	δe_X	δe_Y	δe_X	δe_Y		Δ_X	Δ_Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
5	9.000	1.000	2.000	0.000	4200	11.000	0.000	64.615	OK
4	7.000	1.000	2.000	-1.000	4200	11.000	-5.500	64.615	OK
3	5.000	2.000	2.000	0.000	4200	11.000	0.000	64.615	OK
2	3.000	2.000	2.000	1.000	4200	11.000	5.500	64.615	OK
1	1.000	1.000	1.000	1.000	4200	5.500	5.500	64.615	OK

Evaluasi hasil perhitungan simpangan antar lantai sebagaimana tertera dalam **Tabel 2.23** menunjukkan bahwa deformasi struktur berada dalam batas aman dan memenuhi kriteria izin perencanaan. Sebaran grafik perilaku simpangan antar tingkat tersebut disajikan secara visual melalui **Gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 Grafik Simpangan Antar Tingkat

2.11 Pengaruh P-Delta

Dampak fenomena P-Delta terhadap nilai geser tingkat, gaya dalam, momen elemen struktur, serta simpangan antar-tingkat yang terjadi dapat diabaikan apabila koefisien stabilitas (θ) yang dihitung berdasarkan formulasi berikut bernilai **sama dengan atau kurang dari 0,10**:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

a. Rasio Kebutuhan Geser

$$\beta = 1{,}0$$

b. Batas Koefisien Stabilitas

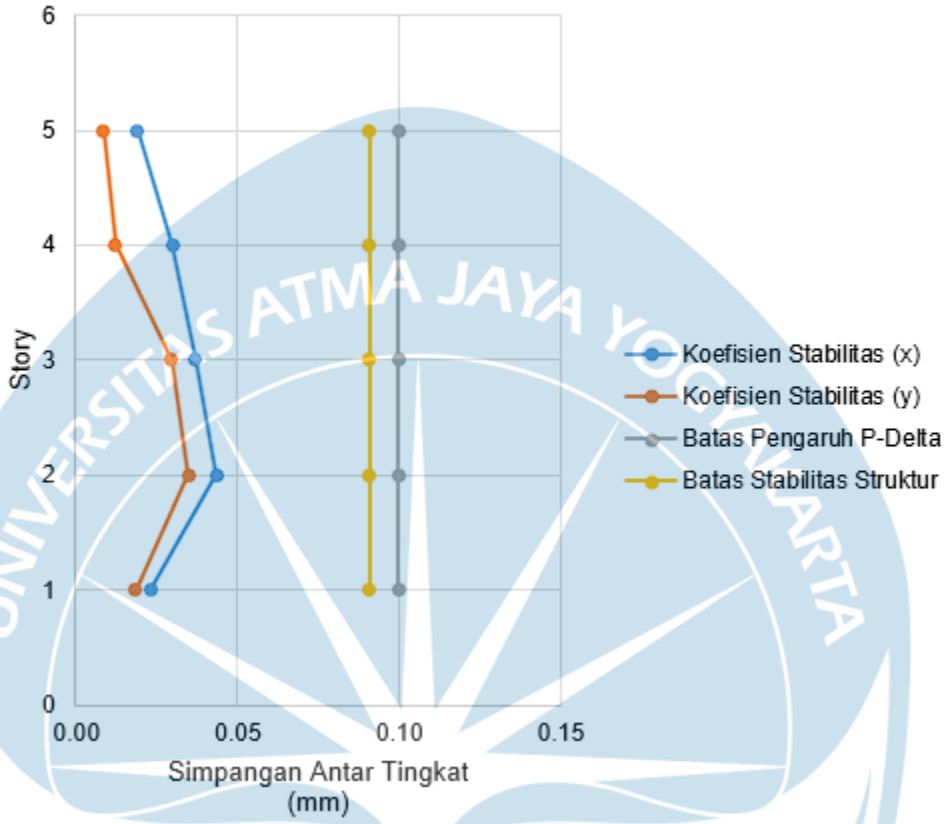
$$\boldsymbol{\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times C_d} \leq 0,25}$$

$$\boldsymbol{\theta_{max} = 0,1}$$

Tabel 2. 23 Perhitungan Pengaruh P-Delta

Story	*Inelastic Drift*		*Story Forces*			*h*	*Koefisien Stabilitas*		*Batas Pengaruh P-Delta*	*Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}*	*Cek*
	Δ_X	Δ_Y	*P*	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	θX	θY			
5	11,000	5,500	3182,46	79,07	90,04	4200	0,0192	0,0084	0,1	0,0909	OK
4	11,000	5,500	9149,90	146,09	177,78	4200	0,0298	0,0123	0,1	0,0909	OK
3	11,000	11,000	15088,24	194,07	241,95	4200	0,0370	0,0297	0,1	0,0909	OK
2	11,000	11,000	20894,57	228,43	285,81	4200	0,0436	0,0348	0,1	0,0909	OK
1	5,500	5,500	23766,91	246,01	306,30	4200	0,0230	0,0185	0,1	0,0909	OK

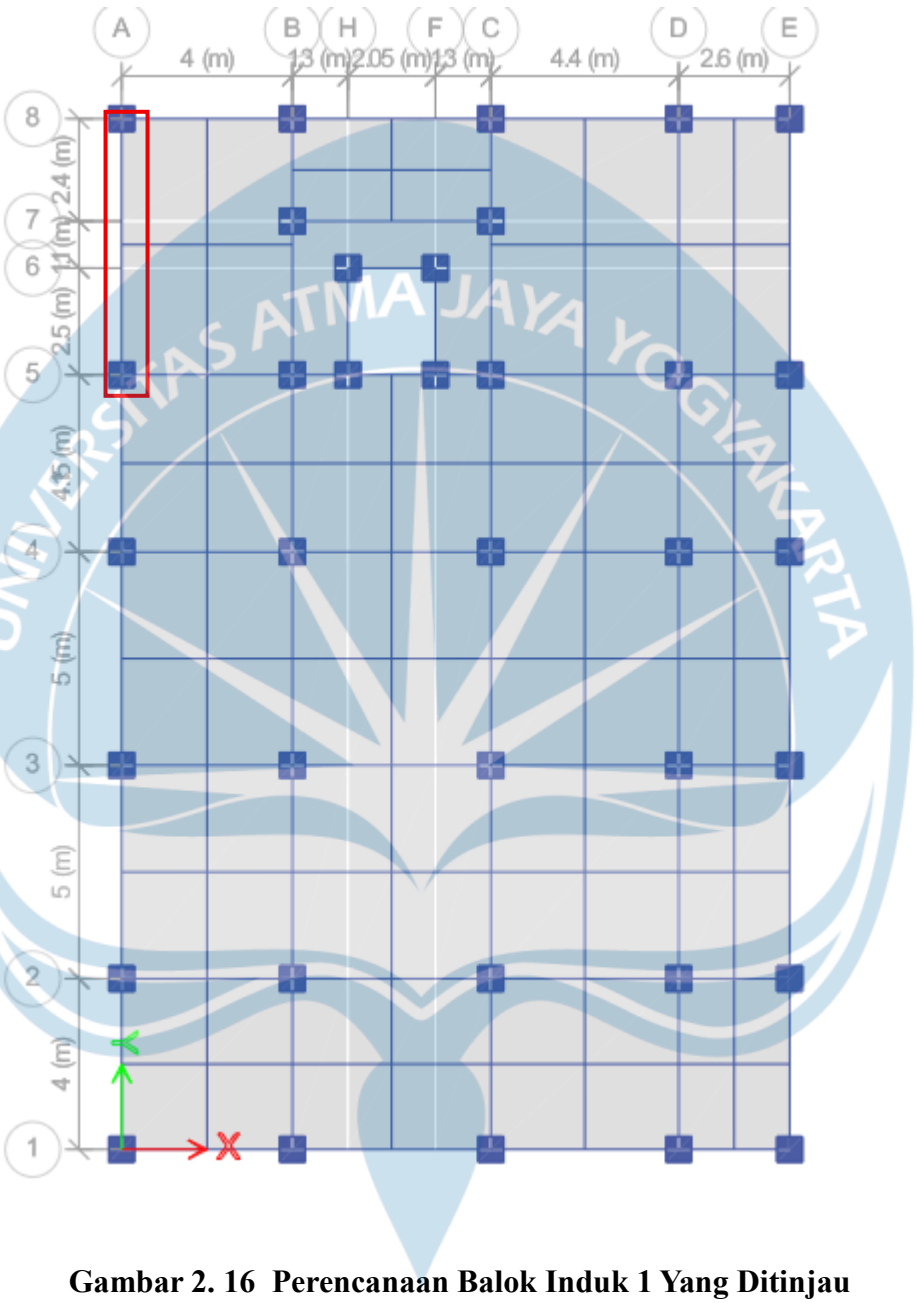
Berdasarkan dari perhitungan dan pengecekan pengaruh P-Delta pada Tabel 2. 34 di atas dapat disimpulkan bahwa pengaruh P-delta pada bangunan ini aman. Grafik pengaruh P-delta dapat dilihat pada Gambar 2. 24 berikut.



Gambar 2. 15 Diagram Simpangan Antar Lantai

2.12 Perencanaan Tulangan Balok

Perancangan elemen balok mengacu pada acuan *SNI 2847:2019* tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Bagian ini memaparkan tahapan dan metodologi perhitungan desain penulangan untuk sampel balok tipe **B1 (300×400 mm)**, **B2 (200×300 mm)**, serta **BA1 (200×300 mm)**. Adapun rincian data karakteristik material beserta spesifikasi dimensi penampang yang digunakan dalam analisis penulangan balok B1, B2, dan BA1 disajikan sebagai berikut:Perencanaan Balok Induk 1



Gambar 2. 16 Perencanaan Balok Induk 1 Yang Ditinjau

Balok yang ditinjau

B1

Tumpuan

Mu (-) = -97,414 2 kN-m (Output etabs)

Mu(+) = 85,0518 kN-m (Outputetabs)

Lapangan

Mu (-) = 81,3339 kN-m (Output etabs)

Mu (+) = 98,9919 kN-m (Output etabs)

Momen Negatif Tumpuan : M (-)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 300 mm

h = 400 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 339 \text{ mm} = 0{,}339 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}} = 339 - \sqrt{339^2 - \frac{2\ x\ (97{,}414\ 2x10\text{^}6\ )}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 300}}$$

a = 41,772 mm²

B1 = 0,85

$C = \frac{a}{b} = \frac{41{,}772}{0{,}85}$ = 49,143 mm²

Cmax = 0,375 d = 127,125 mm

$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d-\frac{a}{2})} = \frac{97{,}414\ 2x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (339 - \frac{41{,}772}{2})}$ = 810,1148 mm²

$n = \frac{As}{380{,}13} = \frac{810{,}1148}{380{,}13}$ = 2,13 > 3

As Pakai = 3 x 380,13 = 1140,39 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 339}{4\ x\ 420} = 331{,}568$ mm²

As min 2 = $\frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 300\ x\ 339}{420} = 339$ mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 2542,5 mm²

As max 2542,5 > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 66}{2} = 67 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan Atas yang digunakan yaitu 3D22

Momen Positif Tumpuan : M (+)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 300 mm

h = 400 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 339 \text{ mm} = 0{,}339 \text{ m}$$

a = d - $\sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}}$ = 339 - $\sqrt{339^2 - \frac{2\ x\ (85{,}0518) x\ 10\text{^}6}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 300}}$

a = 41,224 mm²

B1 = 0,85

C = $\frac{a}{b} = \frac{41,224}{0,85}$ = 48,499 mm²

Cmax = 0,375 d = 127,125 mm²

As = $\frac{Mu}{\phi Fy(d-\frac{a}{2})} = \frac{85,0518\ x\ 10\text{^}6}{0,9 \text{ x } 420 \text{ x } (339 - \frac{48,499}{2})}$ = 625,687 mm²

n = $\frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{625,687}{380,13}$ = 1,64 > 2

As Pakai =2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 339}{4 \text{ x } 420}$ = 331,568 mm²

As min 2 = $\frac{1,4bd}{fy} = \frac{1,4\ x\ 300\ x\ 339}{420}$ = 339 mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 2542,5 mm²

As max 2542,5 > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 66}{2} = 67 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan bawah yang digunakan yaitu 2D22

Momen Negatif Lapangan : M (-)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 300 mm

h = 400 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 339 \text{ mm} = 0{,}339 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc\prime\phi b}} = 339 - \sqrt{339^2 - \frac{2\ x\ (81{,}3339)x\ 10\text{^}6}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 300}}$$

a = 39,304 mm²

B1 = 0,85

$$C = \frac{a}{b} = \frac{39{,}304}{0{,}85} = 46{,}240 \text{ mm}^2$$

Cmax = 0,375 d = 127,125 mm²

$$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d - \frac{a}{2})} = \frac{81{,}3339\ x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (339 - \frac{39{,}304}{2})} = 673{,}776 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{625{,}687}{380{,}13} = 1{,}77 > 2$$

As Pakai =2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

$$As\ min\ 1 = \frac{\sqrt{f\prime c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 339}{4\ x\ 420} = 331{,}568 \text{ mm}^2$$

$$As\ min\ 2 = \frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 300\ x\ 339}{420} = 339 \text{ mm}^2$$

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 2542,5 mm²

As max 2542,5 > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 66}{2} = 67 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan bawah yang digunakan yaitu 2D22

Momen Positif Lapangan : M (+)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 300 mm

h = 400 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 339 \text{ mm} = 0{,}339 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc\prime\phi b}} = 339 - \sqrt{339^2 - \frac{2\ x\ (98{,}9919\ x10\text{^}6\ )}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 300}}$$

a = 48,538 mm²

B1 = 0,85

$C = \frac{a}{b} = \frac{48{,}538}{0{,}85}$ = 57,104 mm²

Cmax = 0,375 d = 127,125 mm

$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d-\frac{a}{2})} = \frac{98{,}9919\ x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (339 - \frac{48{,}538}{2})}$ = 832,086 mm²

$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{832{,}086}{380{,}13}$ = 2,19 > 3

As Pakai = 3 x 380,13 = 1140,39 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f\prime c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 339}{4\ x\ 420}$ = 331,568 mm²

As min 2 = $\frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 300\ x\ 339}{420}$ = 339 mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 2542,5 mm²

As max 2542,5 > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 66}{2} = 67 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan Atas yang digunakan yaitu 3D22

Desain Penulangan Geser Balok 1

Perancangan tulangan geser (sengkang) bertujuan untuk menentukan kebutuhan dimensi dan jarak sengkang baja pada elemen balok beton bertulang agar mampu menahan gaya geser terfaktor yang bekerja. Tahapan kalkulasi penulangan geser untuk Balok 1 diuraikan sebagai berikut:.

Gaya Dalam

Rekapitulasi gaya geser ultimit terfaktor (V_u) pada daerah tumpuan dan lapangan yang diperoleh dari luaran simulasi ETABS untuk Balok 1 disajikan di bawah ini:

$V_{u,\text{tumpuan}} = 111{,}349$ kN (SNI 2847:2019 Pasal 18.4.2.3 (b))

$V_{u,\text{lapangan}}$= 118,955 kN-m

Perhitungan Momen Probabilitas (MPr)

Mpr- Dari Tumpuan Negatif

Tulangan = 3D22

As Pakai = 1140,39 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 41,772 mm²

= 52,215 mm²

Mpr- = As x 1,25 x fy (d -$\frac{(apr)}{2}$

=1140,39 x 1,25 x 420 x (339 -$\frac{(52{,}215)}{2}$

= 187266161,3 Nmm

= 187,266 kNm

Mpr+ Dari Tumpuan Positif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 41,772 mm²

= 52,215 mm²

Mpr+ = As x 1,25 x fy (d - $\frac{(apr)}{2}$

=760,26 x 1,25 x 420 x (339 - $\frac{(52,215)}{2}$

= 124886817,3 Nmm

= 124,89 kNm

V_{sway} = $\frac{(Mpr^{+}+Mpr^{-})}{Ln}$ = 70,96 kN (SNI 2847:2019 18.4.2.3 (a))

$V_{g,tumpuan}$ = 98,96 kN

Ve = $V_{g,tumpuan}$ + V_{sway} = 169,92 kN (SNI 2847:2019 R18.4.2)

Penulangan Geser

n = 2

Av = $n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2$ = 157,08 mm²

Spasi = 100 mm

$s_{maks,1} = \frac{d}{4} = \frac{339}{4} = 84{,}75$ mm

$s_{maks,2} = 8 \cdot d_b = 8 \times 16{,}5 = 132$ mm

$s_{maks,3} = 150$ mm

Kontrol Spasi: Spasi sengkang terpasang ($s = 80$ mm) < $s_{maks} = 84{,}75$ mm (OK)

$V_s = A_v \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 157{,}08 \times 420 \times \frac{339}{150} = 149.131$ N

Batas V_s= 0,66. $\sqrt{fc'}$. b. d = 367642 N

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 94.696$ N

ϕ = 0,75 (SNI 2847:2019 12.5.3, 21.2.4)

V_n = V_c+ V_c= 462338 N

V_u = 111349 N

$\phi V_n/V_u$= 3,114

$\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1{,}0$ (Aman / OK)

Lapangan

n = 2

$A_v = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 157{,}08 \text{ mm}^2$

Spasi = 150 mm

$s_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{339}{2} = 169{,}50 \text{ mm}$

Cek spasi: 150 mm < Smax (OK)

$V_s = A_v \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 157{,}08 \times 420 \times \frac{339}{150}$

$V_s = 149.131$ N (SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3)

$V_{s,\text{maks}} = 0{,}66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 339 = 367.642$ N

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 94.696$ N

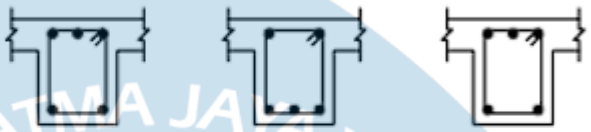
$\phi = 0{,}75$ (SNI 2847:2019)

$V_n = V_c + V_s = 94.696 + 149.131 = 243.827$ N

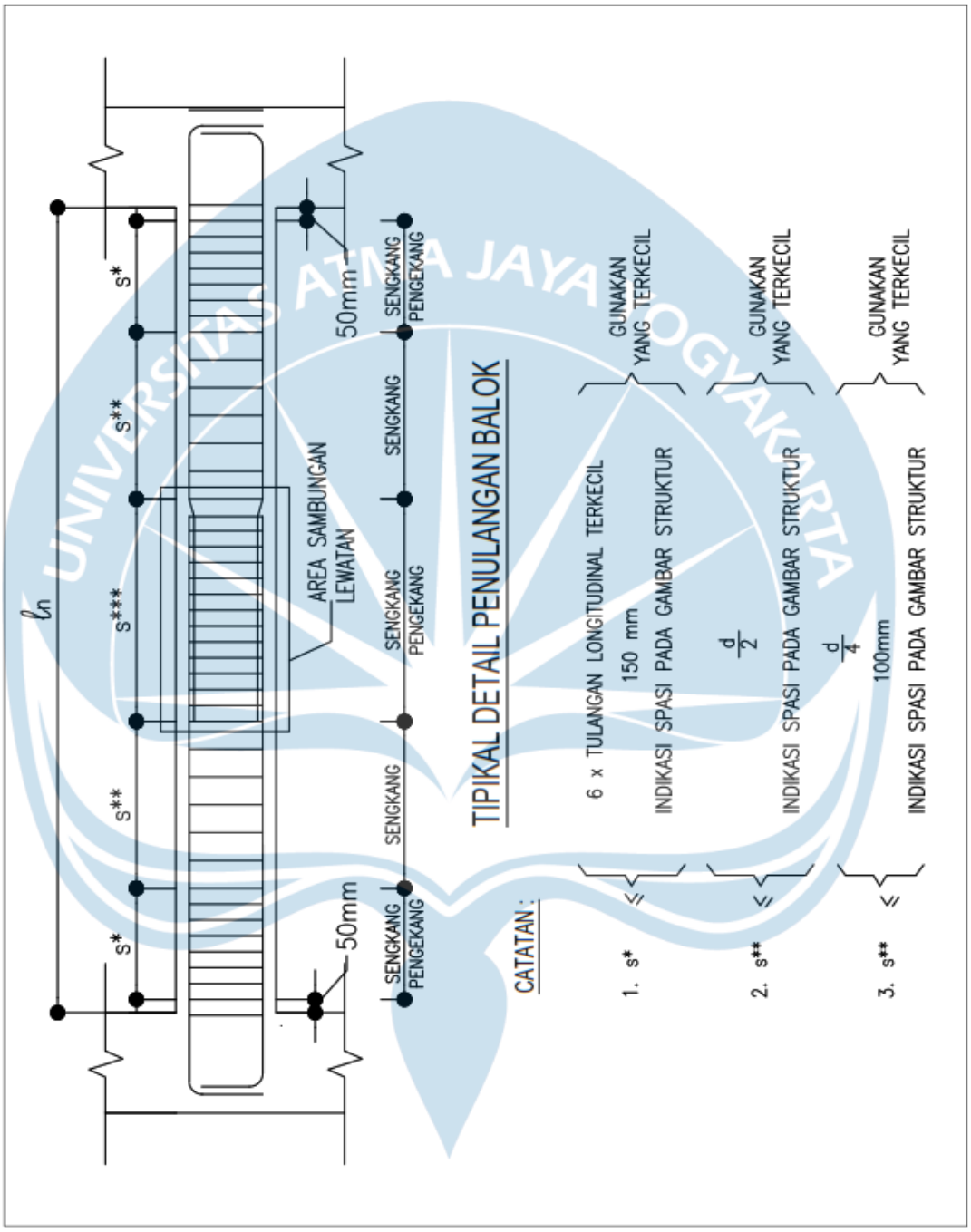
$V_u = 118.955{,}4$ N

$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{182.870{,}25}{118.955{,}4} = 1{,}537 \geq 1{,}0$ (Struktur Aman / OK)

Cek kapasitas: $\phi V_n/V_u \geq 1$ = (OK)

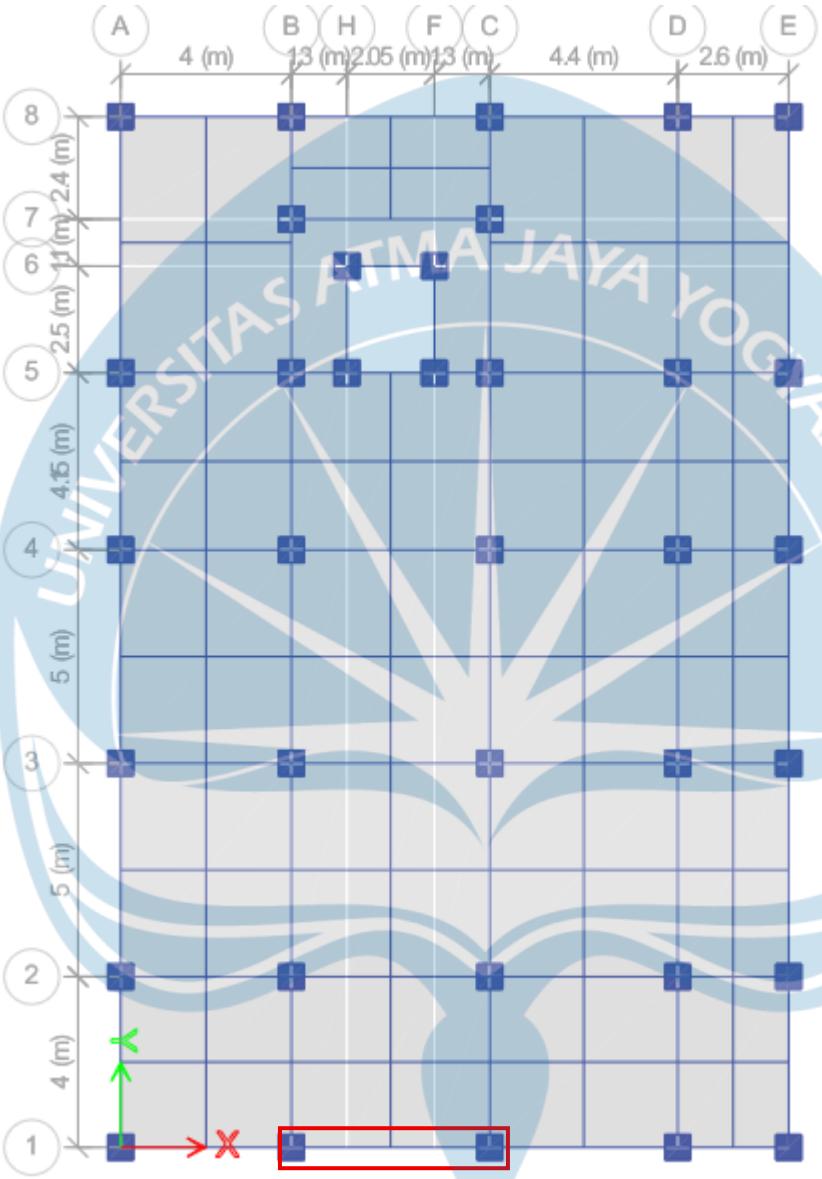
TIPE BALOK / LANTAI	B1		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
LANTAI 1~5			
DIMENSI		300X400	
TULANGAN ATAS	3D22	2D22	3D22
TULANGAN BAWAH	2D22	3D22	2D22
SENGKANG PENGEKANG	D10-75	D10-150	D10-75
SENGKANG PENGIKAT	-	-	-

Gambar 2. 17 Penulangan B1



Gambar 2. 18 Tipikal Detail Penulangan Balok 1

2.13 Perencanaan Balok Induk 2



Gambar 2. 19 Perencanaan Balok Induk 2 yang ditinjau

Balok yang ditinjau

B2

Tumpuan

Mu (-) = -54,0689kN-m (Output etabs)

Mu(+) = 45,9793 kN-m (Outputetabs)

Lapangan

Mu (-) = -53,7561 kN-m (Output etabs)

Mu (+) = 54,3047 kN-m (Output etabs)

Momen Negatif Tumpuan : M (-)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (-54{,}0689 x 10\text{^}6\ )}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 250}}$$

a = 38,7 mm²

B1 = 0,85

$C = \frac{a}{b} = \frac{59{,}866}{0{,}85} = 45{,}5$ mm²

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm

$$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d - \frac{a}{2})} = \frac{-54{,}0689x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (239 - \frac{38{,}7}{2})} = 651{,}7 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{684{,}180}{380{,}13} = 1{,}72 > 2$$

As Pakai = 2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 250\ x\ 239}{4\ x\ 420} = 194{,}74$ mm²

As min 2 = $\frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 250\ x\ 239}{420} = 199{,}17$ mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 250 x 239 = 1493,75 mm²

As max 1493,75 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 106 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 106 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan Atas yang digunakan yaitu 2D22

Momen Positif Tumpuan : M (+)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

a = d - $\sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}}$ = 239 - $\sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (45{,}9793) x\ 10\text{^}6}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 250}}$

a = 38,78 mm²

B1 = 0,85

C = $\frac{a}{b} = \frac{49,69}{0,85}$ = 45,62 mm²

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm²

As = $\frac{Mu}{\phi Fy(d-\frac{a}{2})} = \frac{45,9793\ x\ 10\text{^}6}{0,9 \text{ x } 420 \text{ x } (239 - \frac{38,78}{2})}$ = 560,69 mm²

n = $\frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t^2} = \frac{461,01}{380,13}$ = 1,47 > 2

As Pakai =2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4 \text{ x } 420}$ = 194,74 mm²

As min 2 = $\frac{1,4bd}{fy} = \frac{1,4\ x\ 300\ x\ 339}{420}$ = 199,17 mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 1493,75 mm²

As max 1493,75 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 106 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 106 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan bawah yang digunakan yaitu 2D22

Momen Negatif Lapangan : M (-)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (53{,}7561\ x10\text{^}6\ )}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 250}}$$

a = 46,05 mm²

B1 = 0,85

$$C = \frac{a}{b} = \frac{46{,}05}{0{,}85} = 54{,}85 \text{ mm}^2$$

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm

$$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d - \frac{a}{2})} = \frac{53{,}7561x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (239 - \frac{46{,}05}{2})} = 658{,}7 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{658{,}7}{380{,}13} = 1{,}73 > 2$$

As Pakai = 2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

$$As\ min\ 1 = \frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4\ x\ 420} = 194{,}74 \text{ mm}^2$$

$$As\ min\ 2 = \frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 200\ x\ 239}{420} = 199{,}17 \text{ mm}^2$$

As max = 0.025bd = 0,025 x 200 x 239 = 1493,75 mm²

As max 1493,75 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{250 - 80 - 20 - 44}{1} = 106 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 106 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Cek jarak bersih: Jarak bersih ≥ d_b dan 25 mm = Iya (SNI 2847:2019 25.2.1)

Jadi Tulangan Atas yang digunakan yaitu 2D22

Momen Positif Lapangan : M (+)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc\prime\phi b}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (54{,}3047) x\ 10\text{^}6}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 250}}$$

a = 46,625 mm²

B1 = 0,85

$$C = \frac{a}{b} = \frac{46{,}625}{0{,}85} = 54{,}853 \text{ mm}^2$$

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm²

$$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d - \frac{a}{2})} = \frac{54{,}3047\ x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (239 - \frac{49{,}70}{2})} = 666{,}071 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{687{,}665}{380{,}13} = 1{,}75 > 2$$

As Pakai =2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

$$As\ min\ 1 = \frac{\sqrt{f\prime c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4\ x\ 420} = 194{,}74 \text{ mm}^2$$

$$As\ min\ 2 = \frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 300\ x\ 339}{420} = 199{,}17 \text{ mm}^2$$

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 1493,75 mm²

As max 1493,75 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 106 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 106 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan bawah yang digunakan yaitu 2D22

Desain Penulangan Geser Balok 2

Perancangan tulangan geser (sengkang) bertujuan untuk menentukan kebutuhan dimensi dan jarak sengkang baja pada elemen balok beton bertulang agar mampu menahan gaya geser terfaktor yang bekerja. Tahapan kalkulasi penulangan geser untuk Balok 2 diuraikan sebagai berikut:

Gaya Dalam

Rekapitulasi gaya geser ultimit terfaktor (V_u) pada daerah tumpuan dan lapangan yang diperoleh dari luaran simulasi ETABS untuk Balok 1 disajikan di bawah ini:

$V_{u,\text{tumpuan}} = 80{,}6054$ kN (SNI 2847:2019 Pasal 18.4.2.3 (b))

$V_{u,\text{lapangan}}$ = 79,3252 kN-m

Perhitungan Momen Probabilitas (MPr)

Mpr- Dari Tumpuan Negatif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 46,05 mm²

= 57,56 mm²

Mpr- = As x 1,25 x fy (d -$\frac{(apr)}{2}$

=760,26 x 1,25 x 420 x (239 -$\frac{(57{,}56)}{2}$

= 83905976,11 Nmm

= 83,91 kNm

Mpr+ Dari Tumpuan Positif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 46,625 mm²

= 58,281 mm²

Mpr+ = As x 1,25 x fy (d -$\frac{(apr)}{2}$

=760,26 x 1,25 x 420 x (239 -$\frac{(58,281)}{2}$

= 83762536,43 Nmm

= 83,76 kNm

V_{sway} = $\frac{(Mpr^{+}+Mpr^{-})}{Ln}$ = 41,4 kN (SNI 2847:2019 18.4.2.3 (a))

$V_{g,tumpuan}$ = 66,1906 kN

Ve = $V_{g,tumpuan}$ + V_{sway} = 107,59 kN (SNI 2847:2019 R18.4.2)

Penulangan Geser

n = 2

Av = $n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2$ = 157,08 mm²

Spasi = 50 mm

$s_{maks,1} = \frac{d}{4} = \frac{239}{4} = 59{,}75$ mm

$s_{maks,2} = 8 \cdot d_b = 8 \times 16{,}5 = 132$ mm

$s_{maks,3} = 150$ mm

Kontrol Spasi: Spasi sengkang terpasang ($s = 50$ mm) < $s_{maks} = 59{,}75$ mm (OK)

$V_s = A_v \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 157{,}08 \times 420 \times \frac{239}{150} = 315353$ N

Batas V_s= $0{,}66.\sqrt{fc'}.b.d$ = 172,796 N

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 44508$ N

ϕ = 0,75 (SNI 2847:2019 12.5.3, 21.2.4)

V_n = V_c+ V_s= 217303 N

V_u = 80605 N

$\phi V_n/V_u$= 2,022

$\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1{,}0$ (Aman / OK)

Lapangan

n = 2

$A_v = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 157{,}08$ mm^2

Spasi = 100 mm

$s_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{239}{2} = 119{,}50$ mm

Cek spasi: 100 mm < Smax (OK)

$V_s = A_v \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 157{,}08 \times 420 \times \frac{339}{150}$

$V_s = 157677$ N (SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3)

$V_{s,\text{maks}} = 0{,}66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 339 = 172796$ N

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 44508$ N

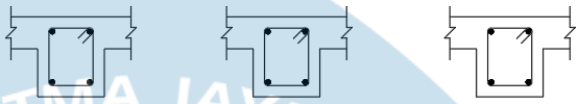
$\phi = 0{,}75$ (SNI 2847:2019)

$V_n = V_c + V_s = 94.696 + 149.131 = 202184$ N

$V_u = 79325{,}2$ N

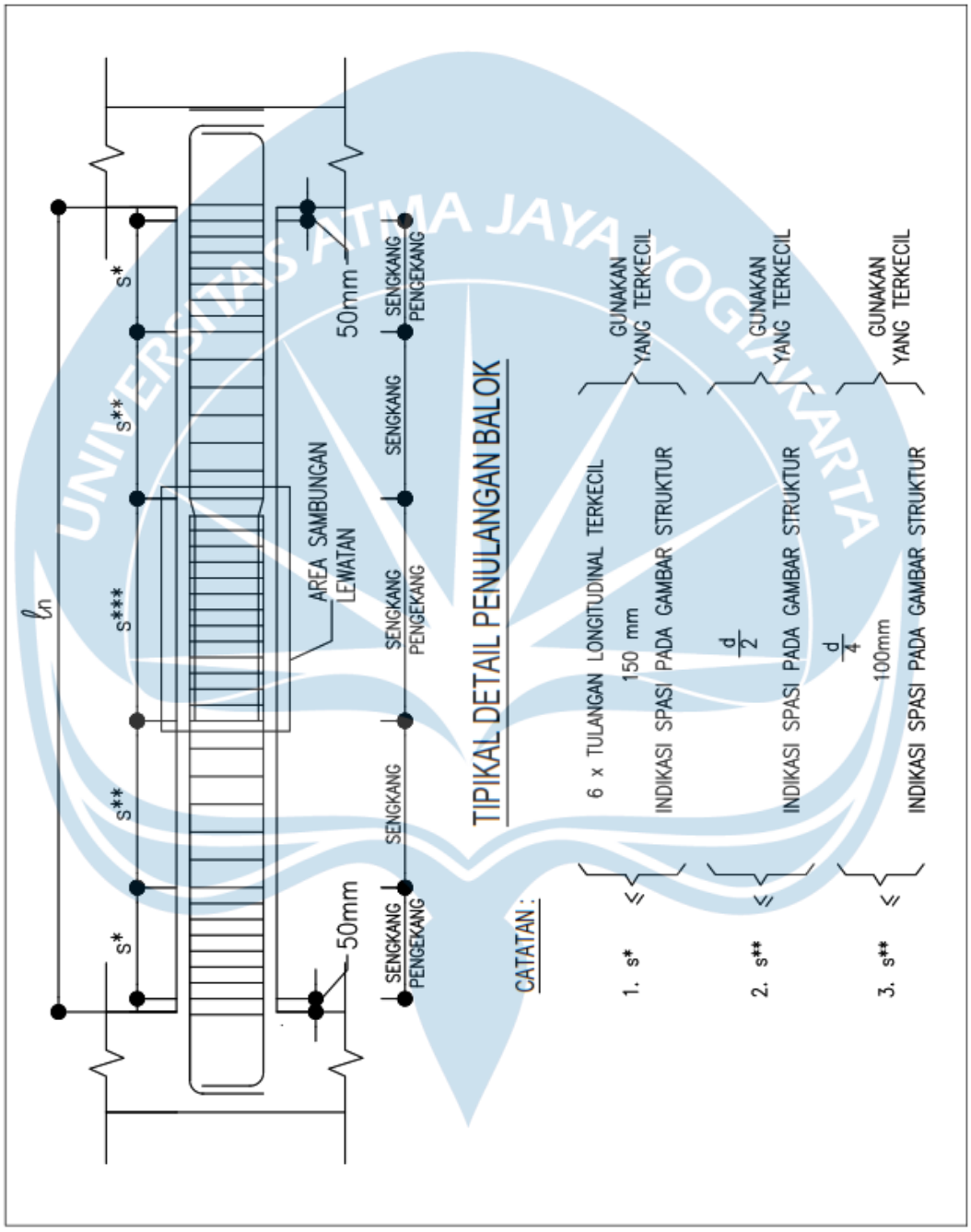
$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{182.870{,}25}{118.955{,}4} = 1{,}912 \geq 1{,}0$ (Struktur Aman / OK)

Cek kapasitas: $\phi V_n/V_u \geq 1$ = (OK)

TIPE BALOK / LANTAI	B2		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
LANTAI 1~5			
DIMENSI	250X300		
TULANGAN ATAS	2D22	2D22	2D22
TULANGAN BAWAH	2D22	2D22	2D22
SENGKANG PENGEKANG	D10–50	D10–100	D10–50
SENGKANG PENGIKAT	–	–	–

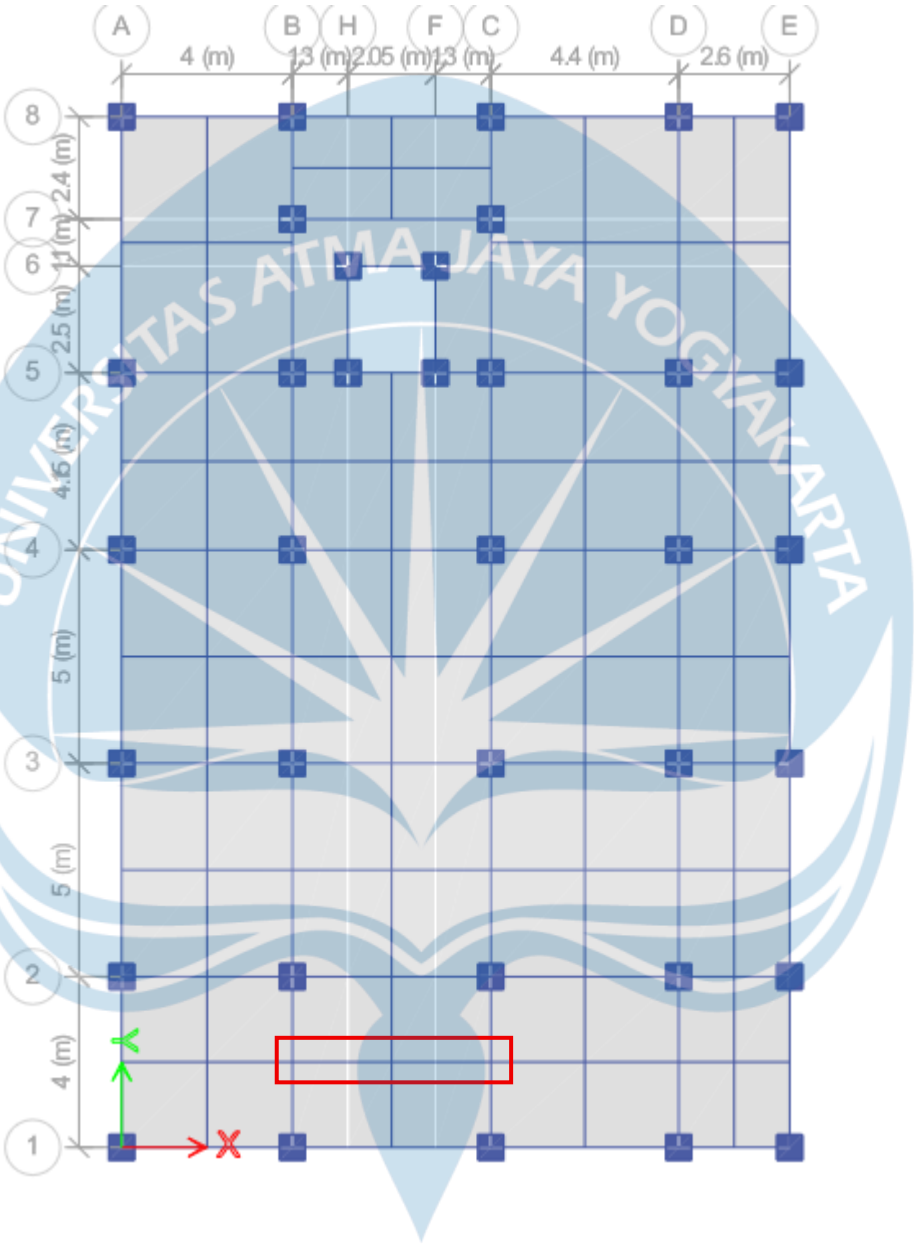
Gambar 2. 20 Penulangan Induk B2

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA



Gambar 2. 21 Tipikal Penulangan Balok 2

2.14 Perencanaan Balok Anak



Gambar 2. 22 Perencanaan Balok Anak Yang Ditinjau

Balok yang ditinjau

BA

Tumpuan

Mu (-) = -54,0689kN-m (Output etabs)

Mu(+) = 37,4311 kN-m (Outputetabs)

Lapangan

Mu (-) = -53,7561 kN-m (Output etabs)

Mu (+) = 54,3047 kN-m (Output etabs)

Momen Negatif Tumpuan : M (-)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2\,x\,(-54{,}0689x10\text{^}6\,)}{0{,}8\,x\,30\,x\,0{,}9\,x\,200}}$$

a = 59,87 mm²

B1 = 0,85

$C = \frac{a}{b} = \frac{59{,}87}{0{,}85}$ = 70,43 mm²

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm

$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d-\frac{a}{2})} = \frac{-54{,}0689x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (239\ -\ \frac{59{,}87}{2})}$ = 684,186 mm²

$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{684{,}186}{380{,}13}$ = 1,80> 2

As Pakai = 2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4\ x\ 420} = 155{,}84$ mm²

As min 2 = $\frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 200\ x\ 239}{420} = 159{,}33$ mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 200 x 239 = 1195 mm²

As max 1195 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 56 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25\text{ mm}) \Longrightarrow 56\text{ mm} \geq 25\text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan Atas yang digunakan yaitu 2D22

Momen Positif Tumpuan : M (+)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239\text{ mm} = 0{,}239\text{ m}$$

a = d - $\sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}}$ = 239 - $\sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (37{,}4311)x\ 10\text{^}6}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 200}}$

a = 51,62 mm²

B1 = 0,85

C = $\frac{a}{b} = \frac{51,62}{0,85}$ = 60,73mm²

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm²

As = $\frac{Mu}{\phi Fy(d-\frac{a}{2})} = \frac{37,4311x\ 10\text{^}6}{0,9 \times 420 \times (239 - \frac{51,62}{2})}$ = 464,487 mm²

n = $\frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t^2} = \frac{464,487}{380,13}$ = 1,22 > 2

As Pakai =2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

As min 1 = $\frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4 \times 420}$ = 155,84mm²

As min 2 = $\frac{1,4bd}{fy} = \frac{1,4\ x\ 300\ x\ 339}{420}$ = 159,33 mm²

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 1195 mm²

As max 1195 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 56 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 56 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan bawah yang digunakan yaitu 2D22

Momen Negatif Lapangan : M (-)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc'\phi b}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (53{,}7561\ x10\text{^}6\ )}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 200}}$$

a = 59,87 mm²

B1 = 0,85

$$C = \frac{a}{b} = \frac{59{,}87}{0{,}85} = 70{,}43 \text{ mm}^2$$

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm

$$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d - \frac{a}{2})} = \frac{53{,}7561x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (239 - \frac{59{,}87}{2})} = 680{,}228 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{684{,}186}{380{,}13} = 1{,}80 > 2$$

As Pakai = 2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

$$\text{As min 1} = \frac{\sqrt{f'c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4\ x\ 420} = 155{,}84 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min 2} = \frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 200\ x\ 239}{420} = 159{,}33 \text{ mm}^2$$

As max = 0.025bd = 0,025 x 200 x 239 = 1195 mm²

As max 1195 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 56 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 56 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan Atas yang digunakan yaitu 2D22

Momen Positif Lapangan : M (+)

f'_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yt} = 420 MPa

b = 250 mm

h = 300 mm

$\emptyset_s$ = 10 mm

D = 22 mm

Direncanakan Ø tulangan pokok = D22

$$d = h - t_b - \emptyset_s - \frac{1}{2}D$$

$$d = 300 - 40 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 22\right) = 239 \text{ mm} = 0{,}239 \text{ m}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{0{,}8Fc\prime\phi b}} = 239 - \sqrt{239^2 - \frac{2\ x\ (54{,}3047) x\ 10\text{^}6}{0{,}8\ x\ 30\ x\ 0{,}9\ x\ 200}}$$

a = 60,171 mm²

B1 = 0,85

$$C = \frac{a}{b} = \frac{60{,}171}{0{,}85} = 70{,}790 \text{ mm}^2$$

Cmax = 0,375 d = 89,625 mm²

$$As = \frac{Mu}{\phi Fy(d - \frac{a}{2})} = \frac{54{,}3047\ x\ 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 420\ x\ (239 - \frac{49{,}70}{2})} = 687{,}665 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} x\ d_t{}^2} = \frac{687{,}665}{380{,}13} = 1{,}81 > 2$$

As Pakai =2 x 380,13 = 760,26 mm²

Cek As maks dan As min :

$$\text{As min 1} = \frac{\sqrt{f\prime c}\ bd}{4fy} = \frac{\sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 239}{4\ x\ 420} = 155{,}84 \text{mm}^2$$

$$\text{As min 2} = \frac{1{,}4bd}{fy} = \frac{1{,}4\ x\ 300\ x\ 339}{420} = 159{,}33 \text{ mm}^2$$

As max = 0.025bd = 0,025 x 300 x 339 = 1195 mm²

As max 1195 mm² > As Pakai = Oke

Jarak bersih antar tulangan =

$$s = \frac{b - (2 \cdot t_c) - (2 \cdot D_s) - (n \cdot D_b)}{n - 1}$$

$$s = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} = \frac{200 - 80 - 20 - 44}{1} = 56 \text{ mm}$$

$s_{\text{bersih}} \geq \max(d_b, 25 \text{ mm}) \Longrightarrow 56 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat / OK)

Jadi Tulangan bawah yang digunakan yaitu 2D22

Desain Penulangan Geser Balok anak

Perancangan tulangan geser (sengkang) bertujuan untuk menentukan kebutuhan dimensi dan jarak sengkang baja pada elemen balok beton bertulang agar mampu menahan gaya geser terfaktor yang bekerja. Tahapan kalkulasi penulangan geser untuk Balok anak diuraikan sebagai berikut:

Gaya Dalam

Rekapitulasi gaya geser ultimit terfaktor (V_u) pada daerah tumpuan dan lapangan yang diperoleh dari luaran simulasi ETABS untuk Balok 1 disajikan di bawah ini:

$V_{u,\text{tumpuan}} = 80{,}6054$ kN

$V_{u,\text{lapangan}} = 79{,}3252$ kN-m

Perhitungan Momen Probabilitas (MPr)

Mpr- Dari Tumpuan Negatif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 59,87 mm²

= 74,84 mm²

Mpr- = As x 1,25 x fy (d -$\frac{(apr)}{2}$

=760,26 x 1,25 x 420 x (239 -$\frac{(74{,}84)}{2}$

= 80457935,67 Nmm

= 80,46 kNm

Mpr+ Dari Tumpuan Positif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 51,62 mm²

= 64,525 mm²

Perhitungan Momen Probabilitas (MPr)

Mpr- Dari Tumpuan Negatif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 46,05 mm²

= 57,56 mm²

Mpr- = As x 1,25 x fy (d -$\frac{(apr)}{2}$

=760,26 x 1,25 x 420 x (239 -$\frac{(57,56)}{2}$

= 83905976,11 Nmm

= 83,91 kNm

Mpr+ Dari Tumpuan Positif

Tulangan = 2D22

As Pakai = 760,26 mm²

Apr = 1,25 a

= 1,25 x 46,625 mm²

= 58,281 mm²

Mpr+ = As x 1,25 x fy (d -$\frac{(apr)}{2}$

=760,26 x 1,25 x 420 x (239 -$\frac{(58,281)}{2}$

= 83762536,43 Nmm

= 83,76 kNm

V_{sway} = $\frac{(Mpr^{+}+Mpr^{-})}{Ln}$ = 41,4 kN (SNI 2847:2019 18.4.2.3 (a))

$V_{g,tumpuan}$ = 66,1906 kN

Ve = $V_{g,tumpuan}$ + V_{sway} = 107,59 kN (SNI 2847:2019 R18.4.2)

Penulangan Geser

n = 2

$A_v = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 157{,}08$ mm^{2}Spasi= 50 mm

$s_{maks,1} = \frac{d}{4} = \frac{239}{4} = 59{,}75$ mm

$s_{maks,2} = 8 \cdot d_b = 8 \times 16{,}5 = 132$ mm

$s_{maks,3} = 150$ mm

Kontrol Spasi: Spasi sengkang terpasang ($s = 50$ mm) $< s_{maks} = 59{,}75$ mm (OK)

$V_s = A_v \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 157{,}08 \times 420 \times \frac{239}{150} = 315353$ N

Batas V_s= $0{,}66.\sqrt{fc'}.b.d$ = 172,796 N

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 44508$ N

ϕ = 0,75

V_n = V_c+ V_s= 217303 N

V_u = 80605 N

$\phi V_n/V_u$= 2,022

$\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1{,}0$ (Aman / OK)

Lapangan

n = 2

$A_v = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 157{,}08$ mm^2

Spasi = 100 mm

$s_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{239}{2} = 119{,}50$ mm

Cek spasi: 100 mm < Smax (OK)

$V_s = A_v \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 157{,}08 \times 420 \times \frac{339}{150}$

$V_s = 157677$ N (SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3)

$V_{s,\text{maks}} = 0{,}66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0{,}66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 339 = 172796$ N

$V_c = 0{,}17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 44508$ N

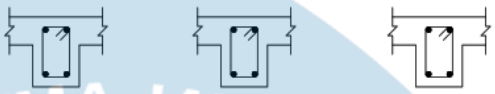
$\phi = 0{,}75$ (SNI 2847:2019)

$V_n = V_c + V_s = 94.696 + 149.131 = 202184$ N

$V_u = 79325{,}2$ N

$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{182.870{,}25}{118.955{,}4} = 1{,}912 \geq 1{,}0$ (Struktur Aman / OK)

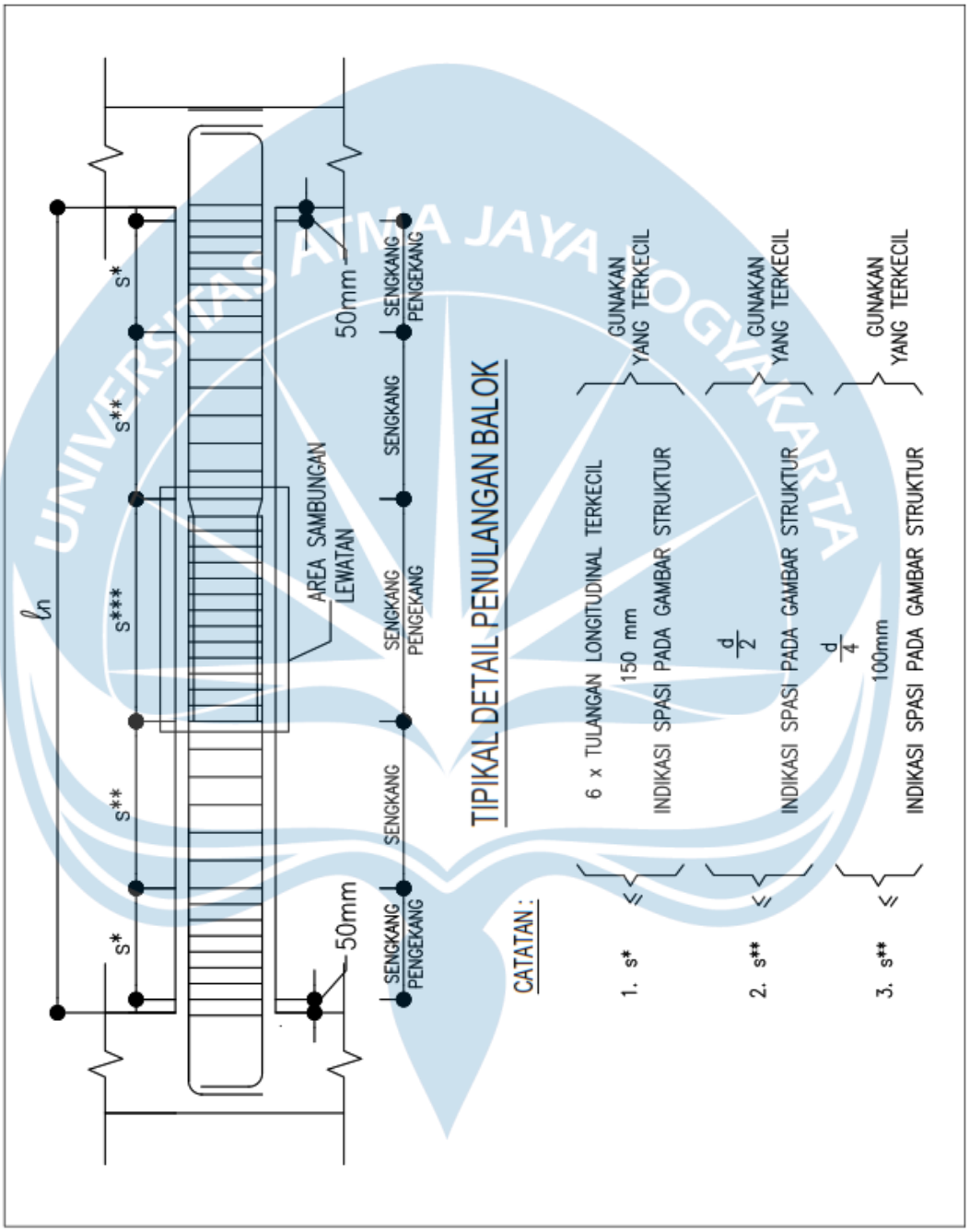
Cek kapasitas: $\phi V_n / V_u \geq 1$ = (OK)

TIPE BALOK / LANTAI	BA		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
LANTAI 1~5			
DIMENSI		200X300	
TULANGAN ATAS	2D22	2D22	2D22
TULANGAN BAWAH	2D22	2D22	2D22
SENGKANG PENGEKANG	D10–100	D10–100	D10–100
SKALA		1:50	

Gambar 2. 23 Penulangan BA

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Gam



Gambar 2. 24 Tipikal Penulangan Balok anak

Tahapan desain penulangan kolom bertujuan menentukan jumlah, konfigurasi diameter, serta letak posisi baja tulangan agar komponen struktur mampu menahan efek kombinasi gaya aksial, momen lentur, serta gaya geser berdasarkan regulasi teknis secara aman dan efisien. Rincian kalkulasi perencanaan penulangan untuk sampel Kolom 1 (K1) dipaparkan di bawah ini.

2.14.1 Properti Material dan Penampang Kolom 1

Tinggi Kolom Total (Tingkat), L	= 4200 mm
Dimensi Sisi Pendek Penampang, b	= 600 mm
Dimensi Sisi Panjang Penampang, h	= 600 mm
Diameter Tulangan Utama (Longitudinal), d_b	= 22 mm
Diameter Tulangan Transversal (Sengkang), d_s	= 13 mm
Tebal Selimut Beton Bersih, c_c	= 40 mm
Mutu Kuat Tekan Beton, f'_c	=30 MPa
Mutu Leleh Tulangan Longitudinal, f_y	= 420 MPa
Mutu Leleh Tulangan Transversal, f_{yt}	= 420 MPa
Tinggi Penampang Balok Penyambung, h_b	= 400 mm
Panjang Bersih Kolom L_n	= 3800 mm

Berdasarkan parameter desain di atas, Kolom K1 dirancang menggunakan penampang bujur sangkar ($b \times h = 600 \times 600$ mm) dengan panjang bersih bentang $L_n = L - h_b = 3800$ mm. Penggunaan tulangan longitudinal D22 dan sengkang $\emptyset 13$ disesuaikan untuk memenuhi kapasitas tekan serta lentur kombinasi, memanfaatkan kinerja mutu beton $f'_c = 30$ MPa dan mutu baja $f_y = 420$ MPa. Pelindung selimut beton sebesar $c_c = 40$ mm diterapkan guna menjamin ketahanan terhadap risiko korosi serta proteksi kebakaran. Pengurangan panjang bersih kolom oleh tinggi balok ($h_b = 400$ mm) dikalkulasikan untuk memperhitungkan kekakuan joint serta momen tambahan. Seluruh kombinasi variabel ini dikonfigurasikan agar memenuhi kriteria kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sesuai regulasi *SNI 2847:2019*.

2.14.2 Desain Longitudinal Kolom 1

Perancangan tulangan longitudinal pada kolom bertujuan untuk menentukan kebutuhan jumlah, ukuran diameter, serta tata letak distribusi batang baja dalam penampang beton bertulang agar mampu memikul kombinasi beban aksial dan momen lentur rencana. Tahapan kalkulasi penulangan longitudinal untuk Kolom K1 diuraikan sebagai berikut:.

a. Gaya Dalam

Rekapitulasi nilai gaya dalam aksial-lentur, gaya geser, serta beban tekan minimum yang diperoleh dari hasil pemodelan perangkat lunak ETABS disajikan pada Tabel 2.21, Tabel 2.25, dan Tabel 2.26 di bawah ini.

Tabel 2. 24 Gaya Dalam Aksial – Lentur

Aksial - Lentur			
Kondisi	**P (kN)**	**M2 (kN-m)**	**M3 (kN-m)**
P max	-12,7719	0,1945	7,9097
P min	-2000,7198	-1,2839	2,413
M2 Max	-801,4531	82,7166	14,8481
M2 Min	-119,5431	-70,1215	-21,8906
M3 Max	-713,5729	17,7542	58,875
M3 Min	-910,1555	14,1118	-64,7362

Tabel 2. 25 Gaya Dalam Geser

Geser	
Tumpuan	
V2 (kN)	27,2798
V3 (kN)	40,7438
Lapangan	
V2 (kN)	27,2798
V3 (kN)	40,7438

Tabel 2. 26 Gaya Tekan Terkecil

Gaya Tekan Terkecil	
Nu (kN)	0,01

b. Ketentuan Gaya dan Parameter Geometri

Evaluasi batas gaya dan kriteria geometri dalam perancangan kolom bertujuan untuk menjamin terpenuhinya kapasitas beban tekan, integritas batas penampang, serta spasi penempatan tulangan sesuai standar mutu demi keamanan dan durabilitas struktur.

Persyaratan Gaya Aksial Tekan Minimum

$P_u > 0{,}10 \cdot A_g \cdot f'_c$ (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1)

$P_u = 2000{,}7198$ kN $> (0{,}10 \times 600 \times 600 \times 30 \times 10^{-3})$

$= 1080$ kN (Memenuhi Syarat / OK)

Kriteria Ukuran Sisi Penampang Terpendek

$b \geq 300$ mm (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1)

$b = 600$ mm ≥ 300 mm (Memenuhi Syarat / OK)

Kriteria Rasio Dimensi Penampang

$\frac{b}{h} \geq 0{,}40$ (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1)

$\frac{600}{600} = 1{,}0 \geq 0{,}40$ (Memenuhi Syarat / OK)

c. Verifikasi Kapasitas Aksial-Lentur Kombinasi (Aplikasi SPColumn)

Evaluasi terhadap perilaku kombinasi aksial dan momen lentur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak analisis penampang (*SPColumn*) untuk memverifikasi ketahanan kolom dalam memikul beban kombinasi. Perangkat lunak ini memetakan diagram interaksi aksial-momen (P-M) berdasarkan kriteria batas kekuatan dan keamanan standar.

Dengan jumlah tulangan pokok $n = 16$

Luas Penampang Tulangan Longitudinal (A_s)

$$A_s = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 = 16 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 6082{,}12 \text{ mm}^2$$

Rasio Tulangan (ρ) dan Kontrol Limiting Value

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot h} = \frac{6082{,}12}{600 \times 600} = 0{,}01689 \approx 1{,}69\%$$

$\rho_{\text{min}} \leq \rho \leq \rho_{\text{maks}} \rightarrow 1\% \leq 1{,}69\% \leq 6\%$

(Memenuhi Syarat / OK - SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1)

Berdasarkan verifikasi kapasitas kombinasi aksial-momen serta rasio penulangan, konfigurasi kolom telah memenuhi kriteria batas rasio tulangan (ρ) merujuk pada *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.4.1 (rentang $1\% \leq \rho \leq 6\%$). Total luas tulangan longitudinal sebesar $6082{,}12$ mm^2 dengan rasio $1{,}69\%$ dinyatakan aman dan layak digunakan secara teknis.

d. Verifikasi Prinsip Kolom Kuat – Balok Lemah (SCWB)

Evaluasi kriteria *Strong Column – Weak Beam* (SCWB) bertujuan menjamin kapasitas momen nominal kolom lebih besar dibandingkan kapasitas balok pada area joint/titik buhul. Hal ini diterapkan untuk memicu terbentuknya sendi plastis pada elemen balok terlebih dahulu guna mencegah keruntuhan mendadak pada kolom, sehingga integritas dan stabilitas keseluruhan struktur tetap terjaga saat menerima beban gempa rencana.

Momen Nominal Kolom, M_{nc} = Mn dari kondisi ρmax dan ρmin = 578,200 kNm

M_n^- Tumpuan Balok $= A_s f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) = 149{,}813\ kNm$

M_n^+ Tumpuan Balok $= A'_s f_y\left(d' - \frac{a}{2}\right) = 99{,}912 kNm$

Cek SCWB $= 2.M_{nc} \geq 1{,}2\ x\ (M_n^- + M_n^+) =$ (Memenuhi Syarat / OK)

Berdasarkan hasil kalkulasi, verifikasi *Strong Column – Weak Beam* telah memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.3.2. Akumulasi kapasitas momen nominal kolom ($2 \times M_{nc}$) terbukti melampaui 1,20 kali dari total momen nominal balok penopang ($1{,}20 \sum M_{nb}$), sehingga struktur dinyatakan aman dan memenuhi prinsip kegagalan *daktil*.

2.14.3 Perancangan Tulangan Transversal Kolom 1

Perancangan tulangan transversal (sengkang/ikat) pada kolom bertujuan untuk menjamin ketahanan terhadap gaya geser, mencegah bahaya tekuk (*buckling*) pada batang tulangan longitudinal, serta memberikan efek pengekangan (*confinement*) guna meningkatkan daktilitas struktur. Tulangan transversal dikonfigurasikan menggunakan sengkang persegi dengan spesifikasi diameter dan jarak spasi mengacu pada ketentuan *SNI 2847:2019*. Prosedur kalkulasi untuk Kolom K1 diuraikan sebagai berikut:

Panjang Zona Sendi Plastis (l_o)

Zona sendi plastis merupakan wilayah pada elemen struktur yang mengalami deformasi inelastis saat menerima gaya gempa ekstrem. Wilayah ini

berlokasi di sekitar ujung tumpuan atau sambungan joint balok-kolom yang memikul momen lentur maksimum.

Kriteria Batas Panjang Sendi Plastis (l_o):

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.5.1, nilai l_o ditentukan dari angka terbesar di antara kriteria berikut:

$l_{o1} = h = 600$ mm

$l_{o2} = \frac{L_n}{6} = \frac{3800}{6} = 633{,}33$ mm

$l_{o3} = 450$ mm

Panjang zona pengekangan sendi plastis ditetapkan sebesar $l_o = 633{,}33$ mm (dapat dibulatkan ke atas menjadi 650 mm untuk kepraktisan pelaksanaan di lapangan). Penentuan nilai terbesar dari ketiga kriteria ini telah memenuhi syarat regulasi *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.5.1 demi menjamin keamanan zona tumpuan.

Penulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Pemasangan sengkang pengekang pada daerah sendi plastis berfungsi memberikan tekanan pengekangan pada inti beton (concrete core) serta menahan tulangan utama dari risiko tekuk lateral akibat gaya tekan aksial kombinasi.

Jumlah kaki sengkang arah sisi pendek (n_1) = 3 kaki

Jumlah kaki sengkang arah sisi panjang (n_2) = 3 kak

Spasi sengkang terpasang (s) = 100 mm

Jarak maksimum antar-kaki sengkang terikat ($x_{1,\text{maks}}$) = 300 mm (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2)

Luas Penampang Sengkang Terpasang (A_{sh}):

$A_{sh1} = n_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 398{,}20$ mm^2

$A_{sh2} = n_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 398{,}20$ mm^2

Berdasarkan hasil kalkulasi, konfigurasi sengkang transversal pada zona sendi plastis/tumpuan telah memenuhi ketentuan *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.5.2.

Jumlah kaki sengkang pada arah sumbu utama dan sekunder masing-masing terpasang 3 kaki, dengan spasi sengkang sebesar 100 mm serta jarak antar-kaki sengkang terbesar 300 mm. Luas penampang sengkang terpasang untuk kedua arah ortogonal (A_{sh1} dan A_{sh2}) adalah sebesar 398,20 mm^2. Konfigurasi ini menjamin terpenuhinya efek pengekangan yang optimal pada zona tumpuan guna meningkatkan kapasitas geser dan daktilitas struktur.

Pengekangan (*Confinement*) Zona Sendi Plastis

Confinement atau pengekangan pada daerah kritis sendi plastis dilakukan dengan memasangkan tulangan transversal tertutup di sekitar zona tumpuan dan sambungan joint. Fungsi utama pengekangan ini adalah menahan efek ekspansi lateral beton akibat beban lateral/aksial ekstrem, mengoptimalkan kuat geser, serta meningkatkan kapasitas deformasi inelastis struktur. Melalui mekanisme pengekangan ini, beton inti (*concrete core*) tetap dalam kondisi terkekang sehingga lebih tahan terhadap bahaya keruntuhan getas, memfasilitasi penyerapan energi gempa secara signifikan, dan mencegah terjadinya kegagalan struktur yang progresif.

Lebar Inti Beton (b_c):

$b_c = b - 2c_c = 600 - (2 \times 40) = 520$ mm (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2)

Panjang Penampang, Inti Beton, $h_c = h - 2c_c = 520$ mm (SNI 2847:2013 S21.6.4.2, SNI 2847:2019 R18.7.5.2)

Panjang Inti Beton (h_c):

$h_c = h - 2c_c = 600 - (2 \times 40) = 520$ mm (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2)

Luas Brut Penampang Kolom (A_g):

$A_g = b \cdot h = 600 \times 600 = 360.000$ mm^2

Luas Penampang Inti Beton Terkekang (A_{ch}):

$A_{ch} = b_c \cdot h_c = 520 \times 520 = 270.400$ mm^2

Berdasarkan parameter geometri yang diperoleh, perancangan pengekangan zona tumpuan telah memenuhi kriteria *SNI 2847:2019* Pasal

18.7.5.2. Dimensi penampang inti beton terkekang sebesar $b_c = h_c = 520$ mm, dengan luas $A_{ch} = 270.400\ \text{mm}^2$ terhadap luas penampang total $A_g = 360.000\ \text{mm}^2$, memberikan tingkat pengekangan yang memadai pada daerah sendi plastis.

Sisi Pendek/Sumbu Lemah

$$\left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\text{min},1} = 0{,}3 \cdot b_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yt}} \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) = 0{,}3 \times 520 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{360.000}{270.400} - 1\right)$$

$$= 3{,}692\ \text{mm}^2/\text{mm}$$

$$\left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\text{min},2} = 0{,}09 \cdot b_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0{,}09 \times 520 \times \frac{30}{420} = 3{,}343\ \text{mm}^2/\text{mm}$$

Dengan spasi $s = 100$ mm dan $A_{sh} = 398{,}20\ \text{mm}^2$, maka rasio terpasang adalah $\frac{A_{sh}}{s} = \frac{398{,}20}{100} = 3{,}982\ \text{mm}^2/\text{mm}$.

$\frac{A_{sh}}{s}$ (3,982) $\geq \left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\text{min}}$ (3,692) (Memenuhi Syarat / OK)

Sisi Panjang/Sumbu Kuat

$$\left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\text{min},1} = \frac{3{,}692\ \text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$\left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\text{min},2} = \frac{3{,}343\ \text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$\frac{A_{sh}}{s}$ (3,982) $\geq \left(\frac{A_{sh}}{s}\right)_{\text{min}}$ (3,692) (Memenuhi Syarat / OK)

Cek Spasi

$s_{\text{maks},1} = \frac{b}{4} = \frac{600}{4} = 150$ mm

$s_{\text{maks},2} = 6 \cdot d_b = 6 \times 22 = 132$ mm

$s_{\text{maks},3} = s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3}\right) = 100 + \left(\frac{350 - 300}{3}\right) = 116{,}67$ mm

Spasi Maksimum Izin $(s_{\text{maks}}) = \min\left(s_{\text{maks},1}; s_{\text{maks},2}; s_{\text{maks},3}\right) = 116{,}67$ mm

Spasi sengkang terpasang di lapangan ($s = 100$ mm) $< s_{\text{maks}} = 116{,}67$ mm (Memenuhi Syarat / OK).

Berdasarkan hasil perhitungan, verifikasi rasio penulangan sengkang pada arah sumbu lemah (sisi pendek) maupun sumbu kuat (sisi panjang) kolom telah memenuhi ketentuan standar *SNI 2847:2019*. Nilai kebutuhan luas sengkang per satuan spasi terhitung ($\frac{A_{sh}}{s} = 3{,}692$ mm^2/mm) terbukti melampaui batas minimum yang disyaratkan. Ketentuan ini berlaku konsisten untuk kedua arah penampang yang simetris. Selain itu, evaluasi jarak antar-sengkang menunjukkan bahwa spasi maksimum izin ($s_{\text{maks}} = 116{,}67$ mm) berada di atas nilai spasi terpasang (100 mm). Dengan demikian, konfigurasi tulangan transversal zona tumpuan dinyatakan aman dan memenuhi kriteria regulasi.

Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Kapasitas geser pada zona sendi plastis mencerminkan ketahanan kombinasi beton dan sengkang dalam memikul gaya geser di wilayah yang mengalami deformasi inelastis akibat beban gempa. Mengingat beton di daerah tumpuan mengalami retak akibat leleh lentur, kontribusi perlawanan geser dialihkan secara dominan kepada tulangan transversal (sengkang tertutup/sengkang ikat) guna menahan gaya geser rencana dan mencegah kegagalan geser yang bersifat getas.

Gaya Geser Desain (Input dari SP Column dengan fpr = 1.25 fy)

Gaya geser desain kolom dihitung berbasis kapasitas momen probable (M_{pr}) yang memperhitungkan pembesaran kuat leleh baja sebesar $1{,}25f_y$ melalui simulasi perangkat lunak *SPColumn*.

Momen Probable Kolom Terbesar (M_{pr}):

$M_{pr,\text{kolom}} = 692{,}740$ kNm

Gaya Geser Rencana Terfaktor (V_{u1}):

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.6.1, gaya geser desain kolom dihitung dari kapasitas momen probable ujung atas dan bawah kolom:

$$V_{u1} = \frac{2 \cdot M_{pr,\text{kolom}}}{L_n} = \frac{2 \times 692{,}740 \text{ kNm}}{3{,}80 \text{ m}} = 364{,}60 \text{ kN} \quad (364.600 \text{ N})$$

Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

Gaya geser sumbu lemah ($V_{u2,\text{sumbu lemah}}$) = 27.280 N (27,28 kN)

Gaya geser sumbu kuat ($V_{u2,\text{sumbu kuat}}$) = 40.744 N (40,744 kN)

Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

Gaya geser desain rencana (V_u) diambil dari nilai kritis terbesar antara gaya geser kapasitas (V_{u1}) dan gaya geser analisis struktur (V_{u2}):

$V_u = \max(V_{u1}; V_{u2}) = \max(364.600; 27.280) = 364.600$ N

Kuat Geser Nominal Beton (V_c) dengan Pengaruh Aksial Tekan:

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 22.5.6.1, kontribusi geser beton yang memikul beban aksial tekan dihitung dengan memperhitungkan tinggi efektif $d = b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2} = 600 - 40 - 13 - \frac{22}{2} = 536$ mm:

$$V_c = 0{,}17 \times \left(1 + \frac{2.000.719{,}8}{14 \times 360.000}\right) \times \sqrt{30} \times 600 \times 536 = 299.452 \text{ N}$$

Kebutuhan Kuat Geser Sengkang (V_s,perlu):

$$V_{s,\text{perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{364.600}{0{,}75} - 299.452 = 186.682 \text{ N} \quad \text{(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1)}$$

Kebutuhan Luas Penalangan Transversal Per Satuan Panjang (A_v/s Perlu):

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{perlu}} = \frac{V_{s,\text{perlu}}}{f_{yt} \cdot d}$$

$$= \frac{186.682}{420 \times 536} = 0{,}8293 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad \text{(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3)}$$

Batas Tulangan Geser Minimum ($\frac{A_v}{s}_{\text{min}}$):

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min},1} = 0{,}062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{h}{f_{yt}} = 0{,}062 \times \sqrt{30} \times \frac{600}{420} = 0{,}4851 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min},2} = 0{,}35 \cdot \frac{h}{f_{yt}} = 0{,}35 \times \frac{600}{420} = 0{,}5000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh1}}{s}\ (3{,}982) \geq \max\left(\left[\frac{A_v}{s}\right]_{\text{perlu}}; \left[\frac{A_v}{s}\right]_{\text{min}}\right) \rightarrow 3{,}982 \geq \max(0{,}8293; 0{,}5000)$$

(Memenuhi Syarat / OK)

Evaluasi Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

Karena penampang berbentuk simetris bujur sangkar (600×600 mm), gaya geser terfaktor rencana $V_u = 364.600$ N menghasilkan perhitungan tahanan geser yang sebanding dengan sumbu lemah

$\phi = 0{,}75$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)

$$V_c = 0{,}17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0{,}17 \times \left(1 + \frac{2.000.719{,}8}{14 \times 360.000}\right) \times \sqrt{30} \times 600 \times 536 = 299.452 \text{ N}$$

$$V_{s,\text{perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{364.600}{0{,}75} - 299.452 = 186.682 \text{ N}$$

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.1)

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{perlu}} = \frac{V_{s,\text{perlu}}}{f_{yt} \cdot d} = \frac{186.682}{420 \times 536} = \frac{0{,}8293 \text{ mm}^2}{\text{mm}}$$

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3)

Batas Tulangan Transversal Minimum ($\frac{A_v}{s}_{\text{min}}$):

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 10.6.2.2:

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min},1} = 0{,}062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{h}{f_{yt}} = 0{,}062 \times \sqrt{30} \times \frac{600}{420} = 0{,}4851 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min},2} = 0{,}35 \cdot \frac{h}{f_{yt}} = 0{,}35 \times \frac{600}{420} = 0{,}5000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh1}}{s}\,(3{,}982) \geq \max\left(\left[\frac{A_v}{s}\right]_{\text{perlu}}; \left[\frac{A_v}{s}\right]_{\text{min}}\right) \rightarrow 3{,}982 \geq \max(0{,}8293; 0{,}5000)$$

(Memenuhi Syarat / OK)

Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Jumlah kaki sisi pendek (n_1) = 3 kaki

Jumlah kaki sisi panjang (n_2) = 3 kaki

Spasi sengkang rencana (s) = 100 mm

Luas sengkang terpasang arah sumbu lemah (A_v) = $3 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 398{,}20$ mm^2

Luas sengkang terpasang arah sumbu kuat (A_v) = $3 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 398{,}20$ mm^2

Kontrol Spasi Maksimum Sengkang Luar Sendi Plastis (s_{maks}):

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 18.7.5.5, spasi sengkang di luar zona sendi plastis tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

$s_{\text{maks,1}} = 6 \cdot d_b = 6 \times 22 = 132$ mm

$s_{\text{maks,2}} = 150$ mm

Spasi sengkang terpasang di luar zona sendi plastis ($s = 100$ mm) $< s_{\text{maks}} = 132$ mm

(Memenuhi Syarat / OK).

Kapasitas Geser Luar Zona Sendi Plastis (Daerah Lapangan)

Perancangan ketahanan geser di luar zona sendi plastis (daerah lapangan) bertujuan untuk memastikan bahwasanya kapasitas geser nominal penampang tetap memadai dalam menampung gaya geser analisis struktur (V_{u2}), sehingga tingkat deformasi inelastis tetap terkendali dan bahaya keruntuhan geser getas dapat dihindari.

Tahanan Geser Sumbu Lemah (Daerah Lapangan)

$V_u = 27.280$ N (27,28 kN)

Faktor Reduksi Geser (ϕ): $\phi = 0{,}75$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)

$$V_c = 0{,}17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 299.452 \text{ N}$$

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$V_{s,\text{perlu}} = \max\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c; 0\right) = \max\left(\frac{27.280}{0{,}75} - 299.452; 0\right) = 0 \text{ N}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{perlu}} = 0{,}000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

(SNI 2847:2013, 11.4.7.2; SNI 2847:2019, 22.5.10.5.3)

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min,1}} = 0{,}062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b}{f_{yt}} = 0{,}062 \times \sqrt{30} \times \frac{600}{420} = 0{,}4851 \text{ mm}^2/\text{mmA}_s/\text{s}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min,2}} = 0{,}35 \cdot \frac{b}{f_{yt}} = 0{,}35 \times \frac{600}{420} = 0{,}5000 \text{ mm}^2/\text{mm})$$

$$\frac{A_v}{s}\ (3{,}982) \geq \max\left(\left[\frac{A_v}{s}\right]_{\text{perlu}}; \left[\frac{A_v}{s}\right]_{\text{min}}\right) \rightarrow 3{,}982 \geq 0{,}5000$$

(Memenuhi Syarat / OK)

Tahan Beton Sumbu Kuat

$V_u = 40.744$ N (40,744 kN)

Faktor Reduksi Geser (ϕ): $\phi = 0{,}75$ (SNI 2847:2019)

$V_c = 299.452$ N (SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$V_{s,\text{perlu}} = \max\left(\frac{40.744}{0{,}75} - 299.452; 0\right) = 0 \text{ N}$$

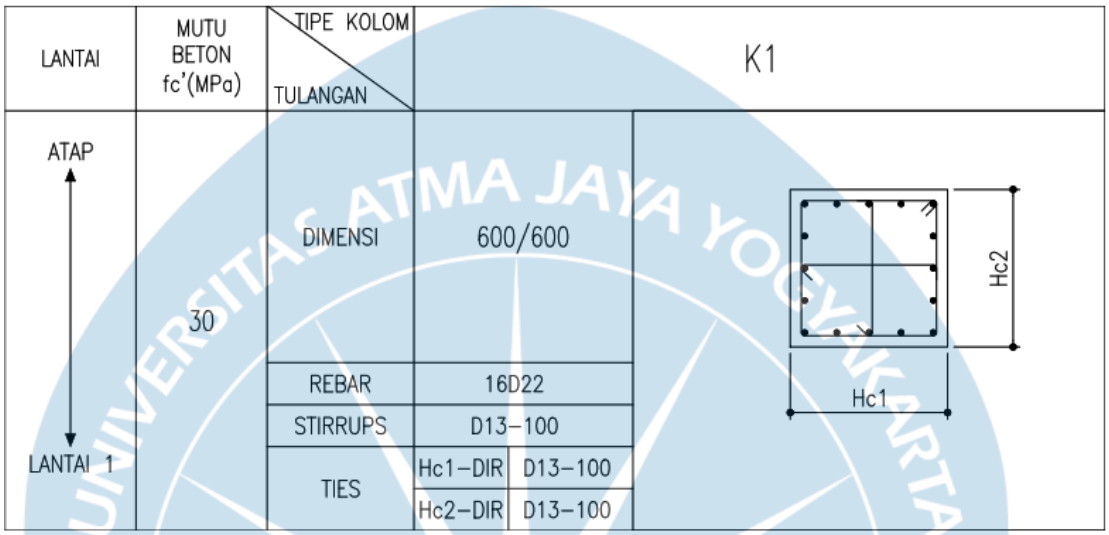
$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{perlu}} = 0{,}000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min}} = \max(0{,}4851; 0{,}5000) = 0{,}5000 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

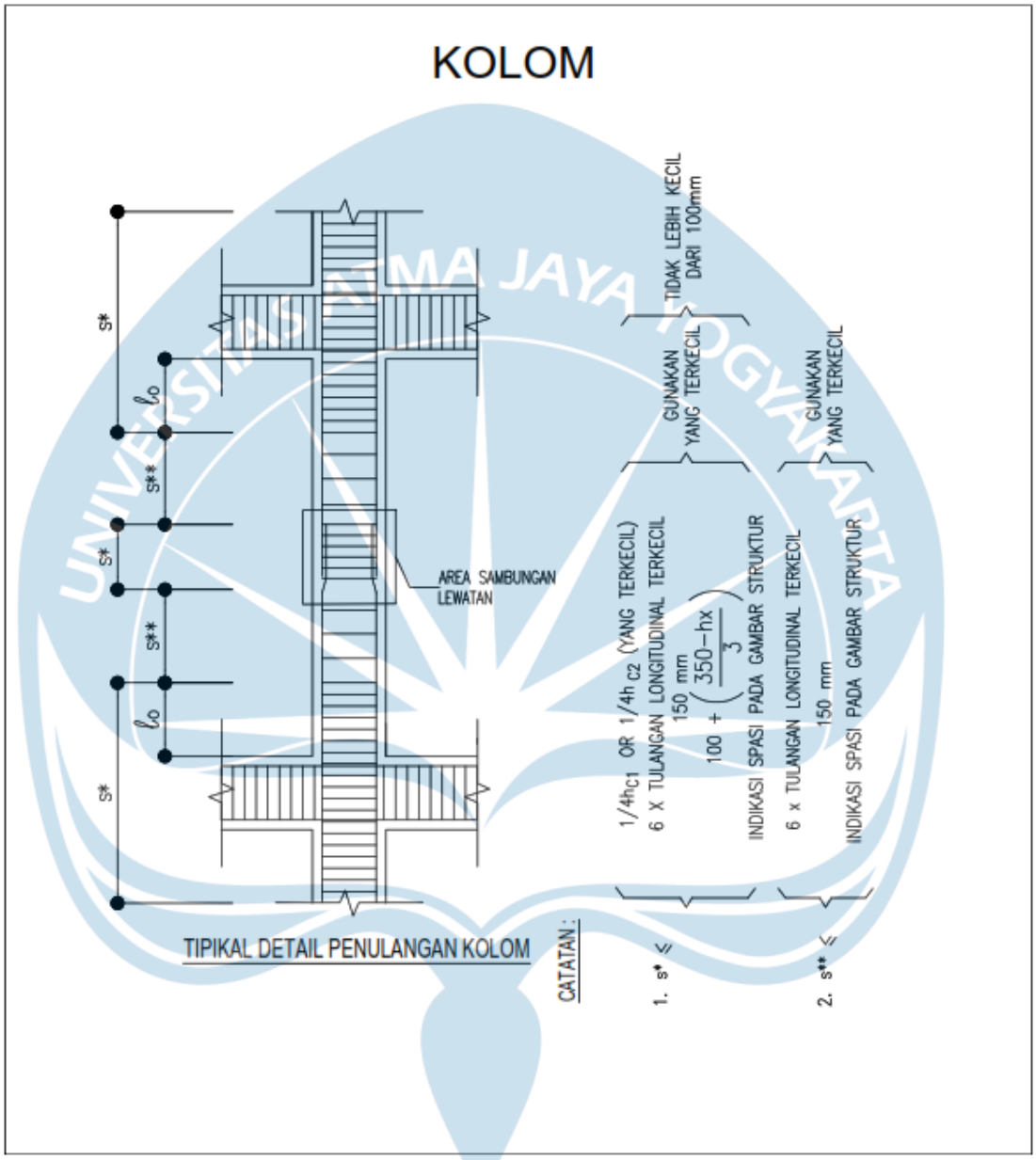
$$\frac{A_v}{s}\ (3{,}982) \geq \left(\frac{A_v}{s}\right)_{\text{min}}\ (0{,}5000)$$ (Memenuhi Syarat / OK)

Berdasarkan serangkaian analisis penulangan Kolom K1 yang mencakup verifikasi batas geometri, kontrol kapasitas aksial-lentur kombinasi, evaluasi *Strong Column – Weak Beam*, serta tahanan geser dan pengekangan daerah tumpuan maupun lapangan, dapat disimpulkan bahwa komponen **Kolom K1 dinyatakan aman, daktil, dan memenuhi seluruh kriteria *SNI 2847:2019***.

Detail rekapitulasi konfigurasi penulangan Kolom K1 disajikan pada gambar skema di bawah ini.



Gambar 2. 25 Penulangan Kolom



Gambar 2. 26 Tipikal Detail Penulangan Kolom

2.15 Perancangan Hubungan Balok-Kolom

Zona Hubungan Balok-Kolom (HBK) atau *joint* merupakan elemen kritis pada portal struktur beton bertulang yang berfungsi menyalurkan transfer gaya-gaya dalam (gaya aksial, geser, serta momen lentur) dari balok menuju kolom secara efektif dan kontinu. Daerah *joint* wajib dirancang untuk menjamin ketahanan terhadap kombinasi beban gravitasi maupun gaya geser siklik akibat beban gempa. Rincian tahapan analisis perancangan HBK dipaparkan sebagai berikut:

2.15.1 Properti Material dan Penampang Hubungan

Lebar Kolom Arah Sumbu-Y, b = 600 mm

Lebar Kolom Arah Sumbu-X, h = 600 mm

Tinggi Kolom Total (Tingkat), L = 4200 mm

Mutu Kuat Tekan Beton, f'_c = 30 Mpa

Mutu Leleh Utama Baja Tulangan, f_y = 420 MPa

Faktor Modifikasi Beton Ringan, λ = 1

Tinggi Penampang Balok Terbesar, h_b = 400 mm

Bentang Bersih Kolom, L_n = 3800 mm

2.15.2 Data Lebar dan Eksentrisitas Balok

Bentang Balok (b_{b1}) = 300 mm

Bentang Balok (b_{b2}) = 300 mm

Bentang Balok (b_{b3}) = 200 mm

Bentang Balok (b_{b4}) = 200 mm

$$x_{1a} = x_{1b} = \frac{h - b_{b1}}{2} = \frac{600 - 300}{2} = 150 \text{ mm}$$

Periksa Bentang Sisi b_{b1} = b_{b1}+ x_{1a}+ x_{1b}= = 600 mm

$$x_{2a} = x_{2b} = \frac{h - b_{b2}}{2} = \frac{600 - 200}{2} = 200 \text{ mm}$$

Periksa Bentang Sisi b_{b2} = b_{b2}+ x_{2a}+ x_{2b}= = 600 mm

$$x_{3a} = x_{3b} = \frac{h - b_{b3}}{2} = \frac{600 - 200}{2} = 200 \text{ mm}$$

Periksa Bentang Sisi b_{b3} $= b_{b3} + x_{3a} + x_{3b} = = 600$ mm

$$x_{3a} = x_{3b} = \frac{h - b_{b3}}{2} = \frac{600 - 200}{2} = 200 \text{ mm}$$

Periksa Bentang Sisi b_{b4} $= b_{b4} + x_{4a} + x_{4b} = 600$ mm

$$x_{3a} = x_{3b} = \frac{h - b_{b4}}{2} = \frac{600 - 200}{2} = 200 \text{ mm}$$

2.15.3 Dimensi Joint

Sisi 1: $x_1 = \min(x_{1a}; x_{1b}) = 150$ mm

Sisi 2: $x_2 = \min(x_{2a}; x_{2b}) = 150$ mm

Sisi 3: $x_3 = \min(x_{3a}; x_{3b}) = 200$ mm

Sisi 4: $x_4 = \min(x_{4a}; x_{4b}) = 200$ mm

Sisi 1: $b_{j1} = \min(b_{b1} + h; b_{b1} + 2x_1) = \min(300 + 600; 300 + 2(150)) =$ 600 mm)

Sisi 2: $b_{j2} = \min(b_{b2} + h; b_{b2} + 2x_2) = \min(300 + 600; 300 + 2(150)) =$ 600 mm)

Sisi 3: $b_{j3} = \min(b_{b3} + h; b_{b3} + 2x_3) = \min(200 + 600; 200 + 2(200)) =$ 600 mm)

Sisi 4: $b_{j4} = \min(b_{b4} + h; b_{b4} + 2x_4) = \min(200 + 600; 200 + 2(200)) =$ 600 mm)

Lebar Efektif Arah Y (b_j) = $\min(b_{j1}; b_{j2}) = 600$ mm

Lebar Efektif Arah X (h_j) = $\min(b_{j3}; b_{j4}) = 600$ mm

Luas Efektif Arah Gempa X (A_{jx}) = $h_j \cdot b = 600 \times 600 = 360.000$ mm^2

Luas Efektif Arah Gempa Y (A_{jy}) = $b \cdot b_j = 600 \times 600 = 360.000$ mm^2

Kontrol Tinggi Joint: $h_j = 600$ mm $\geq \frac{1}{2} h_b = \frac{1}{2}(400) =$ 200 mm (Memenuhi Syarat / OK - SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.3)

2.15.4 Data dan Gaya Tulangan Balok

Diameter tulangan utama balok, d_b = 22 mm

Cek dimensi kolom: b ≥ 20db = (OK) (SNI 2847:2019 R18.8.3)

Tulangan atas balok 1, A_s^-1 = 1140,398 mm^2

Tulangan bawah balok 1, A_s^-1 = 1140,398 mm^2

Tulangan atas balok 2, A_s^-2 = 1140,398 mm^2

Tulangan bawah balok 2, A_s^-2 = 1140,398 mm^2

Tulangan atas balok 3, A_s^-3 = 1140,398 mm^2

Tulangan bawah balok 3, A_s^-3 = 1140,398 mm^2

Tulangan atas balok 4, A_s^-4 = 1140,398 mm^2

Tulangan bawah balok 4, A_s^-4 = 1140,398 mm^2

Berdasarkan *SNI 2847:2019* Pasal 18.8.2.1, tegangan leleh probable tulangan baja dihitung sebesar $f_{pr} = 1{,}25 \cdot f_y = 1{,}25 \times 420 = 525$ MPa. Gaya aksial probable tulangan pada masing-masing sisi balok diperoleh:

$F_{pr} = A_s \cdot f_{pr} = 1140{,}398 \text{ mm}^2 \times 525 \text{ MPa} = 598.708{,}95 \text{ N} \approx 598.709 \text{ N}$

Gaya Geser Akibat Balok (V_{balok})

Geser Gempa Arah X$^-$: $F_s^-3 + C_4 = F_s^-3 + F_s^+4 = 1.197.418$ N

Geser Gempa Arah X$^+$: $F_s^-4 + C_3 = F_s^-4 + F_s^+3 = 1.197.418$ N

Geser Gempa Arah Y$^-$: $F_s^-1 + C_2 = F_s^-1 + F_s^+2 = 1.197.418$ N

Geser Gempa Arah Y$^+$: $F_s^-2 + C_1 = F_s^-2 + F_s^+1 = 1.197.418$ N

2.15.5 Gaya Geser Kolom (*Beam Hinging*)

Balok 1 & 2:

$M_{pr}^- = 187{,}27$ kNm (187.266.161 Nmm)

$M_{pr}^+ = 124{,}89$ kNm (124.886.817 Nmm)

Balok 3 & 4:

$M_{pr}^{-} = 80{,}46$ kNm (80.457.936 Nmm)

$M_{pr}^{+} = 83{,}00$ kNm (82.995.446 Nmm)

Balok 1 & 2:

$V_{e1} = V_{e2} = 169.920$ N

Balok 3 & 4:

$V_{e3} = V_{e4} = 106.549$ N

Gempa Arah X^{-} & X^{+}:

$$V_{\text{kol,X}} = \frac{\left(M_{pr3}^{+} + M_{pr4}^{-}\right) + (V_{e3} + V_{e4}) \cdot \frac{h_b}{2}}{L_n}$$

$$= \frac{(82.995.446 + 80.457.936) + (106.549 + 106.549) \cdot 200}{3800} = 59.838 \text{ N}$$

Gempa Arah Y^{-} & Y^{+}:

$$V_{\text{kol,Y}} = \frac{\left(M_{pr1}^{+} + M_{pr2}^{-}\right) + (V_{e1} + V_{e2}) \cdot \frac{h_b}{2}}{L_n}$$

$$= \frac{(124.886.817 + 187.266.161) + (169.920 + 169.920) \cdot 200}{3800} = 108.975 \text{ N}$$

2.15.6 Gaya Geser Total Joint

Geser Joint Arah Gempa X (V_{uX}): $F_s + C - V_{\text{kol,X}} = 1.197.418 - 59.838 =$ 1.137.580 N

Geser Joint Arah Gempa Y (V_{uY}): $F_s + C - V_{\text{kol,Y}} = 1.197.418 - 108.975 =$ 1.088.443 N

2.15.7 Kuat Geser Joint

Kategori Sambungan: Diterima oleh 3 atau 4 sisi balok penopang (faktor $\gamma = 1{,}0$ atau $c = 1{,}0$ untuk kondisi terkekang parsial / tumpuan dalam, merujuk *SNI 2847:2019* Pasal 18.8.4.1).

Faktor Modifikasi Beton Normal (λ): 1,0

Kuat Geser Terfaktor Joint (ϕV_n)

Arah X (V_{nX}) $= \gamma \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{jX} = 1{,}0 \times 1{,}0 \times \sqrt{30} \times 360.000 = 1.971.801$ N

Arah Y $(V_{nY}) = \gamma \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{jY} = 1{,}0 \times 1{,}0 \times \sqrt{30} \times 360.000 = 1.971.801$ N

Dengan faktor reduksi kekuatan geser $\phi = 0{,}85$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1):

$\phi V_{nX} = \phi V_{nY} = 0{,}85 \times 1.971.801 = 1.676.031$ N

Gaya geser rencana Gempa X (V_{uX}) = 1.137.580 N

Gaya geser rencana Gempa Y (V_{uY}) = 1.088.443 N

$$\text{SF}_X = \frac{\phi V_{nX}}{V_{uX}} = \frac{1.676.031}{1.137.580} = 1{,}473 \geq 1{,}00 \quad \text{(Memenuhi Syarat / OK)}$$

$$\text{SF}_Y = \frac{\phi V_{nY}}{V_{uY}} = \frac{1.676.031}{1.088.443} = 1{,}540 \geq 1{,}00 \quad \text{(Memenuhi Syarat / OK)}$$

2.15.8 Ketentuan Tulangan Traanversal Joint

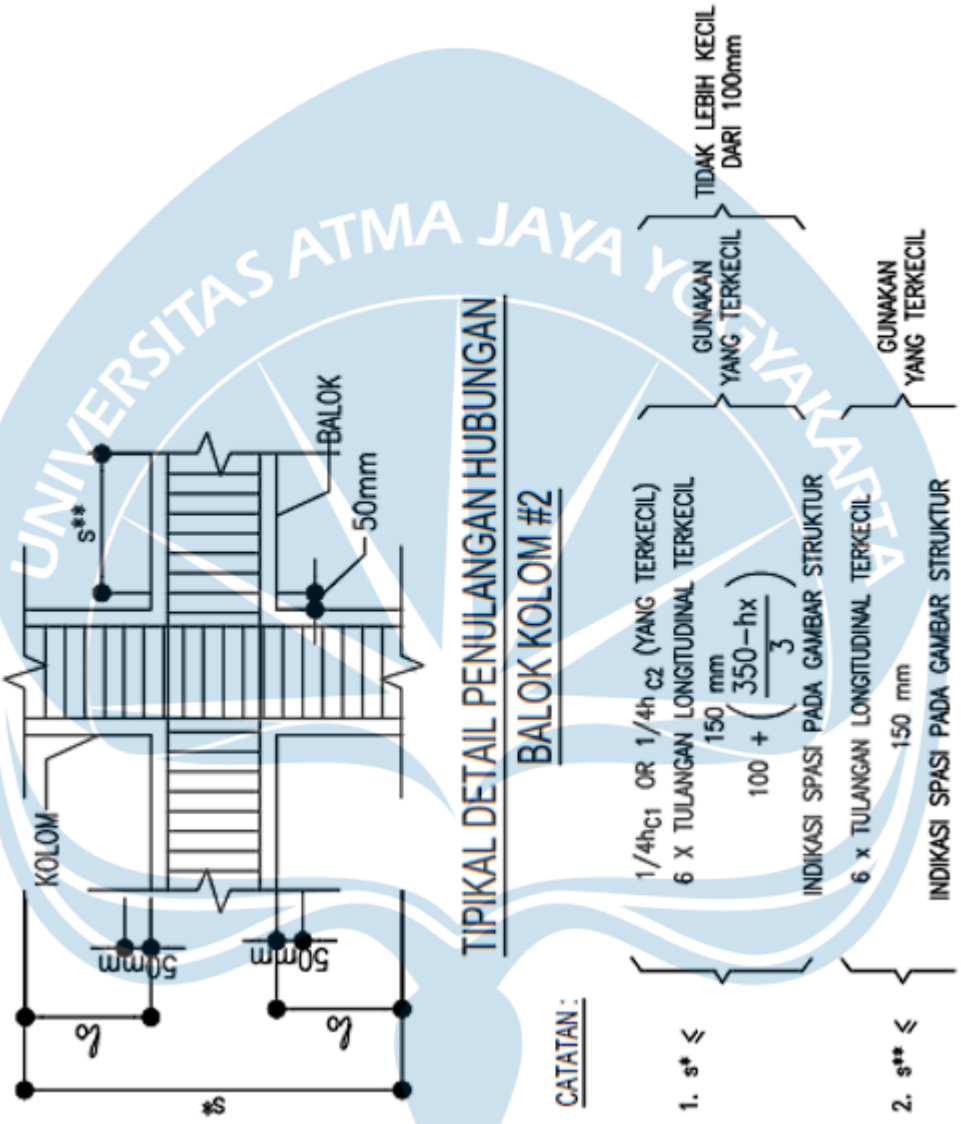
Pemasangan sengkang transversal pada zona *joint* HBK wajib meneruskan konfigurasi pengekangan (*confinement*) yang berlaku pada daerah tumpuan/sendi plastis kolom sesuai aturan *SNI 2847:2019* Pasal 18.8.3.2.

2.15.9 Panjang Penyaluran Tarik Tulangan Balok pada Joint (l_{dh})

Merujuk pada ketentuan *SNI 2847:2019* Pasal 18.8.5.1, panjang penyaluran kait standar 90° dalam kondisi tarik (l_{dh}) dihitung sebagai berikut:

$$l_{dh,\text{hitung}} = \frac{f_y \cdot d_b}{5{,}4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} = \frac{420 \times 22}{5{,}4 \times 1{,}0 \times \sqrt{30}} = 312{,}405 \text{ mm}$$

$$l_{dh,\text{pakai}} = \max(312{,}405 \text{ mm}; 8 \times 22 = 176 \text{ mm}; 150 \text{ mm}) = 312{,}405 \text{ mm}$$



Gambar 2. 27 Hubungan Balok Kolom