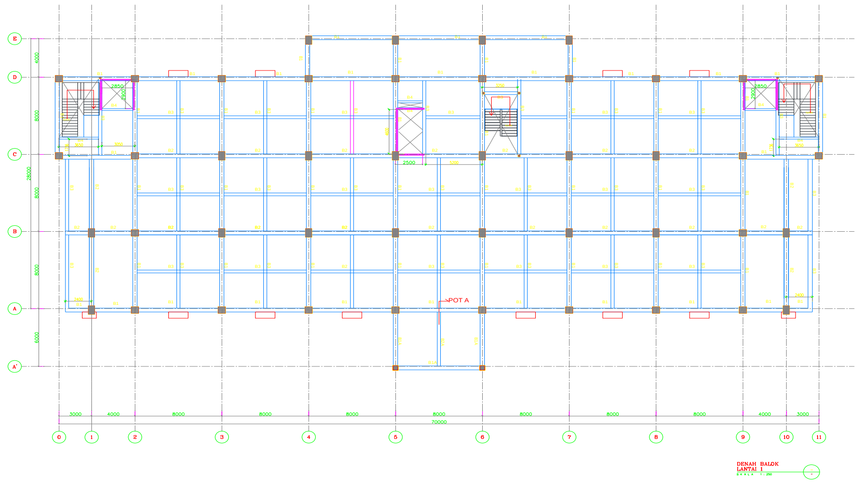
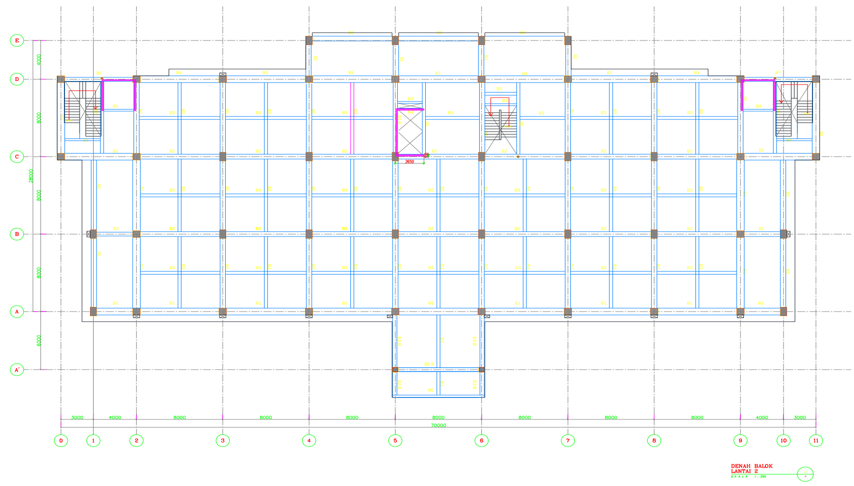
BAB IV

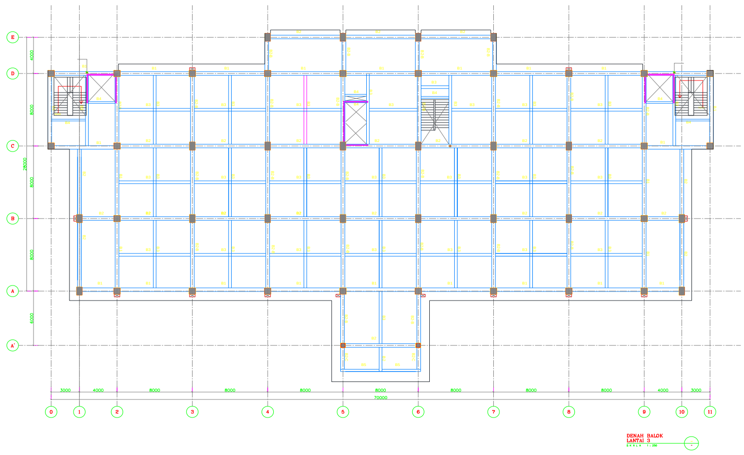
ANALISA DAN PERHITUNGAN



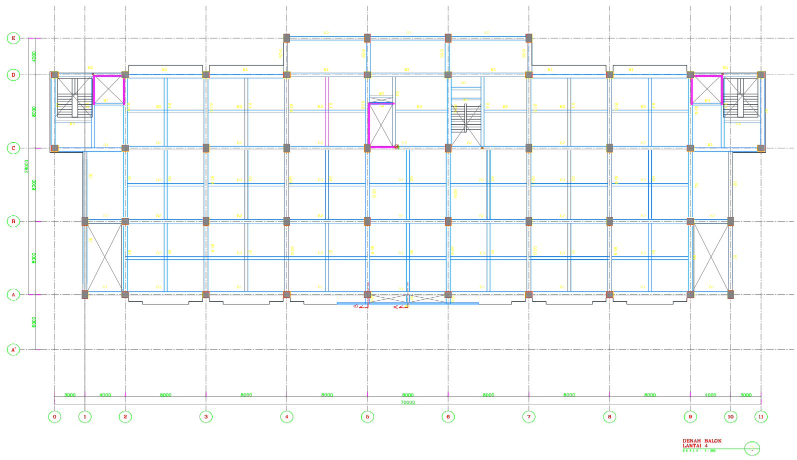
Gambar 4.1 Denah lantai 1 Elevasi 5 meter Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang



Gambar 4.2 Denah Lanta 2 Elevasi 4 meter Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Univerditas Negeri Malang



Gambar 4.3 Denah Lantai 3 Elevasi 4 meter Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang



Gambar 4.4 Denah lantai 4, 5, 6, dan 7 Elevasi 4 meter Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang

4.1 Perencanaan Dimensi Balok Dan Kolom

Dimensi balok dan kolom yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah dimensi yang sesuai dengan eksistingnya.

4.1.1 Dimensi Balok

Balok harus memenuhi syarat berikut ini :

- Bentang bersih ln, harus minimal 4d
- Lebar penampang bw, harus sekurangnya nilai terkecil dari 0,3h dan 250 mm
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi ninai terkecil dari c2 dan 0,75c1 pada masing-masing sisi kolom.

a. Dimensi Balok (B1)

Dengan menggunakan rumus pendekatan perhitungan dimensi balok, bentang terpanjang = 8 meter

- Batas maksimum tinggi balok (h) :

$hmax = \frac{1}{10}$ x panjang bentang

$hmax = \frac{1}{10}$ x 8

$= 0,8$ meter

- Batas minimum tinggi balok (h):

$hmax = \frac{1}{15}$ x panjang bentang

$hmax = \frac{1}{15}$ x 8

$= 0,533$ meter

Maka dipakai tinggi balok 0,8 meter

- Batas maksimum lebar balok (b) :

$hmax = \frac{1}{2}$ x h balok

$hmax = \frac{1}{2}$ x 0,8

$= 0,4$ meter

- Batas minimum lebar balok (b) :

  hmax $= \frac{2}{3}$ x h balok

  hmax $= \frac{2}{3}$ x 0,8

  = 0,553 meter

  Maka dipakai lebar balok 0,4 meter

  Jadi, dipakai balok ukuran $\frac{40}{80}$ = 0,5 > 0,3 (OK)

b. Dimensi Balok (B2)

   Dengan menggunakan rumus pendekatan perhitungan dimensi balok, bentang terpanjang = 8 meter

   - Batas maksimum tinggi balok (h) :

     hmax $= \frac{1}{10}$ x panjang bentang

     hmax $= \frac{1}{10}$ x 8

     = 0,8 meter

   - Batas minimum tinggi balok (h):

     hmax $= \frac{1}{15}$ x panjang bentang

     hmax $= \frac{1}{15}$ x 8

     = 0,533 meter

     Maka dipakai tinggi balok 0,8 meter

   - Batas maksimum lebar balok (b) :

     hmax $= \frac{1}{2}$ x h balok

     hmax $= \frac{1}{2}$ x 0,8

     = 0,4 meter

   - Batas minimum lebar balok (b) :

     hmax $= \frac{2}{3}$ x h balok

     hmax $= \frac{2}{3}$ x 0,8

$= 0,5$ meter

Maka dipakai lebar balok 0,5 meter

Jadi, dipakai balok ukuran $\frac{50}{80} = 0,625 > 0,3$ (OK)

c. Dimensi Balok (B3)

Dengan menggunakan rumus pendekatan perhitungan dimensi balok, bentang terpanjang = 8 meter

- Batas maksimum tinggi balok (h) :

$hmax = \frac{1}{10}$ x panjang bentang

$hmax = \frac{1}{10} \times 8$

$= 0,8$ meter

- Batas minimum tinggi balok (h):

$hmax = \frac{1}{15}$ x panjang bentang

$hmax = \frac{1}{15} \times 8$

$= 0,533$ meter

Maka dipakai tinggi balok 0,7 meter

- Batas maksimum lebar balok (b) :

$hmax = \frac{1}{2}$ x h balok

$hmax = \frac{1}{2} \times 0,7$

$= 0,35$ meter

- Batas minimum lebar balok (b) :

$hmax = \frac{2}{3}$ x h balok

$hmax = \frac{2}{3} \times 0,6$

$= 0,467$ meter

Maka dipakai lebar balok 0,35 meter

Jadi, dipakai balok ukuran $\frac{35}{70} = 0,5 > 0,3$ (OK)

d. Dimensi Balok (B4)

Dengan menggunakan rumus pendekatan perhitungan dimensi balok, bentang terpanjang = 8 meter

- Batas maksimum tinggi balok (h) :

  hmax $= \frac{1}{10}$ x panjang bentang

  hmax $= \frac{1}{10}$ x 8

  = 0,8 meter

- Batas minimum tinggi balok (h):

  hmax $= \frac{1}{15}$ x panjang bentang

  hmax $= \frac{1}{15}$ x 8

  = 0,533 meter

  Maka dipakai tinggi balok 0,6 meter

- Batas maksimum lebar balok (b) :

  hmax $= \frac{1}{2}$ x h balok

  hmax $= \frac{1}{2}$ x 0,6

  = 0,3 meter

- Batas minimum lebar balok (b) :

  hmax $= \frac{2}{3}$ x h balok

  hmax $= \frac{2}{3}$ x 0,6

  = 0,4 meter

  Maka dipakai lebar balok 0,3 meter

  Jadi, dipakai balok ukuran $\frac{30}{60}$ = 0,5 > 0,3 (OK)

4.1.2 Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1 halaman 385 kolom-kolom harus memenuhi syarat berikut ini :

- Dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, dan tidak kurang dari 300 mm
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4

a. Dimensi kolom K1

Dipakai kolom dengan ukuran 90/90 cm

Cek Syarat :

1. Penampang terpendek (b) kolom = 900 mm > 300 mm (OK)
2. $\frac{90}{90}$ = 1 > 0,4 (OK)

b. Dimensi kolom K2

Dipakai kolom dengan ukuran 70/90 cm

Cek Syarat :

1. Penampang terpendek (b) kolom = 700 mm > 300 mm (OK)
2. $\frac{70}{90}$ = 0,778 > 0,4 (OK)

c. Dimensi Kolom K3

Dipakai kolom dengan ukuran 50/50 cm

Cek Syarat :

1. Penampang terpendek (b) kolom = 600 mm > 300 mm (OK)
2. $\frac{50}{50}$ = 1 > 0,4 (OK)

4.2 Perhitungan Pembebanan

4.2.1 Beban Mati (Dead Load)

Berikut ini merupakan berat sendiri bahan bangunan dan berat komponen – komponen gedung yang digunakan, dan mengacu pada Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727-2020) :

a. Beban mati struktur :

- Volume beton bertulang = 24,0 kN/m^3 = 24000 kg/m^3

  (sumber SNI 1727-2020, tabel C3.1-2)

  (dihitung menggunakan program bantu ETABS)

b. Beban mati tambahan :

- Berat air hujan = perkiraan tebal air x berat jenis air hujan
  = 0,05 m x 1000 kg/m^3
  = 50 kg/m^3

- Berat plafon dan rangka :

  - Berat Gypsum = 0,08 kN/m^2

  - Berat Hollow = 0,38 kN/m^2

  - Berat Total = Berat Gypsum + Berat Hollow

    = 0,08 + 0,38

    = 0,46 kN/m^2

  (sumber SNI 1727-2020, tabel C3.1-1)

- Berat penutup lantai :

  - Berat Keramik = 0,77 kN/m^2

  (sumber SNI 1727-2020, tabel C3.1-1)

- Berat mekanikal elektrikal :

  - Berat ME = 0,19 kN/m^2

- Berat pasangan bata :

  - Berat pas. bata = 1,29 kN/m^2

- Berat spesi :

  - Berat spesi per mm tebal = 0,023 kN/m^2

- Berat jendela :

  - Berat kaca = 0,38 kN/m^2

4.2.1.1 Beban Mati Sendiri Struktur (Selfweight)

Untuk berat sendiri struktur, meliputi balok, kolom dan pelat sudah dihitung dengan perintah selfweight pada program bantu ETABS 2017.

4.2.1.2 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Atap

- Berat mekanikal elektrikal = 0,19 kN/m^2
- Bearat air hujan = 0,485 kN/m^2
- Berat plafon dan tangga = 0,46 kN/m^2
- Berat spesi tebal 5 cm = 1,15 kN/m^2

  Berat total = 2,285 kN/m^2

4.2.1.3 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai

- Bearat mekanikal elektrikal = 0,19 kN/m^2
- Berat keramik = 0,77 kN/m^2
- Berat plafon dan rangka = 0,46 kN/m^2
- Berat spesi tebal 2 cm = 0,46 kN/m^2

  Berat total = 1,88 kN/m^2

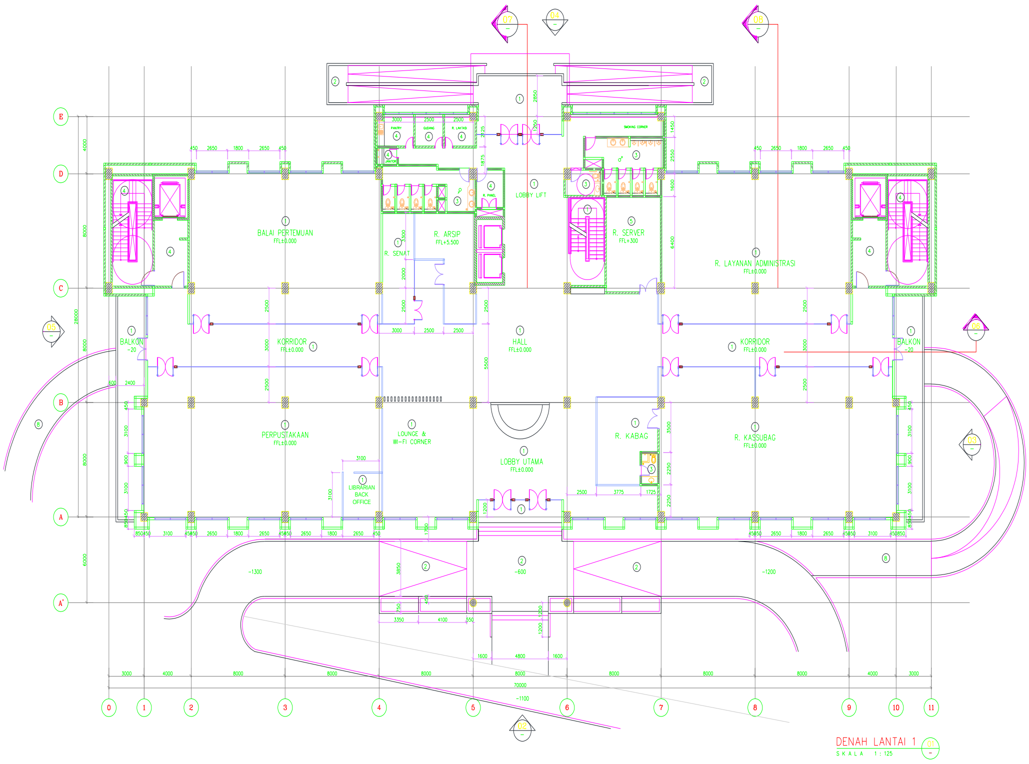
4.2.1.4 Beban Mati Pada Tangga

- Berat spesi tebal 3 cm = 0,46 kN/m^2
- Berat penutup lantai = 0,77 kN/m^2

= 1,23 kN/m^2

4.2.1.5 Beban Mati Pada Balok (Akibat Beban Dinding)

A. Lantai 1 (elevasi 5 meter)



Gambar 4.5 Denah Lantai 1 Elevasi 5 meter

1. Arah memanjang (sumbu x)

   a. Grid C-E dan Grid U-W pada dinding B1 40/80 bentang 4 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – h balok) x bentang

  = (5,5 – 0,8) x 8

  = 16,8 m^2

- A jendela (J2) = (tinggi jendela x lebar jendela)

  = 2,2 x 2,65

  = 5,83 m^2

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

$= \frac{16,8 - 5,83}{1,826}$ x 100 %

= 65,3 %

- Berat jendela = 319,5 kg/m
- Berat dinding = Berat bata x (tinggi lantai x tinggi balok)

  = 129 x (5 x 0,8)

  = 541,8 kg/m^2
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 65,3 % x 541,8 + 319,5

  = 673,235 kg/m

  = 6,732 kN/m

b. Grid E-G, G-I, I-K, N-Q, Q-S pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (5 – 0,8) x 8

  = 33,6 m^2
- A jendela (J2) = (tinggi jendela x lebar jendela) x 2

  = (2,2 x 2,65) x 2

  = 11,66 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{33,6 - 11,6}{33,6}$ x 100 %

  = 65,298 %
- Berat jendela = 319,5 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

= 129 x (5 – 0,8)

= 541,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 65,298 % x 541,8 + 319,5

  = 562,38 kg/m

  = 5,624 kN/m

c. Grid K-N pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai - tinggi balok) x bentang

  = (5 – 0,80) x 8

  = 33,6 m^2

- A kaca = (tinggi kaca x lebar kaca) x 3

  = (2,4 x 0,94) x 3

  = 6,768 m^2

- A pintu (PU.1) = (tinggi pintu x lebar pintu) x 2

  = (2,4 x 1,6) x 2

  = 7,68 m^2

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding (A kaca+A pintu)}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$

  $= \frac{33{,}6 - (7{,}68+6{,}768)}{33{,}6} \times 100\ \%$

  = 57 %

- Berat pintu = 243 kg/m

- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

  = 5,418 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding baata x (berat dinding + berat pintu)

  = 57 % x (5,418 + 243)

= 141,644 kg/m

= 1,416 kN/m

d. Grid C-E, U-W pada dinding B3 35/70 bentang 4 meter

- A dinding kotor
  = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (5 – 0,8) x 8
  = 17,2 m^2
- A pintu (PK.1) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,4 x 1,63
  = 3,912 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$
  $= \frac{17{,}2 - 3{,}912}{17{,}2} \times 100\ \%$
  = 77,3 %
- Berat pintu = 26 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (5 – 0,7)
  = 554,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat pintu
  = 77,3 % x (554,7 + 26)
  = 454,062 kg/m
  = 4,541 kN/m

e. Grid E-G pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (5 – 0,7)
  = 554,7 kg/m
  = 5,547 kN/m

f. Grid E-G, H-I, Q-S, S-U pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (5 – 0,7) x 8
  = 34,4 m^2
- A pintu (PK.1) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,4 x 1,6
  = 3,84 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$
  $= \frac{33{,}4 - 3{,}84}{33{,}4} \times 100\ \%$
  = 88,8 %
- Berat pintu = 121 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (5 – 0,7)
  = 554,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat pintu
  = 88,8 % x (554,7 + 121)
  = 613,348 kg/m
  = 6,133 kN/m

g. Grid A-E, V-Y pada dinding B1 40/80 bentang 7 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (5 – 0,8)
  = 541,8 kg/m
  = 5,418 kN/m

h. Grid K-N pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

= (5 – 0,8) x 8

= 33,6 m^2

- A kaca = (tinggi kaca x lebar kaca) x 2

  = (2,4 z 1,48) x 2

  = 7,104 m^2

- A pintu (PU.2) = (tinggi pintu x lebar pintu) x 2

  = (2,4 x 0,8) x 2

  = 3,84 m^2

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding (A kaca+A pintu)}}{A\text{ dinding kotor}} \text{ x } 100\ \%$

  $= \frac{33{,}6 - (7{,}104 + 3{,}84)}{33{,}6} \text{ x } 100\ \%$

  = 67,429 %

- Berat pintu = 241 kg/m

- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

  = 541,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat

  = 67,429 % x (541,8 + 241)

  = 730,656 kg/m

  = 7,307 kN/m

i. Grid I-K, N-P pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (5 – 0,8) x 8

  = 33,6 m^2

- A jendela (J6) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 4,4 x 6,8

  = 29,92 m^2

- Prosentase dinding bata = $\frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}}$ x 100 %

  = $\frac{33{,}6 - 29{,}92}{33{,}6}$ x 100 %

  = 11,0 %
- Berat jendela = 809 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

  = 541 8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x (berat dinding + berat jendela)

  = 11,0 % x (541,8 + 809)

  = 868,648 kg/m

  = 8,686 kN/m

2. Arah melintang (sumbu y)

   a. Grid 10-15 pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

   - Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

     = 129 x (5 – 0,8)

     = 541,8 kg/m

     = 5,418 kN/m

   b. Grid 10-15 pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

   - Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

     = 129 x (5 – 0,7)

     = 554,7 kg/m

     = 5,547 kN/m

   c. Grid 6-10 pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter

   - A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

     = (5 – 0,8) x 8

$= 33{,}6 \text{ m}^2$

- A jendela (J2) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 4,4 x 2,65

  $= 11{,}66 \text{ m}^2$

- A pintu (PD.1) = tinggi pintu x lebar pintu

  = 4,4 x 1,58

  $= 6{,}952 \text{ m}^2$

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding (A jendela+A pintu)}}{A \text{ dinding kotor}} \text{ x } 100\ \%$

  $= \frac{33{,}6 - (11{,}66+6{,}952)}{33{,}6} \text{ x } 100\ \%$

  = 44,607 %

- Berat jendela dan pintu = 319,452 + 188,275

  = 507,73 kg/m

- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,7)

  = 541,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela dan pintu

  = 44,607 x 541,8 + 507,73

  = 749,409 kg/m

  = 7,494 kN/m

d. Grid 2-6 pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (5 – 0,8) x 8

  $= 33{,}6 \text{ m}^2$

- A jendela (J2) = (tinggi jendela x lebar jendela) x 2

  = (4,4 x 2,65) x 2

  $= 23{,}32 \text{ m}^2$

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}} \times 100\ \%$

  $= \frac{33{,}6 - 23{,}32}{33{,}6} \times 100\ \%$

  = 30,6 %
- Berat jendela = 198,8 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

  = 541,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 30,6 % x 541,8 +198,8

  = 563,463 kg/m

  = 5,635 kN/m

e. Grid 15-16 pada dinding B1 40/80 bentang 4 meter
- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

  = 541,8 kg/m

  = 5,418 kN/m

f. Grid 2-6 pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter
- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

  = 541,8 kg/m

  = 5,418 kN/m

g. Grid 2-6 pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter
- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (5 – 0,8) x 8

  = 33,6 m^2

- A pintu (PD.2A) = tinggi pintu x lebar pintu

  = 2,7 x 1,28

  = 3,456 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor – A jendela}}{A \text{ dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{33{,}6 - 3{,}456}{33{,}6}$ x 100 %

  = 89,7 %
- Berat pintu = 82 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (5 – 0,8)

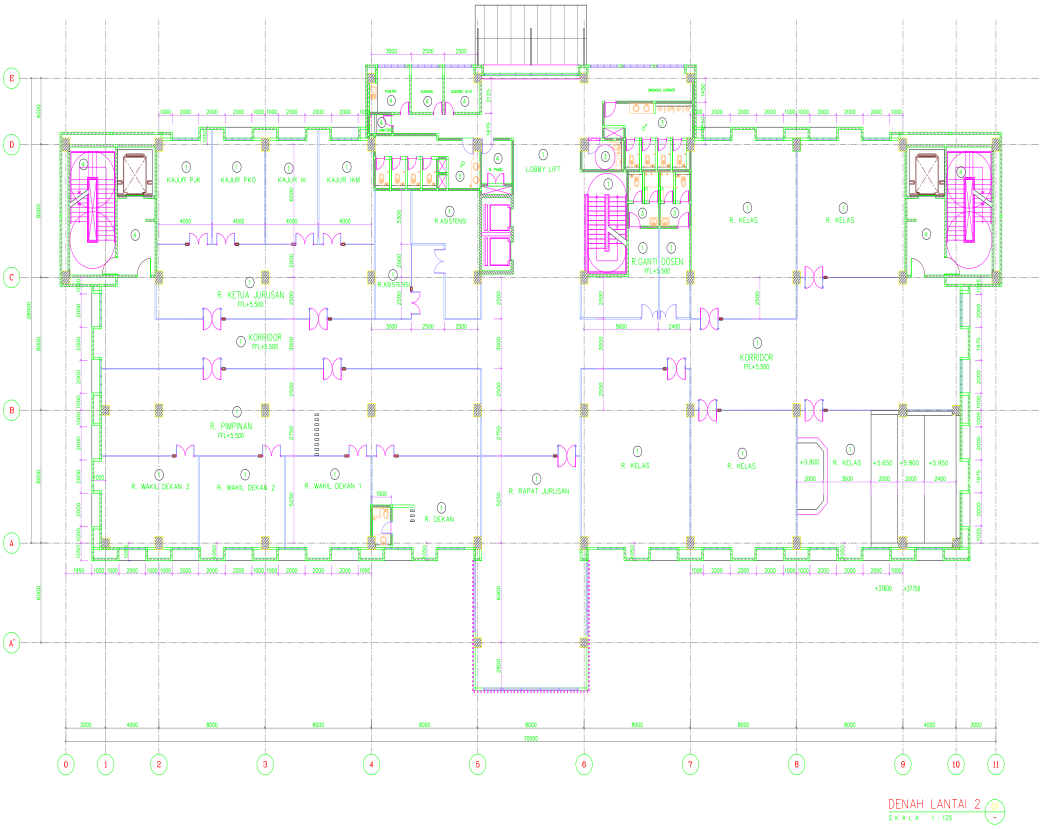
  = 541,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 89,7 % x (541,8 + 82)

  = 568,408 kg/m

  = 5,684 kN/m

B. Lantai 2 (elevasi 4 meter)



Gambar 4.6 Denah Lantai 2 Elevasi 4 meter

1. Arah memanjang (sumbu x)
   a. Grid K-N pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter
      - A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
        = (4 – 0,8) x 8
        = 25,6 m^2
      - A jendela (J5) = tinggi jendela x lebar jendela
        = 2,95 x 5,7
        = 16,815 m^2
      - Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}}$ x 100 %
        $= \frac{25{,}6 - 16{,}815}{25{,}6}$ x 100 %

= 34,3 %

- Berat jendela = 472,6 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 34,3 % x (412,8 + 472,6)

  = 614,3 kg/m

  = 6,143 kN/m

b. Grid A-E, U-Y pada dinding B1 40/80 bentang 4 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 4

  = 12,8 m^2
- A jendela (J4) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 2,95 x 1,8

  = 5,31 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{12{,}8 - 5{,}31}{12{,}8}$ x 100 %

  = 58,5 %
- Berat jendela = 188,8 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 58,5 % x (413 + 188,8)
  = 430,38 kg/m
  = 4,304 kN/m

c. Grid E-G,G-I, I-K, N-Q, Q-S pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x 8
  = 25,6 m^2
- A jendela (J4) = (tinggi jendela x lebar jendela) x 2
  = (2,95 x 1,8) x 2
  = 10,62 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$
  $= \frac{25{,}6 - 10{,}62}{25{,}6} \times 100\ \%$
  = 58,516 %
- Berat jendela = 188,8 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 58,516 % x (412,8 + 188,8)
  = 352,05 kg/m
  = 3,520 kN/m

d. Grid C-E, U-W pada dinding B4 30/60 bentang 4 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,6)
  = 438,6 kg/m
  = 4,386 kN/m

e. Grid E-G, G-I, I-K, K-N, N-Q, Q-S, S-U pada dinding B3 35/70 bentang 4 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,7) x 4
  = 13,2 m^2
- A pintu (PK.3) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,4 x 1,6
  = 3,84 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A \text{ dinding kotor}} \text{ x } 100\ \%$
  $= \frac{13{,}2 - 3{,}84}{13{,}2} \text{ x } 100\ \%$
  = 70,9 %
- Berat pintu = 121 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,7)
  = 425,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 58,516 % x (425,7 + 121)
  = 422,43 kg/m
  = 4,224 kN/m

f. Grid A-E, U-Y pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
  = 4,128 kN/m

g. Grid E-G, G-I, I-K, K-N, N-Q, Q-S, S-U pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- A dindingg kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,7) x 8
  = 26,4 m^2
- A pintu (PD.2A) = (tinggi pintu x lebar pintu) x 2
  = (2,7 x 1,28) x 2
  = 6,912 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %
  $= \frac{26{,}4 - 6{,}912}{26{,}4}$ x 100 %
  = 73,8 %
- Berat pintu = 82 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,7)
  = 425,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 73,8 % x (425,7 + 82)
  = 396,58 kg/m
  = 3,966 kN/m

h. Grid A-E, U-Y pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x 8
  = 25,6 m^2
- A pintu (PB.1) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,1 x 0,9
  = 1,89 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$
  $= \frac{25,6 - 1,89}{25,6} \times 100\ \%$
  = 92,6 %
- Berat pintu = 64 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 92,6 % x (412,8 + 64)
  = 446,58 kg/m
  = 4,466 kN/m

i. Grid E-G, G-I pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,7) x 8
  = 26,4 m^2
- A pintu (PK.3) = (tinggi pintu x lebar pintu) x 2
  = (2,4 x 1,6) x 2
  = 7,68 m^2

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{26{,}4 - 7{,}68}{26{,}4}$ x 100 %

  = 70,9 %
- Berat pintu = 121 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,7)

  = 425,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 70,9 % x (425,7 + 121)

  = 422,43 kg/m

  = 4,224 kN/m

j. Grid I-K, N-Q pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,6) x 8

  = 27,2 m^2
- A pintu (P4) = (tinggi pintu x lebar pintu) x 4

  = (2,2 x 0,7) x 4

  = 6,16 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{27{,}2 - 6{,}16}{27{,}2}$ x 100 %

  = 77,4 %
- Berat pintu = 22 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,6)

  = 438,6 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 77,4 % x (438,6,7 + 22)

  = 422,43 kg/m

  = 4,224 kN/m

k. Grid I-K, N-Q pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  = 25,6 m^2
- A jendela (J4) = (tinggi jendela x lebar jendela) x 3

  = (2,95 x 1,8) x 3

  = 15,93 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$

  $= \frac{25,6 - 15,93}{25,6} \times 100\ \%$

  = 37,773 %
- Berat jendela = 188,8 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 37,773 % x (412,8 + 188,8)

  = 227,26 kg/m

  = 2,273 kN/m

l. Grid K-N pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x 8
  = 25,6 m^2
- A jendela (J.6A) = tinggi jendela x lebar jendela
  = 2,44 x 6,82
  = 16,646 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}\ x\ 100\ \%$
  $= \frac{25{,}6 - 16{,}646}{25{,}6}\ x\ 100\ \%$
  = 34,978 %
- Berat jendela = 476,2 kg/m
- Berat dindidng = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 34,978 % x (412,8 + 476,2)
  = 310,94 kg/m
  = 3,109 kN/m

2. Arah melintang (sumbu y)

a. Grid 10-15 pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
  = 4,128 kN/m

b. Grid 6-10 pada dinding B3 30/60 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,6) x 8
  = 27,2 m^2
- A jendela (J4) = (tinggi jendela x lebar jendela) x 2
  = (2,95 x 1,8) x 2
  = 10,62 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %
  $= \frac{27{,}2 - 10{,}62}{27{,}2}$ x 100 %
  = 61,0 %
- Berat jendela = 188,8 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,6)
  = 438,6 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 61 % x (412,8 + 188,8)
  = 645,01 kg/m
  = 6,450 kN/m

c. Grid 2-6 pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,)
  = 425,7 kg/m
  = 4,257 kN/m

d. Grid 10-15 pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,7)
  = 425,7 kg/m
  = 4,257 kN/m

e. Grid 1-2 pada dinding B2 50/80 bentang 6 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,7) x 6
  = 19,8 m^2
- A jendela (J3) = tinggi jendela x lebar jendela
  = 3,24 x 4,05
  = 13,122 m^2
- Prosentase dindingg bata $= \frac{\text{A dinding kotor – A jendela}}{A \text{ dinding kotor}}$ x 100 %
  $= \frac{19,8-13,122}{27,2}$ x 100 %
  = 33,727 %
- Berat jendela = 361,7 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,7)
  = 425,7 kg/m
- Bebandinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 33,727 % x (425,7,8 + 361,7)
  = 265,57 kg/m
  = 2,656 kN/m

f. Grid 2-6 pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter

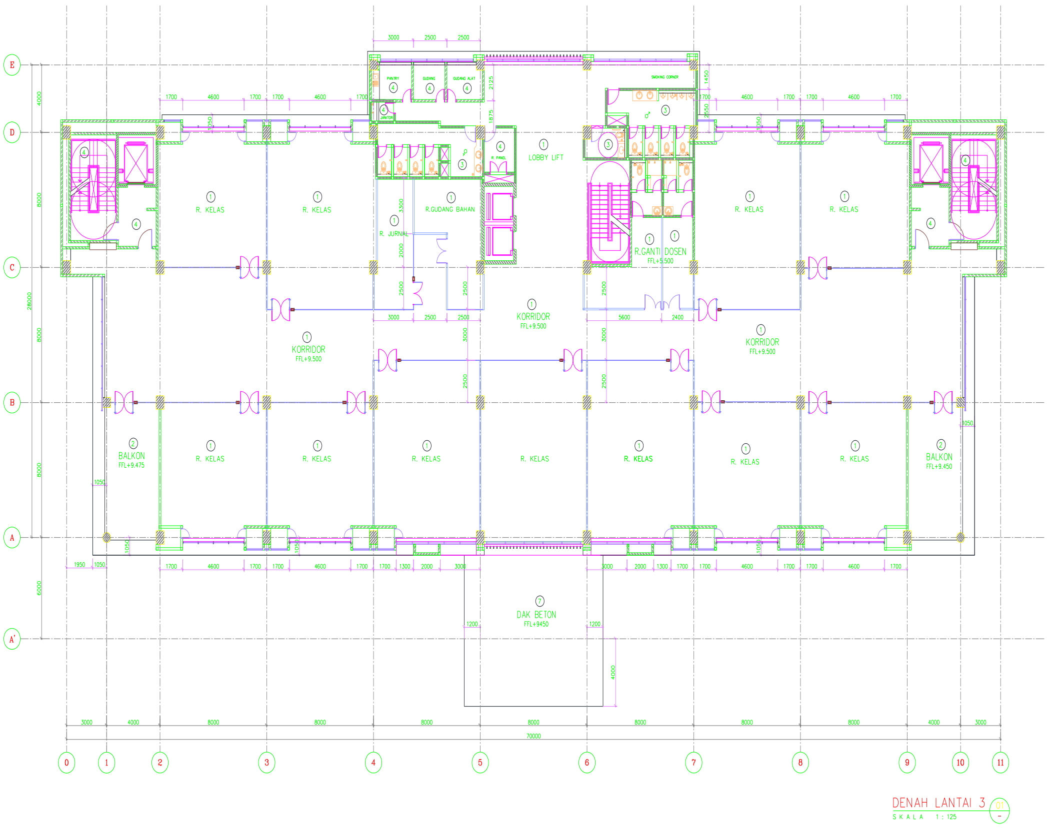
- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

  = 4,128 kN/m

C. Lantrai 3 (elevasi 4 meter)



Gambar 4.7 Denah Lantai 3 Elevasi 4 meter

1. Arah memanjang (sumbu x)

a. Grid E-G, G-I, Q-S, S-U pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 6

$= 25{,}6\ m^2$

- A jendela (J4.A) = tinggi jendela x lebar jendela

  $= 2{,}95 \times 4{,}35$

  $= 12{,}838\ m^2$

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$

  $= \frac{25{,}6 - 12{,}838}{25{,}6} \times 100\ \%$

  $= 49{,}85\ \%$

- Berat jendela = 453,6 kg/m

- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 49,85 % x (412,8 + 453,6)

  = 431,9 kg/m

  = 4,319 kN/m

b. Grig I-K, K-N, N-Q pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  $= 25{,}6\ m^2$

- A jendela (J5) = tinggi jendela x lebar jendela

  $= 2{,}95 \times 5{,}70$

  $= 16{,}815\ m^2$

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$

  $= \frac{25{,}6 - 16{,}815}{25{,}6} \times 100\ \%$

  $= 34{,}32\ \%$

- Berat jendela = 472,6 kg/m

- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 34,32 % x (412,8 + 472,6)
  = 303,9 kg/m
  = 3,039 kN/m

c. Grid C-E, U-W pada dinding B2 50/80 bentang 4 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x
  = 12,8 m^2
- A pintu (PK.3) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,4 x 1,6
  = 3,84 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %
  $= \frac{12,8 - 3,84}{12,8}$ x 100 %
  = 70 %
- Berat pintu = 120,6 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 70 % x (412,8 + 120,6)
  = 373,4 kg/m
  = 3,734 kN/m

d. Grid E-G, G-I, I-K, K-N, N-Q, Q-S, S-U pada dindingB1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x 8
  = 25,6 m^2
- A pintu (PK.3) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,4 x 1,6
  = 3,84 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor – A pintu}}{A \text{ dinding kotor}} \text{ x } 100\ \%$
  $= \frac{25{,}6 - 3{,}84}{25{,}6} \text{ x } 100\ \%$
  = 85 %
- Berat pintu = 120,6 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 85 % x (412,8 + 120,6)
  = 453,4 kg/m
  = 4,534 kN/m

e. Grid N-Q pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x 8
  = 25,6 m^2
- A pintu (PD.2A) = tinggi pintu x lebar pintu
  = 2,7 x 1,28
  = 3,456 m^2

- Prosentase dinfing bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{25{,}6 - 3{,}456}{25{,}6}$ x 100 %

  = 86,5 %
- Berat pintu = 82,3 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 86,5 % x (412,8 + 82,3)

  = 428,3 kg/m

  = 4,283 kN/m

f. Grid A-E, U-Y pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  = 25,6 m^2
- A pintu (PB.1) = tinggi pintu x lebar pintu

  = 2,1 x 0,9

  = 1,89 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{25{,}6 - 1{,}89}{25{,}6}$ x 100 %

  = 92,62 %
- Berat pintu = 64,3 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 92,62 % x (412,8 + 64,3)
  = 441,8 kg/m
  = 4,418 kN/m

g. Grid A-E, U-Y pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantgai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
  = 4,128 kN/m

h. Grid I-K, K-N, N-Q pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
  = (4 – 0,8) x 8
  = 25,6 m^2
- A jendela (J6.A) = tinggi jendela x lebar jendela
  = 2,44 x 6,82
  = 16,646 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor – A jendela}}{A \text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$
  $= \frac{25,6 - 16,646}{25,6} \times 100\ \%$
  = 34,98 %
- Berat jendela = 809,3 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
  = 129 x (4 – 0,8)
  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 34,98 % x (412,8 + 809,3)

= 427 kg/m

= 4,27 kN/m

2. Arah melintang (sumbu y)
   a. Grid 10-15, pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter
      - A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

        = (4 – 0,7) x 8

        = 26,4 m^2
      - A jendela (J5) = tinggi jendela x lebar jendela

        = 2,95 x 5,7

        = 16,815 m^2
      - Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

        $= \frac{26{,}4 - 16{,}815}{26{,}4}$ x 100 %

        = 36,31 %
      - Berat jendela = 472,6 kg/m
      - Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

        = 129 x (4 – 0,7)

        = 427,7 kg/m
      - Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

        = 36,31 % x (427,7 + 472,6)

        = 326 kg/m

        = 3,26 kN/m
   b. Grid 10-15, 2-6 pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter
      - Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

        = 129 x (4 – 0,8)

        = 412,8 kg/m

        = 4,128 kN/m

c. Grid 15-16 pada dinding B1 40/80 bentang 4 meter

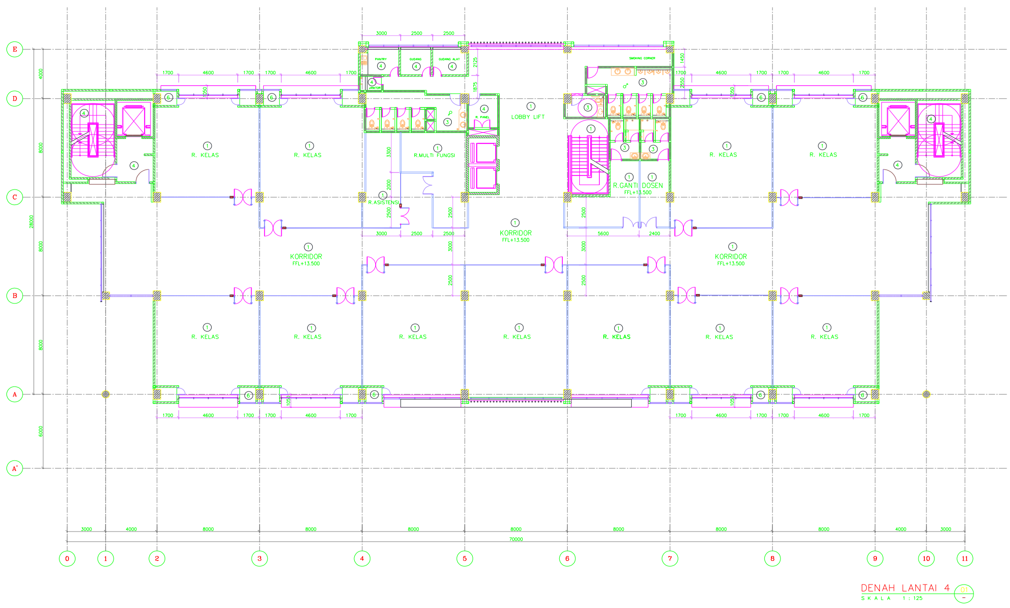
- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

  = 4,128 kN/m

D. Lantai 4, 5, 6, dan 7 (elevasi 4 meter)



Gambar 4.8 Denah lantai 4, 5, 6, dan 7 Elevasi 4 meter

1. Arah memanjang (sumbu x)

a. Grid E-G, G-I, Q-S, S-U pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  = 25,6 m^2

- A jendela (J.4B) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 3,85 x 4,35

  = 16,747 m^2

- Prosentase dinding bata = $\frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  = $\frac{25{,}6 - 16{,}747}{25{,}6}$ x 100 %

  = 34,6 %
- Berat jendela = 664,2 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 34,6 % x (412,8 + 664,2)

  = 372,4 kg/m

  = 3,724 kN/m

b. Grid I-K, K-N, N-Q pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  = 25,6 m^2
- A jendela (J5.A) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 3,85 x 5,70

  = 21,945 m^2
- Prosentase dinding bata = $\frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A\ \text{dinding kotor}}$ x 100 %

  = $\frac{25{,}6 - 21{,}945}{25{,}6}$ x 100 %

  = 14,3 %
- Berat jendela = 607,7 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela
  = 14,3 % x (412,8 + 607,7)
  = 145,7 kg/m
  = 1,457 kN/m

c. Grid E-G, G-I, I-K, K-N, N-Q, Q-S, S-U pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter
   - A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang
     = (4 – 0,8) x 8
     = 25,6 m^2
   - A pintu (PK.3) = tinggi pintu x lebar pintu
     = 2,4 x 1,6
     = 3,84 m^2
   - Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\ \text{dinding kotor}} \times 100\ \%$
     $= \frac{25{,}6 - 3{,}84}{25{,}6} \times 100\ \%$
     = 85 %
   - Berat pintu = 120,6 kg/m
   - Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)
     = 129 x (4 – 0,8)
     = 412,8 kg/m
   - Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat pintu
     = 85 % x (412,8 + 120,6)
     = 453,4 kg/m
     = 4,534 kN/m

d. Grid C-E, U-W pada dinding B2 50/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  = 25,6 m^2

  A jendela (J2) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 4,4 x 2,65

  = 11,66 m^2
- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor – A jendela}}{A\text{ dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{25{,}6 - 11{,}66}{25{,}6}$ x 100 %

  = 54,5 %
- Berat jendela = 319,5 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 54,5 % x (412,8 +319,5)

  = 398,7 kg/m

  = 3,987 kN/m

e. Grid N-Q pada dinding b2 50/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,7) x 8

  = 26,4 m^2
- A pintu (PD.2A) = tinggi pintu x lebar pintu

  = 2,7 x 1,28

  = 3,456 m^2

- Prosentase inding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A pintu}}{A\text{ dinding kotor}} \times 100\ \%$

  $= \frac{26{,}4 - 3{,}456}{26{,}4} \times 100\ \%$

  = 86,9 %
- Berat pintu = 82,3 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,7)

  = 425,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat pintu

  = 86,9 % x (425,7 + 82,3)

  = 4415,4 kg/m

  = 4,415 kN/m

f. Grid A-E, U-Y pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

  = 4,128 kN/m

g. Grid I-K, K-N, N-Q pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

  = (4 – 0,8) x 8

  = 25,6 m^2

  A jendela (J6.A) = tinggi jendela x lebar jendela

  = 2,44 x 6,82

  = 16,646 m^2

- Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}}$ x 100 %

  $= \frac{25{,}6 - 16{,}646}{25{,}6}$ x 100 %

  = 35 %
- Berat jendela = 476,2 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 35 % x (412,8 +476,2)

  = 311 kg/m

  = 3,11 kN/m

2. Arah melintang (sumbu y)

   a. Grid 2-6 pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

   - Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

     = 129 x (4 – 0,8)

     = 412,8 kg/m

     = 4,128 kN/m

   b. Grid 6-10 pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

   - A dinding kotor = (tinggi lantai – tinggi balok) x bentang

     = (4 – 0,7) x 8

     = 26,4 m^2

     A jendela (J5) = tinggi jendela x lebar jendela

     = 2,95 x 5,70

     = 16,815 m^2
   - Prosentase dinding bata $= \frac{\text{A dinding kotor} - \text{A jendela}}{A \text{ dinding kotor}}$ x 100 %

$= \frac{26,4 - 16,815}{26,4}$ x 100 %

= 36,3 %

- Berat jendela = 472,6 kg/m
- Berat dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,7)

  = 425,7 kg/m
- Beban dinding = prosentase dinding bata x berat dinding + berat jendela

  = 36,3 % x (425,7 +472,6)

  = 326 kg/m

  = 3,26 kN/m

c. Grid 10-15 pada dinding B1 40/80 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

  = 4,128 kN/m

d. Grid 10-15 pada dinding B3 35/70 bentang 8 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,7)

  = 426 kg/m

  = 4,26 kN/m

e. Grid 15-16 pada dinding B1 40/80 bentang 4 meter

- Beban dinding = berat bata x (tinggi lantai – tinggi balok)

  = 129 x (4 – 0,8)

  = 412,8 kg/m

  = 4,128 kN/m

4.2.2 Beban Hidup (Live Load)

4.2.2.1 Beban Hidup Yang Bekerja

Berikut adalah beban hidup yang digunakan dalam tugas akhir ini yang mengacu berdasarkan SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain :

- Ruang Kantor = 2,4 kN/m^2
- Atap datar, Berhubung, dan Lengkung = 0,96 kN/m^2
- Room Hotel = 1,92 kN/m^2
- Balkon Room = 4,79 kN/m^2
- Koridor = 4,79 kN/m^2
- Tangga dan Bordes = 4,79 kN/m^2
- Ruang Makan dan Restoran = 4,79 kN/m^2
- Ruang Pertemuan = 4,79 kN/m^2
- Lobby = 4,79 kN/m^2

4.2.2.2 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Sehubungan dengan terjadinya beban hidup yang akan membebani semua bagian dari semua unsur struktur pemikul secara serentak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil dan dianggap tidak efektif sepenuhnya, maka beban hidup terbagi rata perlu dikalikan suatu koefisien reduksi untuk mereduksi sebagian nilai dari beban tersebut.

Berdasarkan PPUIG 1983 halaman 21, koefisien reduksi beban hidup adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Koefisien Reduksi Beban Hidup

No	PENGGUNAAN GEDUNG	Koef. Reduksi	
		Untuk balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
1	Rumah tinggal, asrama, hotel, dan RS	0,75	0,3
2	Sekolah, Ruang kuliah	0,9	0,5
3	Masjid, gereja, bioskop, dan restoran	0,9	0,5
4	Kantor dan bank	0,6	0,3
5	*Perumahan/penhunian	0,75	0,3
	*Pendidikan dan kantor	0,75	0,5
	*Pertemuan umum, perdagangan, industri,dan kendaraan	0,9	0,5

Karena Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan berfungsi sebagai ruang kuliah, maka koefisien reduksi yang digunakan dalam perencanaan portal balok dan kolom sebesar 0,9 dan untuk peninjauan beban gempa sebesar 0,5. Nilai 0,9 langsung dikalikan kedalam kombinasi pembebanan untuk beban hidup (Live Load), sehingga pada program bantu ETABS 2018 Pattern Live Load Factor diubah menjadi 1.

4.3 Beban Gempa

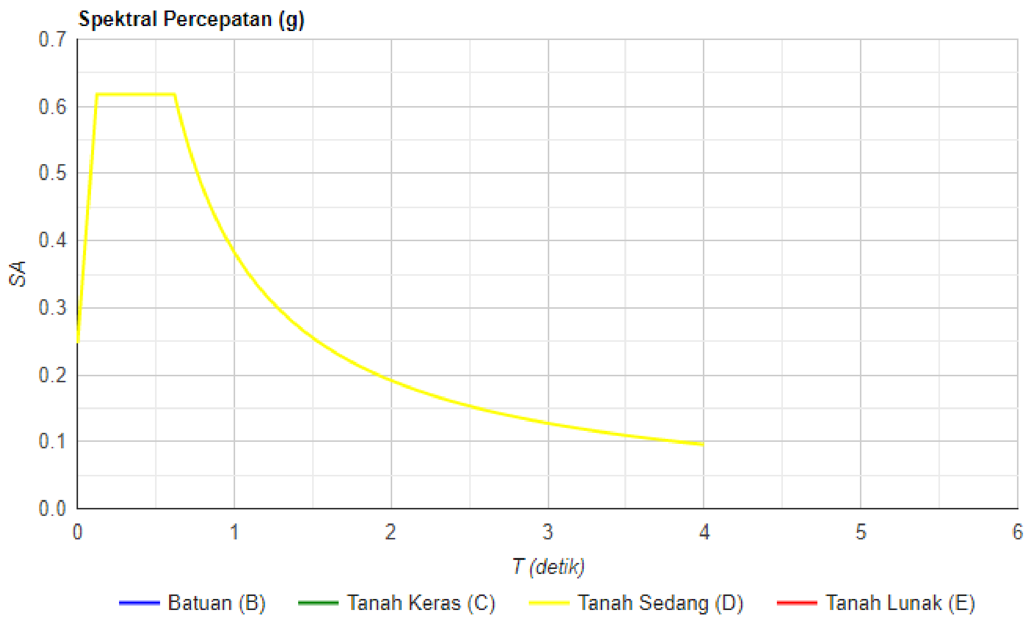
4.3.1 Analisis Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012

4.3.1.1 Menentukan Data Beban Gempa Respons Spektrum Berdasarkan Puskim.pu.go.id

Variabel	Nilai
PGA (g)	0.399
S_S (g)	0.781
S_1 (g)	0.330
C_{RS}	1.003
C_{R1}	0.921
F_{PGA}	1.101
F_A	1.188
F_V	1.740
PSA (g)	0.439
S_{MS} (g)	0.927
S_{M1} (g)	0.574
S_{DS} (g)	0.618
S_{D1} (g)	0.383
T_0 (detik)	0.124
T_S (detik)	0.619

T (detik)	SA (g)
0	0.247
T_0	0.618
T_S	0.618
T_S+0	0.532
T_S+0.1	0.467
T_S+0.2	0.416
T_S+0.3	0.376
T_S+0.4	0.342
T_S+0.5	0.314
T_S+0.6	0.290
T_S+0.7	0.270
T_S+0.8	0.252
T_S+0.9	0.236
T_S+1	0.223
T_S+1.1	0.210
T_S+1.2	0.199
T_S+1.3	0.190
T_S+1.4	0.181
T_S+1.5	0.172
T_S+1.6	0.165
T_S+1.7	0.158
T_S+1.8	0.152
T_S+1.9	0.146
T_S+2	0.141
T_S+2.1	0.136
T_S+2.2	0.131
T_S+2.3	0.127
T_S+2.4	0.123
T_S+2.5	0.119
T_S+2.6	0.115
T_S+2.7	0.112
T_S+2.8	0.109
T_S+2.9	0.106
T_S+3	0.103

T (detik)	SA (g)
T_S+3.1	0.100
T_S+3.2	0.098
4	0.096
-	-
-	-



1. Menetukan kategori resiko bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko 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 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.	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : SNI 1726-2019 halaman 14-15)

Berdasarkan jenis pemanfaatan Gedung, Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang ternasuk kategori IV, yaitu Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan.

2. Menetukan faktor keutamaan gempa (Ie)

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

3. Menetukan klasifikasi situs tanah

   Berikut merupakan perhitungan nilai N rata-rata dari 2 buah sampel benda uji Standart Penetration Test (SPT) pada Gedung Fakultas Ilmu Keolaragaan Universitas Negeri Malang.

   Menghitung nilai rata-rata dengan rumus sebagai berikut :

$$N = \frac{\sum_{i}^{m}=1 ti}{\sum_{i}^{m}=1 \frac{ti}{mi}}$$

- Sampel 1

Tabel 4.2 Rekapitulasi Data Uji SPT Benda Uji 1

No	Kedalaman	Tebal	Nilai SPT/Ni	Ti/Ni
1	0	0	0	
2	2	2	6	0,333
3	4	2	4	0,5
4	6	2	4	0,5
5	8	2	24	0,083
6	10	2	60	0,033
7	12	2	15	0,133
8	14	2	18	0,111
9	16	2	28	0,071
10	18	2	40	0,05
11	20	2	14	0,143
12	22	2	16	0,125
13	24	2	38	0,053
14	26	2	51	0,039
15	28	2	60	0,033
16	30	2	60	0,033
	∑ti	30	∑ti/ni	2,242

Ni $= \frac{30}{2,242}$

= 13,38 ft/blows

- Sampel 2

Tabel 4.3 Rekapitulasi Data Uji SPT Benda Uji 2

No	Kedalaman	Tebal	Nilai SPT/Ni	Ti/Ni
1	0	0	0	0
2	2	2	5	0,4
3	4	2	7	0,286
4	6	2	18	0,111
5	8	2	50	0,04
6	10	2	45	0,044
7	12	2	12	0,167
8	14	2	18	0,111
9	16	2	48	0,042
10	18	2	53	0,038
11	20	2	10	0,2
12	22	2	20	0,1
13	24	2	26	0,077
14	26	2	45	0,044
15	28	2	59	0,034
16	30	2	60	0,033
	∑ti	30	∑ti/ni	1,727

Ni $= \frac{30}{1,727}$

$= 17,37$

Sehingga, $\frac{N1+N2}{2} = \frac{13,38+17,37}{2}$ = 15,38 ft/blows

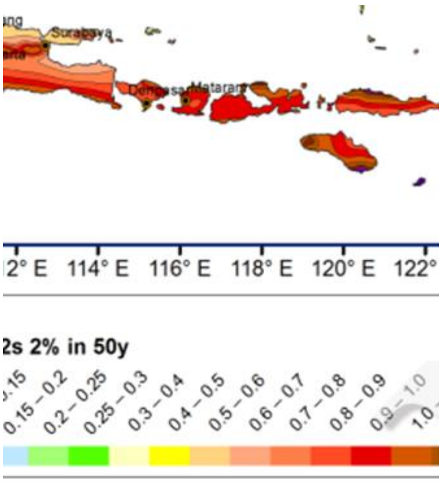
Dari perhitungan ke 2 buah sampel tersebut didapat nilai N rata-rata = 15,38 > 15. Sehingga Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang masuk kedalam kelas situs Tanah Sedang (SD).

Kelas situs	$\bar{v}_s$ **(m/detik)**	$\bar{N}$ **atau** $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ **(kPa)**
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	*50 sampai100*
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< *50*
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m)		

(Sumber : SNI 1726-2012 halaman 17-18)

4. Menentukan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (Ss) dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S1)

   Nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (Ss) dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S1) ditentukan dari peta sumber dan bahaya gempa indonesia yang terbaru pada tahun 2017 dan untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.



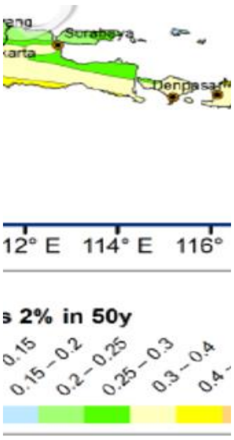
Gambar 4.9 Percepatan Spektrum Respons 0,2 Detik (Ss) Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang

(*Sumber : Peta Gempa 2017*)

Dari peta percepatan spektrum respon 0,2 detik (Ss) diatas didapatkan nilai Ss sebesar :

Ss = 0,7 – 0,8

= 0,781



Gambar 4.10 Percepatan Spektrum Respon 1 Detik (S1) Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang

(*Sumber : Peta Gempa 2017*)

Dari percepatan spectrum 1 detik (S1) diatas, didapat nilai S1 sebesar :

S1 = 0,3 – 0,4

= 0,330

5. Menghitung faktor amplifikasi periode pendek (Fa)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, S_s				
	$S_s \le 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \ge 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

CATATAN:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Dari kelas situs tanah sedang (S_D) dan nilai Ss sebesar 0,781. Maka dilakukan interpolasi linear dengan tujuan agar mendapatkan nilai Fa :

Ss = 0,75 Fa = 1,2

Ss = 0,781 Fa = ?

Ss = 1 Fa = 1,1

$$Fa = 1,2 - \frac{(1,2 - 1,1)}{(1 - 0,75)} x\ (0,781 - 0,75)$$

= 1,188

6. Menghitung faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \le 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \ge 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik,lihat 6.10.1

Dari kelas situs tanah sedang (S_D) dan nilai S1 sebesar 0,330. Maka dilakukan interpolasi linear dengan tujuan agar mendapatkan nilai Fv :

S1	= 0,3	Fv	= 1,8
S1	= 0,330	Fv	= ?
S1	= 0,4	Fv	= 1,6

Fv $= 1{,}8 - \frac{(1{,}8-1{,}6)}{(0{,}4-0{,}3)}\, x\, (0{,}330 - 0{,}3)$

$= 1{,}740$

7. Menghitung percepatan pada periode pendek (S_{MS}) berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.2 halaman : 21

   S_{MS} = Fa x Ss

   = 1,188 x 0,781

   = 0,928 g

8. Menghitung percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.2 halaman : 21

   S_{M1} = Fv x S1

   = 1,740 x 0,330

   = 0,574 g

9. Menghitung percepatan desain periode (S_{DS}) berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.2 halaman : 22

   SDS $= \frac{2}{3}$ x Fa x Ss

   $= \frac{2}{3}$ x 1,188 x 0,781

   = 0,618

10. Menghitung percepatan desain periode (S_{D1}) berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.2 halaman : 22

    S_{D1} $= \frac{2}{3}$ x Fv x S_1

    $= \frac{2}{3}$ x 1,740 x 0,330

    = 0,383

11. Menentukan kategori desain seismik

a. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II 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

(Sumber : SNI 1726-2012 Halaman 24)

Setelah mendapatkan nilai S_{DS} = 0,618 g, maka Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang termasuk dalam kategori resiko D.

b. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda pendek (S_{D1})

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	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

(Sumber : SNI 1726-2012 Halaman 25)

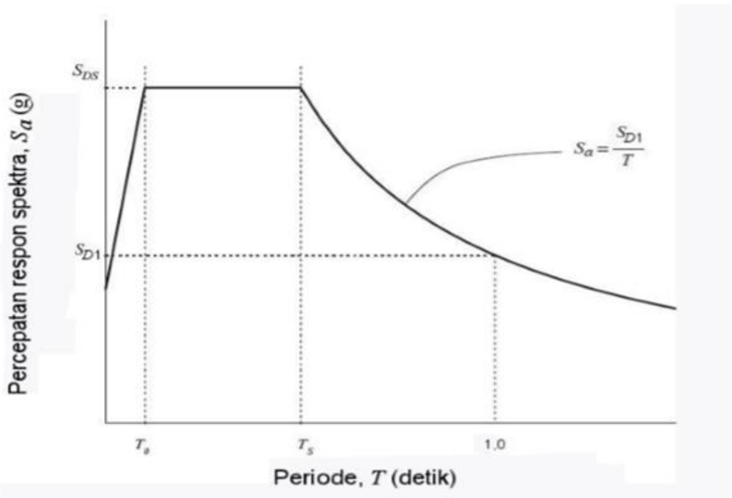
Setelah mendapatkan nilai S_{D1} = 0,383 g, maka Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang termasuk dalam kategori resiko D.

Jadi, berdasarkan kategori desain seismik pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan jika ditinjau dari nilai S_{DS} dan S_{D1} adalah termasuk dalam kategori resiko D. Maka berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 21 halaman 362, sistem struktur penahan gaya gempa yang digunakan adalah komponen sistem rangka pemikul momen (SRPMM) dan harus memenuhi pasal 18.6 – 18.9.

Berikut merupakan rekapitulasi dari parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan beban gempa.

Kategori resiko	IV
Faktor keutamaan gempa (Ie)	1,5
Kelas situs tanah	SD
Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek	0,781
Parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S1) g	0,330
Faktor amplifikasi periode pendek (Fa)	1,188
Faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv)	1,740
Percepatan pada periode pendek (S_{MS}) g	0,928
Percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) g	0,574
Percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) g	0,618
Percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}) g	0,383
Kategori desain seismik (KDS)	D

4.3.1.2 Spectrum Respon Desain



(Sumber Sni 1726-2012 Halaman 23)

1. Menghitung nilai periode T_0 berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 halaman 23

   $T_0 \quad = 0,2 \times \frac{\mathrm{SD1}}{\mathrm{SDS}}$

   $\quad\quad = 0,2 \times \frac{0,383}{0,618}$

   $\quad\quad = 0,124$ detik

2. Menghitung nilai periode T_S berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 halaman 23

   $T_0 \quad = \frac{\mathrm{SD1}}{\mathrm{SDS}}$

   $\quad\quad = \frac{0,383}{0,618}$

   $\quad\quad = 0,619$ detik

3. Menghitung nilai Sa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 halaman 23

   a. Untuk $T < T_0$

      $Sa = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T0}$

   b. Untuk $T \geq T_0$

      $Sa = S_{DS}$

   c. Untuk $T \geq T_S$

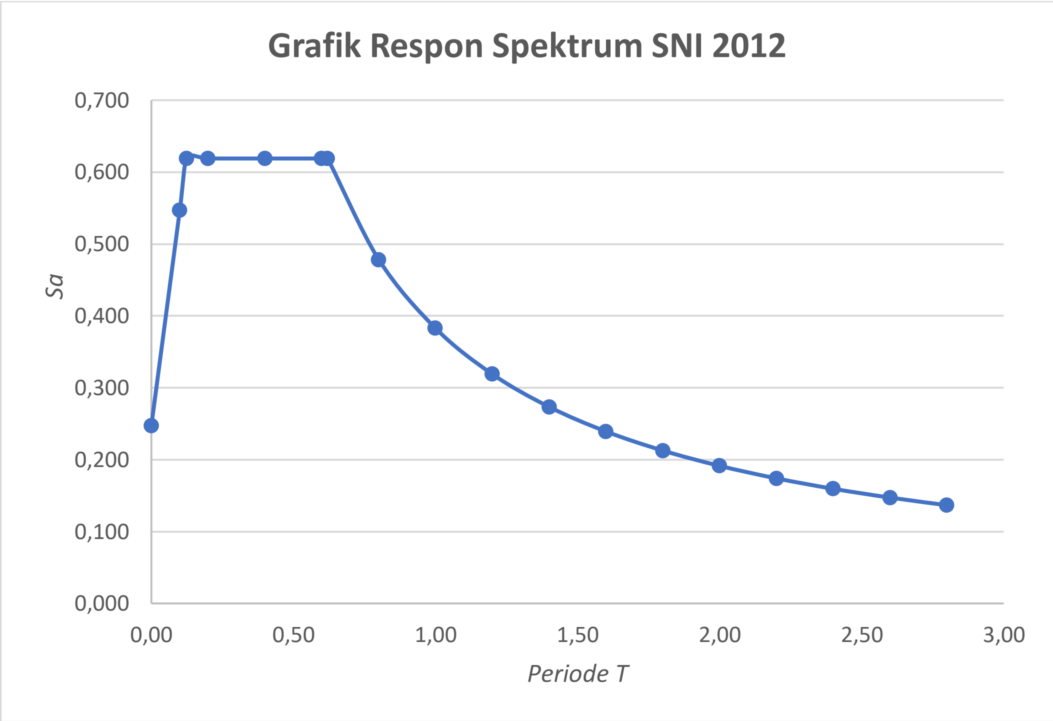
      $Sa = \frac{SD1}{T}$

   Berikut ini adalah hasil perhitungan respon spectrum rencana menggunakan aplikasi microsoft exel dan didapatkan grafik respon spectrum rencana pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan Respon Spektrum Rencana Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang

T	Sa
(detik)	(g)
0,00	0,247
0,10	0,547
0,124	0,619
0,20	0,619
0,40	0,619
0,60	0,619
0,62	0,619
0,80	0,479
1,00	0,383
1,20	0,319
1,40	0,273
1,60	0,239
1,80	0,213
2,00	0,191
2,20	0,174
2,40	0,160
2,60	0,147
2,80	0,137

Grafik 4.1 Respon Spektrum SNI 2012



4.3.1.3 Periode Fundamental Struktur (T)

1. Menghitung perioda fundamental (Ta)

   Untuk struktur dengan ketinggian < 12 tinggat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka pemikul momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m (SNI 12726-2012 pasal 7.8.2 halaman 56)

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

Ta $= Ct \times Hn^x$

$= 0{,}0466 \times 33^{0,9}$

$= 1{,}084$

2. Menghitung perioda maksimum (Tmax)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0{,}4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0{,}1$	1,7

(Sumber SNI 1726-2012 halaman 56)

Ditinjau dari nilai SD1 = 0,383 g, maka nilai Cu yang diperoleh dari tabel diatas adalah 1,4.

a. Arah X

Tmax = Cu x Ta

= 1,4 x 1,084

= 1,518

b. Arah Y

Tmax = Cu x Ta

= 1,4 x 1,084

= 1,518

c. Waktu getar alami dari hasil analisis ETABS :

Tcx = 0,817 detik (hasil output ETABS mode 1)

Tcy = 0,802 detik (hasil output ETABS mode 2)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2 halaman 55 :

1. Jika Tc > Cu.Ta, maka T = Cu.Ta
2. Jika Ta < Tc < Cu.Ta, maka T =Tc
3. Jika Tc < Ta, maka T = Ta

4.3.1.4 Batasan Penggunaan Prodedur Analisis Gaya Lateral Ekivalen (ELV)

Kontrol :

$$Ts = \frac{SD1}{SDS}$$

$$= \frac{0{,}383}{0{,}618}$$

$$= 0{,}620 \text{ detik}$$

Tc < 3,5 Ts, maka gaya gempa yang dihitung dengan prosedur analisis lateral ekivalen (ELF)

4.3.1.5 Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik/Base Shear (V)

1. Menentukan nilai faktor R, Cd

Sistem penahan gaya seismik	(R^a)	(Ω_0^g)	(Cd^b)	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)^c				
				Kategori desain seismik				
C. Sistem rangka pemikul momen				B	C	D^d	E^d	F^e
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

R = 8

Ω_o = 3

C_d = 5,5

2. Menghitung koefisien respon seismik (Cs)
   a. Menghitung nilai Cs min

      Csmin = 0,004 SDS Ie ≥ 0,01

      Csmin = 0,004 x 0,618 x 1,5 ≥ 0,01

      Csmin = 0,041 ≥ 0,01 **(OK)**

b. Menghitung nilai Cs

Cs $= \frac{SDS}{R/Ie}$

$= \frac{0{,}618}{8/1{,}5}$

$= 0{,}116$

c. Menghitung nilai Cs maks

Csmaks $= \frac{SD1}{T \text{ x } (\frac{R}{Ie})}$

$= \frac{0{,}383}{1{,}084 \text{ x } (\frac{8}{1{,}5})}$

$= 0{,}066$

Dimana syarat yang dipakai adalah :

(Cs = 0,044 SDS Ie ≥ 0,01 < Cs = $\frac{SDS}{R/Ie}$ < Cs = $\frac{SD1}{T \text{ x } (\frac{R}{Ie})}$

Kontrol :

Csmin < Csmaks < Cs

0,041 < 0,066 < 0,116

Csmin < Csy maks < Cs

0,041 < 0,047 < 0,016

Maka, nilai Cs yang digunakan adalah :

Csx = 0,066

Csy = 0,066

3. Menghitung nilai gaya dasar seismik /base shear (V)
   a. Berat seismik efektif struktur (w) bisa didapat dari hasil output program bantu ETABS 2018 (Centers Mass and Rigidity) :

      Lantai 1 = 766344,9
      Lantai 2 = 178257,99
      Lantai 3 = 164125,23
      Lantai 4 = 157431,8
      Lantai 5 = 159439,8
      Lantai 6 = 159267,52
      Lantai 7 = 157564,21
      Atap = 27588,54
      Total (W) = 1770020
   b. Gaya dasar seismik/Base Shear (V)

      Vx = Csx x Wt
      = 0,066 x 1770020
      = 1146017143 KN
      Vy = Csy x Wt
      = 0,066 x 1770020
      = 1146017143 KN

4.3.1.6 Menghitung Gaya Gempa Lateral (Fx)

Fx = Cvx x V

Cvx $= \frac{\text{WI hi\^{}K}}{\sum_{i=1}^{n} \text{wi ki\^{}i}}$

Keterangan :

Cvx = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser dasar struktur

wi,wx = bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x hi,hx = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut :

a. Untuk struktur dengan periode struktur sebesar 0,5 detik atau kurang (k=1)
b. Untuk struktur dengan periode sebesar 2,5 atau lebih (k=2)
c. Untuk struktur dengan periode sebesar 0,5-2,5 detik, k harus sebesar 2 atau dilakukan interpolasi linear antara 1 dan 2

1. Nilai perioda struktur yang digunakan

   Dari perhitungan diatas didapatkan nilai periode struktur untuk arah X dan Yadalah sebagai berikut :

   Tx = 1,084

   Ty = 1,084

2. Menentukan nilai eksponen (k)

   Periode struktur arah x dan y adalah 1,518 dan berada di rengs antara 0,5-2,5 detik. Sehingga, perlu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai eksponennya:

   a. Nilai eksponen untuk arah x (kx)

      Tx = 0,5 kx = 1

      Tx = 1,084 kx = ?

      Tx = 2,5 kx = 2

      Kx $= 1 + \frac{1,125-0,5}{2,5-0,5}$ x 2 – 1

      = 1,509

   b. Nilai eksponen untuk arah y (ky)

      Ty = 0,5 ky = 1

      Ty = 1,158 ky = ?

      Ty = 2,5 ky = 2

Ky $= 1 + \frac{1{,}1084-0{,}5}{2{,}5-0{,}5} \text{ x } 2 - 1$

$= 1{,}292$

Dari interpolasi diatas, nilai eksponen arah x dan arah y adalah sebesar 1,084

3. Gaya gempa lateral (Fx)

   Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai gaya geser dasar seismik Vx dan Vy adalah : 4774967756 KN

Tabel 4.5 Rekapitulasi Gaya Gempa Lateral

Lantai	Tinggi (hi)	Berat (Wi)	hi^{Kx}	hi^{Ky}	Wi x hi^{Kx}	Wi x hi^{Ky}
	m	kN	m	m	kNm	kNm
Atap	33,00	270,6435774	91,61	91,61	24792,35	24792,35
Lantai 7	29,0	1545,7049	77,52	77,52	119824,27	119824,27
Lantai 6	25,0	1562,414371	63,99	63,99	99984,97	99984,97
Lantai 5	21,0	1564,104438	51,09	51,09	79904,84	79904,84
Lantai 4	17,0	1544,405958	38,88	38,88	60048,40	60048,40
Lantai 3	13,0	1610,068506	27,49	27,49	44264,87	44264,87
Lantai 2	9,0	1748,710882	17,10	17,10	29895,05	29895,05
Lantai 1	5,00	7517,843469	8,00	8,00	60139,88	60139,88
TOTAL		17363,8961			518854,63	518854,63

Lantai	Cv_x	Cv_y	**Fx**	**Fy**	Vx	Vy
			(kN)	**(kN)**	(kN)	(kN)
Atap	0,0478	0,0478	**54,7600**	**54,7600**	54,760	54,760
Lantai 7	0,2309	0,2309	**264,6612**	**264,6612**	319,421	319,421
Lantai 6	0,1927	0,1927	**220,8412**	**220,8412**	540,262	540,262
Lantai 5	0,1540	0,1540	**176,4893**	**176,4893**	716,752	716,752
Lantai 4	0,1157	0,1157	**132,6316**	**132,6316**	849,383	849,383
Lantai 3	0,0853	0,0853	**97,7698**	**97,7698**	947,153	947,153
Lantai 2	0,0576	0,0576	**66,0305**	**66,0305**	1013,184	1013,184
Lantai 1	0,1159	0,1159	**132,8336**	**132,8336**	1146,017	1146,017
TOTAL			**1146,0171**	**1146,0171**		

Contoh perhitungan lantai 1 :

a. Gaya gempa arah X (FX)

- Wi x hi^{kx} = 7517,843469 x 8,00

  = 60139,88 KN

- Cvx $= \frac{\text{WI hi\^{}K}}{\sum_{i=1}^{n} \text{wi ki\^{}i}}$

  $= \frac{60139{,}88}{518854{,}63}$

  = 0,1159

- Fx = Cvx x Vx

  = 0,1159 x 1146,017

  = 132,834 KN

b. Gaya gempa arah Y (FY)

- Wi x hi^{ky} = 7517,843469 x 8,00

  = 60139,88 KN

- Cvy $= \frac{\text{WI hi\^K}}{\sum_{i=1}^{n} \text{wi ki\^i}}$

$= \frac{60139{,}88}{518854{,}63}$

= 0,1159

- Fy = Cvy x Vy

= 0,1159 x 1146,017

= 132,834 KN

4.3.1.7 Kombinasi Pembebanan

Pengaruh beban gempa vertikal, Ev :

1. Ev = 0,2SDS
2. SDS = 0,618
3. Ω_o = 3

Kombinasi beban gempa yang digunakan :

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,232D +1L + 0,9Qex + 3,0Qey
4. 1,22D + 1L - 0,9 Qex + 3,0Qey
5. 1,18D + 1L + 0,9 Qex - 3,0Qey
6. 1,17D + 1L - 0,9Qex - 3,0Qey
7. 1,23D + 1L + 3,0Qex + 0,9Qey
8. 1,18D + 1L - 3,0Qex + 0,9Qey
9. 1,22D + 1L + 3,0Qex - 0,9 Qey
10. 1,17D + 1L - 3,0Qex - 0,9Qey
11. 0,87D + 1 L + 0,9Qex + 3,0Qey
12. 0,88D + 1L - 0,9Qex + 3,0Qey
13. 0,92D + 1L + 0,9 Qex - 3,0Qey
14. 0,93D + 1L - 0,9Qex - 3,0 Qey
15. 0,87D + 1L + 3,0Qex + 0,9Qey
16. 0,92D + 1L - 3,0Qex + 0,9 Qey
17. 0,88D + 1L + 3,0Qex - 0,9Qey
18. 0,93 D + 1L - 3,0Qex - 0,9Qey

4.4 Kontrol Perilaku Struktur

4.4.1 Eksentrisitas

Tabel 4.6 Centers of Mass and Rigidity

Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cum Mass X	Cum Mass Y	XCCM	YCCM	XCR	YCR
		kg	kg	m	m	kg	kg	m	m	m	m
Lantai 1	D1	766344,9	766344,9	34541,214	18787,182	766344,9	766344,9	34541,214	18787,182	35085,161	19937,39
Lantai 2	D2	178258	178258	33333,985	18060,352	178257,99	178257,99	33333,985	18060,352	34959,85	20218,352
Lantai 3	D3	164125,2	164125,2	34799,441	18991,108	164125,23	164125,23	34799,441	18991,108	35016,367	20325,13
Lantai 4	D4	157431,8	157431,8	34937,419	18954,547	157431,8	157431,8	34937,419	18954,547	34973,768	20582,07
Lantai 5	D5	159439,8	159439,8	34958,221	18946,739	159439,8	159439,8	34958,221	18946,739	34996,228	20740,594
Lantai 6	D6	159267,5	159267,5	34916,885	18839,648	159267,52	159267,52	34916,885	18839,648	34975,542	20880,654
Lantai 7	D7	157564,2	157564,2	35005,654	18322,312	157564,21	157564,21	35005,654	18322,312	35006,472	20893,509
Lantai Atap	D8	27588,54	27588,54	34696,284	20057,642	27588,54	27588,54	34696,284	20057,642	35049,078	20876,162

(Sumber output ETABS 2018 : Display - Show Table – Analisis – Result - Structure Result – Centers Mass and Rigidity)

Keterangan :

CM = Centers of Mass (pusat massa)

CR = Centers of reactions (pusat rotasi)

Ukuran gedung :

Lebar gedung (B) = 34 m

Panjang gedung (L) = 70 m

Tabel 4.7 Perhitungan Eksentrisitas Rencana (ed)

Story	Pusat Masa		Pusat Rotasi		Eksentrisitas (e)		ed = 1,5e+0,05b		ed = e-0,05b	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Lantai 1	34541,2	18787,18	35085,16	19937	-543,9	-1150,2079	-812,4211	-1721,812	-547,45	-1154
Lantai 2	33334	18060,35	34959,85	20218	-1626	-2157,9997	-2435,2966	-3233,5	-1629,4	-2161
Lantai 3	34799,4	18991,11	35016,37	20325	-216,9	-1334,0221	-321,8893	-1997,533	-220,43	-1338
Lantai 4	34937,4	18954,55	34973,77	20582	-36,35	-1627,5235	-51,0232	-2437,785	-39,849	-1631
Lantai 5	34958,2	18946,74	34996,23	20741	-38,01	-1793,8549	-53,51125	-2687,282	-41,507	-1797
Lantai 6	34916,9	18839,65	34975,54	20881	-58,66	-2041,0062	-84,48625	-3058,009	-62,158	-2045
Lantai 7	35005,7	18322,31	35006,47	20894	-0,818	-2571,197	2,2724	-3853,296	-4,3184	-2575
Lantai Atap	34696,3	20057,64	35049,08	20876	-352,8	-818,5198	-525,69025	-1224,28	-356,29	-822

Keterangan :

e = Eksentrisitas teoritis

ed = Eksentrisitas rencana

Contoh perhitungan :

e = pusat massa x – pusat rotasi x

= 29,3619 - 35,1257

= -5,764

ed = 1,5e + 0,05b

= 1,5 (-5,764) + 0,5 (70)

= -5,146 m

Tabel 4.8 Koordinat Pusat Massa Baru

Story	Pusat Masa		Pusat Rotasi		ed = 1,5e+0,05b		Koordinat pusat massa	
	X	**Y**	**X**	**Y**	**X**	**Y**	**X**	**Y**
Lantai 1	34541,2	18787,18	35085,16	19937	-812,4	-1721,8119	33728,7928	17065,36995
Lantai 2	33334	18060,35	34959,85	20218	-2435	-3233,4996	30898,6885	14826,85275
Lantai 3	34799,4	18991,11	35016,37	20325	-321,9	-1997,5332	34477,5518	16993,57505
Lantai 4	34937,4	18954,55	34973,77	20582	-51,02	-2437,7853	34886,3961	16516,76145
Lantai 5	34958,2	18946,74	34996,23	20741	-53,51	-2687,2824	34904,7095	16259,45665
Lantai 6	34916,9	18839,65	34975,54	20881	-84,49	-3058,0093	34832,3984	15781,6386
Lantai 7	35005,7	18322,31	35006,47	20894	2,2724	-3853,2955	35007,926	14469,0161
Lantai Atap	34696,3	20057,64	35049,08	20876	-525,7	-1224,2797	34170,594	18833,3626

4.4.2 Kontrol Nilai Base Shear (Gaya Geser Dasar)

Tabel 4.9 Base Shear (Gaya Gesesr Dasar)

Tipe Gempa		**F_x**	**F_y**	**85% Statik X**	**85% Statik Y**
Statik	EQ X	1146,013	0	1146,013	1146,013
	EQ Y	0	1146,013	974,115	974,115
Dinamik	RSPX	3571,669	156,846	**DINAMIS**	**DINAMIS**
	RSPY	156,846	3647,202		

(Sumber output ETABS 2018 : Display – Show Table – Analisys – Result – Reactions – Base Reactions)

Dari hasil perhitungan diatas, maka syarat SNI 1726-2012 pasal 7.94.1 halaman 62, yaitu Vdinamis ≥ Vstatis (terpenuhi), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konfigurasi bangunan adalah menggunakan gempa Dinamis (RSPX dan RSPY).

4.4.3 Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 4.10 Modal Participacing Mass Ratio

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Keterangan
		sec				
Modal	1	0,817	0,7848	8,00E-04	0	Arah Y
Modal	2	0,802	0,0008	7,89E-01	0	Arah X
Modal	3	0,598	0,0126	9,22E-06	0	Torsi
Modal	4	0,264	0,1211	0,00E+00	0	Arah Y
Modal	5	0,252	0	1,23E-01	0	Arah X
Modal	6	0,192	0,0018	2,29E-05	0	Torsi
Modal	7	0,183	0	0,00E+00	0	Arah Y
Modal	8	0,143	0,0413	9,64E-07	0	Arah X
Modal	9	0,133	0,000005096	4,48E-02	0	Torsi
Modal	10	0,122	0	2,11E-06	0	Arah Y
Modal	11	0,12	0	1,34E-05	0	Arah X
Modal	12	0,117	0,000006647	0,00E+00	0	Torsi
Total			**0,962412**	**0,957949**		

(Sumber output ETABS 2018 : Display – Show Table – Analisys – Result – *Modal Result – Modal Participacing Mass Ratios)*

Dari hasil perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa partisipasi masa telah terpenuhi pada mode 12 dan sudah memenuhi syarat SNI 1726-2012 pasal 7.9.1 halaman 61

4.4.4 Kontrol Simpangan Akibat Gempa Dinamis

4.4.4.1 Kontrol kinerja Batas Layan Akibat Gempa Dinamis (RXPX, RSPY)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 8.1.2 halaman 35 disebutkan bahwa simpangan antar lantai yang diizinkan tidak boleh melampaui 0,03/R x tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm.

Tabel 4.11 Simpangan Akibat Gempa Dinamis (RSPX dan RSPY)

Lantai	**Ketinggian (mm)**	**Statis X (EX)**		**Statis Y (EY)**	
		X	**Y**	**X**	**Y**
Atap	4000	77,693	98,314	77,693	98,314
7	4000	60,027	80,898	60,027	80,898
6	4000	50,463	67,100	50,463	67,100
5	4000	40,252	53,100	40,252	53,100
4	4000	29,651	38,834	29,651	38,834
3	4000	19,600	25,983	19,600	25,983
2	4000	12,177	15,740	12,177	15,740
1	5000	2,751	3,429	2,751	3,429

(Sumber output ETABS 2018 : Display – Story Response Plot – Case Combo – RSPX dan RSPY)

a. Akibat RSPX

Tabel 4.12 Simpangan Akibat RSPX (simpangan arah x dan y) Untuk Kontrol Batas Layan

Lantai	**Ketinggian (mm)**	**Simpangan (mm)**		**Δs**		**Batas izin (mm)**	**Cek**
		X	**Y**	**X**	**Y**		
Atap	4000	21,093	6,094	1,126	0,383	15	Ok
7	4000	19,967	5,711	1,758	0,548	15	Ok
6	4000	18,209	5,163	2,429	0,747	15	Ok
5	4000	15,780	4,416	2,991	0,907	15	Ok
4	4000	12,789	3,509	3,039	0,991	15	Ok
3	4000	9,750	2,518	3,594	0,972	15	Ok
2	4000	6,156	1,546	3,432	0,893	15	Ok
1	5000	2,724	0,653	2,724	0,653	18,75	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

Berikut adalah contoh perhitungan :

Simpangan antar lantai tingkat desain (**Δ**s)

Δs = simpangan dilantai yang bersangkutan – simpangan lantai dibawahnya

= 2,724 – 0,000

= 2,724 mm

Simpangan yang diijinkan = 0,03 /R x tinggi lantai 1

= 0,03 / 8 x 5000

= 18,75 mm

Dari perhitungan diatas, Δ_S = 2,724 mm < simpangan yang diijinkan = 18,75 mm (**AMAN**)

b. Akibat RSPY

Tabel 4.13 Simpangan Akibat RSPX (simpangan arah x dan y) Untuk Kontrol Btas Layan

Lantai	**Ketinggian (mm)**	**Simpangan (mm)**		**ΔS**		**Batas izin (mm)**	**Cek**
		X	**Y**	**X**	**Y**		
Atap	4000	1,154	20,261	0,056	1,274	15	Ok
7	4000	1,098	18,987	0,090	1,756	15	Ok
6	4000	1,008	17,231	0,129	2,303	15	Ok
5	4000	0,879	14,928	0,157	2,844	15	Ok
4	4000	0,722	12,084	0,132	3,174	15	Ok
3	4000	0,590	8,910	0,209	3,341	15	Ok
2	4000	0,381	5,569	0,214	3,146	15	Ok
1	5000	0,167	2,423	0,167	2,423	18,75	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

4.4.4.2 Kontrol Kinerja Batas Ultimit Akibat Gempa Dinamis (RSPX, RSPY)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 8.2 halaman 35-36, simpangan dan simpangan antar lantai ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ = 0,7 x R (untuk gedung beraturan). Dalam pasal 8.2.2 disebutkan bahwa dalam segala macam simpangan antar lantai yang dihitung dari simpangans truktur gedung untuk batas ultimit tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi lantai yang bersangkutan.

a. Akibat RSPX (simpangan arah x)

Tabel 4.14 Simpangan Akibat RSPX (simpangan arah x) Untuk Kontrol Batas Ultimit

Lantai	**Ketinggian (mm)**	**Simpangan**	**Simpangan**	**Faktor**	**$\Delta S \times \xi$**	**Batas izin (mm)**	**Cek**
		X	**antar tingkat**	**Pengali**			
Atap	4000	21,093	1,126	5,600	6,306	80	Ok
7	4000	19,967	1,758	5,600	9,845	80	Ok
6	4000	18,209	2,429	5,600	13,602	80	Ok
5	4000	15,780	2,991	5,600	16,750	80	Ok
4	4000	12,789	3,039	5,600	17,018	80	Ok
3	4000	9,750	3,594	5,600	20,126	80	Ok
2	4000	6,156	3,432	5,600	19,219	80	Ok
1	5000	2,724	2,724	5,600	15,254	100	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

Contoh perhitungan :

Δs = simpangan dilantai yang bersangkutan – simpangan lantai dibawahnya

= 2,724 – 0,000

= 2,724 mm

Faktor pengali (ξ) = 0,7 x R

= 0,7 x 8

= 5,6

Δs x faktor pengali (ξ)= 2,724 mm x 5,6

= 15,254 mm

Simpangan yang diijinkan = 0,02 x tinggi lantai yang bersangkutan

= 0,02 x 5000

= 100 mm

Dari perhitungan diatas, Δs x faktor pengali (ξ) = 15,254 mm < simpangan yang diijinkan = 100 mm (**AMAN**)

b. Akibat RSPX (simpangan arah y)

Tabel 4.15 Simpangan Akibat RSPX (simpangan arah y) Untuk Kontrol Batas Ultimit

Lantai	**Ketinggian (mm)**	**Simpangan Y**	**Simpangan antar tingkat**	**Faktor Pengali**	**ΔS x ξ**	**Batas izin (mm)**	**Cek**
Atap	4000	20,261	1,274	5,600	7,134	80	Ok
7	4000	18,987	1,756	5,600	9,834	80	Ok
6	4000	17,231	2,303	5,600	12,897	80	Ok
5	4000	14,928	2,844	5,600	15,926	80	Ok
4	4000	12,084	3,174	5,600	17,774	80	Ok
3	4000	8,910	3,341	5,600	18,710	80	Ok
2	4000	5,569	3,146	5,600	17,618	80	Ok
1	5000	2,423	2,423	5,600	13,569	100	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

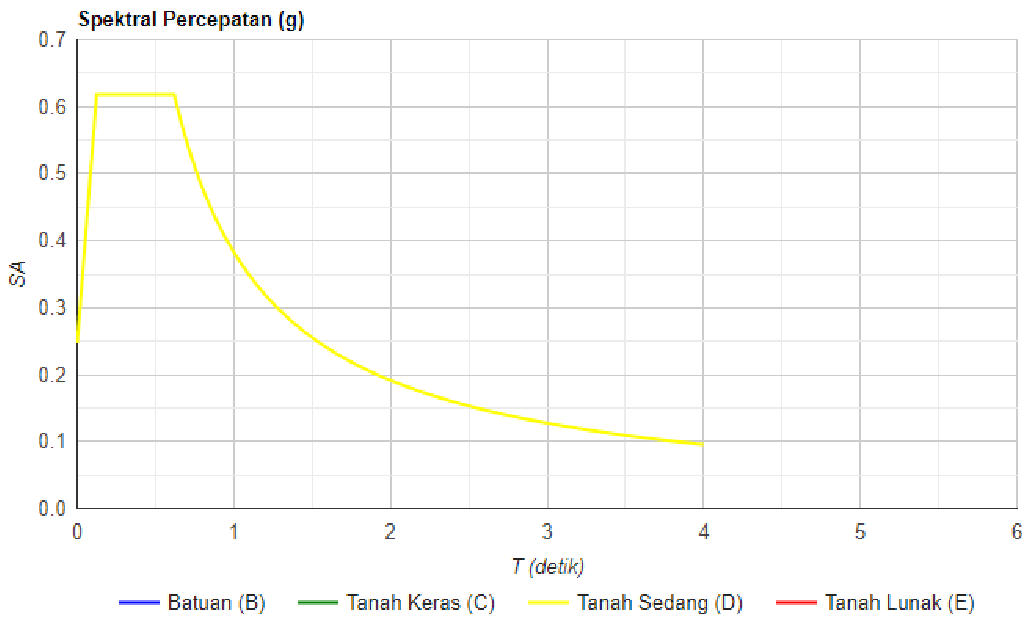
4.4.5 Analisis Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019

4.4.5.1 Menentukan Data Beban Gempa Respons Spektrum Berdasarkan Puskim.pu.go.id

Variabel	Nilai
PGA (g)	0.399
S_S (g)	0.781
S_1 (g)	0.330
C_{RS}	1.003
C_{R1}	0.921
F_{PGA}	1.101
F_A	1.188
F_V	1.740
PSA (g)	0.439
S_{MS} (g)	0.927
S_{M1} (g)	0.574
S_{DS} (g)	0.618
S_{D1} (g)	0.383
T_0 (detik)	0.124
T_S (detik)	0.619

T (detik)	SA (g)
0	0.247
T_0	0.618
T_S	0.618
T_S+0	0.532
T_S+0.1	0.467
T_S+0.2	0.416
T_S+0.3	0.376
T_S+0.4	0.342
T_S+0.5	0.314
T_S+0.6	0.290
T_S+0.7	0.270
T_S+0.8	0.252
T_S+0.9	0.236
T_S+1	0.223
T_S+1.1	0.210
T_S+1.2	0.199
T_S+1.3	0.190
T_S+1.4	0.181
T_S+1.5	0.172
T_S+1.6	0.165
T_S+1.7	0.158
T_S+1.8	0.152
T_S+1.9	0.146
T_S+2	0.141
T_S+2.1	0.136
T_S+2.2	0.131
T_S+2.3	0.127
T_S+2.4	0.123
T_S+2.5	0.119
T_S+2.6	0.115
T_S+2.7	0.112
T_S+2.8	0.109
T_S+2.9	0.106
T_S+3	0.103

T (detik)	SA (g)
T_S+3.1	0.100
T_S+3.2	0.098
4	0.096
-	-
-	-



1. Menetukan kategori resiko bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko 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 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.	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : SNI 1726-2019 halaman 24-25)

Berdasarkan jenis pemanfaatan Gedung, Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang ternasuk kategori IV, yaitu Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan.

2. Menentukan faktor keutamaan gempa (Ie)

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

(Sumber : SNI 1726-2019 halaman 25)

Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang termasuk dalam kategori IV, maka nilai faktor keutamaan gempa sebesar 1,5.

3. Menentukan klasifikasi situs tanah

Berikut merupakan perhitungan nilai N rata-rata dari 2 buah sampel benda uji Standart Penetration Test (SPT) pada Gedung Fakultas Ilmu Keolaragaan Universitas Negeri Malang.

Menghitung nilai rata-rata dengan rumus sebagai berikut :

$$N = \frac{\sum_{i}^{m}=1 ti}{\sum_{i}^{m}=1 \frac{ti}{mi}}$$

- Sampel 1

Tabel 4.16 Rekapitulasi Data Uji SPT Benda Uji 1

No	Kedalaman	Tebal	Nilai SPT/Ni	Ti/Ni
1	0	0	0	
2	2	2	6	0,333
3	4	2	4	0,5
4	6	2	4	0,5
5	8	2	24	0,083
6	10	2	60	0,033
7	12	2	15	0,133
8	14	2	18	0,111
9	16	2	28	0,071
10	18	2	40	0,05
11	20	2	14	0,143
12	22	2	16	0,125
13	24	2	38	0,053
14	26	2	51	0,039
15	28	2	60	0,033
16	30	2	60	0,033
	∑ti	30	∑ti/ni	2,242

Ni $= \frac{30}{2,242}$

= 13,38 ft/blows

- Sampel 2

Tabel 4.17 Rekapitulasi Data Uji SPT Benda Uji 2

No	Kedalaman	Tebal	Nilai SPT/Ni	Ti/Ni
1	0	0	0	0
2	2	2	5	0,4
3	4	2	7	0,286
4	6	2	18	0,111
5	8	2	50	0,04
6	10	2	45	0,044
7	12	2	12	0,167
8	14	2	18	0,111
9	16	2	48	0,042
10	18	2	53	0,038
11	20	2	10	0,2
12	22	2	20	0,1
13	24	2	26	0,077
14	26	2	45	0,044
15	28	2	59	0,034
16	30	2	60	0,033
	∑ti	30	∑ti/ni	1,727

Ni $= \frac{30}{1,727}$

$= 17,37$

Sehingga, $\frac{N1+N2}{2} = \frac{13,38+17,37}{2}$ = 15,38 ft/blows

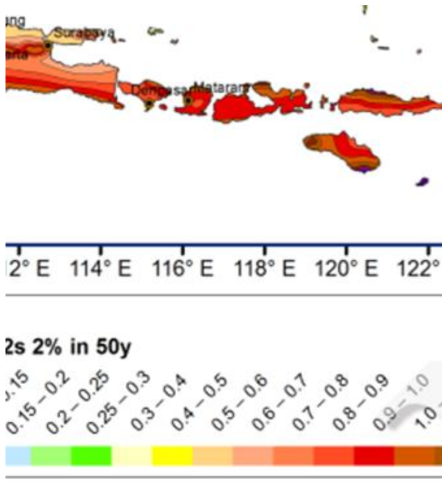
Dari perhitungan ke 2 buah sampel tersebut didapat nilai N rata-rata = 15,38 > 15. Sehingga Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang masuk kedalam kelas situs Tanah Sedang (SD).

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	*50 sampai100*
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m)		

(*Sumber* : SNI 1726-2019 halaman 29)

4. Menentukan nilai percepatan batuan dasar pada poeriode pendek (Ss) dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S1)

   Nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (Ss) dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S1) ditentukan dari peta sumber dan bahaya gempa indonesia yang terbaru pada tahun 2017 dan untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.



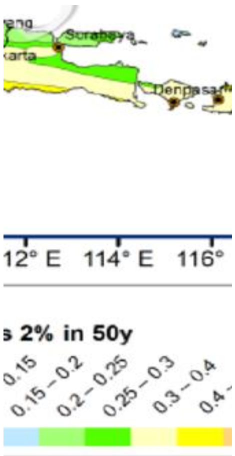
Gambar 4.11 Percepatan Spektrum Respons 0,2 Detik (Ss) Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang

(*Sumber : Peta Gempa 2017*)

Dari peta percepatan spektrum respon 0,2 detik (Ss) diatas didapatkan nilai Ss sebesar :

Ss = 0,7 – 0,8

= 0,781



Gambar 4.12 Percepatan Spektrum Respon 1 Detik (S1) Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang

(*Sumber : Peta Gempa 2017*)

Dari percepatan spectrum 1 detik (S1) diatas, didapat nilai S1 sebesar :

S1 = 0,3 – 0,4

= 0,330

5. Menghitung faktor amplifikasi periode pendek (Fa)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1{,}0$	$S_s = 1{,}25$	$S_s \geq 1{,}5$
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	$SS^{(a)}$					

(Sumber : SNI 1726-2019 Halaman 34)

Dari kelas situs tanah sedang (S_D) dan nilai Ss sebesar 0,87. Maka dilakukan interpolasi linear dengan tujuan agar mendapatkan nilai Fa :

Ss = 1,0 Fa = 1,1

Ss = 0,781 Fa = ?

Ss = 1,25 Fa = 1,0

Fa $= 1{,}2 - \frac{1{,}25 - 1{,}1}{1{,}0 \; - 1{,}0} \; x \; 0{,}781 - 0{,}1$

= 1,188

6. Menghitung faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S1					
	S1 ≤ 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 ≥ 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)]					

(Sumber : SNI 1726-2019 Halaman 34-35)

Dari kelas situs tanah sedang (S_D) dan nilai S1 sebesar 0,41. Maka dilakukan interpolasi linear dengan tujuan agar mendapatkan nilai Fv :

S1 = 0,4 Fv = 9,0

S1 = 0,330 Fv = ?

S1 = 0,5 Fv = 1,8

Fv = 0,9 - $\frac{1{,}9-1{,}8}{0{,}5-0{,}4}\ x\ 0{,}330-0{,}4$

= 1,970

7. Menghitung percepatan pada periode 1 detik (S_{MS}) berdasarkan SNI 1726-2019

S_{MS} = Fa x Ss

= 1,188 x 0,781

= 0,928 g

8. Menghitung percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) berdasarkan Sni 1726-2019

S_{M1} = Fv x S1

= 1,970 x 0,330

= 0,650 g

9. Menghitung percepatan desain periode 1 detik (S_{DS}) berdasarkan SNI 1726-2019

S_{DS} $= \frac{2}{3}$ x S_{MS}

$= \frac{2}{3}$ x 0,928

= 0,618

10. Menghitung percepatan desain pada periode 1 petik (S_{D1}) berdasarkan SNI 1726-2019

S_{D1} $= \frac{2}{3}$ x S_{M1}

$= \frac{2}{3}$ x 0,650

= 0,433

11. Menentukan kategori desain seismik

a. Katgori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II 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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Setelah mendapatkan nilai S_{DS} = 0,627 g, maka Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang termasuk dalam kategori resiko D.

b. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda pendek (S_{D1})

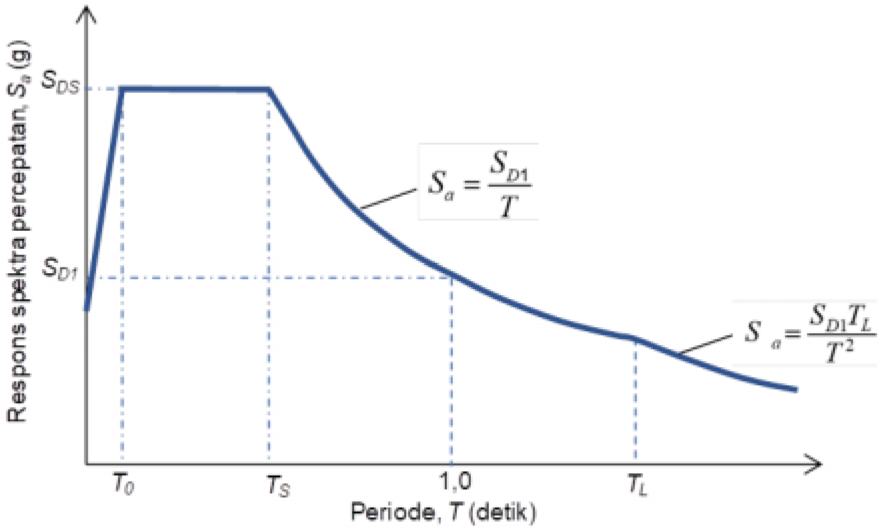
Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(*Sumber : SNI 1726-2019*)

Setelah mendapatkan nilai S_{D1} = 0,5166 g, maka Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang termasuk dalam kategori resiko D. Jadi, berdasarkan kategori desain seismik pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan jika ditinjau dari nilai S_{DS} dan S_{D1} adalah termasuk dalam kategori resiko D. Maka berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 21 halaman 362, sistem struktur penahan gaya gempa yang digunakan adalah komponen sistem rangka pemikul momen (SRPMM) dan harus memenuhi pasal 18.6 – 18.9.

Berikut merupakan rekapitulasi dari parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan beban gempa.

4.4.5.2 Spektrum Respon Desain



(Sumber SNI 1726-2019 halaman 36)

1. Menghitung nilai periode T_0 berdasarkan Sni 1726-2019 pasal 6.4 halaman 36 :

   $T_0 \quad = 0,2\ \frac{SD1}{SDS}$

   $= 0,2\ \frac{0,433}{0,618}$

   $= 0,140$ detik

2. Menghitung nilai periode T_S berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 36 :

   $T_S \quad = \frac{SD1}{SDS}$

   $= \frac{0,433}{0,627}$

   $= 0,701$ detik

3. Menghitung nilai sa berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4 halaman 36 :

   c. Untuk $T < T_0$

   $Sa = S_{DS}\ (0,4 + 0,6\ \frac{T}{T0}$

   d. Untuk $T \geq T_0$

   $Sa = S_{DS}$

   e. Untuk $T \geq T_S$

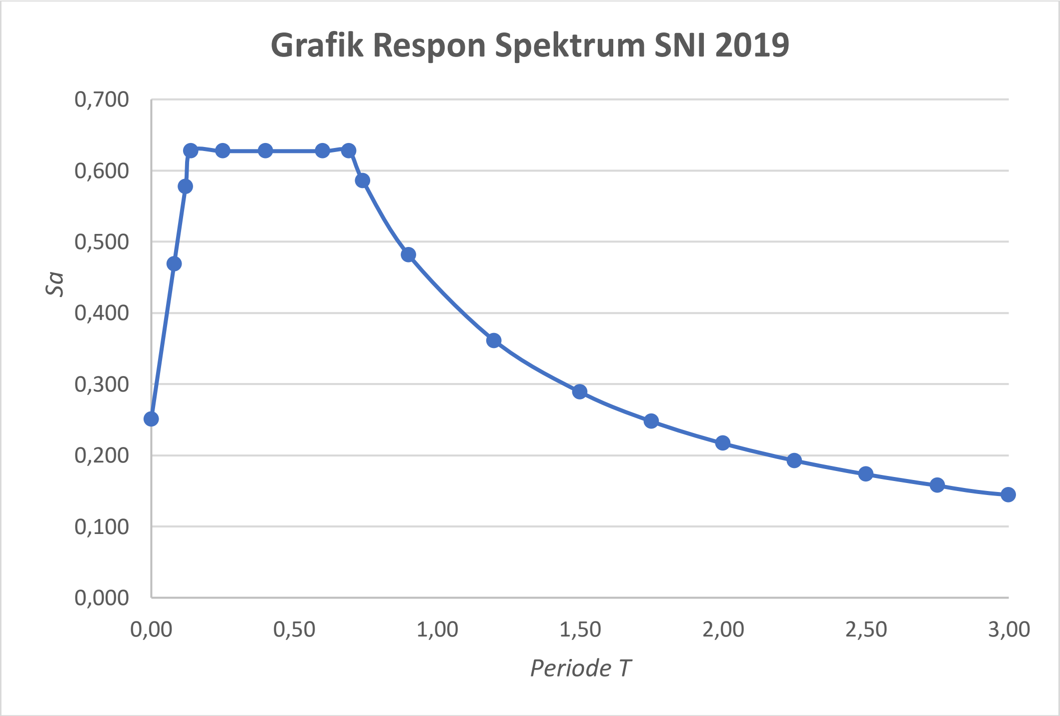
Sa = $\frac{SD1}{T}$

Berikut ini adalah hasil perhitungan respon spectrum rencana menggunakan aplikasi microsoft exel dan didapatkan grafik respon spectrum rencana pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Perhitungan Respon Spectrum Rencana Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang

T	Sa
(detik)	(g)
0,00	0,247
0,08	0,459
0,12	0,565
0,138	0,618
0,25	0,618
0,40	0,618
0,60	0,618
0,69	0,618
0,74	0,586
0,90	0,482
1,20	0,361
1,50	0,289
1,75	0,248
2,00	0,217

2,25	0,193
2,50	0,173
2,75	0,158
3,00	0,144
6,00	0,072
9,00	0,048
12,00	0,036
15,00	0,028
18,00	0,024
20,00	0,022



Grafik 4.2 Respon Spektrum Rencana Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang

4.4.5.3 Periode Fundamental Struktur (T)

1. Menghitung perioda fundamental (Ta)

   Untuk struktur dengan ketinggian < 12 tinggat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka pemikul momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m (SNI 12726-2019 tabel 18)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilengkapi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap	0,0731a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488a	0,75

   Ta $= Ct \times Hn^{x}$

   $= 0{,}0466 \times 33^{0{,}9}$

   $= 1{,}084$

2. Menghitung perioda maksimum (Tmax)

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

(Sumber SNI 1726-2012 tabel 18)

   Ditinjau dari nilai SD1 = 0,433 g, maka nilai Cu yang diperoleh dari tabel diatas adalah 1,4.

   a. Arah X

      Tmax $= Cu \times Ta$

      $= 1{,}4 \times 1{,}084$

      $= 1{,}518$

b. Arah Y

Tmax = Cu x Ta

= 1,4 x 1,084

= 1,518

c. Waktu getar alami dari hasil analisis ETABS :

Tcx = 0,824 detik (hasil output ETABS mode 1)

Tcy = 0,799 detik (hasil output ETABS mode 2)

Karena Tcx dan Tcy < Ta maka T yang di gunakan adalah Ta = 1,084

Berdasarkan SNI 1726-2019 :

1. Jika Tc > Cu.Ta, maka T = Cu.Ta
2. Jika Ta < Tc < Cu.Ta, maka T =Tc
3. Jika Tc < Ta, maka T = Ta

4.4.5.4 Batasan Penggunaan Prosedur Analisis Gaya Lateral Ekivalen (ELV)

Kontrol :

$$Ts = \frac{SD1}{SDS}$$

$$= \frac{0{,}433}{0{,}618}$$

= 0,700 detik

Tc < 3,5 Ts, maka gaya gempa yang dihitung dengan prosedur analisis lateral ekivalen (ELF)

4.4.5.4.1 Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik/Base Shear (V)

1. Menentukan nilai faktor R, Cd

Sistem penahan gaya seismik	(R^a)	(Ω_0^g)	(Cd^b)	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain seismik				
C. Sistem rangka pemikul momen				B	C	D[d]	E[d]	F[e]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

R = 8

Ω_o = 3

C_d = 5,5

2. Menghitung koefisien respon seismik (Cs)

a. Menghitung nilai Cs min

Csmin = 0,004 SDS Ie ≥ 0,01

Csmin = 0,004 x 0,618 x 1,5 ≥ 0,01

Csmin = 0,041 ≥ 0,01 **(OK)**

b. Menghitung nilai Cs

$$Cs = \frac{SDS}{R/Ie}$$

$$= \frac{0,627}{8/1,5}$$

= 0,116

c. Menghitung nilai Cs maks

$$Csmaks = \frac{SD1}{T \text{ x } (\frac{R}{Ie})}$$

$$= \frac{0,383}{1,084 \text{ x } (\frac{8}{1,5})}$$

= 0,075

Dimana syarat yang dipakai adalah :

(Cs = 0,044 SDS Ie ≥ 0,01 < Cs = $\frac{SDS}{R/Ie}$ < Cs = $\frac{SD1}{T \text{ x } (\frac{R}{Ie})}$

Kontrol :

Csmin < Csmaks < Cs

0,041 < 0,075 < 0,116

Csmin < Csy maks < Cs

0,041 < 0,075 < 0,116

Maka, nilai Cs yang digunakan adalah :

Csx = 0,075

Csy = 0,075

3. Menghitung nilai gaya dasar seismik /base shear (V)
   a. Berat seismik efektif struktur (w) bisa didapat dari hasil output program bantu ETABS 2018 (Centers Mass and Rigidity) :

      Lantai 1 = 766344,9

      Lantai 2 = 719459,37

      Lantai 3 = 680091,39

      Lantai 4 = 641146,39

      Lantai 5 = 652071,33

      Lantai 6 = 652291,91

      Lantai 7 = 656434,12

      Atap = 376536,32

      Total (W) = 514437573
   b. Gaya dasar seismik/Base Shear (V)

      Vx = Csx x Wt

      = 0,075 x 50466,33

      = 3784,97 KN

      Vy = Csy x Wt

      = 0,075 x 50466,33

      = 3784,97 KN

4.4.5.4.2 Menghitung Gaya Gempa Lateral (Fx)

Fx = Cvx x V

$$Cvx = \frac{\text{WI hi\^{}K}}{\sum_{i=1}^{n} \text{wi ki\^{}i}}$$

Keterangan :

Cvx = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser dasar struktur

wi,wx = bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x hi,hx = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut :

a. Untuk struktur dengan periode struktur sebesar 0,5 detik atau kurang (k=1)
b. Untuk struktur dengan periode sebesar 2,5 atau lebih (k=2)
c. Untuk struktur dengan periode sebesar 0,5-2,5 detik, k harus sebesar 2 atau dilakukan interpolasi linear antara 1 dan 2

1. Nilai perioda struktur yang digunakan

   Dari perhitungan diatas didapatkan nilai periode struktur untuk arah X dan Y adalah sebagai berikut :

   Tx = 1,084

   Ty = 1,084

2. Menentukan nilai eksponen (k)

   Periode struktur arah x dan y adalah 1,518 dan berada di rengs antara 0,5-2,5 detik. Sehingga, perlu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai eksponennya:

   a. Nilai eksponen untuk arah x (kx)

      Tx = 0,5 kx = 1

      Tx = 1,084 kx = ?

      Tx = 2,5 kx = 2

      $$Kx = 1 + \frac{1{,}084-0{,}5}{2{,}5-0{,}5} \text{ x } 2 - 1$$

      $$= 1{,}292$$

   b. Nilai eksponen untuk arah y (ky)

      Ty = 0,5 ky = 1

      Ty = 1,084 ky = ?

      Ty = 2,5 ky = 2

$$Ky = 1 + \frac{1,084-0,5}{2,5-0,5} \times 2 - 1$$

$$= 1,292$$

Dari interpolasi diatas, nilai eksponen arah x dan arah y adalah sebesar 1,292

3. Gaya gempa lateral (Fx)

   Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai gaya geser dasar seismik Vx dan Vy adalah : 3784,97 KN

Tabel 4.19 Rekapitulasi Gaya Gempa Lateral

Lantai	**Tinggi (hi)**	**Berat (Wi)**	**hi^{Kx}**	**hi^{Ky}**	**Wi x hi^{Kx}**	**Wi x hi^{Ky}**
	m	**kN**	**m**	**m**	**kNm**	**kNm**
Atap	33,0	3693,821299	91,61	91,61	338373,15	338373,15
7	29,0	6439,618717	77,52	77,52	499204,36	499204,36
6	25,0	6398,983637	63,99	63,99	409495,84	409495,84
5	21,0	6396,819747	51,09	51,09	326792,02	326792,02
4	17,0	6289,646086	38,88	38,88	244549,18	244549,18
3	13,0	6671,696536	27,49	27,49	183421,86	183421,86
2	9,0	7057,896420	17,10	17,10	120658,13	120658,13
1	5,0	7517,843469	8,00	8,00	60139,88	60139,88
TOTAL		50466,32591			2182634,41	2182634,41

Lantai	Cv_x	Cv_y	**Fx**	**Fy**	Vx	Vy
			(kN)	**(kN)**	(kN)	(kN)
Atap	0,1550	0,1550	**586,78**	**586,78**	586,78	586,78
7	0,2287	0,2287	**865,69**	**865,69**	1452,47	1452,47
6	0,1876	0,1876	**710,12**	**710,12**	2162,59	2162,59
5	0,1497	0,1497	**566,70**	**566,70**	2729,29	2729,29
4	0,1120	0,1120	**424,08**	**424,08**	3153,37	3153,37
3	0,0840	0,0840	**318,08**	**318,08**	3471,45	3471,45
2	0,0553	0,0553	**209,24**	**209,24**	3680,68	3680,68
1	0,0276	0,0276	**104,29**	**104,29**	3784,97	3784,97
TOTAL			**3784,97**	**3784,97**		

Contoh perhitungan lantai 1 :

a. Gaya gempa arah X (FX)

- Wi x hi^{kx} $= 7517{,}843469 \times 5{,}0^{1{,}292}$

  $= 60139{,}88$ KN

- Cvx $= \frac{\text{WI hi\^{}K}}{\sum_{i=1}^{n} \text{wi ki\^{}i}}$

  $= \frac{60139{,}88}{2182634{,}41}$

  $= 0{,}027$

- Fx = Cvx x Vx

  = 0,0276 x 3784,97

  = 270,67 KN

b. Gaya gempa arah Y (FY)

- Wi x hi^{ky} $= 39620{,}94 \times 5{,}0^{1{,}509}$

  $= 449438{,}74$ KN

- Cvy $= \frac{\text{WI hi\^{}K}}{\sum_{i=1}^{n} \text{wi ki\^{}i}}$

  $= \frac{449438{,}81}{16929359{,}89}$

  $= 0{,}026$

- Fy = Cvy x Vy

  = 0,026 x 10410,49

  = 104,29 KN

4.4.5.5 Kombinasi Pembebanan

Pengaruh beban gempa vertikal, Ev :

1. Ev = 0,2SDS
2. SDS = 0,627
3. Ω_o = 1,3

Kombinasi beban gempa yang digunakan :

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,23D +0,5L + 0,39Qex + 1,3Qey
4. 1,22D + 0,5L - 0,39Qex + 1,3Qey
5. 1,18D + 0,5L + 0,39Qex – 1,3Qey
6. 1,17D + 0,5L - 0,39Qex – 1,3Qey
7. 1,23D + 0,5L + 1,3Qex + 0,39Qey
8. 1,18D + 0,5L – 1,3Qex + 0,39Qey
9. 1,22D + 0,5L + 1,3Qex - 0,39Qey
10. 1,17D + 0,5L – 1,3Qex - 0,39Qey
11. 0,87D + 0,4Qex + 1,3Qey
12. 0,88D - 0,4Qex + 1,3Qey
13. 0,92D + 0,4Qex – 1,3Qey
14. 0,93D - 0,4Qex – 1,3Qey
15. 0,87D + 1,3Qex + 0,4Qey
16. 0,92D – 1,3Qex + 0,4Qey
17. 0,88D + 1,3Qex - 0,4Qey
18. 0,93 D – 1,3Qex - 0,4Qey

4.5 Kontrol Perilaku Struktur

4.5.1 Eksentrisitas

Tabel 4.20 Centers of Mass and Rigidity

Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cumulative X	Cumulative Y	XCCM	YCCM	XCR	YCR
		kg	kg	m	m	kg	kg	m	m	m	m
Lantai Atap	D8	376536,32	376536,32	35000	19386,1	376536,32	376536,32	35000	19386,1	35069	20757,6
Lantai 7	D7	656434,12	656434,12	34991,8	17308,9	656434,12	656434,12	34991,8	17308,9	35026,7	20782
Lantai 6	D6	652291,91	652291,91	34813,8	19193,6	652291,91	652291,91	34813,8	19193,6	34989,1	20782,2
Lantai 5	D5	652071,33	652071,33	34940	19329,8	652071,33	652071,33	34940	19329,8	35020,6	20653,6
Lantai 4	D4	641146,39	641146,39	34853,3	19277,8	641146,39	641146,39	34853,3	19277,8	34986	20526,8
Lantai 3	D3	680091,39	680091,39	34803,5	18725,2	680091,39	680091,39	34803,5	18725,2	35043,7	20304,4
Lantai 2	D2	719459,37	719459,37	34180	18053,5	719459,37	719459,37	34180	18053,5	34961,8	20273,9
Lantai 1	D1	766344,9	766344,9	34541,2	18787,2	766344,9	766344,9	34541,2	18787,2	35106,3	20041,9
JUMLAH		**5144376**	**5144376**								

(Sumber output ETABS 2018 : Display - Show Table – Analisis – Result - Structure Result – Centers Mass and Rigidity)

Keterangan :

CM = Centers of Mass (pusat massa)

CR = Centers of reactions (pusat rotasi)

Ukuran gedung :

Lebar gedung (B) = 28 m

Panjang gedung (L) = 70 m

Tabel 4.21 Perhitungan Eksentrisitas Takterduga

Story	**Panjang Bentang**		**0,05 Ly (m)**	**0,05 Lx (m)**
	Sumbu Y	**Sumbu X**		
Lantai Atap	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 7	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 6	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 5	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 4	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 3	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 2	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7
Lantai 1	70,00 m	34,00 m	3,5	1,7

Tabel 4.22 Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi

Story	ed = e - 0,05 b	
	Y	X
Lantai Atap	65,5294	1369,7767
Lantai 7	31,3328	3471,3831
Lantai 6	171,7943	1586,8909
Lantai 5	77,0763	1322,0866
Lantai 4	129,218	1247,2147
Lantai 3	236,6581	1577,5093
Lantai 2	778,3165	2218,6882
Lantai 1	561,6129	1253,0179

4.5.2 Kontrol Nilai Base Shear (Gaya Geser Dasar)

Tabel 4.23 Base Shear (Gaya Geser Dasar)

Tipe Gempa		**F_x**	**F_y**	**100% Statik X**	**100% Statik Y**
Statik	EQ X	3781,9368	0	3781,9368	3781,9368
	EQ Y	0	3781,94	3781,9368	3781,9368
Dinamik	RSPX	4099,60	77,0354	**DINAMIS**	**DINAMIS**
	RSPY	77,0354	4211,8128		

(Sumber output ETABS 2018 : Display – Show Table – Analisys – Result – Reactions – Base Reactions)

Dari hasil perhitungan diatas, maka syarat SNI 1726-2019 pasal 7.9.4.1 yaitu Vdinamis ≥ Vstatis (terpenuhi), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konfigurasi bangunan adalah menggunakan gempa Dinamis (RSPX dan RSPY).

4.5.3 Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 4.24 Modal Participacing Mass Ratio

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Keterangan
		sec						
Modal	1	0,82	0,7854	0,0001	0	0,7854	0,0001	Arah X
Modal	2	0,8	0,0001	0,7845	0	0,7855	0,7846	Arah Y
Modal	3	0,59	0,0099	1,334E-05	0	0,7954	0,7846	Torsi
Modal	4	0,27	0,1200	0	0	0,9154	0,7846	Arah X
Modal	5	0,25	0,0000	0,1238	0	0,9154	0,9084	Arah Y
Modal	6	0,19	0,0014	0,000029	0	0,9168	0,9084	Torsi
Modal	7	0,18	0,0000	1,04E-06	0	0,9168	0,9084	Arah X
Modal	8	0,14	0,0427	2,767E-06	0	0,9595	0,9084	Arah Y
Modal	9	0,13	0,0000	0,0464	0	0,9595	0,9548	Torsi
Modal	10	0,12	0,0000	0,0000	0	0,9595	0,9549	Arah X
Modal	11	0,12	0,0000	0,0000	0	0,9595	0,9549	Arah Y
Modal	12	0,12	0,000004	0,0000	0	0,9595	0,9549	Torsi

(Sumber output ETABS 2018 : Display – Show Table – Analisys – Result – Modal Result – Modal Participacing Mass Ratios)

Dari hasil perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa partisipasi masa telah terpenuhi. Pada mode 12 sudah memenuhi syarat SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1

4.5.4 Kontrol Simpangan Akibat Gempa Statis dan Dinamis

4.5.4.1 Kontrol Kinerja Batas Layan Akibat Gempa Statis EX

Tabel 4.25 Simpangan Statis X

Lantai	Ketinggian (mm)	δxe (mm)	δx (mm)	Δ (mm)	Batas izin (mm)	Cek
		X	X	X		
Atap	4000	25,03	137,7	7,19	61,54	Ok
7	4000	23,72	130,5	11,39	61,54	Ok
6	4000	21,65	119,1	15,87	61,54	Ok
5	4000	18,76	103,2	19,67	61,54	Ok
4	4000	15,19	83,5	19,89	61,54	Ok
3	4000	11,57	63,6	23,89	61,54	Ok
2	4000	7,23	39,7	22,73	76,92	Ok
1	5000	3,10	17,0	17,02	76,92	Ok

4.5.4.2 Kontrol Kinerja Batas Layan Akibat Gempa Statis EY

Tabel 4.26 Simpangan Statis Y

Lantai	**Ketinggian (mm)**	**δxe (mm)**	**δx (mm)**	**Δ (mm)**	**Batas izin (mm)**	**Cek**
		Y	**Y**	**Y**		
Atap	4000	6,98	25,6	1,61	61,54	Ok
7	4000	6,54	24,0	2,32	61,54	Ok
6	4000	5,90	21,6	3,15	61,54	Ok
5	4000	5,05	18,5	3,86	61,54	Ok
4	4000	3,99	14,6	4,17	61,54	Ok
3	4000	2,86	10,5	4,14	61,54	Ok
2	4000	1,73	6,3	3,74	76,92	Ok
1	5000	0,71	2,6	2,60	76,92	Ok

4.5.4.3 Kontrol Kinerja Batas Layan Akibat Gempa Dinamis RSPX

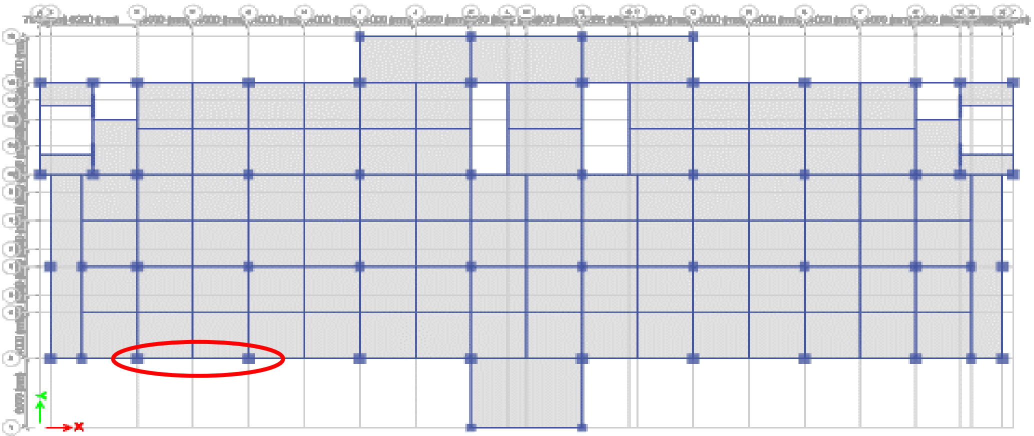
Lantai	Ketinggian (mm)	δxe (mm)	δx (mm)	Δ (mm)	Batas izin (mm)	Cek
		X	X	X		
Atap	4000	2,05	7,5	0,48	61,54	Ok
7	4000	1,92	7,0	0,66	61,54	Ok
6	4000	1,74	6,4	0,90	61,54	Ok
5	4000	1,49	5,5	1,06	61,54	Ok
4	4000	1,20	4,4	0,21	61,54	Ok
3	4000	1,15	4,2	1,59	61,54	Ok
2	4000	0,71	2,6	1,54	76,92	Ok
1	5000	0,29	1,1	1,07	76,92	Ok

4.5.4.4 Kontrol Kinerja Batas Layan Akibat Gempa Dinamis RSPY

Lantai	Ketinggian (mm)	Simpangan (mm)	δx (mm)	Δ (mm)	Batas izin (mm)	Cek
		Y	Y	Y		
Atap	4000	26,74	98,1	6,22	61,54	Ok
7	4000	25,04	91,8	8,65	61,54	Ok
6	4000	22,68	83,2	11,34	61,54	Ok
5	4000	19,59	71,8	14,04	61,54	Ok
4	4000	15,76	57,8	15,58	61,54	Ok
3	4000	11,51	42,2	16,33	61,54	Ok
2	4000	7,06	25,9	15,08	76,92	Ok
1	5000	2,95	10,8	10,80	76,92	Ok

4.6 Perhitungan Penulangan Struktur

4.6.1 Penulangan Balok 400 x 800 mm (Pada Balok 491 Lantai 1)



Gambar 4.13 Letak Balok 400 x 800 (Tipe Balok B 491 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut :

Lebar Balok bw	= 400 mm
Tinggi Balok h	= 800 mm
Selimut Beton cb	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	= 30 Mpa
fy ulir	= 420 Mpa
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 22 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 13 mm
L Balok	= 8000 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 7100 mm
Tebal Plat hf	= 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri + = 84,5000 kNm

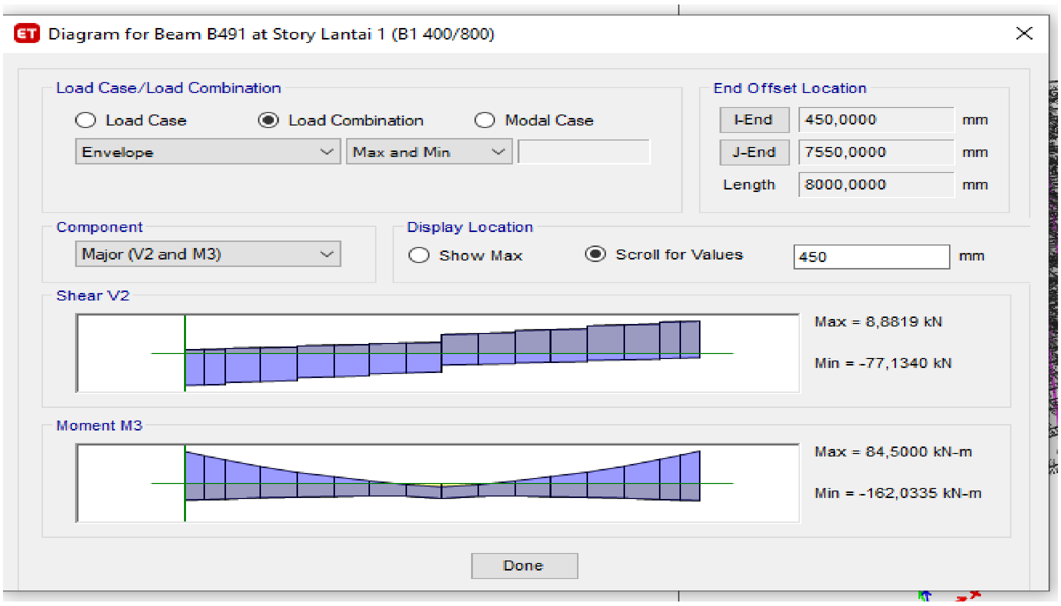
= 162,0335 kNm

Tumpuan Kanan + = 87,2243 kNm

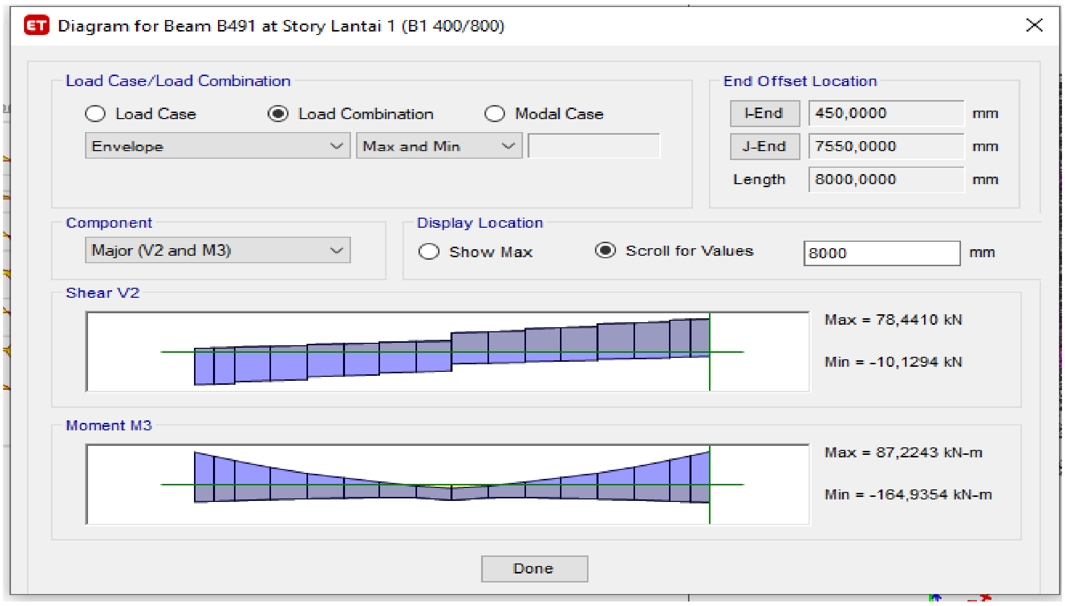
= 164,9354kNm

Lapangan + = 76,1329 kNm

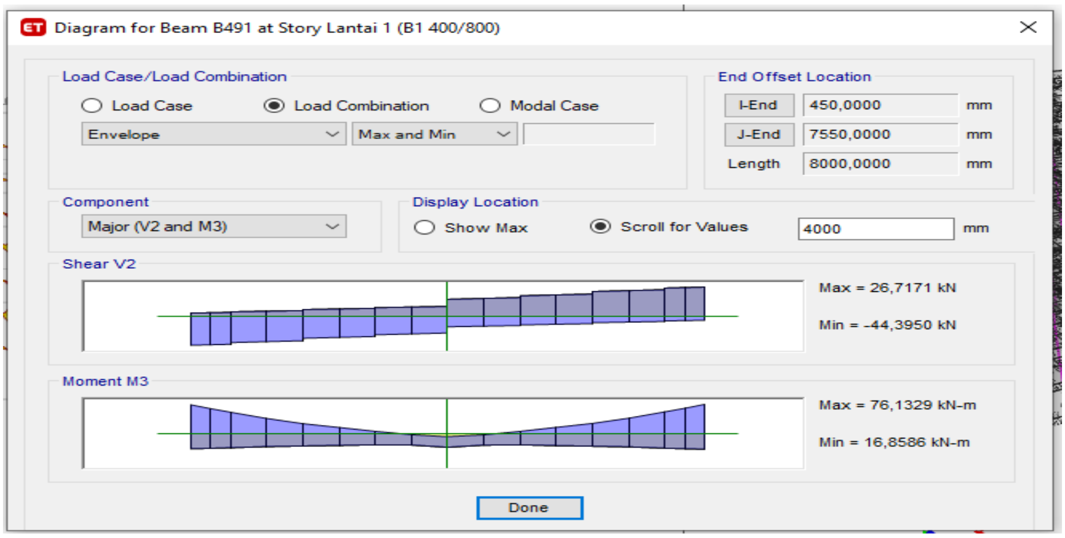
= 16,8586 kNm



Gambar 4.14 Momen Tumpuan Kiri



Gambar 4.15 Momen Tumpuan Kanan



Gambar 4.16 Momen Lapangan

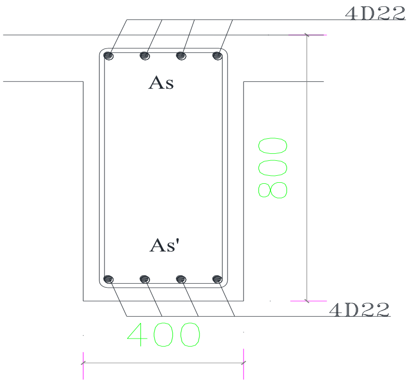
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0{,}85 - \dfrac{0{,}05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

β1 = 0,85- [30 -28] x 0. 05

= 0, 84

4.6.2 Perhitungan Penulangan Pada Kondisi Momen Maksimum



Gambar 4.17 Rencana Penulangan Tumpuan Kiri (Momen Negatif)

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 800 - 64,00

= 736,00 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$$As\ \mathrm{min} = \frac{0{,}25\ \sqrt{Fc'}}{Fy}\ bw\ d = \frac{0{,}25\ \sqrt{30}}{420}\ 400\ 736{,}00\ =\ 959{,}\ 819\ \mathrm{mm}^2$$

$$As\ \mathrm{min} = \frac{1{,}4\ \mathrm{bw\ d}}{\mathrm{Fy}} = \frac{1{,}4\ x\ 400\ x\ 736{,}00}{420} = 918\ \mathrm{mm}^2$$

b. Tulangan maksimal harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$$\mathrm{As\ max} = 0{,}75\ \mathrm{x}\ \frac{0{,}85\ Fc'\beta1}{Fy}\ \mathrm{x}\ \frac{600}{600+Fy}\ \mathrm{bw\ x\ d}$$

$$\mathrm{As\ max} = 0{,}75\ \mathrm{x}\ \frac{0{,}85\ \ 30\ 0{,}8}{420}\ \mathrm{x}\ \frac{600}{600+420}\ 400\ \mathrm{x}\ 736$$

As max = 6590,204082 mm²

c. Syarat spasi tulangan pada Sni 2847-2019 pasal 25.2.1 :
   1. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
   2. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 pasal 6.3.2.1. tidak boleh melebihi salah satu sisi :
   1. Be < 6 x tebal pelat + bw
      Be < 6 x 120 + 400
      Be < 1120 mm
   2. Be < Sw / 2 + bw (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)
      Be < 2900 / 2 + 400
      Be < 1850 mm
   3. Be < Ln x 1 / 12 + bw (Ln: panjang bersih balok)
      Be < 7100 x 1 / 12 + 400
      Be < 991,6666667 mm

A. Perhitungan penulangan tumpuan kiri

Mu + = 84,50000 kNm
= 84500000 Nmm

Mu - = 162,033500 kNm
= 162033500 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas) As 4D 22 = 1520 mm²

Tulangan di daerah (bawah) As'4D 22 = 1520 mm²

Momen Negatif :

$$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$$

$$= \frac{162033500}{0{,}9\ \ 400\ 736^2}$$

= 0,83

P = $\frac{Mu\ x\ F'c}{Fy}$ x $\left(1 - \sqrt{1} - \frac{2\ x\ Rn}{0{,}85\ F'c}\right)$

= $\frac{0{,}85\ x\ 30}{420}$ x $\left(1 - \sqrt{1} - \frac{2\ x\ 0{,}8309}{0{,}85\ 30}\right)$

= 0,00201165

ρ min = $\frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ Fy}$

$\frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 420}$ = 0,0032603

ρ min = $\frac{1{,}4}{Fy}$

$\frac{1{,}4}{420}$ = 0,0033

ρ balance = $\frac{0{,}85\ x\ F'c\ x\ \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

= $\frac{0{,}85\ x\ 30\ x 0{,}8}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0223852

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,00201165 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,00201165 x 400 x 736

=592,2297413 mm²

As tul = D22

= 380,3 mm²

n tul = $\frac{As}{As\ tulangan}$

= $\frac{592{,}2297}{380{,}3}$

= 6 tulangan D 22

Momen Positif

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{84500000}{0{,}9\ 400\ \ 736^2}$

$= 0{,}43$

$\rho = \frac{0{,}85 x F'c}{fy}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0{,}85\ F'c}}$

$= \frac{0{,}85 x 30}{420}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}4333}{0{,}85\ \ 30}}$

$= 0{,}0010$

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 420}$

$= 0{,}0033$

ρ balance$= \frac{0{,}85\ x\ F'c x \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30 x 0{,}8}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0298

= 0,022385204

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,0010 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,001040608 x 400 x 420

= 174,8221224 mm²

As tul = D 22

= 380,3 mm²

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{174{,}8221224}{380{,}3} =$ 3 tulangan D 22

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

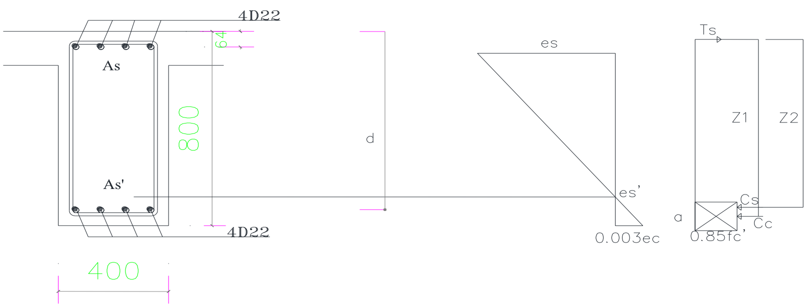
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 800 - 64,000

=736,0 mm



Gambar 4.18 Penampang Balok dan Diagram Momen Negatif Tumpuan Kiri

Cc + Cs = T1

Cc = 0,85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc= 0,003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0{,}003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ fc'b\ ) + \left(As'\frac{c-d'}{c}\right) 600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c - 600 d' As' = 1520 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' =638299,2 c

0,85 x 30 x 0,8 x c^2 x 400 + 600 x 1520 x c – 600 x 64 x1520 = 638299,2 c

8524,285714 c^2 + 911856 c – 58358784 = 638299,2 c

8524,285714 c^2 + 911856 c – 638299 c - 58358784 = 0

8524,285714 c^2 + 273557 c – 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = -273557 \pm \frac{\sqrt{74833322826 - 48524{,}285714 - 58358784}}{2\ 8524{,}285714}$$

$$c^+ = -273557 + \frac{\sqrt{74833322826 - 48524{,}285714 - 58358784}}{17048{,}57143}$$

= 68,24

$$c^- = -273557 - \frac{\sqrt{74833322826 - 48524{,}285714 - 58358784}}{17048{,}57143}$$

= -100 , 3289

8524,285714 4656,341159 + 273556,8 68,24 - 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 68,23738828 > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 68,23738828

= 57,0269602 mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s' = \frac{c - d\prime}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{68,23738828-64,0}{68,237}\ 0,003$

= 0,0002 < εy = 0,002 tulangan belum leleh

$\varepsilon s = \frac{c - d\prime}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{736-68,2}{68,237}\ 0,003$

= 0,029 > εy = 0,002 tulangan sudah leleh

$\varepsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{420}{200000} = 0,002$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= 0,0002 x 200000

= 37,3 Mpa < 420 Mpa maka di pakai fs' = 37,3 Mpa

Fs = εs x Es

= 0,0294 x 200000

= 5871,525525 Mpa >420 Mpa maka di pakai fy = 420 Mpa

menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik : Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0294 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0,85 x 30 x 57,0269602 x 400

= 581674,9941 N

Cs = As' x fs'

= 1519,76 x 37,3

= 56624,20592 N

Ts = As x fy

=1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cc +Cs = Ts

581674,9941 + 56624,21 = 638299,20

638299,2 = 638299,20 (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

=736,000 - ½ x 57,0269602

= 707,4865199 mm

Momen nominal (Mnb) :

Mn = T . Z1

= 638299,2 x 707,487

= 451.588.080 Nmm

Mr = ф Mn

= 0,9 x 451.588.080

= 406429272 Nmm

фMn > Mu

406.429.271,70 Nmm > 162.033.500 Nmm (Memenuhi)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 22 = 1519,76 mm^2

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22   = 1519,76 mm²

d''   = Tebal selimut beton balok + D. sengkang   + ½ D. Pokok

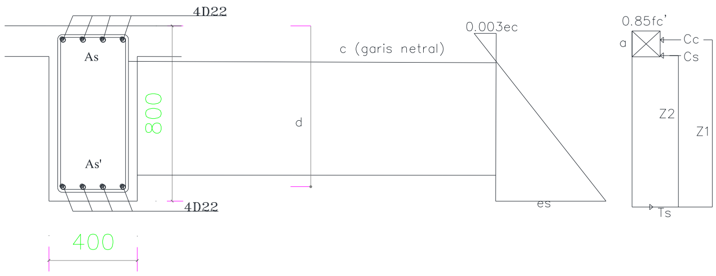
= 40 + 13 + ½ x 22

= 64, mm

d   = h - d'

= 800 - 64,00

= 736,0 mm



Gambar 4.19 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b   + As'   fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\ Es$

εc =   0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\ \left(\frac{c - d''}{c}\right)\ 600\ ] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) + As’ c – 600 d’’ As’ = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1520 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,8 c^2 1583 + 600 x 1520 x c - 600 x 64 x 1520 = 638299 c

33742 c^2 + 911856 c + -58358784 = 638299 c

33742 c^2 + 911856 c + -638299 c + -58358784 = 0

33742 c^2 + 273557 c + -58358784 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-273556{,}8 \pm \sqrt{74833322826 - 4\ 33741{,}96429 - 58358784}}{2\ 33742}$$

$$C^+ = \frac{-273556{,}8 + \sqrt{7951393344769}}{67483{,}92857}$$

= 37,73142381

$$C^- = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{7951393344769}}{67483{,}92857}$$

= -45,83874079

33741,96429 1423,660343 + 273556,8 37,73142381 + -58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 37,73142381 < 64,00 (Ok)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0,84 37,73142381

= 31,5326899 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c}$ x εc

  $= \frac{64 - 37{,}73}{37{,}73}$ x 0,003

  = 0,021 (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c}$ x εc

  $= \frac{736 - 37{,}7}{37{,}7}$ x 0,003

  = 0,056 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = εs' x Es

  = 0,0021 x 200000 Mpa

  = 417,72 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  fs = εs x Es

  = 0,0556 x 200000 Mpa

  = 11104 Mpa < fy ulir = 400 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0555 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 31,5 x 1583,3

= 1273132 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1519,76 x 417,719

= 634833,2 N

Ts2 = As x fy

= 1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cc	Ts1	+	Ts2	
1273132,355	=	644833,155	+	638299,200
1273132,355	=	1273132,355	(metode keseimbangan terpenuhi)	

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 64 - \frac{1}{2} x\ 31{,}53$

= 48 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 736 – 0,5 x 31,53

= 720 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 634833,2 N x 48 mm + 638299,2 N x 720 mm

= 490344889,229 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 490344889,229 Nmm

= 44130100,307 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^-

44130100,307 Nmm > 84500000 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn -

490.344.889,23 > ½ 451.588.079,66

490.344.889,23 > 225.794.040 (Memenuhi)

B. Perhitungan penulangan tumpuan kanan

Mu + = 87,22430 kNm

= 87224300 Nmm

Mu - = 164,93540 kNm

= 164935400 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Kontrol Momen Negatif

Tulangan tarik As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

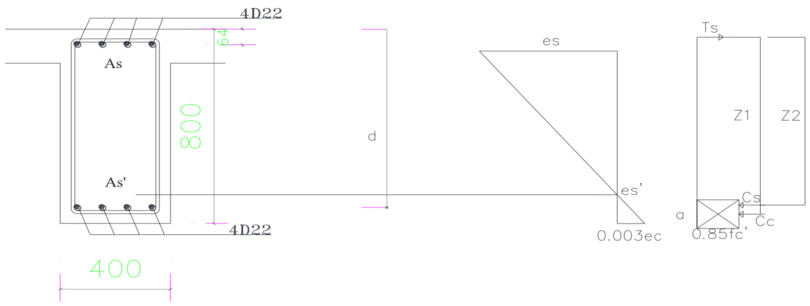
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d'

= 800 - 64,000

= 736,0 mm



Gambar 4.20 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \frac{c-d\prime}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As xfy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 1519,8 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 638299,2 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 400 + 600 x 1519,76 x c - 600 x 64 x 1519,76

= 638299,2 c

8524,285714 c^2 + 911856 c - 58358784 = 638299,2 c

8524,285714 c^2 + 911856 c - 638299,2 c – 58358784 = 0

8524,285714 c^2 + 273556,8 c - 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

C= $\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$$c = \frac{-273556{,}8 \pm \sqrt{74833322826 - 4\ 8524{,}2857 - 58358784}}{2\ 8524{,}3}$$

$$C^{+} = \frac{-273556{,}8 + \sqrt{2064701117843}}{17048{,}5714}$$

= 68,23739

$$C^{-} = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{2064701117843}}{17048{,}5714}$$

= -100,329

8524,285714   4656,341159   + 273556,8   68,23738828   - 58358784   = 0

0   = 0

Maka di pakai nilai c   = 68,23738828   > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 68,23738828

= 57,0269602 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{64, 37{,}73}{37{,}73}$ x 0,003

  = 0,0021   (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{736 - 37{,}73}{37{,}73}$ x 0,003

  = 0,056   (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > $\varepsilon s'$ = 0,0021, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = $\varepsilon s'$ x Es

  = 0,0021 x 200000 Mpa

  = 417,72 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0555 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

  maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

  Cc = 0,85 x fc' x a x b

  = 0,85 x 30 x 31,5 x 2000

  = 1273132 N

  Ts1 = As' x fs'

  = 1519,76 x 417,719

  = 1273132 N

  Ts2 = As x fy

  = 1519,76 x 420

  = 638299,2 N

  Cek kondisi seimbang :

  Cc = Ts1 + Ts2

  3659611,07 N = 634833,115 N + 638299,2 N

  1273132,355 N = 1273132,355 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

  Z1 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

  $= 64 - \frac{1}{2} x\ 31,35$

  = 48 mm

  Z2 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

  $= 736- \frac{1}{2} x\ 31,35$

= 720 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + T2 x Z2

= 1273132 N x 48 mm + 638299,2 N x 720 mm

= 490344889,229 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 490344889,229 Nmm

= 441310400,307 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^+

490344889,229 Nmm > 84500000 Nmm (AMAN)

Cek :

syarat $Mn^+ > ½ Mn^-$ (SNI 2847 2013 pasal 21.5.2.2 halaman 186):

Mn (+) ≥ ½ Mn (-)

490344889,229 Nmm ≥ ½ 451.588.079,66 Nmm

490344889,229 Nmm ≥ ½ 225.794.040 Nmm (memenuhi)

C. Perhitungan penulangan lapangan

Mu + = 76,13 kNm

= 76132900 Nmm

Mu = 16,8586 kNm

= 16.858.600 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan bawah As 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan atas As'2 D 22 = 759,88 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan bawah As 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan atas As' 2 D 22 = 759,88 mm²

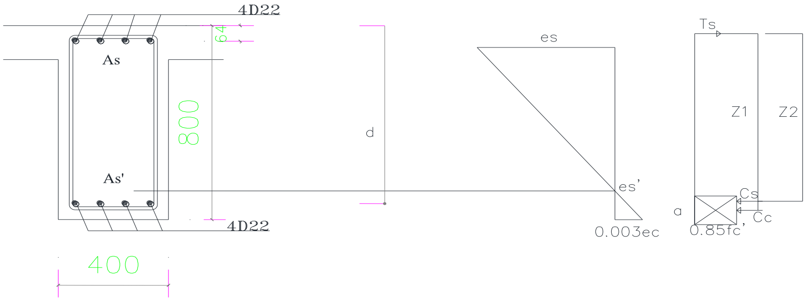
d' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h – d”

= 800 - 64,000

= 736,0 mm



Gambar 4.21 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d’ maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F’c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}$ 600 = A_s x fy

(0,85 fc’ a b) + 600 As’c -600 d’ As’= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

$0,85 \ Fc' \beta1 \ c^2 \ b + 600 \ As' \ c - 600 \ d' \ As' = 759,9 \times 420 \times c$

$0,85 \times 30 \times 0,84 \times c^2 \times 400 + 600 \times 759,9 \times c - 600 \times 64 \times 759,9$

$= 319149,60 \ c$

$8524,285714 \ c^2 + 455928 \ c + -29179392 = 0$

$8524,285714 \ c^2 + 455928 \ c + -319150 \ c + -29179392 = 0$

$8524,285714 \ c^2 + 136778 \ c + -29179392 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-136778,4 \pm \sqrt{18708330707^2 - 4 \times 8524 - -29179392}}{2 \times 8524}$$

$$= \frac{-136778,4 \pm \sqrt{18708330707^2 - 4 \times 8524 - -29179392}}{2 \times 8524}$$

$$c+ = \frac{-136778,4 \pm \sqrt{1013642228215}}{1748,5714}$$

$$c- = \frac{-136778,4 - \sqrt{1013642228215}}{1748,5714}$$

$= -67,0776$

$8524,3 \times 2604,247 + 136778,4 \times 51,03 + -29179392 = 0$

$0 = 0$

Maka dipakai nilai $c = 51,03 < 64,0$ (OK)

Karena $c < d'$ tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

$a = \beta1 \times c$

$= 0,84 \times 51,0$

$= 42,648$ mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

$= \frac{51{,}0 - 64{,}0}{51{,}0}$ x 0,003

= -0,0008 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{736 - 51{,}0}{51{,}0}$ x 0,003

= 0,0403 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = -0,0008, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

fs' = εs' x Es

= -0,0008 x 200000 Mpa

= -152,5 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ф dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0403 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ф : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 42,6 x 400

= 435009,8 N

Cs = As' x fs

= 759,88 x -152,47

= -115860 N

Ts = As x fy

= 759,9 x 420

= 319149,6 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = T1

435009,6 N + -115860 = 319149,6 N

319149,6 N = 319149,6 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 736,0 - $\frac{1}{2}$x 42,6

= 714,7 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1

= 399149,6 N x 714,68 mm

= 228088556,341 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 228088556,341 Nmm

= 205279700,7 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu :

ΦMn > Mu

205279700,7 Nmm > 16858600 Nmm (AMAN)

490344889,229 Nmm ≥ ½ 225.794.040 Nmm (memenuhi)

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 22 = 759,88 mm²

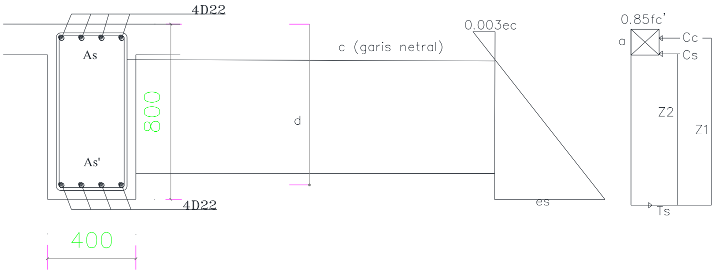
d'' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h - d'

= 800 -64,000

= 736,0 mm



Gambar 4.22 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 759,9 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1583 + 600 x 759,9 x c - 600 x 64 x 759,9

= 319149,60 c

$33742\ c^2 + 455928\ c + -29179392 \qquad = 0$

$33742c^2 + 455928\ c + -319150\ c + -29179392 \qquad = 0$

$33742c^2 + 136778\ c + -29179392 \qquad = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-136778{,}4 + \sqrt{18708330707^2 - 4 \times 33742 - 29179392}}{2 \times 33742}$$

$$= \frac{-136778{,}4 \pm \sqrt{18708330707^2 - 4 \times 8524 - -29179392}}{2 \times 33742}$$

$$c+ = \frac{-136778{,}4 \pm \sqrt{395698341678}}{67483{,}9286}$$

$= 27{,}45009$

$$c- = \frac{-136778{,}4 - \sqrt{3956988341678}}{67483{,}9286}$$

$= -31{,}5037$

$33742 \times 753{,}5037 + 136778{,}4 \times 27{,}45 + -29179392 \qquad = 0$

$0 \qquad = 0$

Maka dipakai nilai c = 27,45 < 64,0 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih kecil dari d'', maka dilanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 27,5

= 22,94 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{d' - c}{c} \times \varepsilon c$

$= \frac{64 - 27{,}5}{27{,}5} \times 0{,}003$

$= 0{,}004$ (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d - c}{c} \times \varepsilon c$

$= \frac{736 - 27,5}{27,5} \times 0,003$

$= 0,0774$ (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

$= 0,002$

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,004, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

  fs' = εs' x Es

  = 0,004 x 200000 Mpa

  = 798,9 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0774 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

  Cc = 0,85 x fc' x a x b

  = 0,85 x 30 x 22,96 x 1583,33

  = 9262,19,8 N

  Ts1 = As' x fs'

  = 759,88 x 798,903

  = 607070,2 N

  Ts2 = As x fy

  = 759,9 x 420

  = 319149,6 N

Cek kondisi seimbang :

Cc = Ts1 + Ts2

926219,881 N = 607070,2 N + 319149,6 N

926219,881 N = 926219,881 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 64{,}0 - \frac{1}{2} x\ 22{,}9$

= 52,53 mm

Z2 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 736{,}0 - \frac{1}{2} x\ 22{,}9$

= 724,5 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 607070,2 N x 52,53 + 319149,6 x 724,5

= 247998251,3 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 247998251,3 Nmm

= 223198426,2 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

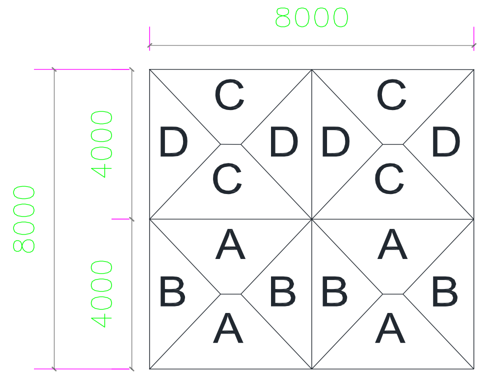
ΦMn > Mu

223198426,2 Nmm > 76132900 Nmm (AMAN)

Tabel 4.27 Data Penulangan B1 400/800

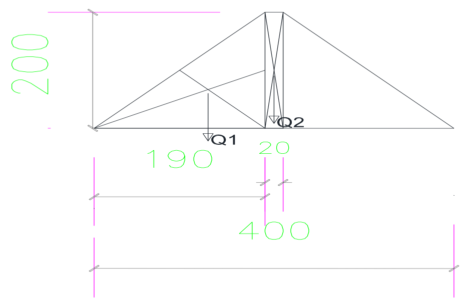
Lokasi		**Mu**	**keb. Tul**			**As psg**	**Mn**	**Ket.**
a	**b**							
Tump.	Kan. -	164.935.400	4	D	22	1521,143	406.429.272	Oke
	Kan +	82.467.700	4	D	22	1521,143	441.310.400	Oke
	kir -	162.033.500	4	D	22	1521,143	406.429.272	Oke
	kir +	81.016.750	4	D	22	1521,143	441.310.400	Oke
Lap	-	16.858.600	2	D	22	760,5714	205.279.701	Oke
	+	76.132.900	2	D	22	760,5714	223.198.426	Oke

4.6.3 P Dan WU Pada Baolok 400 x 800 mm



Gambar 4.23 Perhitungan Perataan Beban Gelagar

a. Perataan beban tipe A



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 1,9

= 1,900 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 1,900 + 0,2

= 2,10 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

= 2,73 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8} \text{ x h x } 4^2$

$= 2 \text{ h m}^2$

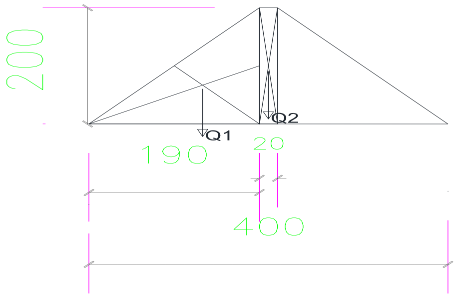
M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2{,}733}{2}$

= 1,3667 m < 1,90 m (OK)

b. Perataan beban tipe C



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2} \text{ x } 2 \text{ x } 1{,}9$

$= 1{,}900 \text{ m}^2$

Q2 = 0,1 x 2

$= 0{,}2 \text{ m}^2$

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 1,900 + 0,2

$= 2{,}10 \text{ m}^2$

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

$= 2{,}73 \text{ m}^2$

M2 $= \frac{1}{8} \text{ x h x } L^2$

$= \frac{1}{8} \text{ x h x } 4^2$

$= 2 \text{ h m}^2$

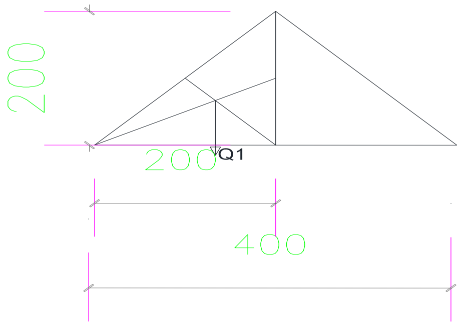
M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2,733}{2}$

= 1,3667 m < 1,90 m (OK)

c. Perataan beban tipe B



Q1 = $\frac{1}{2}$ x tinggi x alas

= $\frac{1}{2}$ x 2 x 2

= 2,000 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1

= 2,000

= 2,00 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,000 x 2) – (2,000 x 0,667)

= 2,67 m^2

M2 = $\frac{1}{8}$ x h x L^2

= $\frac{1}{8}$ x h x 4^2

= 2 h m^2

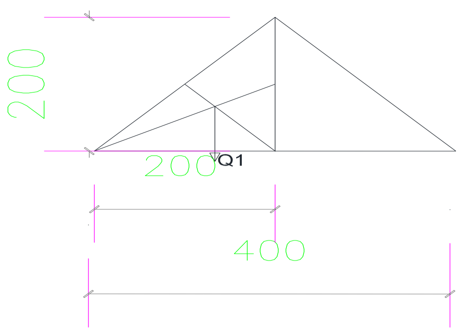
M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2,67}{2}$

= 1,333 m < 2 m (OK)

d. Perataan beban tipe D



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 2

$= 2{,}000\ m^2$

Q2 = 0,1 x 2

$= 0{,}2\ m^2$

RAV = RBV = Q1

= 2,000

$= 2{,}00\ m^2$

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,000 x 2) – (2,000 x 0,667)

$= 2{,}67\ m^2$

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

$= 2\ h\ m^2$

M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2{,}67}{2}$

= 1,333 m < 2 m (OK)

Tabel 4.28 Perataan Beban

Tipe	h
A	1,3667
B	1,3333
C	1,3667
D	1,3333

4.6.3.1 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Pada Sebelah Kanan Balok 400 x 800 mm

a. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,40 x (0,8 – 0,12)

= 0,272 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,272 x 24

= 6,42 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 4,937 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,333 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,552 kN/m

d. total beban mati

= 6,419 + 4,937 + 7,6

= 18,908 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributary area)

berat = 1,333 x 2,87 x 2

= 7,653 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 18,908 + 1 x 7,653

= 30,343 kN/m

V q kiri = 53,100 kN

4.6.3.2 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Pada Sebelah Kiri Balok 400 x 800 mm

a. beban sendidi balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,40 x (0,8 – 0,12)

= 0,272 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,272 x 24

= 6,42 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 4,336 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,333 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,552 kN/m

d. total beban mati

= 6,419 + 4,336 + 7,6

= 18,307 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 1,333 x 2,87 x 2

= 7,653 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 18,908 + 1 x 7,653

= 29,622 kN/m

V q kanan = 51,838 kN

P balok = 53,100 + 51,838

= 104,939 kN

Jadi kesimpulan perhitungan beban mati yang bekerja pada balok :

a. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,40 x (0,8 – 0,12)

= 0,272 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,272 x 24

= 6,42 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 3,937 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,367 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,741 kN/m

d. total beban mati

= 6,419 + 3,937 + 7,7

= 18,097 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 1,367 x 2,87 x 2

= 7,844 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 18 + 1 x 7,845

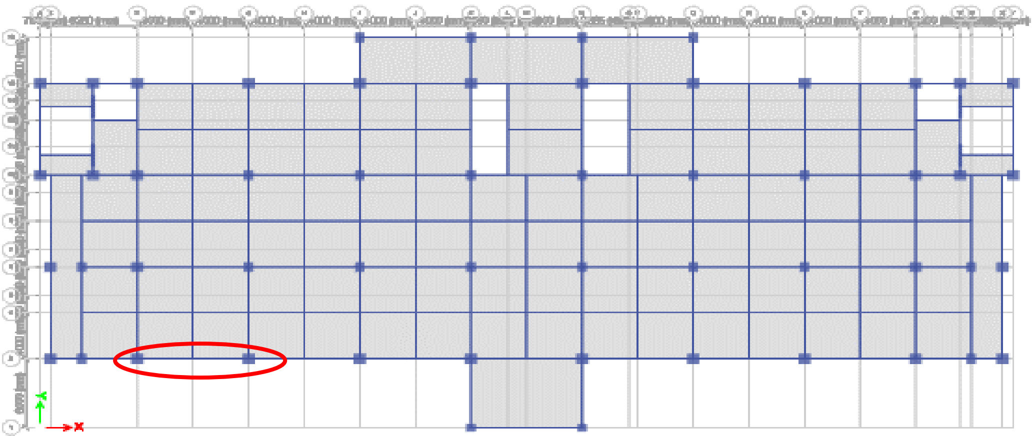
= 29,561 kN/m

Jadi kesimpulan Wu dan P balok adalah :

Wu = 29,561

P balok= 104,939

4.6.4 Perhitungan Momen MPR Pada Balok 400 x 800 mm



Gambar 4.24 Letak Balok 400 x 800 (Tipe Balok 491 lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut:

Lebar Balok (bw)	= 400 mm
Tinggi Balok (h)	= 800 mm
Selimut Beton (cb)	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	=30 Mpa
fy ulir	= 525 Mpa (1,25 dari fy asli)
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 22 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 13 mm
L Balok	= 8000 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 7100 mm
Tebal Plat (hf)	= 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri	+	= 74.7003 kNm
	-	= 162,0335kNm
Tumpuan Kanan	+	= 87,2243 kNm
	-	= 164,9354 kNm
Lapangan	+	= 76,1329 kNm
	-	= 16,8586 kNm

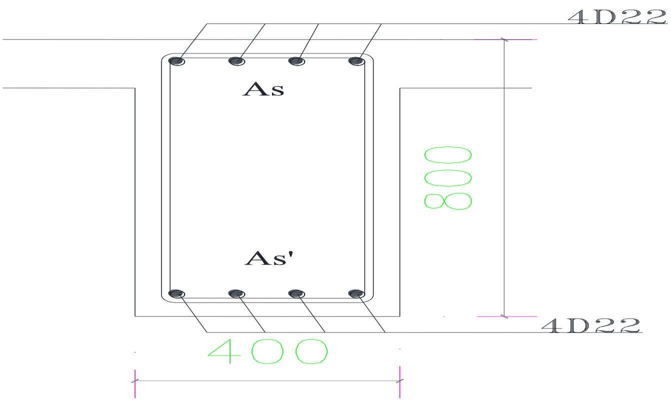
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0{,}85 - \frac{0{,}05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

$\beta 1 \quad = 0.85 - (30 - 28) \times 0.05 / 7$

$= 0.84$

4.6.5 Perhitungan Penulangan Pada Kondidi Momen Maksimum



Gambar 4.25 Rencana Penulangan Balok 400 x 800

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 800 - 64,00

= 736,00 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2

As min $= \frac{0.25\sqrt{Fc\prime}}{Fy} bw$ $= \frac{0.25\sqrt{30}}{525} 400\ 736.00$

= 767,855 mm^2

As min $= \frac{1.4\ bw\ d}{fy}$ $= \frac{1.4 \times 400 \times 736,00}{525}$

= 785 mm^2

Maka tulangan minimal adalah 785,07 mm^2

b. Tulangan maksimal dihitung menurut SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2

As max $= 0,75 \times \frac{0.85\ Fc'\beta 1}{fy} \times \frac{600}{600+fy} \times bw \times d$

As max $= 0,75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.8}{525} \times \frac{600}{600+525} \times 400 \times 736$

As max = 4780,1 mm^2

c. Syarat spasi tulangan pada SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1
   1. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
   2. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 Pasal 6.3.2.1 tidak boleh melebihi :

Satu sisi :

1 Be < 6 x tebal pelat + bw

Be < 6 x 120 + 400

Be < 1120 mm

2 Be < Sw/2 + bw (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

Be < 2900 /2 + 400

Be < 1850 mm

3 Be < Ln x 1/12 + bw (Ln: panjang bersih balok)

Be < 7100 x 1/12 + 400

Be < 991,7 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 992 mm

Kedua sisi:

1 Be < 8 x tebal pelat x 2 + bw

Be < 8 x 120 x 2 + 120

Be < 2040 mm

2 Be < Sw/2 x 2 + bw

Be < 2900 + 400

Be < 3300 mm

3 Be < Ln x 1/12 x 2 + bw

Be < 7100 x 1/12 x 2 + 400

Be < 1583 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1583 mm

A. Perhitungan Penulangan Tumpuan Kiri

Mu^+ = 74.70030 kNm

= 74700300 Nmm

Mu^- = 162,033500 kNm

$= 162033500$ Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas) As 4 D 22 = 1520 mm^2

Tulangan di daerah (bawah) As' 4 D 22 = 1520 mm^2

Momen negatif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi \times b \times d}$

$= \frac{162033500}{0.9 \times 400 \times 736\text{^}2}$

$= 0.85$

ρ $= \frac{0.85 \times F\prime c}{fy} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times F\prime c}}\right]$

$= \frac{0.85 \times 30}{525} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.8409}{0.85 \times 30}}\right]$

$= 0{,}00160932$

ρ min $= \frac{\sqrt{F\prime c}}{4 \times fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 525} = 0.0026082$

ρ min $= \frac{1.4}{fy}$

$= \frac{1.4}{525} = 0.0027$

P balance $= \frac{0.85\, Fc' \beta 1}{fy} \times \left(\frac{600}{600 + fy}\right)$

$= \frac{0.85 \times 30 \times 0.8}{525} \times \left(\frac{600}{600 + 525}\right)$

$= 0.0216$

ρ max = 0.75 x ρ balance

= 0.75 x 0.0216

= 0.016236735

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0.0027 ≤ 0,00160932≤ 0.016

As = ρ x b x d

= 0.001641279 x 400 x 736

= 473,7838 mm²

As tul = D 22

= 380.3 mm²

n tul = $\frac{As}{A\ tulangan}$

= $\frac{473,783793}{380.3}$ = 6 tulangan D22

Momen positif :

Rn = $\frac{Mu}{\phi \times b \times d}$

= $\frac{74700300}{0.9 \times 400 \times 736}$

= 0.38

ρ = $\frac{0.85 \times F\prime c}{fy} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times F\prime c}}\right]$

= $\frac{0.85 \times 30}{525} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.3831}{0.85 \times 30}}\right]$

= 0.0007

ρ min = $\frac{\sqrt{F\prime c}}{4 \times fy}$

= $\frac{\sqrt{30}}{4 \times 525}$ = 0.0026082

ρ min = $\frac{1.4}{fy}$

= $\frac{1.4}{525}$ = 0.0027

P balance = $\frac{0.85\ Fc'\beta 1}{fy} \times \left(\frac{600}{600+fy}\right)$

= $\frac{0.85 \times 30 \times 0.8}{525} \times \left(\frac{600}{600+525}\right)$

= 0.0216

ρ max = 0.75 x ρ balance

= 0.75 x 0.0216

= 0.016236735

Cek :

ρ min $\leq \rho \leq \rho$ max

$0.0027 \leq 0.0007 \leq 0.016$

As $= \rho \times b \times d$

$= 0{,}000735198 \times 400 \times 525$

$= 154.3916$ mm²

As tul = D22

$= 380.3$ mm²

n tul $= \frac{As}{A\ tulangan}$

$= \frac{154.3916}{380.3}$ = 3 tulangan D22

Kontrol momen negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D. Pokok

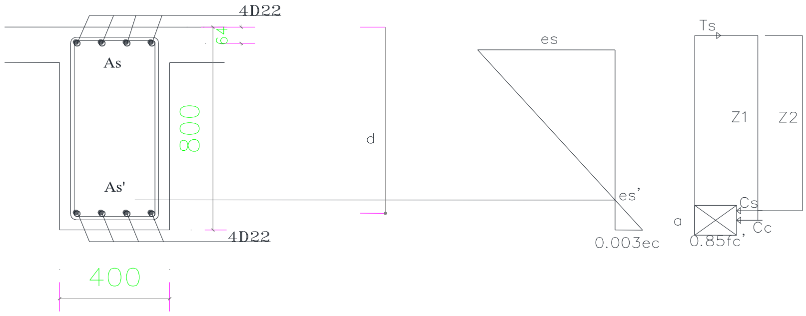
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 800 – 64,00

= 736 mm



Gambar 4.26 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T1

Cc = 0.85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc = 0.003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0.003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0.85\ Fc'\ a\ b) + As\left(\frac{c-d'}{c}\right) 600 = As\ fy$$

(0.85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi: a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c – 600 d' As' = 1520 x 525 x c

0.85 Fc' β1 c² b + 600 As' c - 600 d' As' = 797874 c

0.85 x 30 x 0.8 x c² x 400 + 600 x 1520 x c – 600 x 64 x 1520 = 797874 c

8524,3c² + 911856 c – 58358784 = 797874 c
8524,3c² + 911856 c – 797874c – 58358784 = 0

8524,3c² + 113982 c – 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

c $= \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 8524, -58358784}}{2\ 8524,285714}$

c+ $= \frac{-113982 + \sqrt{2002859691341}}{17048,57143}$

= 76,33

c- $= \frac{-113982 - \sqrt{2002859691341}}{17048,57143}$

= -89,6970

8524,29 5825,596 + 113982 76,33– 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 76,33 > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0.84 x 76,3256

= 63,8 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon c \quad = \frac{76,33-64,0}{76,326} 0.003$

= 0.0005 < εy = 0.002 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c \quad = \frac{736-76,3}{76,326} 0.003$

= 0.026 > εy = 0.002 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es} \quad = \frac{525}{200000}$ = 0.003

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0005 x 200000

= 96,9 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = 96,9 Mpa

fs = εs x Es

= 0.0259 x 200000

= 5186 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.0259 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 63,786x 400

= 650621,1 N

Cs = As' x fs'

= 1520 x 96,9

= 147252,9 N

Ts = As x fy

= 1519,76x 525

= 797874 N

Cc + Cs = Ts

650621,127 + 147252,87 = 797874,00

797874 = 797874,00 (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

= 736.000 - ½ x 63,786

= 704 mm

Momen Mpr :

Mpr = T × Z1

= 797874 x 704,107

= 561.788.515 Nmm

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

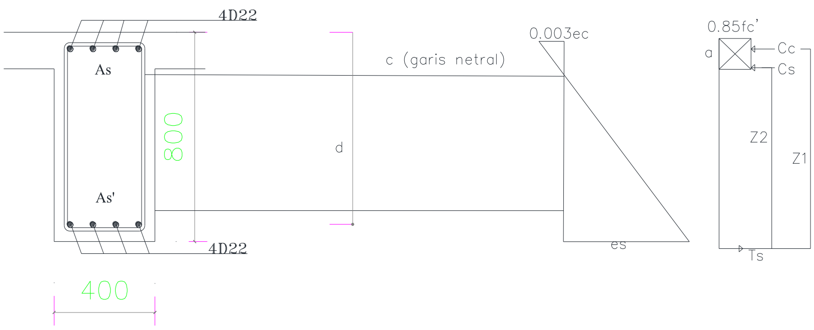
= 40 + 13 + ½ x 22

= 64,00 mm

d = h - d'

= 800 – 64,00

= 736,0 mm



Gambar 4.27 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0.85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c \; Es$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 0.003 \; 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

(0.85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ = As fy

(0.85 Fc' a b c) + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi: a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c – 600 d'' As'= As x fy x c

0.85 Fc' β1 c² b + 600 As' c – 600 d' As' = 1520 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c² 1583 + 600 x 1520 x c – 600 x 64 x 1520 = 797874 c

33742 c² + 911856 c + -58358784 = 797874 c

33742 c² + 911856 c + -797874 c + -58358784 = 0

33742 c² + 113982 c + -58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 33741{,}96429(-58358784)}}{2\ 33741{,}96429}$$

$$c+ = \frac{-113982 + \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$$

= 39,93325042

$$c- = \frac{--113982 - \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$$

= -43,31129917

33741,96429 (1594,664489) + 113982 (39,93325042) + -58358784) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,9333 < 64,00 (OK)

Karena c < d" tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0.85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{d'' - c}{c}\right) Es$

$$fs' = \left(\frac{d'' - c}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

fs’ $= \left(\frac{d\prime\prime - c}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs’ $= \left(\frac{d'' - c}{c}\right) 600$

(0.85 Fc’ a b) $= As \left(\frac{c - d\prime\prime}{c}\right) 600$ + As fy

(0.85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c) b c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c – 600 d' As' + 1520 x525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c^2 1583 = 600 x 1520 x c – 600 x 64 x 1520+ 797874c

33742 c^2 + 911856 c + (-58358784) = 797874 c

33742 c^2 + 911856 c + (-797874) c + (-58358784) =0

33742 c^2 + 113982 c + (-58358784) = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c $= \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 33741{,}96429\ (-58358784)}}{2\ 33741{,}96429}$

c+ $= \frac{-113982 + \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$

= 39,93325042

c- $= \frac{-113982 - \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$

= -43,31129917

33741,96429 (1594,664) + 113982 (39,9333) + (-58358784) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,93 < 64,00 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a:

a = β1 c

= 0.84 (39,93)

= 33,373 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{d'-c}{c} \times \varepsilon c \quad = \frac{64,00-39,93}{39,93} 0.003$

= 0.0018 < εy = 0.003 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c \quad = \frac{736-39,93}{39,93} 0.003$

= 0.052> εy = 0.003 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es} \quad = \frac{525}{200000}$ = 0.003

Menghitung tegangan tulangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0018 x 200000

= 361,6 Mpa < 525 Mpa Maka di pakai dengan nilai fs'

fs = εs x Es

= 0.0523 x 200000

= 10458 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ф dari penampang yang terkendali tarik:

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.0523 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ф: 0.9

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 33,4 x 1583,3

= 1347426N

Ts1 = As' x fs'

= 1519,76 x 361,605

= 549552,3N

Ts2 = As x fy

= 1519,76x 525

= 797874 N

Cc = Ts1 + Ts2

1347426,31 = 549552,3096v+ 797874,000

1347426,31 = 1347426,310 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d - 0.5 x a

= 64,00 - 0.5 x 33,373

= 47 mm

Z2 = d - 0.5 x a

= 736- 0.5 x 33,373

= 719 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 549552 x 47 + 797874 x 719

= 599922925,626 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0.9 x 599922925,626

= 539930633,063 Nmm

Φ Mn > Mu

539.930.633,06 Nmm > 74,700,300 Nmm

Memenuhi Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn

599.922.925,63 > ½ 561.788.514,91

599.922.925,63 >280.894.257 (Memenuhi)

B. Perhitungan Penulangan Tumpuan Kanan

Mu + = 87,22430 kNm

= 8722430 Nmm

Mu - = 164,93540 kNm

= 16493540 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut:

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 22 = 1520 mm^2

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1520 mm^2

Kontrol momen negatif :

Tulangan tarik As 4 D 22 = 1519,76 mm^2

Tulangan tekan As' 4 D 22 = 1519,76 mm^2

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D. Pokok

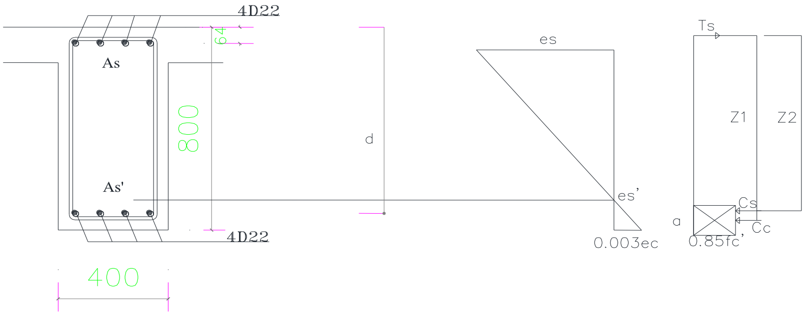
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d $= h - d''$

$= 800 – 64,00$

$= 736,00$ mm



Gambar 4.28 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0.85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$

(0,85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$ = As fy

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c – 600 d' As' = 1519,8 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c² b + 600 As' c – 600 d' As' = 797874 c

0,85 x 30 x 0.84 x c² x 400 + 600 x 1519,76 x c – 600 x 64 x 1519,76 =797874 c

8524,285714 c² +911856 c - 58358784 = 797874 c

8524,285714c² + 1177500 c – 797874 c - 58358784 = 0

8524,285714c² + 113982 c – 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c $= \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 8524,285714\ \ -58358784}}{2\ 8524,285714}$

c+ $= \frac{-113982 + \sqrt{2002859691341}}{17048,57143}$

= 76,32558894

c- $= \frac{-113982 - \sqrt{2002859691341}}{17048,57143}$

= -89,69703187

8524,285714 5825,595526 + 113982 76,32558894 – 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 76,33> 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0.84 x 76,32558894

= 63,78638504 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{c-d\prime}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{76{,}32558894-64{,}00}{76{,}326}$ 0.003

= 0.0005 < εy = 0.002 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{736{,}0-76{,}33}{76{,}326}$ 0.003

= 0,0259 > εy = 0.002 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan beban. Dihitung tegangan yang terjadi pada tulangan tekan :

fs' = εs' x Es

= 0.0005 x 200000

= 96,9 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = 96,9 Mpa

fs = εs x Es

= 0,0259 x 200000

= 5185,739831 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.000 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 63,8 x 400

= 650621,1274 N

Cs = As' x fs'

= 1519,76 x 96,89218864

= 147252,8726 N

Ts = As x fy

= 1519,76 x 525

= 797874 N

Cc + Cs = Ts

650621,1274 + 147252,87 = 797874,00

797874 = 797874,00 (Metodekeseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

= 736 - ½ x 63,78638504

= 704,1068075 mm

Mn = T x Z1

= 797874 x 704,107 .

= 561.788.515 Nmm

Mr = ф Mn

= 0.9 x 561.788.515

= 505.609.663 Nmm

Φ Mn > Mu

505.609.663 Nmm > 164.935.400 Nmm (Memenuhi)

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D22 = 1519,76 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

d" = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

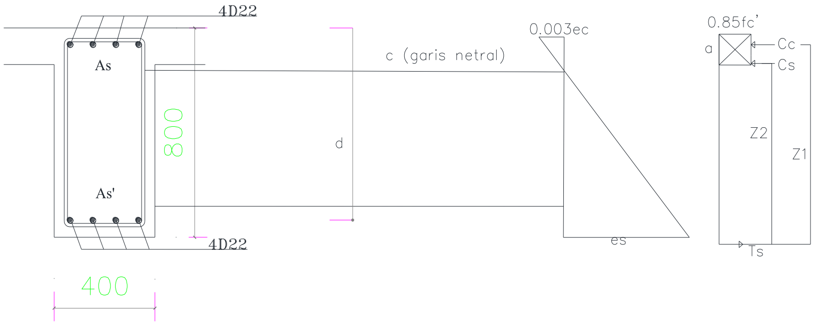
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d'

= 800 - 64,00

= 736 mm



Gambar 4.29 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kanan

Jika dimisalkan garis netral > d" maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs’ $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

(0.85 Fc’ a b) + $As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ = As fy

(0.85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

Subtitusi: a = $\beta 1$ c

(0.85 Fc' $\beta 1$ c b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' $\beta 1$ c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

0,85 x 30 x 0.84 c^2 1583 + 600 x 1519,8 x c – 600 x 64 x 1519,76 = 1519,76 x 525,000 c

33741,96429 c^2 + 911856 c + -77126250c + -58358784 = 0

33741,96429 c^2 + 113982 c + -58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c $= \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 33741{,}96429\ (-58358784)}}{2\ 33741{,}96429}$

c+ $= \frac{-113982 + \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$

=39,93325042

c- $= \frac{-113982 - \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$

= -43,31129917

33741,96429 (1594,664489) + 113982 (39,93325042) + (-58358784) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,93325042 < 64,00 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d'', maka dihitung ulang dengan persamaan :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{d'-c}{c}\right) Es$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) 600$

(0.85 Fc' a b) $= As \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) 600$ + As fy

(0.85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy

Subtitusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c² b = 600 As' c – 600 d' As' + 1520 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c² 1583 = 600 x 1520 x c – 600 x 64 x 1520+ 797874 c

33742 c² + 911856 c + -58358784) = 797874 c

33742 c² + 911856c + (-797874) c + (-58358784) = 0

33742 c² + 113982 c + (-58358784) = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c $= \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 33741{,}96429(--58358784)}}{2\ 33741{,}96429}$

c+ $= \frac{-113982+\sqrt{7889551918267}}{67483,92857}$

$= 39,93325042$

c- $= \frac{-113982-\sqrt{7889551918267}}{67483,92857}$

$= -43,31129917$

33741,96429 (1594,664489) + 113982 (39,93325042) + (-58358784) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,93325042 < 64,00 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a:

a = β1 c

= 0.84 (39,93325042)

= 33,37278785 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{d'-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{64,0-39,9}{39,93} 0.003$

= 0.0018 < εy = 0.003 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{736-39,9}{39,933} 0.003$

= 0.052 > εy = 0.003 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000} = 0.003$

Menghitung tegangan tulangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0018 x 200000

= 361,605 Mpa < 525 Mpa maka di pakai dengan nilai fs' = 362

fs = εs x Es

= 0,0523 x 200000

= 10458,5 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik:

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0523 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.9

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 33,4 x 1583,333333

= 1347426,31 N

Ts1 = As' x fs'

= 1519,76 x 361,6046676

= 549552,3096 N

Ts2 = As x fy

= 1519,76 x 525

= 797874 N

Cc = Ts1 + Ts2

1347426,31 = 549552,3096 + 797874

1347426,31 = 1347426,31 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d’ - 0.5 x a

= 64,00 - 0.5 x 33,4

= 47 mm

Z2 = d - 0.5 x a

= 736 - 0.5 x 33,4

= 719 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 549552,3096 x 47,31 + 797874 x 719

= 599922925,626 Nmm

Mr = ɸ Mn

= 0.9 x 599922925,626

= 539930633,063 Nmm

Φ Mn > Mu

539.930.633,06 Nmm > 87.224.300 Nmm (Memenuhi)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn

599.922.925,63 > ½ 561.788.514,91

599.922.925,63 > 280.894.257 (Memenuhi)

C. Perhitungan Penulangan Lapangan

Mu + = 76,13 kNm

= 76132900 Nmm

Mu = 16,8586 kNm

= 16.858.600 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut:

Tulangan bawah As 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan atas As' 2 D 22 = 759,88 mm²

Kontrol momen negatif :

Tulangan tarik (atas) As 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 2 D 22 = 759,88 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D. Pokok

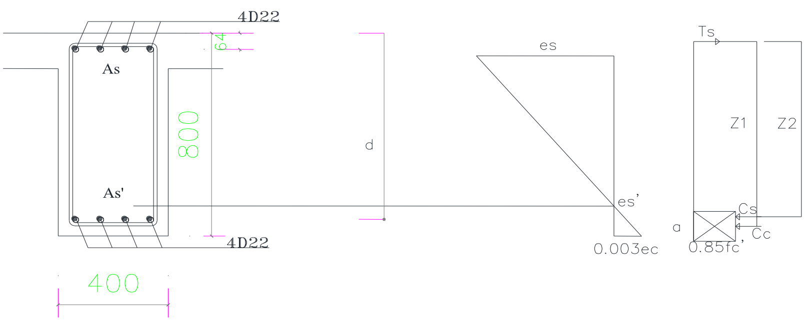
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 800 – 64,00

= 736,0 mm



Gambar 4.30 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) 600$

(0,85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) 600$ = As fy

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy

Distribusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy xc

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d' As' = 759,9 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 x c^2 x 400 + 600 x 759,88 x c – 600 x 64 x 759,88 = 398937c

8524,285714 c^2 + 455928 c + -29179392 = 0

8524,285714 c^2 +455928 c + -398937 + -29179392 = 0

8524,285714 c^2 +56991c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

c $= \frac{-56991 \pm \sqrt{3247974081 - 4\ 8524{,}285714\ (-29179392)}}{2\ \ 8524{,}285714}$

c+ $= \frac{-56991 + \sqrt{998181871590}}{17048{,}57143}$

= 55,259734

c- $= \frac{-56991 - \sqrt{998181871590}}{17048{,}57143}$

= -61,94545547

8524,285714 (3053,638202) + 56991 (55,259734) +(-29179392) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 55,26 > 64,0 (OK)

Karena c < d' tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang

a = β c

= 0.84 x 55,3

= 46,18134913 mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s' = \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon c = \frac{55{,}3-64{,}00}{55{,}3} 0.003$

= - 0.0005 < εs = 0.002 tulangan belum leleh

$\varepsilon s = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c = \frac{736-55{,}3}{55{,}3} 0.003$

= 0.0370 > εy = 0.002 tulangan sudah leleh

$\varepsilon y = \frac{fy}{Es} = \frac{525}{200000} = 0.003$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= -0.0005 x 200000

= -94,9 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = -95 Mpa

fs = εs x Es

= 0.0370 x 200000

= 7391,352257 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik:

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.0370 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0.90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 46,2 x 400

= 471049,8 N

Cs = As' x fs'

= 759,88 x -94,90019623

= -72112,76111 N

Ts = As x fy

= 759,9 x 525

= 398937 N

Cc + Cs = T1

471049,7611 + (-72112,76111) = 398937
398937 = 398937(Metodekeseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

= 736,0 - ½ x 46,2

= 712,9 mm

Mn = Ts x Z1

= 398937 x 712,91

= 284405907,561 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0.9 x 284405907,6

= 255965316,8 Nmm

Φ Mn > Mu

255.965.316,8 Nmm > 16.858.600 Nmm (Memenuhi)

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 22 = 759,88 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

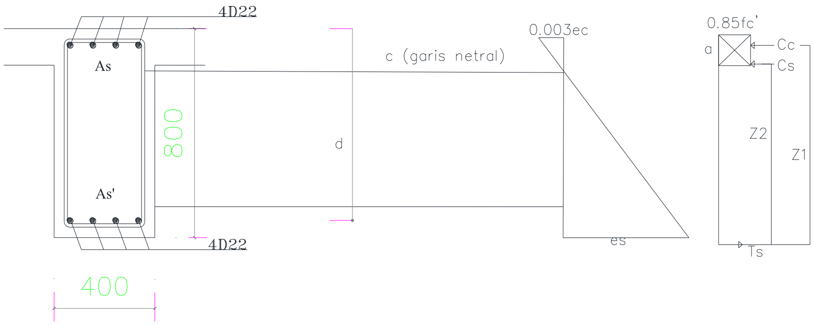
= 40 + 13 + ½ 24

= 64,00 mm

d = h - d'

= 800 - 64.00

= 736,0 mm



Gambar 4.31 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus di cari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' a b + As' fs'   = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c}$ = $\left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs'   = $\left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs'   = $\left(\frac{c-d''}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs'   = $\left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

(0,85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ = As fy

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

Subtitusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 759,9 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.84 c^2 1583 + 600 x 759,9 x c – 600 x 64 x 759,9 = 398937,00c

33742 c^2 + 455928 c +-29179392 = 0

33742 c^2 + 455928 c +-398937 c + -29179392 = 0

33742 c^2 +56991 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-56991 \pm \sqrt{3247974081 - 4\ 33741{,}96429(--29179392)}}{2\ 33741{,}96429}$$

$$c+ = \frac{-56991 + \sqrt{3941527985052}}{67483{,}92857}$$

= 28,57476175

$$c- = \frac{-56991 - \sqrt{3941527985052}}{67483{,}92857}$$

= -30,26378612

33741,96429 (816,5170089) + 56991 (28,57476175) + (-29179392) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 28,57476175 < 64,00 (OK)

Karena c < d’’ tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{d''-c}{c}\right) Es$

$\varepsilon c = 0{,}003$

fs' $= \left(\frac{d''-c}{c}\right) \varepsilon c \; Es$

fs' $= \left(\frac{d''-c}{c}\right) 0.003 \; 200000$

fs' $= \left(\frac{d''-c}{c}\right) 600$

(0,85 Fc’ a b) $= As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ + As fy

(0,85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy

Subtitusi: a = $\beta 1$ c

(0,85 Fc' $\beta 1$ c b) c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' $\beta 1$ c^2 b = 600 As' c – 600 d' As' + 760 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c^2 1583 = 600 x 759,9 x c – 600 x 64 x 759,9 + 398937c

33742 c^2 + 455928 c +-29179392 c += 398937 c

$33742\ c^2 + 455928\ c + 398937\ c + -29179392 = 0$

$33742\ c^2 + 56991c + -29179392 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$c = \frac{-56991 \pm \sqrt{3247974081 - 4\ 33741{,}96429\ (-29179392)}}{2\ 33741{,}96429}$

$c+ = \frac{-56991 + \sqrt{3941527985052}}{67483{,}92857}$

$= 28{,}57476175$

$c- = \frac{-56991 - \sqrt{3941527985052}}{67483{,}92857}$

$= -30{,}26378612$

$33741{,}96429\ (816{,}5170089) + 56991\ (28{,}57476175) + (-29179392) = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c = 28,57476175 < 64,00 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

$a = \beta 1\ c$

$= 0.84\ (28{,}6)$

$= 23{,}8803366$ mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s' = \frac{d' - c}{c} \times \varepsilon c = \frac{64{,}00 - 28{,}6}{28{,}6} 0.003$

$= 0.004 > \varepsilon s = 0.003$ tulangan belum leleh

$\varepsilon s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon c = \frac{736 - 28{,}6}{28{,}6} 0.003$

= 0.0743 > εy = 0.003 tulangan sudah leleh

εy = $\frac{fy}{Es}$ = $\frac{525}{200000}$ = 0.003

Menghitung tegangan tulangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0037 x 200000

= 743,843 Mpa < 525 Mpa Maka di pakai dengan nilai fs' = 525 Mpa

fs = εs x Es

= 0,0743 x 200000

= 14854,1971 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0743 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ: 0.9

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 23,9 x 1583,333333

= 964168,6 N

Ts1 = As' x fs'

= 759,88 x 743,843

= 565231,5903 N

Ts2 = As x fy

= 759,9 x 525

= 398937N

Cc = Ts1 + Ts2

964168,59 = 565231,5903 + 398937

964168,59 = 964168,5903 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d’ - 0.5 x a

= 64,00 - 0.5 x 23,9

= 52.06 mm

Z2 = d - 0.5 x a

= 736,0- 0.5 x 23,9

= 724,1mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 398937 +52,06 x 398937x 724,1

= 309622850,157 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0.9 x 309622850,2

= 278660565,1Nmm

Φ Mn > Mu

278.660.565,1 Nmm > 76.132.900 Nmm (Memenuhi)

Tabel 4.29 Data Tulangan B1 400 x 800

Lokasi		**Mu**	**keb. Tul**			**As psg**	**Mn**	**Ket.**
a	**b**							
Tump.	Kan. -	164.935.400	4	D	22	1521,143	505.609.663	Oke
	Kan +	82.467.700	4	D	22	1521,143	539.930.633	Oke
	kir -	162.033.500	4	D	22	1521,143	561.788.515	Oke
	kir +	81.016.750	4	D	22	1521,143	539.930.633	Oke
Lap	-	16.858.600	2	D	22	760,5714	255.965.317	Oke
	+	76.132.900	2	D	22	760,5714	278.660.565	Oke

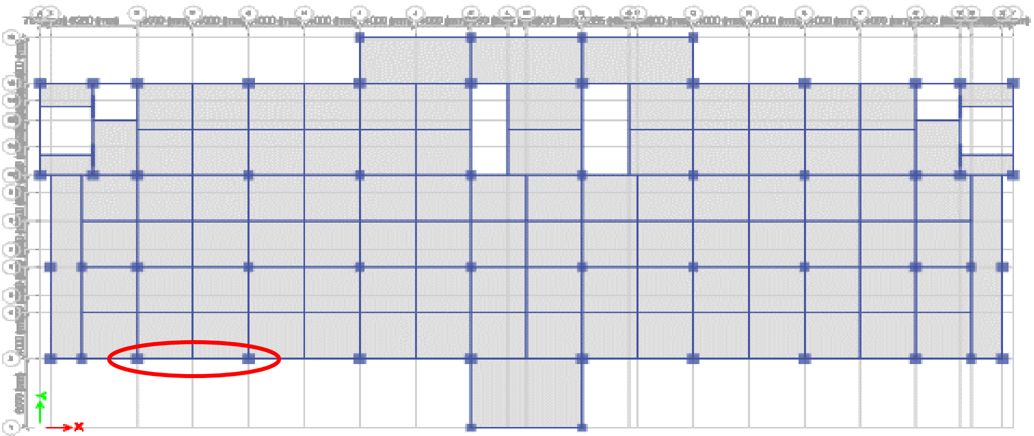
Mpr - Tumpuan Kiri = 561.788.515

Mpr + Tumpuan Kanan = 599.922.926

Mpr + Tumpuan Kiri = 599.922.926

Mpr - Tumpuan Kanan = 561.788.515

4.6.6 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal Balok 400 x 800



Gambar 4.32 Letak Balok 400 x 800 (Tipe Balok B 491 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut:

Lebar Balok (bw) = 500 mm

Tinggi Balok (h) = 800 mm

Selimut Beton (cb) = 40 mm

Mutu Beton Fc' = 30 Mpa

fy ulir = 420 Mpa

fy sengkang ulir = 280 Mpa

Diameter Tul. Pokok = 25 mm

Diameter Tul. Sengkang = 13 mm

L Balok = 8000 mm

Es Baja = 200000 Mpa

Ln Balok Bersih = 7100 mm

P balok anak dari tributari beban area pelat = 87.8192

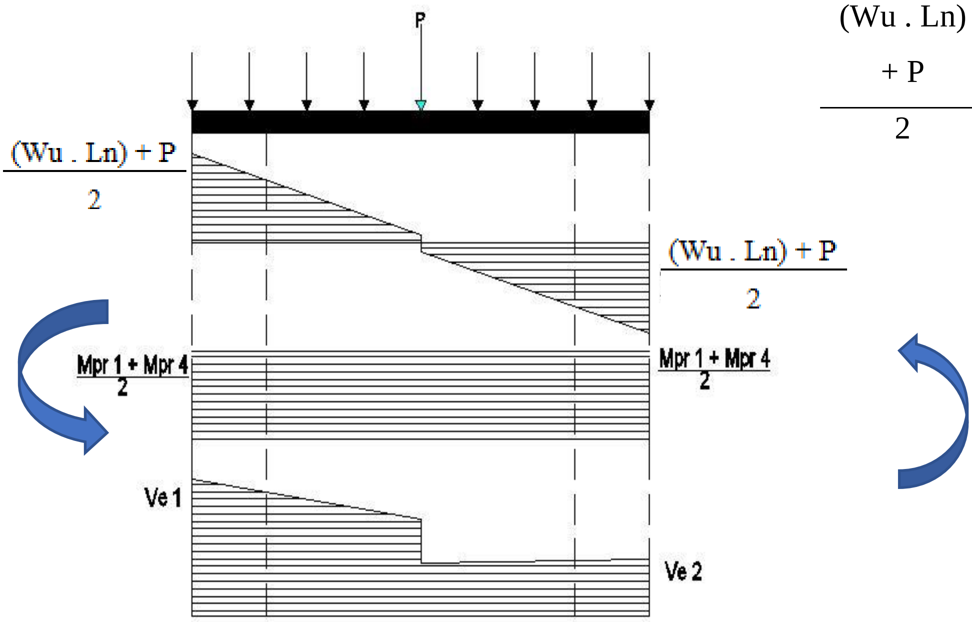
Wu balok dari tributari beban area pelat = 25.47776

A. Menghitung Gaya Geser Desain

Menghitung gaya geser desain dihitung berdasarkan momen ujung balok atau probable moment capacities (Mpr). Momen ujung dihitung berdasarkan nilai tegangan Tarik baja sebesar 1,25 fy dan factor reduksi kekuatan lentur $\phi = 1$.

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kiri

Wu = 1,2 D + 1,0 L



Momen ujung tumpuan kiri negatif (Mpr 1)

Mpr1 = Mpr – kiri balok (fy.1.25)

= 722,989,486 N.mm

Momen ujung tumpuan kanan positif (Mpr 4)

Mpr4 = Mpr + kanan balok (fy.1.25)

= 764,015,705 N.mm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$V_{q\ kiri}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$

= 90,489.96 N

$V_{q\ kanan}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$

= 90,489.96 N

V_{sway} $= \frac{M_{pr\ 1}+M_{pr\ 4}}{In}$ $= \frac{722,989,468.18+764,015,705}{7,100}$

= 209,437.4 N

Gaya geser akibat goyangan ke kiri :

V_{el} $= V_{sway} + V_{q\ kiri}$

= 209,437.4 + 90,489.96

= 299,927.31 N

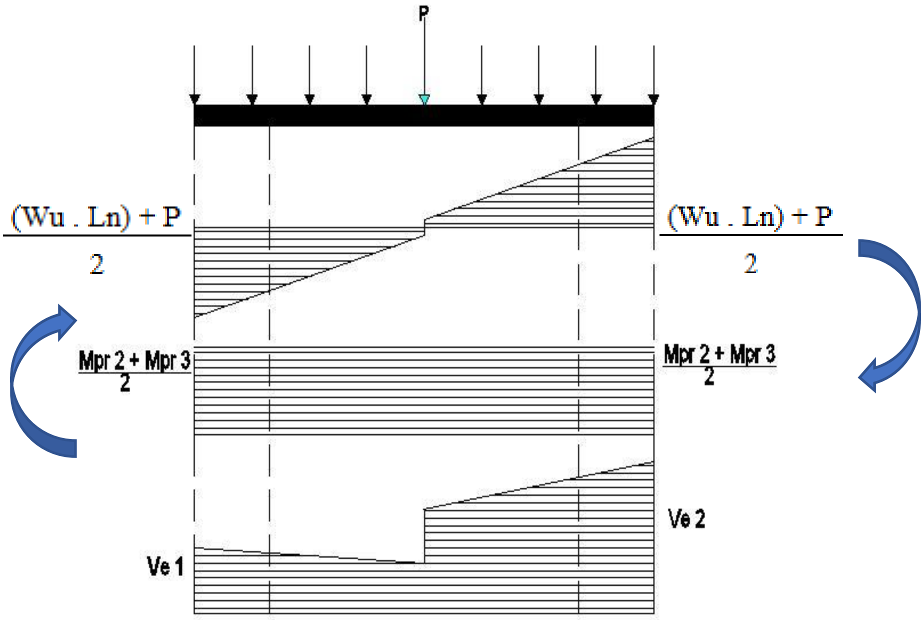
V_{e2} $= V_{sway} - V_{q\ kanan}$

= 209,437.4 - 0.00

= 209,437.35 N

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kanan

Wu = 1,2 D + 1,0 L



Momen ujung tumpuan kiri Positif (Mpr 2)

$M_{pr\ 2}$ = Mpr + tumpuan kiri

= 764,015,705 N.mm

Momen ujung tumpuan kanan Negatif (Mpr 3)

$M_{pr\ 4}$ = Mpr - tumpuan kanan

= 722,989,486 N.mm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$$V_{q\ kiri} = \frac{(W_u \times Ln) + P}{2}$$

$$= \frac{(25.48 \times 7.100) + 87.82}{2}$$

= 90,489.96 N

$V_{q\ kanan}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$

= 90,489.96 N

V_{Mpr} $= \frac{M_{pr\,1}+M_{pr\,4}}{In}$ $= \frac{722{,}989{,}468.18+764{,}015{,}705}{7{,}100}$

= 209,437.4 N

Gaya geser akibat goyangan ke kiri :

V_{el} $= V_{Mpr} - V_{q\ kiri}$

= 209,437.4 - 90,489.96

= 118,947,39 N

V_{e2} $= V_{Mpr} - V_{q\ kanan}$

= 209,437.4 - 0.00

= 209,437.35 N

B. Tulangan Geser Didaerah Sendi Plastis

SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 menyatakan daerah sendi plastis sepanjang 2h dari muka kolom, maka konstribusi beton dalam menahan geser Vc = 0 apabila :

a. Gaya geser akbiat gempa melebihi ½ atau lebih dari kekuatan geser maksimum disepanjang bentang.

b. Gaya tekan aksial terfaktor, Pu termasuk pengaruh gempa kurang dari Ag.fc'/20

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4) yaitu S = d/4, S = 6 x db dan S = 150 mm.

Syarat a :

Arah Gempa	Geser Gempa (N)	Tump. Kiri		Tump. Kanan	
		Ve (N)	0,5 Ve (N)	Ve (N)	0,5 Ve (N)
Kanan	268.615,59	268.615,59	134.307,793	163.621,3297	81.810,665
Kiri	268.615,59	58.627,073	29.313,5367	268.615,586	134.307,79

Syarat b :

Nilai Pu = 0 kN < Agfy'/20.fc'

pu = 0 N < $\frac{400,000-400}{20-30}$ = 266,666.7 N (OK)

Karena kedua syarat diatas terpenuhi maka Vc atau gaya geser yang diakibatkan beton dianggap 0

maka Vc = 0 KN

C. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kiri

Ve	= 299,927.3 N	fc	= 30.0	bw	= 500 mm
d	= 734.50 mm	d	= 734.5	fy	= 280 Mpa
		d tul utama	= 25 mm		

Karena Vu > ϕ Vc, maka Vs dihitung dengan:

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$ (SNI 2847-2019 22.5.10.1)

$= \frac{299,927.3}{0.75} - 0 = 399,903.1$

$V_{s\ max}$ = 0.66 $\sqrt{f'c}$ x bw x d

$V_{s\ max}$ = 0.66 $\sqrt{30.0}$ x 400 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 399,903.1 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 13 = Av : 531 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{531 \times 280 \times 734.50}{369{,}903.1} = 272\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 150 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{531 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 737,570 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 727,570

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 727,570 N

= 545,677.7 N > Ve = 299,927.31 N (Aman)

D. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kanan

Ve	= 299,927.3 N	fc	= 30.0	bw	= 500 mm
d	= 734.50 mm	d	= 734.5	fy	= 280 Mpa

d tul utama = 25 mm

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$ d utama = 25 mm

$= \frac{299{,}927.3}{0.75} - 0 = 399{,}903.1$

$V_{s\ max}$ = 0.66 x 30 x 400 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 399,903.1 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 13 = Av : 531 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{531 \times 280 \times 734.50}{369{,}903.1} = 272\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 150 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal:

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{531 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 737,570 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 727,570

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 727,570 N

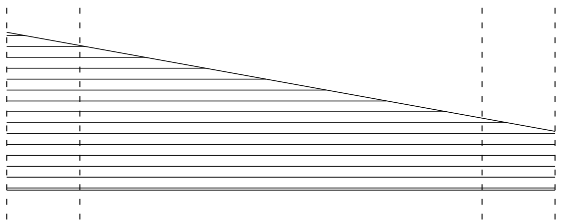
= 545,677.7 N > Ve = 299,927.31 N (Aman)

E. Tulangan Geser Didaerah Luar Sendi Plastis

h	= 800 mm	2h = 1,600 mm	fc	= 30.0 Mpa
l	= 8,000 mm		d	= 734.5 mm
Ve kiri	= 299,927.3 N		bw	= 500 mm
Ve kanan	= 209,437.35 N			

Ve kiri 299,927.3 N

V_e Lap



Ve kanan 209,437.35 N

l= 8000 mm

2 h = 2 x 800

= 1,600 mm

Menghitung Nilai Ve lap menggunakan persamaan segitiga sebagai berikut:

$$\frac{I-2h}{I} = \frac{Ve\ lap}{Ve\ kiri - Ve\ kanan}$$

$$V_{e\ lap} = \frac{(\#\#\#\# - 1{,}600) \times (299{,}927.3 - 209{,}437.35)}{8.000} + 209{,}437.35$$

= 281,829.32 N

Vc = 0.17 x λ x fc x bw x d

= 0.17 x λ x 30.0 x 500 x 734.50

= 341,956.9 N

$$v_s = \frac{Ve\ lap}{\phi} - Vc$$

$$= \frac{281{,}829{,}3}{0.75} - 341{,}956.9$$

= 33,815.54 N

$V_{s\ max}$ = 0.66 x fc x bw x d

= 0.66 x 30.0 x 500 x 734.50

= 1,327,597.3 N

Vs dipakai = 33,815.54 N

Dipakai sengkang 2 kaki D 13 = Av : 265 mm

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265 \times 280 \times 734.50}{33{,}815.54} = 1.613.69\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6)

Sehingga dipakai sengkang : 2 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{265 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 36,785 N

Vn = Vc + Vs

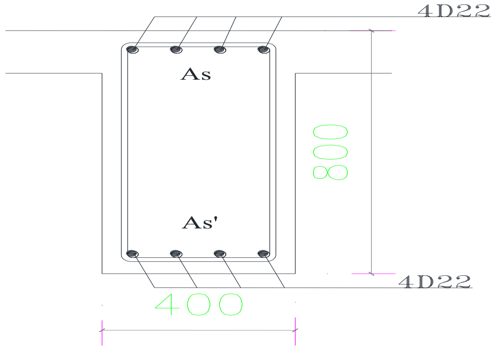
= 341,957 + 363,785 = 705,742 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 705,742 N

= 545,677.7 N > Vu = 281,829.317 N (Aman)

Perhitungan Penulangan Torsi :



Acp = 500 x 800

= 400,000 mm²

Pcp = 2 (500 + 800)

= 2,600 mm

ϕ Tnc = ϕ 0.083 λ $\sqrt{fc'}\left(\frac{Acp}{Pcp}\right)^2$ SNI 2847:2019 Pasal 22.7.4.1

= 0.75 0.083 1 $\sqrt{30}\left(\frac{160{,}000{,}000{,}000}{2{,}600{,}000}\right)^2$

= 20,981,987.20 Nmm

= 20.98 KNm < Tu = 11.99 KNm

Dari perhitungan di atas Tnc lebih besar, maka tidak diperlukan tulangan torsi

Balok	Tulangan Transversal	
	Dalam Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
B1 40 x 80	4 Ø 13 - 150	2 Ø 13 - 150

Panjang penyalurann tulangan balok induk :

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3:

Data - data Parameter :

db = 25 mm **Ψ**t = 1.0 λ = 1.0

fc = 30 Mpa **Ψ**e = 1.0

fy = 420 Mpa **Ψ**s = 0.8

cb = Deck + D tul Geser + 0,5 D tul Utama

= 40 + 13 + 12.5 = 65.5 mm

Ktr = 0 (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3)

(cb + ktr)/db $= \frac{65.5+0}{25.00} = 2.62$ > 2.5 diambil = 2.5

$I_d = \frac{fy}{1.1\sqrt{\lambda}fv} \times \frac{\varphi t\ \ \varphi e\ \varphi s}{)cb+ktr)/db}$

$= \frac{420}{6.024} \times \frac{1\ 1\ 0.8}{2.5} \times 2.5$ = 557.681 mm

ld min = 300 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.1)

maka dipakai: 600 mm

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan :

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.9 :

ldc 1 $= \frac{0.24 \times fy \times \varphi e \times db}{\lambda\sqrt{x}fc} = \frac{0.24 \times 420 \times 1 \times 25}{1.0 \times \sqrt{30}}$ = 460 mm

ldc 2 = 0.043 x 420 x 25

= 451,5 mm

ldc min = 200 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.9.1)

dipakai: 600 mm

Panjang Kait :

Panjang penyaluran dibutuhkan oleh kait menurut SNI 2847-2019 pasal 25.4.3.1 dapat dihitung untuk kait 90˚ sebagai berikut :

L_{dh} $= \left(\frac{0{,}24 \text{ x } \Psi e \text{ x fy}}{\lambda \text{ x } \sqrt{fc'}} \right) \text{ x db}$

$= \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{1.0 \times \sqrt{30}} \times 25$

= 460,1 mm

maka dipakai ldh: 500 mm

Persyaratan mengenai kait ada dalam SNI 2847-2019 pasal 25.3.1 yaitu :

1. Batang tulangan D10-D16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 6db
2. Batang tulangan D19, D22 dan D25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 12db
3. Batang tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan 6db

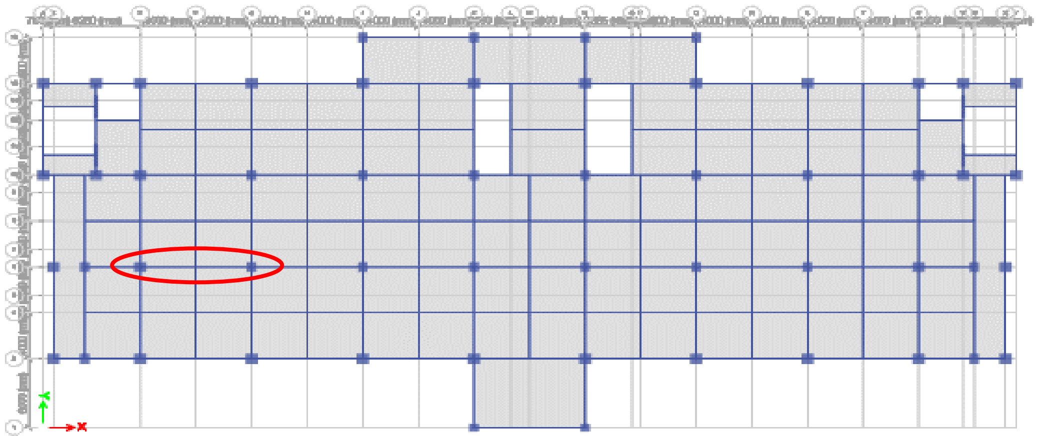
Sehingga karena tulangan yang dipakai yaitu D25, maka panjang bengkokan :

12 db = 12 x 22

= 264 mm

= 270 mm

4.6.7 Penulangan Balok 500 x 800 mm (Pada Balok 472 Lantai 1)



Gambar 4.33 Letak Balok 500 x 800 (Tipe Balok B 472 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut :

Lebar Balok (bw)	= 500 mm
Tinggi Balok (h)	= 800 mm
Selimut Beton (cb)	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	= 30 Mpa
fy ulir	= 420 Mpa
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 25 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 13 mm
L Balok	= 8000 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 7100 mm
Tebal Plat hf	= 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri + = 74,7003 kNm

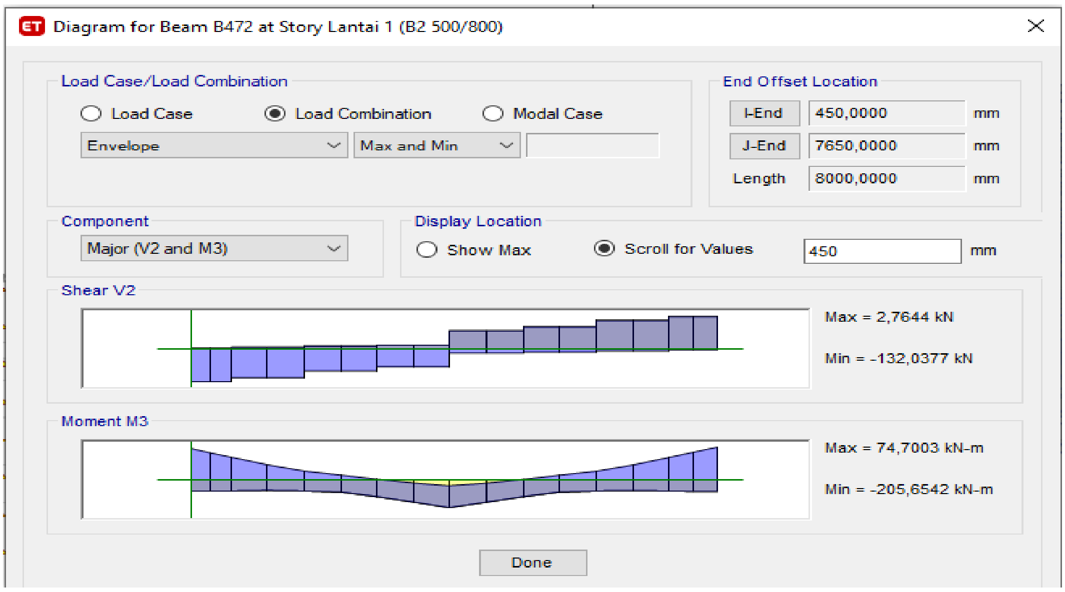
= 205,6542 kNm

Tumpuan Kanan + = 76,6017 kNm

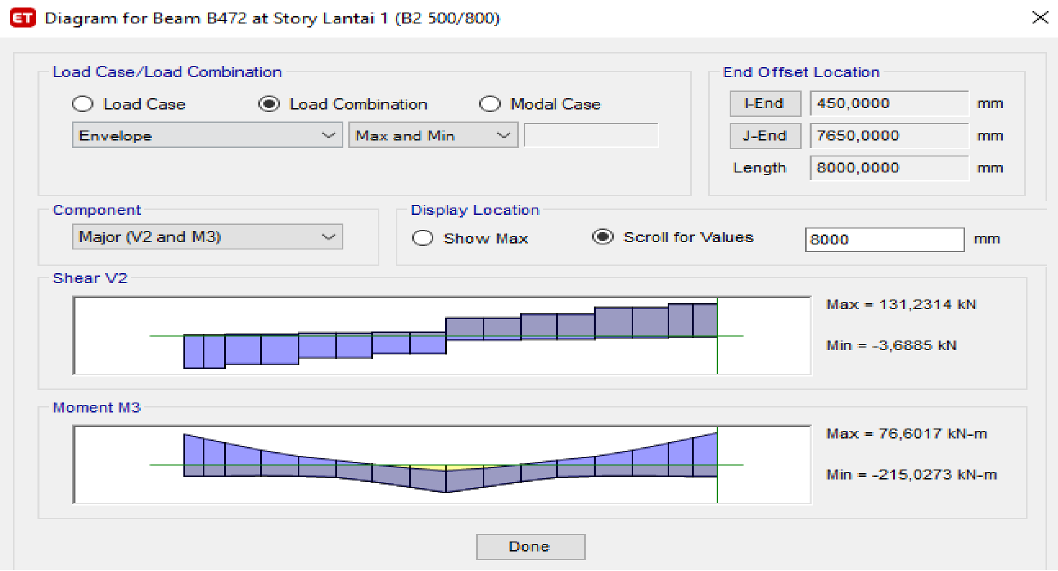
= 215,0273 kNm

Lapangan + = 182,3678 kNm

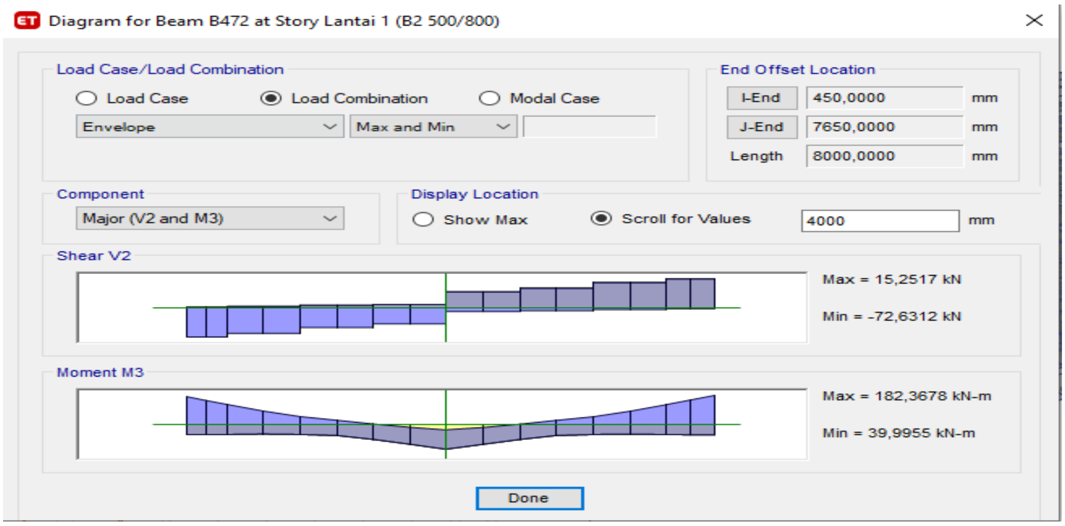
= 39,9955 kNm



Gambar 4.34 Momen Tumpuan Kiri



Gambar 4.35 Momen Tumpuan Kanan



Gambar 4.36 Momen Lapangan

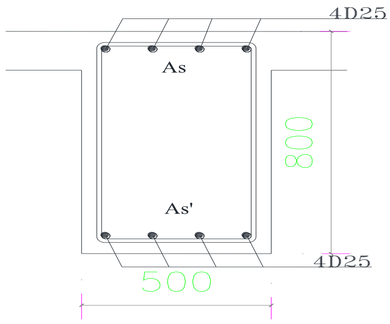
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0{,}85 - \frac{0{,}05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

β1 = 0,85- [30 -28] x 0. 05

= 0, 84

4.6.8 Perhitungan Penulangan Pada Kondisi Momen Maksimum



Gambar 4.37 Rencana Penulangan Balok 500 x 800

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,50 mm

d = h - d"

= 800 - 65,50

= 734,50 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$As \min = \frac{0{,}25\,\sqrt{Fc'}}{Fy}\ bw\ d = \frac{0{,}25\,\sqrt{30}}{420} x\ 500\ x\ 734{,}50 \quad = 1197{,}328\ \text{mm}^2$

$As \min = \frac{1{,}4\ \text{bw d}}{\text{Fy}} = \frac{1{,}4\ x\ 500\ x\ 734{,}50}{420} = 1224\ \text{mm}^2$

Maka tulangan minimal adalah : 1224,667 mm^2

b. Tulangan maksimal harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

As max = 0,75 x $\frac{0{,}85\,Fc'\beta1}{Fy}$ x $\frac{600}{600 + Fy}$ bw x d

As max = 0,75 x $\frac{0{,}85\ \ 30\ 0{,}84}{420}$ x $\frac{600}{600 + 420}$ 500 x 734,5

As max = 8220,966 mm^2

c. Syarat spasi tulangan pada Sni 2847-2019 pasal 25.2.1 :

1. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.

2. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 pasal 6.3.2.1. tidak boleh melebihi

Satu sisi :

1. Be < 6 x tebal pelat + bw

   Be < 6 x 120 + 500

   Be < 1220 mm

2. Be < $\frac{sw}{2}$ + bw (Sw adalah jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < $\frac{2900}{2}$ + 500

   Be < 1950 mm

3. Be < Ln x $\frac{1}{12}$ + bw (Ln panjang bersih balok)

   Be < 7100 x $\frac{1}{12}$ + 500

   Be < 1092 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1092 mm

Dua sisi :

1. Be < 8 x tebal pelat x 2 + bw

   Be < 8 x 120 x 2 + 120

   Be < 2040 mm

2. Be < $\frac{sw}{2}$ + bw (Sw adalah jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < 2900 + 500

   Be < 3400 mm

3. Be < Ln x $\frac{1}{12}$ + bw (Ln panjang bersih balok)

   Be < 7100 x $\frac{1}{12}$ x 2 + 500

   Be < 1683 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1683 mm

A. Perhitungan penulangan tumpuan kiri

Mu + = 74,70030 kNm

= 74700300 Nmm

Mu - = 205,654200 kNm

= 205654200 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas) As 4 D 25 = 1962,5 mm²

Tulangan di daerah (bawah) As'4 D 25 = 1962,5 mm²

Momen Negatif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi \; x \; b \; x \; d^2}$

$= \frac{205654200}{0{,}9 \; x \; 500 \; x \; 734{,}5^2}$

= 0,8471

P $= \frac{Rn \; x \; F'c}{Fy}$ x $\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \; x \; Rn}{0{,}85 \; x \; fc'}}\right)$

$= \frac{0{,}85 \; x \; 30}{420}$ x $\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \; x \; 0{,}8471}{0{,}85 \; x \; 30}}\right)$

= 0,002051599

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4 \; x \; Fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4 \; x \; 420}$

= 0,0032603

ρ min $= \frac{1{,}4}{Fy}$

$= \frac{1{,}4}{420}$

= 0,0033

ρ balance $= \frac{0{,}85 \; x \; F'c \; x \; \beta 1}{fy} \; x \; (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0{,}85 \; x \; 30 \; x 0{,}84}{420} \; x \; (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0298

= 0,022385204

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,002051599 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,002051599 x 500 x 734,5

= 753,4498 mm²

As tul = D25

= 491,071 mm²

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{753,4498}{491,071}$

= 6 tulangan D 25

Momen Positif :

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{74700300}{0,9\ x\ 500\ \ x\ 734,5}$

= 0,3077

$\rho = \frac{0,85\mathrm{xF'c}}{\mathrm{fy}}\ \mathrm{x}\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ \mathrm{x}\ \mathrm{Rn}}{0,85\ \mathrm{F'c}}}$

$= \frac{0,85\ x\ 30}{420}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0,3077}{0,85\ x\ 30}}$

= 0,000737

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 420}$

= 0,0033

ρ balance$= \frac{0,85\ x\ F'cx\beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0,85\ x\ 30\ x\ 0,84}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0298

= 0,022385204

Cek :

ρ min $\leq \rho \leq$ ρ max

0,0033 $\leq$ 0,000737 $\leq$ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,000737 x 500 x 735,5

= 270,6967 mm²

As tul = D 25

= 491,071 mm²

n tul = $\frac{As}{As\ tulangan}$

= $\frac{270{,}6967}{491{,}071} = 3$ tulangan D 22

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 25 = 1962,50 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 25 = 1962,50 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

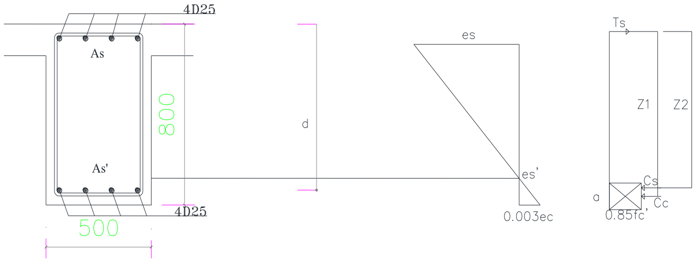
= 40 + 13 + ½ 25

= 65,50 mm

d = h - d'

= 800 - 65,50

=734,50 mm



Gambar 4.38 Penampang Balok dan Diagram Momen Negatif Tumpuan Kiri

Cc + Cs = T1

Cc = 0,85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc= 0,003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0{,}003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ fc'b\ ) + \left(As' \frac{c-d'}{c}\right) 600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c - 600 d' As' = 1962,5 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c² b + 600 As' c – 600 d' As' = 824250 c

0,85 x 30 x 0,84 x c² x 500 +600 x 1962,5 x c –600 x 65,5 x1962,5 = 824250 c

10655 c² + 1177500 c – 77126250 = 824250 c

10655 c² + 1177500 c – 824250 c - 77126250 = 0

10655 c² + 353250 c – 77126250 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c = -353250 $\pm \frac{\sqrt{353250^2 - (4\, x\, 10655\, \mathrm{x}(-77126250))}}{2\, x\, 10655}$

c^+ = -353250 $+ \frac{\sqrt{353250^2 - (4\, x\, 10655\, \mathrm{x}(-77126250))}}{2\, x\, 10655}$

= 70,102

c^- = -353250 - $\frac{\sqrt{353250^2 - (4\, x\, 10655\, \mathrm{x}(-77126250))}}{2\, x\, 10655}$

= -103,254

10655 x 4656,341159 + 353250 x 68,24 - 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 70,102 > 65,5

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 70,102

= 58,585 mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s' = \frac{c - d\prime}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{70{,}102 - 65{,}5}{70{,}102}\ x\ 0{,}003$

= 0,0002 < εy = 0,002 tulangan belum leleh

$\varepsilon s = \frac{d - c}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{735{,}5 - 70{,}102}{70{,}102}\ x\ 0{,}003$

= 0,0284 > εy = 0,002 tulangan sudah leleh

$\varepsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{420}{200000} = 0{,}002$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = $\varepsilon s'$ x Es

= 0,0002 x 200000

= 39,4 Mpa < 420 Mpa maka di pakai fs' = 39,4 Mpa

Fs = εs x Es

= 0,0284 x 200000

= 5686,593 Mpa > 420 Mpa maka di pakai fy = 420 Mpa

menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik : Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0294 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0,85 x 30 x 59,585 x 500

= 746957,227 N

Cs = As' x fs'

= 1962,5 x 39,4

= 77292,773 N

Ts = As x fy

= 1962,5 x 420

= 824520 N

Cc +Cs = Ts

746957,227 N + 77292,773 N = 824520 N

824520 N = 824520 N (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 $= d - \frac{1}{2} a$

$=735,5,000 - \frac{1}{2} \times 58,585$

$= 705,207$ mm

Momen nominal (Mnb) :

Mn $= T \cdot Z1$

$= 824520 \times 705,207$

$= 581267331,114$ Nmm

Mr $= \phi$ Mn

$= 0,9 \times 581267331,114$

$= 523140598,002$ Nmm

ϕMn > Mu

523140598,002 Nmm > 205654200 Nmm (Memenuhi)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 25 = 1962,50 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 25 = 1962,50 mm²

d" = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

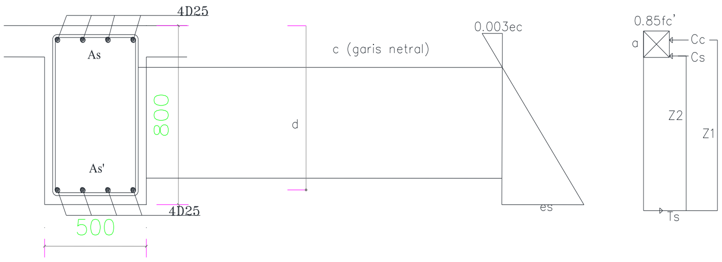
$= 40 + 13 + \frac{1}{2} \times 25$

$= 65,5$ mm

d $= h - d'$

$= 800 - 65,5$

$= 734,50$ mm



Gambar 4.39 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\left(\frac{c-d''}{c}\right) 600\,] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) + As’ c – 600 d’’ As’ = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1962,50 x 420 x c

$0,85 \times 30 \times 0,84 \ c^2 \times 1683 + 600 \times 1962,5 \times c - 600 \times 65,5 \times 1962,50 = 824250 \ c$

$35873 \ c^2 + 1177500 \ c - 77126250 = 824250 \ c$

$35873 \ c^2 + 1177500 \ c - 824250 \ c - 77126250 = 0$

$35873 \ c^2 + 353250 \ c - 77126250 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-353250 \pm \sqrt{353250^2 - (4 \ x \ 35873 \ \mathrm{x}(-77126250))}}{2 \ x \ 35873}$$

$$C^+ = \frac{-353250 + \sqrt{353250^2 - (4 \ x \ 35873 \ \mathrm{x}(-77126250))}}{2 \ x \ 35873}$$

$= 41,705$

$$C^- = \frac{-353250 - \sqrt{353250^2 - (4 \ x \ 35873 \ \mathrm{x}(-77126250))}}{2 \ x \ 35873}$$

$= -51,552$

$33741,96429 \times 1739,300436 + 353250 \times 41,552 + (-77126250) = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c = 41,705 < 65,50 Tidak Ok

Karena c < d” tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c - d''}{c}) \ Es$

$\varepsilon c = 0{,}003$

$fs' = \left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c' \, Es$

$fs' = \left(\frac{c-d''}{c}\right) 0{,}003 \; 200000$

$fs' = \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

$(0{,}85\, Fc' a\, b) = As' \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600 + As\, x\, fy$

(0,85 Fc’ a b c) = 600 x As’ x c – 600d” x As’ + As x fy x c

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b - 600 As' c + 600 d" As' = 1962,50 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 - 600 x 1962,5 x c + 600 x 65,5 x 1962,50 = 824250 c

35873 c^2 + 1177500 c -77126250 = 824250 c

35873 c^2 + 1177500 c - 824250 c - 77126250 = 0

35873 c^2 + 353250 c - 77126250 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-353250 \pm \sqrt{353250^2-(4\, x\, 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\, x\, 35873}$$

$$C^{+} = \frac{-353250 + \sqrt{353250^2-(4\, x\, 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\, x\, 35873}$$

= 41,705

$$C^{-} = \frac{-353250-\sqrt{353250^2-(4\,x\,35873\,\mathrm{x}(-77126250))}}{2\,x\,35873}$$

= -51,552

33741,96429 x 1739,300436 + 353250 x 41,552 + (-77126250) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 41,705 > 65,50 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0,84 x 41,705

= 34,853 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c}$ x εc

  $= \frac{65{,}5 - 41{,}705}{41{,}705}$ x 0,003

  = 0,0017 < εc = 0,002 (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c}$ x εc

  $= \frac{736 - 41{,}705}{41{,}705}$ x 0,003

  = 0,0498 < εc = 0,002 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = εs' x Es

= 0,0017 x 200000 Mpa

= 342,33 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,0498 x 200000 Mpa

= 9967,098 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0498 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 34,85 x 1683,33

= 1496082,121 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1962,50 x 342,335

= 671832,121 N

Ts2 = As x fy

= 1962,50 x 420

= 824250 N

Cc = Ts1 + Ts2

1496082,121 N = 671832,121 N + 824250 N

1496082,121 N = 1496082,121 (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 65{,}5 - \frac{1}{2} x\ 34{,}85$

= 48,073 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 734,5 – 0,5 x 34,85

= 717,073 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 671832,121 N x 48,073 mm + 824250 N x 717,073 mm

= 623344855,906 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 623344855,906 Nmm

= 561010370,315 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$\Phi Mn > Mu^-$

561010370,315 Nmm > 74700300 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

$Mn^+ > ½\ Mn^-$

623344855,906 Nmm > ½ x 581267331,114 Nmm

490.344.889,23 Nmm > 290633666 Nmm (Memenuhi)

B. Perhitungan penulangan tumpuan kanan

Mu + = 76,6017 kNm

= 76601700 Nmm

Mu - = 215,0273 kNm

= 215027300 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 25 = 1962,5 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 25 = 1962,5 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 4 D 25 = 1962,5 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 25 = 1962,5 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

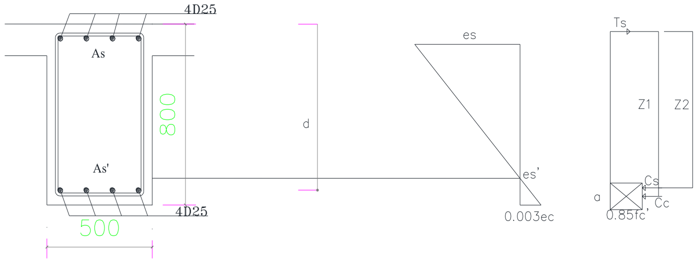
= 40 + 13 + ½ 25

= 65,50 mm

d = h - d'

= 800 - 65,50

= 734,50 mm



Gambar 4.40 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \frac{c-d\prime}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ x\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 1962,50 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 824250 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 500 + 600 x 1962,50 x c - 600 x 65,5 x 1962,50 = 824250 c

10655 c^2 + 1177500 c – 77126250 = 824250 c

10655 c^2 + 1177500 c - 824250 c– 77126250 = 0

10655 c^2 + 1177500 c - 77126250 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-1177500 \pm \sqrt{1177500^{\,2} - (4\,x\,10655\,x\,(-77126250))}}{2\,x\,10655}$$

$$C^+ = \frac{-1177500 + \sqrt{3412016517857}}{21310{,}7143}$$

= 70,102

$$C^- = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{3412016517857}}{21310{,}7143}$$

= -103,254

10655 x 70,102² + 1177500 x 70,102 - 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 70,102 > 65,50

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 70,102

= 58,585 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{c-d'}{c}$ x εc

  $= \frac{70{,}102 - 65{,}5}{70{,}102}$ x 0,003

  = 0,000197 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{734,5 - 70,102}{70,102}$ x 0,003

= 0,028433 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum. Di hitung tegangan yang terjadi pada tulangan tekan :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= 0,000197 x 200000 Mpa

= 39,4 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,018433 x 200000 Mpa

= 5686,593 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0284 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 58,585 x 500

= 746957,227 N

Cs = As' x fs'

= 1962,50 x 417,719

= 77292,773 N

Ts = As x fy

= 1962,50 x 420

= 824250 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ts

746957,227 N + 77292,773 N = 824250N

824250 N = 824250 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 735 - $\frac{1}{2}$x 58,585

= 705,208 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = T x Z1

= 824250 N x 705,208 mm

= 581267331,114 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 581267331,114 Nmm

= 523140598,002 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^{+}

523140598,002 Nmm > 215027300 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 25 = 1962,50 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 25 = 1962,50 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

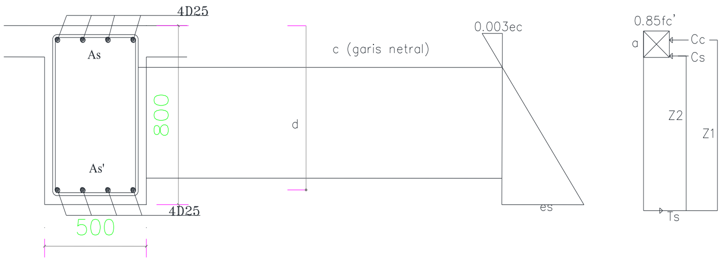
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,5 mm

d = h - d'

= 800 - 65,5

= 734,50 mm



Gambar 4.41 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kanan

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\left(\frac{c-d''}{c}\right) 600\,] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc' a b c) + As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1962,50 x 420 x c

$0{,}85 \times 30 \times 0{,}84\ c^2 \times 1683 + 600 \times 1962{,}5 \times c - 600 \times 65{,}5 \times 1962{,}50 = 814250\ c$

$35873\ c^2 + 1177500\ c - 77126250 = 814250\ c$

$35873\ c^2 + 1177500\ c - 814250\ c - 77126250 = 0$

$35873\ c^2 + 353250\ c - 77126250 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-353250 \pm \sqrt{353250^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

$$C^+ = \frac{-353250 + \sqrt{353250^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

$= 41{,}705$

$$C^- = \frac{-353250 - \sqrt{353250^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

$= -51{,}552$

$35873 \times 41{,}552^2 + 353250 \times 41{,}552 - 77126250 = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c = 41,705 < 65,50 Tidak Ok

Karena c < d’ tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{d' - c}{c}\right) Es$

$\varepsilon c = 0{,}003$

$fs' = \left(\frac{d'-c}{c}\right)$ $\varepsilon c'$ Es

$fs' = \left(\frac{d'-c}{c}\right)$ 0,003 200000

$fs' = \left(\frac{d'-c}{c}\right) 600$

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) = As\ \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600 + As\ x\ fy$$

(0,85 Fc' a b c) = 600 As' c – 600 d' As' + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1962,50 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 1962,5 x c - 600 x 65,5 x 1962,50 = 814250 c

35873 c^2 + 1177500 c -77126250 = 814250 c

35873 c^2 + 1177500 c - 814250 c - 77126250 = 0

35873 c^2 + 353250 c - 77126250 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$c = \frac{-353250 \pm \sqrt{353250^2-(4\ x\ 35873\ x(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$

$C^+ = \frac{-353250 + \sqrt{353250^2-(4\ x\ 35873\ x(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$

= 41,705

$$C^{-} = \frac{-353250-\sqrt{353250^2-(4\ x\ 35873\ \text{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

= -51,552

35873 x 41,552² + 353250 x 41,552 - 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 41,705 < 65,50 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0,84 x 41,705

= 34,853 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{\text{d` - c}}{\text{c}}$ x εc

  $= \frac{65{,}5 - 41{,}705}{41{,}705}$ x 0,003

  = 0,0017 < εc = 0,002 (belum leleh)
- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{\text{d - c}}{\text{c}}$ x εc

  $= \frac{734{,}5 - 41{,}705}{41{,}705}$ x 0,003

  = 0,0498 < εc = 0,002 (sudah leleh)
- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = εs' x Es

= 0,0017 x 200000 Mpa

= 342,33 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,0498 x 200000 Mpa

= 9967,098 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0498 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 34,85 x 1683,33

= 1496082,121 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1962,50 x 342,335

= 671832,121 N

Ts2 = As x fy

= 1962,50 x 420

= 824250 N

Cc = Ts1 + Ts2

1496082,121 N = 671832,121 N + 824250 N

1496082,121 N = 1496082,121 (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\, a$

$= 65{,}5 - \frac{1}{2} x\ 34{,}85$

= 48,073 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\, a$

= 734,5 – 0,5 x 34,85

= 717,073 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 671832,121 N x 48,073 mm + 824250 N x 717,073 mm

= 623344855,906 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 623344855,906 Nmm

= 561010370,315 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$\Phi Mn > Mu^-$

561010370,315 Nmm > 76601700 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

$Mn^+ > ½ Mn^-$

623344855,906 Nmm > ½ x 581267331,114 Nmm

490.344.889,23 Nmm > 290633666 Nmm (Memenuhi)

C. Perhitungan penulangan lapangan

Mu + = 182,3678 kNm

= 182367800 Nmm

Mu = 39,9955 kNm

= 39995500 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 2 D 25 = 981,25 mm^2

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 2 D 25 = 981,25 mm^2

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 2 D 25 = 981,25 mm^2

Tulangan tekan As' 2 D 25 = 981,25 mm^2

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

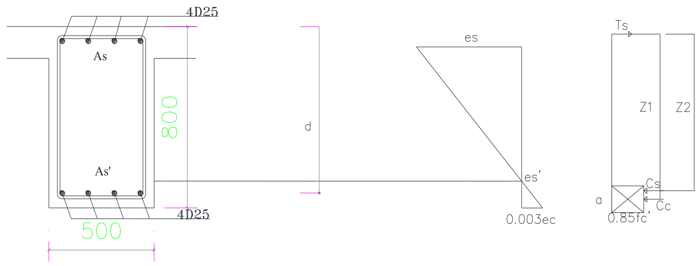
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,50 mm

d = h - d'

= 800 - 65,50

= 734,50 mm



Gambar 4.42 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \frac{c-d'}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ x\ 200000$$

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

(0,85 F’c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc’ a b) + 600 As’c -600 d’ As’= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 981,25 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 412125 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 500 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 412125 c

$10655\ c^2 + 588750\ c - 38563125 \quad = 824250\ c$

$10655\ c^2 + 588750\ c - 412125\ c - 38563125 = 0$

$10655\ c^2 + 176625\ c - 38563125 = \quad 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-176625 \pm \sqrt{176625^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

$$C^+ = \frac{-1177500 + \sqrt{1674811868304}}{21310{,}7143}$$

$= 52{,}439$

$$C^- = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{1674811868304}}{21310{,}7143}$$

$= -69{,}016$

$10655\ x\ 52{,}439^2 + 176625\ x\ 52{,}439 - 38563125 \quad = 0$

$0 \quad = 0$

Maka di pakai nilai c = 52,439 > 65,50 (tidak ok)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 52,439

= 43,824 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

  $= \frac{52{,}439 - 65{,}5}{52{,}439}$ x 0,003

  = -0,00075 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{734{,}5 - 52{,}439}{52{,}439} \times 0{,}003$

= 0,03902 (tulangan sudah leleh)

➢ Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum. Di hitung tegangan yang terjadi pada tulangan tekan :

➢ Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= -0,00075 x 200000 Mpa

= -149,437 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,03902 x 200000 Mpa

= 7803,993 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,03902 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

➢ Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 43,824 x 500

= 558760,113 N

Cs = As' x fs

= 981,25 x (-149,437)

= -146635,1134 N

Ts = As x fy

= 981,25 x 420

= 412125 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ts

558760,113 N + (-146635,1134 N) = 412125 N

412125 N = 412125 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 734{,}5 - \frac{1}{2} x\ 43{,}824$

= 712,588 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = T x Z1

= 412125 N x 712,588 mm

= 293675263,019 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 293675263,019 Nmm

= 264307736,717 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$\Phi Mn > Mu^{+}$

264307736,717 Nmm > 39995500 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 25 = 981,25 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 25 = 981,25 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

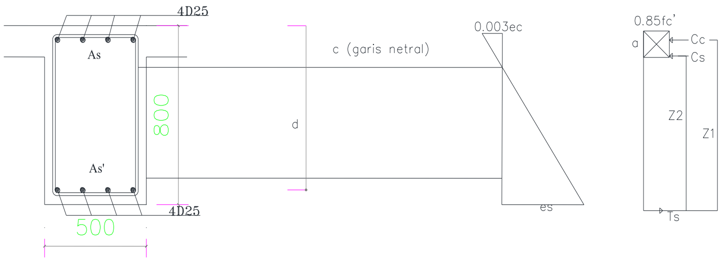
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,5 mm

d = h - d'

= 800 - 65,5

= 734,50 mm



Gambar 4.43 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d" maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\left(\frac{c-d''}{c}\right) 600\ ] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) + As’ c – 600 d’’ As’ = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d" As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d" As' = 981,25 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 412125 c

$35873 \ c^2 + 588750 \ c - 38563125 = 412125 \ c$

$35873 \ c^2 + 588750 \ c - 412125 \ c - 38563125 = 0$

$35873 \ c^2 + 176625 \ c - 38563125 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-176625 \pm \sqrt{176625^2 - (4 \ x \ 35873 \ \text{x}(-38563125))}}{2 \ x \ 35873}$$

$$C^+ = \frac{-176625 + \sqrt{176625^2 - (4 \ x \ 35873 \ \text{x}(-38563125))}}{2 \ x \ 35873}$$

$= 30,417$

$$C^- = \frac{-176625 - \sqrt{176625^2 - (4 \ x \ 35873 \ \text{x}(-38563125))}}{2 \ x \ 35873}$$

$= -35,341$

$35873 \text{ x } 30,417^2 + 176625 \text{ x } 30,417 - 38563125 = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c = 30,417 < 65,50 Tidak Ok

Karena c < d’’ tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{d'' - c}{c}\right) Es$

$\varepsilon c = 0,003$

$$fs' = \left(\frac{d'' - c}{c}\right)\ \varepsilon c'\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{d'' - c}{c}\right)\ 0{,}003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{d'' - c}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) = As\ \left(\frac{c - d''}{c}\right) 600 + As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) = 600 As’ c – 600 d’’ As’ + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c - 600 d" As' + 981,25 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 412125 c

35873 c^2 + 588750 c - 38563125 = 412125 c

35873 c^2 + 588750 c - 412125 c - 38563125 = 0

35873 c^2 + 176625 c - 38563125 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-176625 \pm \sqrt{176625^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

$$C^+ = \frac{-176625 + \sqrt{176625^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

= 30,417

$$C^- = \frac{-176625 - \sqrt{176625^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

= -35,341

35873 x 30,417² + 176625 x 30,417 - 38563125 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 30,417 < 65,50 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d'', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 30,417

= 25,420 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d'' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{65,5 - 30,417}{30,417}$ x 0,003

  = 0,00346 > εs = 0,002 (sudah leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs'') $= \frac{d - c}{c}$ x εc

  $= \frac{734,5 - 41,705}{41,705}$ x 0,003

  = 0,06944 < εy = 0,002 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = εs' x Es

  = 0,00346 x 200000 Mpa

  = 692,019 Mpa > fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

  fs = εs x Es

  = 0,06944 x 200000 Mpa

= 13888,364 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,06944 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 25,420 x 692,019

= 1091168,512 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 981,25 x 692,019

= 679043,512 N

Ts2 = As x fy

= 981,25 x 420

= 412125 N

Cc = Ts1 + Ts2

1091168,512 N = 679043,512 N + 412125 N

1091168,512 N = 1091168,512 N (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 65{,}5 - \frac{1}{2} x\ 25{,}40$

= 52,79 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 734,5 – 0,5 x 25,40

= 721,79 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 679043,512 N x 52,79 mm + 412125 N x 721,79 mm

= 319223638,368 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 319223638,368 Nmm

= 287301274,531 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

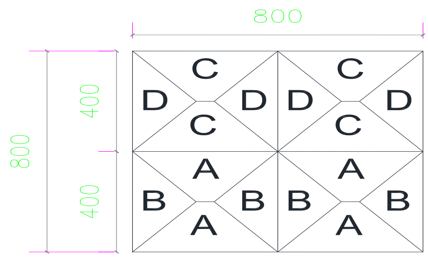
$\Phi Mn > Mu^{-}$

287301274,531 Nmm > 182367800 Nmm (AMAN)

Tabel 4.30 Data Penulangan Balok 500/800

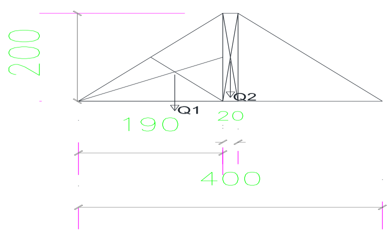
Lokasi		Mu	keb. Tul			As psg	Mn	Ket.
a	**b**							
Tump.	Kan. -	215,027,300	4	D	25	1964.286	523,140,598	Oke
	Kan +	107,513,650	4	D	25	1964.286	561,010,370	Oke
	kir -	205,654,200	4	D	25	1964.286	523,140,598	Oke
	kir +	102,827,100	4	D	25	1964.286	561,010,370	Oke
Lap	-	39,995,500	2	D	25	982.1429	264,307,737	Oke
	+	182,367,800	2	D	25	982.1429	287,301,275	Oke

4.6.9 Perhitungan Perataan Beban Gelagar Pada Balok 500 x 800 mm



Gambar 4.44 Perhitungan Perataan Beban Gelagar

a. Perataan beban tipe A



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 1,9

= 1,900 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 1,900 + 0,2

= 2,10 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 ($\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

= 2,73 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

= 2 h m^2

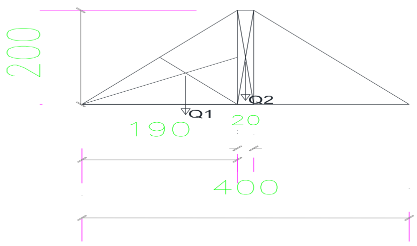
M1 = M2

2,733 = 2 h

h = $\frac{2,733}{2}$

= 1,3667 m < 1,90 m (OK)

b. Perataan beban tipe C



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 1,9

= 1,900 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 1,900 + 0,2

= 2,10 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

= 2,73 m^2

M2 = $\frac{1}{8}$ x h x L^2

= $\frac{1}{8}$ x h x 3,5^2

= 1,53 h

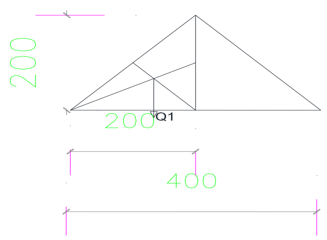
M1 = M2

2,733 = 1,531 h

h = $\frac{2,733}{1,531}$

= 1,7850 m < 1,90 m (OK)

c. Perataan beban tipe B



Q1 = $\frac{1}{2}$ x tinggi x alas

= $\frac{1}{2}$ x 2 x 2

= 2,000 m^2

RAV = RBV = Q1

= 2,000

= 2,00 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2)

= (2,000 x 2) – (2,000 x 0,667)

$= 2{,}67\ m^2$

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

= 2 h

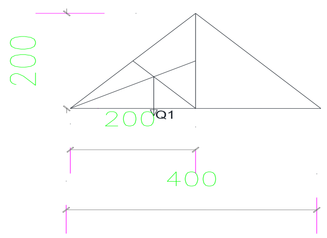
M1 = M2

2,733 = 2 h

h = $\frac{2{,}67}{2}$

= 1,333 m < 2 m (OK)

d. Perataan beban tipe D



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 2

$= 2{,}000\ m^2$

RAV = RBV = Q1

= 2,000

$= 2{,}00\ m^2$

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2)

= (2,000 x 2) – (2,000 x 0,667)

$= 2{,}67\ m^2$

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

$= 2\ h\ m^2$

M1 = M2

2,733 = 2 h

$h = \frac{2,67}{2}$

= 1,333 m < 2 m (OK)

Tabel IV.31 Perataan Beban

Tipe	h
A	1,3667
B	1,3333
C	1.7850
D	1,3333

4.6.9.1 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Pada Balok 500 x 800 mm

a. Beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,50 x (0,8 – 0,12)

= 0,340 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,340 x 24

= 8,02 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 0 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,333 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,552 kN/m

d. total beban mati

= 8,024 + 0 + 7,6

= 15,576 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

b. beban hidup pada pelat (tributary area)

berat = 1,333 x 2,40 x 2

= 6,40 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 15,576 + 1 x 6,40

= 25,091 kN/m

V q kiri $= \frac{1}{2}\ x\ l\ x\ Wu\ kombinasi$

$= \frac{1}{2}\ x\ 3{,}5\ x\ 25{,}091$

= 43,9096 kN

4.6.9.2 Perhitungan Beban Hidup Yang Bekerja Pada Balok 500 x 800 mm

a. Beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,50 x (0,8 – 0,12)

= 0,340 m^2

b. Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

Berat = Luas x bj beton bertulang

= 0,340 x 24

= 8,02 kN/m^3

c. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 0 kN/m

d. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,333 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,552 kN/m

e. Total beban mati

= 8,024 + 0 + 7,552

= 15,576 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 1,333 x 2,40 x 2

= 6,40 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 15,576 + 1 x 6,40

= 25,091 kN/m

V q kanan $= \frac{1}{2}\ x\ l\ x\ Wu\ kombinasi$

$= \frac{1}{2}\ x\ 3{,}5\ x\ 25{,}091$

= 43,9096 kN

P balok = 43,9096 + 43,9096

= 87,8192 kN

Jadi kesimpulan perhitungan beban mati yang bekerja pada balok :

a. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,50 x (0,8 – 0,12)

= 0,34 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,34 x 24

= 8,024 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 0 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,367 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,741 kN/m

d. total beban mati

= 8,024 + 3,937 + 7,741

= 15,765 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributari area)

Berat = 1,367 x 2,87 x 2

= 6,56 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 15,765 + 1 x 6,56

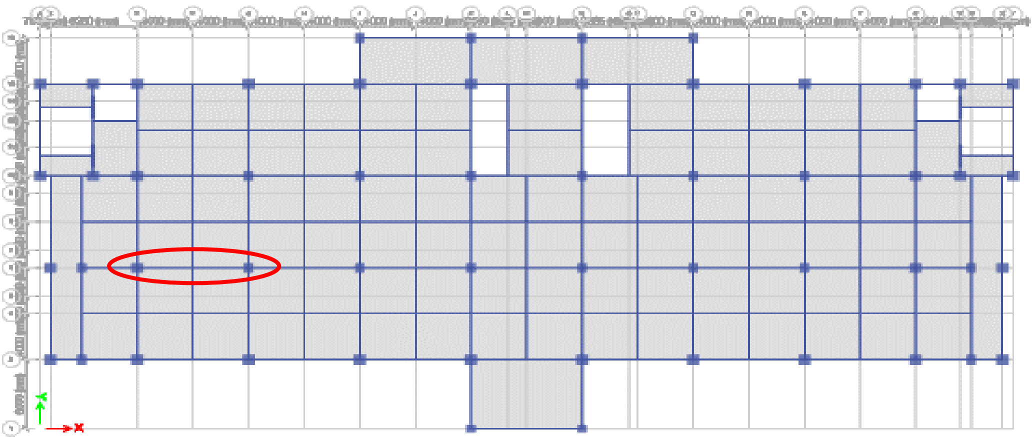
= 25,478 kN/m

Jadi kesimpulan Wu dan P balok adalah :

Wu = 25,478 kN/m

P balok anak= 87,8912 kN

4.6.10 Perhitungan Momen MPR Pada Balok 500 x 800 mm



Gambar 4.45 Letak Balok 500 x 800 (Tipe Balok B 472 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut :

Lebar Balok (bw) = 500 mm

Tinggi Balok (h) = 800 mm

Selimut Beton (cb) = 40 mm

Mutu Beton Fc' = 30 Mpa

fy ulir = 525 Mpa (1,25 dari fy asli)

fy sengkang ulir = 280 Mpa

Diameter Tul. Pokok = 25 mm

Diameter Tul. Sengkang = 13 mm

L Balok = 8000 mm

Es Baja = 200000 Mpa

Ln Balok Bersih = 7100 mm

Tebal Plat hf = 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri + = 74,7003 kNm

= 205,6542 kNm

Tumpuan Kanan + = 76,6017 kNm

= 215,0273 kNm

Lapangan + = 182,3678 kNm

= 39,9955 kNm

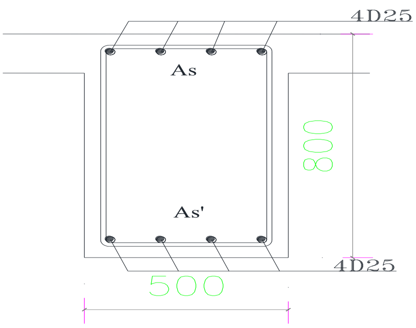
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \le f_c' \le 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \ge 55$	0,65	c)

β1 = 0,85- [30 -28] x 0. 05

= 0, 84

4.6.11 Perhitungan Penulangan Pada Kondidi Momen Maksimum



Gambar 4.46 Rencana Penulangan Balok 500 x 800

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,50 mm

d = h - d"

= 800 - 65,50

= 734,50 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$As \min = \frac{0,25 \sqrt{Fc'}}{Fy} \; bw \; d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{525} x \; 500 \; x \; 734,50$ = 957,862 mm^2

$As \min = \frac{1,4 \text{ bw d}}{\text{Fy}} = \frac{1,4 \; x \; 500 \; x \; 734,50}{525}$ = 979,333 mm^2

Maka tulangan minimal adalah : 979,333 mm^2

b. Tulangan maksimal harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

As max = 0,75 x $\frac{0,85 \; Fc' \beta 1}{Fy}$ x $\frac{600}{600 + Fy}$ bw x d

As max = 0,75 x $\frac{0,85 \;\; 30 \; 0,84}{525}$ x $\frac{600}{600 + 525}$ x 500 x 734,5

As max = 5962,941 mm^2

c. Syarat spasi tulangan pada Sni 2847-2019 pasal 25.2.1 :

1. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
2. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 pasal 6.3.2.1. tidak boleh melebihi

Satu sisi :

1. Be < 6 x tebal pelat + bw

Be < 6 x 120 + 500

Be < 1220 mm

2. Be < $\frac{sw}{2}$ + bw (Sw adalah jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < $\frac{2900}{2}$ + 500

   Be < 1950 mm

3. Be < Ln x $\frac{1}{12}$ + bw (Ln panjang bersih balok)

   Be < 7100 x $\frac{1}{12}$ + 500

   Be < 1092 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1092 mm

Dua sisi :

1. Be < 8 x tebal pelat x 2 + bw

   Be < 8 x 120 x 2 + 120

   Be < 2040 mm

2. Be < $\frac{sw}{2}$ + bw (Sw adalah jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < 2900 + 500

   Be < 3400 mm

3. Be < Ln x $\frac{1}{12}$ + bw (Ln panjang bersih balok)

   Be < 7100 x $\frac{1}{12}$ x 2 + 500

   Be < 1683 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1683 mm

A. Perhitungan penulangan tumpuan kiri

   Mu + = 74,70030 kNm

   = 74700300 Nmm

   Mu - = 205,654200 kNm

   = 205654200 Nmm

   Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

   Tulangan di daerah (atas) As 4 D 25 = 1962,5 mm²

   Tulangan di daerah (bawah) As'4 D 25 = 1962,5 mm²

   Momen Negatif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d^2}$

$= \frac{205654200}{0{,}9\ x\ 500\ x\ 734{,}5^2}$

= 0,8471

P $= \frac{Rn\ x\ F'c}{Fy}$ x $\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0{,}85\ x\ fc\prime}}\right)$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30}{525}$ x $\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}8471}{0{,}85\ x\ 30}}\right)$

= 0,001641279

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ Fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 525}$

= 0,0026082

ρ min $= \frac{1{,}4}{Fy}$

$= \frac{1{,}4}{525}$

= 0,0027

ρ balance $= \frac{0{,}85\ x\ F'c\ x\ \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30\ x0{,}84}{525}\ x\ (\frac{600}{600+525})$

= 0,0216

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0216

= 0,016236735

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,001641279 ≤ 0,016

As = ρ x b x d

= 0,001641279 x 500 x 734,5

= 602,759 mm²

As tul = D25

= 491,071 mm^2

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{602{,}759}{491{,}071}$

= 6 tulangan D 25

Momen Positif :

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{74700300}{0{,}9\ x\ 500\ \ x\ 734{,}5}$

= 0,3077

$\rho = \frac{0{,}85xF'c}{fy}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0{,}85\ F'c}}$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30}{525}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}3077}{0{,}85\ x\ 30}}$

= 0,0005897

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 525}$

= 0,0026

ρ min $= \frac{1{,}4}{Fy}$

$= \frac{1{,}4}{525}$

= 0,0027

ρ balance $= \frac{0{,}85\ x\ F'cx\beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30\ x\ 0{,}84}{525}\ x\ (\frac{600}{600+525})$

= 0,0216

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0216

= 0,016236735

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0027 ≤ 0,0005897 ≤ 0,016

As = ρ x b x d

= 0,0005897 x 500 x 734,5

= 154,7891 mm²

As tul = D 25

= 491,071 mm²

n tul = $\frac{As}{As\ tulangan}$

= $\frac{154,7891}{491,071}$ = 3 tulangan D 25

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 25 = 1962,50 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 25 = 1962,50 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

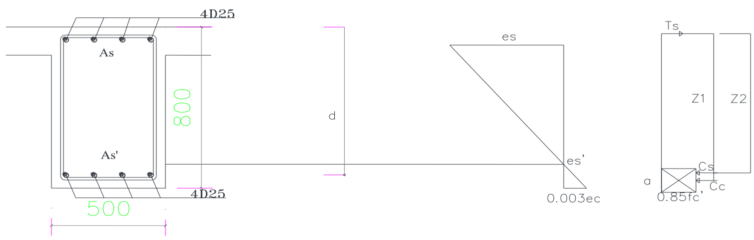
= 40 + 13 + ½ 25

= 65,50 mm

d = h - d'

= 800 - 65,50

=734,50 mm



Gambar 4.47 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kiri

Cc + Cs = T1

Cc = 0,85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc= 0,003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c \; Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0{,}003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ fc'b\ ) + \left(As'\frac{c-d'}{c}\right)\ 600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c - 600 d' As' = 1962,5 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 824250 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 500 +600 x 1962,5 x c –600 x 65,5 x1962,5 = 1030313 c

10655 c^2 + 1177500 c – 77126250 = 1030313 c

10655 c^2 + 1177500 c – 1030313 c - 77126250 = 0

10655 c^2 + 147188 c – 77126250 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = -147188 \pm \frac{\sqrt{147188^2-(4\,x\,10655\,\text{x}(-77126250)\,)}}{2\,x\,10655}$$

$$c^+ = -147188 + \frac{\sqrt{147188^2-(4\,x\,10655\,\text{x}(-77126250)\,)}}{2\,x\,10655}$$

= 78,45

c^{-} $= -147188 - \frac{\sqrt{147188^2-(4 \; x \; 10655 \; x(-77126250))}}{2 \; x \; 10655}$

$= -92{,}27$

10655 x 70,102² + 147188 x 70,102 – 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 78,45 > 65,5

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 78,45

= 65,56 mm

Menghitung regangan tulangan :

$$\varepsilon s' = \frac{c - d\prime}{c} \; x \; \varepsilon c = \frac{78{,}45-65{,}5}{78{,}45} \; x \; 0{,}003$$

= 0,0005 < εy = 0,002 tulangan belum leleh

$$\varepsilon s = \frac{d-c}{c} \; x \; \varepsilon c = \frac{735{,}5-78{,}45}{78{,}45} \; x \; 0{,}003$$

= 0,0251 > εy = 0,002 tulangan sudah leleh

$$\varepsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{525}{200000} = 0{,}003$$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= 0,0005 x 200000

= 99,05 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = 99,05 Mpa

Fs = εs x Es

= 0,0251 x 200000

= 5017,511 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik : Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0251 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0,85 x 30 x 65,56 x 500

= 835924,682 N

Cs = As' x fs'

= 1962,5 x 99,1

= 194387,817 N

Ts = As x fy

= 1962,5 x 525

= 1030312,5 N

Cc +Cs = Ts

835924,682 N + 194387,817 N = 1030312,5 N

824520 N = 1030312,5 N (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

=734,5- ½ x 65,56

= 701,719 mm

Momen nominal (Mnb) :

Mn = T x Z1

= 1030312,5 x 701,719

= 722989486,178 Nmm

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 25 = 1962,50 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 25 = 1962,50 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

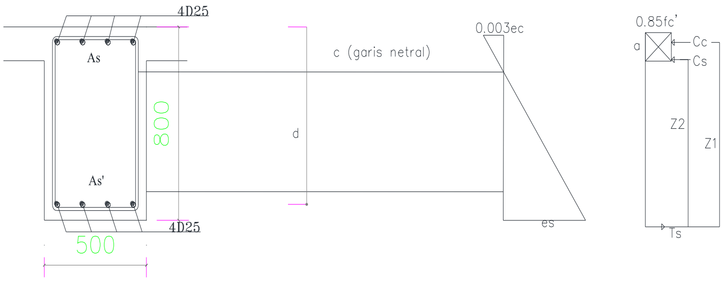
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,5 mm

d = h - d'

= 800 - 65,5

= 734,50 mm



Gambar 4.48 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\ \left(\frac{c-d''}{c}\right)\ 600\ ] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) + As’ c – 600 d’’ As’ = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1962,50 x 525 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 1962,5 x c - 600 x 65,5 x 1962,50 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c + (-77126250) = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c - 1030312,5 c - 77126250 = 0

35873 c^2 + 147188 c - 77126250 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-147188 \pm \sqrt{147188^2-(4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

$$C^{+} = \frac{-147188 + \sqrt{147188^2-(4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

= 44,362

$$C^{-} = \frac{-147188 - \sqrt{147188^2-(4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

= -48,465

35873 x $44{,}362^2$ + 147188 x 44,362 - 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 44,362 < 65,50 Tidak Ok

Karena c < d” tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{d"-c}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{d"-c}{c}\right)$ $\varepsilon c'$ x Es

fs' = $\left(\frac{d"-c}{c}\right)$ 0,003 x 200000

fs' = $\left(\frac{d"-c}{c}\right)$ 600

$(0{,}85\, Fc'a\, b\,) = As' \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600 + As\ x\ fy$

(0,85 Fc’ a b c) = 600 x As’ x c – 600d” x As’ + As x fy x c

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b - 600 As' c + 600 d" As' = 1962,50 x 525 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 - 600 x 1962,5 x c + 600 x 65,5 x 1962,50 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c -77126250 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c - 1030312,5 c - 77126250 = 0

35873 c^2 + 147188 c - 77126250 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

C= $\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$$c = \frac{-147188 \pm \sqrt{147188^2 - (4 \, x \, 35873 \, x(-77126250))}}{2 \, x \, 35873}$$

$$C^+ = \frac{-147188 + \sqrt{147188^2 - (4 \, x \, 35873 \, x(-77126250))}}{2 \, x \, 35873}$$

$= 44{,}362$

$$C^- = \frac{-147188 - \sqrt{147188^2 - (4 \, x \, 35873 \, x(-77126250))}}{2 \, x \, 35873}$$

$= -48{,}465$

$35873 \text{ x } 44{,}362^2 + 353250 \text{ x } 44{,}362 + (-77126250) = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c = 44,362 < 65,50 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0,84 x 44,362

= 37,074 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c}$ x εc

  $= \frac{65{,}5 - 44{,}362}{44{,}362}$ x 0,003

  = 0,0014 < εc = 0,002 (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c}$ x εc

  $= \frac{736 - 44{,}362}{44{,}362}$ x 0,003

  = 0,0467 < εc = 0,002 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy \text{ ulir}}{Es}$

  $= \frac{525}{200000}$

$= 0{,}003$

Karena $\varepsilon y = 0{,}002 > \varepsilon s' = 0{,}00003$, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' $= \varepsilon s' \text{ x } Es$

  $= 0{,}0014 \text{ x } 200000$ Mpa

  $= 285{,}899$ Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fs')

  fs $= \varepsilon s \text{ x } Es$

  $= 0{,}0467 \text{ x } 200000$ Mpa

  $= 9334{,}24$ Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0467 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

  Cc = 0,85 x fc' x a x b

  = 0,85 x 30 x 37,07 x 1683,33

  = 1591389,361 N

  Ts1 = As'1 x fs'

  = 1962,50 x 285,899

  = 561076,861 N

  Ts2 = As x fy

  = 1962,50 x 420

  = 1030312,5 N

  Cc = Ts1 + Ts2

  1591389,361 N = 561076,861 N + 1030312,5 N

  1591389,361 N = 1591389,361 N (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

  Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

  $= 65{,}5 - \frac{1}{2} x\ 37{,}07$

  $= 46{,}96$ mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 734,5 – 0,5 x 37,07

= 715,96 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 561076,861 N x 46,96 mm + 1030312,5 N x 715,96 mm

= 764015705,160 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 764015705,160 Nmm

= 68761434,644 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$\Phi Mn > Mu^-$

68761434,644 Nmm > 74700300 Nmm (Memenuhi)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

$Mn^+ > ½\ Mn^-$

764015705,160 Nmm > ½ x 722989486,178 Nmm

764015705,160 Nmm > 361494743,089 Nmm (Memenuhi)

B. Perhitungan penulangan tumpuan kanan

Mu + = 76,6017 kNm

= 76601700 Nmm

Mu - = 215,0273 kNm

= 215027300 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 25 = 1962,5 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 25 = 1962,5 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 4 D 25 = 1962,5 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 25 = 1962,5 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

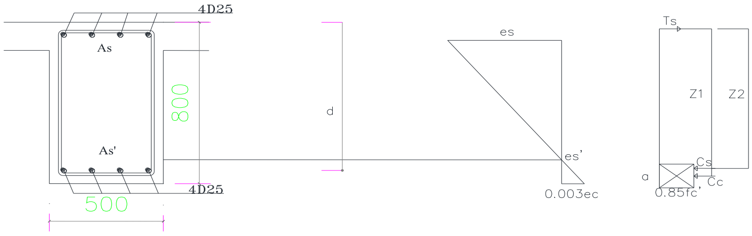
= 40 + 13 + ½ 25

= 65,50 mm

d = h - d'

= 800 - 65,50

= 734,50 mm



Gambar 4.49 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \frac{c-d'}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ x\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 1962,50 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 1030313 c

0,85 x 30 x 0,84 x c² x 500 + 600 x 1962,50 x c - 600 x 65,5 x 1962,50 = 1030313 c

10655 c^2 + 1177500 c – 77126250 = 1030313 c

10655 c^2 + 1177500 c - 1030313 c– 77126250 = 0

10655 c^2 + 147187,5 c - 77126250 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C= \frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-147187,5 \pm \sqrt{147187,5^{\ 2} -(4\ x\ 10655\ x\ (-77126250))}}{2\ x\ 10655}$$

$$C^+ = \frac{-147187,5 + \sqrt{147187,5^{\ 2} -(4\ x\ 10655\ x\ (-77126250))}}{2\ x\ 10655}$$

= 78,45

$$C^- = \frac{-147187,5 - \sqrt{147187,5^{\ 2} -(4\ x\ 10655\ x\ (-77126250))}}{2\ x\ 10655}$$

= -92,27

10655 x $78,45^2$ + 1177500 x 78,45- 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 78,45 > 65,50

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 78,45

= 65,56 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{c-d'}{c}$ x εc

$= \frac{78,45 - 65,5}{78,45}$ x 0,003

= 0,000495 (tulangan belum leleh)

➢ Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{734,5 - 78,45}{78,45}$ x 0,003

= 0,02509 (tulangan sudah leleh)

➢ Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{525}{200000}$

= 0,003

maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum. Di hitung tegangan yang terjadi pada tulangan tekan :

➢ Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= 0,000495x 200000 Mpa

= 99,1 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,02509x 200000 Mpa

= 5017,51 Mpa > fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,02509 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

➢ Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 65,56 x 500

= 835924,682 N

Cs = As' x fs'

= 1962,50 x 99,1

= 192387,817 N

Ts = As x fy

= 1962,50 x 525

= 1030312,5 N

Cek kondisi seimbang :

$$Cc + Cs = Ts$$

835924,682 N + 192387,817 N = 1030312,5 N

1030312,5 N = 1030312,5 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

  Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

  $= 734{,}5 - \frac{1}{2} x\ 65{,}56$

  = 701,719 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

  Mn = T x Z1

  = 1030312,5 N x 701,719 mm

  = 722989486,178 Nmm

  Mr = ΦMn

  = 0,9 x 722989486,178 Nmm

  = 650690538,560 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$$\Phi Mn > Mu^{+}$$

650690538,560 Nmm > 215027300 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 25 = 1962,50 mm^2

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 25 = 1962,50 mm^2

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

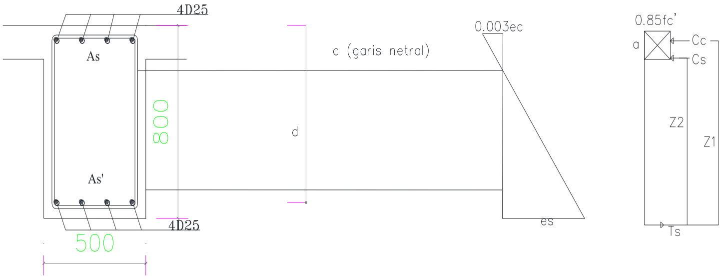
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,5 mm

d = h - d'

= 800 - 65,5

= 734,50 mm



Gambar 4.50 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\left(\frac{c-d''}{c}\right) 600\,] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc' a b c) + As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1962,50 x 525 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 1962,5 x c - 600 x 65,5 x 1962,50 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c -77126250 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c - 1030312,5 c - 77126250 = 0

35873 c^2 + 147187,5 c - 77126250 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-147187{,}5 \pm \sqrt{147187{,}5 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

$$C^{+} = \frac{-147187{,}5 + \sqrt{147187{,}5 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

= 44,36

$$C^{-} = \frac{-147187{,}5 - \sqrt{147187{,}5 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

= -48,47

35873 x $44{,}36^2$ + 353250 x 44,36- 77126250 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 41,705 < 65,50 Tidak Ok

Karena c < d' tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{d'-c}{c})\ Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{d'-c}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{d'-c}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{d'-c}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) = As\ \left(\frac{c-d'}{c}\right)\ 600 + As\ x\ fy$$

(0,85 Fc' a b c) = 600 As' c – 600 d' As' + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1962,50 x 525 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 1962,5 x c - 600 x 65,5 x 1962,50 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c -77126250 = 1030312,5 c

35873 c^2 + 1177500 c - 1030312,5 c - 77126250 = 0

35873 c^2 + 147188 c - 77126250 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

C= $\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$$c = \frac{-147188\pm\sqrt{147188^2-(4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$$

C^+= $\frac{-147188+\sqrt{147188-(4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$

= 44,36

C^-= $\frac{-147188-\sqrt{147188^2-(4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-77126250))}}{2\ x\ 35873}$

$= -48{,}464$

$35873 \times 44{,}36^2 + 353250 \times 44{,}36 \quad - 77126250 \quad = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c $= 44{,}36 < 65{,}50$ Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

$a \quad = \beta 1 \quad c$

$= 0{,}84 \times 44{,}36$

$= 37{,}07$ mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c} \times \varepsilon c$

  $= \frac{65{,}5 - 44{,}36}{44{,}36} \times 0{,}003$

  $= 0{,}0014 < \varepsilon c = 0{,}002$ (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c} \times \varepsilon c$

  $= \frac{734{,}5 - 44{,}36}{44{,}36} \times 0{,}003$

  $= 0{,}0467 < \varepsilon c = 0{,}002$ (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{525}{200000}$

  $= 0{,}003$

Karena $\varepsilon y = 0{,}002 > \varepsilon s' = 0{,}00003$, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' $= \varepsilon s' \times Es$

  $= 0{,}0014 \times 200000$ Mpa

  $= 285{,}899$ Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,0467 x 200000 Mpa

= 9334,242 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0467 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 37,07 x 1683,33

= 1591389,361 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1962,50 x 285,899

= 561076,8613 N

Ts2 = As x fy

= 1962,50 x 525

= 1030312,5 N

Cc = Ts1 + Ts2

1591389,361 N = 561076,8613 N + 1030312,5 N

1591389,361 N = 1591389,361 N (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 65{,}5 - \frac{1}{2} x\ 37{,}07$

= 46,96 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 734,5 – 0,5 x 37,07

= 715,96 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 561076,8613 N x 46,96 mm + 1030312,5 N x 715,96 mm

= 764015705,160 Nmm

Mr $= \Phi Mn$

$= 0,9 \times 764015705,160$ Nmm

$= 687614134,644$ Nmm

Cek syarat $\Phi Mn > Mu$:

$\Phi Mn > Mu^-$

687614134,644 Nmm > 76601700 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

$Mn^+ > \frac{1}{2} Mn^-$

764015705,160 Nmm > ½ x 722989486,178

764015705,160 Nmm > 361494743,09 Nmm (Memenuhi)

C. Perhitungan penulangan lapangan

Mu + = 182,3678 kNm

= 182367800 Nmm

Mu = 39,9955 kNm

= 39995500 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 2 D 25 = 981,25 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 2 D 25 = 981,25 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 2 D 25 = 981,25 mm²

Tulangan tekan As' 2 D 25 = 981,25 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

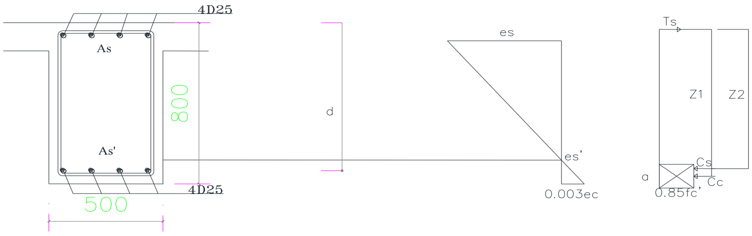
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,50 mm

d = h - d'

= 800 - 65,50

= 734,50 mm



Gambar 4.51 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \frac{c-d\prime}{c}\ Es$

$Ec = 0{,}003$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ x\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 981,25 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 412125 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 500 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 515156,25 c

$10655\ c^2 + 588750\ c - 38563125 = 515156{,}25\ c$

$10655\ c^2 + 588750\ c - 515156{,}25\ c - 38563125 = 0$

$10655\ c^2 + 73594\ c - 38563125 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

$$C^{+} = \frac{-73594 + \sqrt{73594^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

$= 56{,}81$

$$C^{-} = \frac{-73594 - \sqrt{73594^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

$= -63{,}71$

$10655\ x\ 56{,}81^2 + 176625\ x\ 56{,}81 - 38563125 = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c $= 56{,}81 < 65{,}50$ (tidak ok)

Karena nilai $c < d'$ tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai c harus dihitung ulang :

$Cc = Ts1 + Ts2$

$0{,}85\ Fc'\ a\ b = As'\ fs' + As\ fs$

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \frac{c - d'}{c}\ Es$

$Ec = 0{,}003$

$$fs' = \frac{c - d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c} \quad 0{,}003\ x\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) = $As'\ \frac{c-d'}{c}\ 600$ + A_s x fy

(0,85 fc' a b) = 600 As'c -600 d' As'+ As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c = 600 As' c - 600 d' As' + 981,25 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 412125 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 500 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 515156,25 c

10655 c^2 + 588750 c – 38563125 = 515156,25 c

10655 c^2 + 588750 c - 515156,25 c – 38563125 = 0

10655 c^2 + 73594 c - 38563125 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

$$C^+ = \frac{-73594 + \sqrt{73594^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

= 56,81

$$C^- = \frac{-73594 - \sqrt{73594^{\,2} - (4\ x\ 10655\ x\ (-38563125))}}{2\ x\ 10655}$$

= -63,71

10655 x $56{,}81^2$ + 176625 x 56,81- 38563125= 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 52,44 < 65,50 (ok)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 56,81

= 47,47 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

  $= \frac{56{,}81 - 65{,}5}{56{,}81}$ x 0,003

  = -0,000459 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{734{,}5 - 56{,}81}{56{,}81}$ x 0,003

  = 0,03579 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{525}{200000}$

  = 0,003

maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum. Di hitung tegangan yang terjadi pada tulangan tekan :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= -0,000459 x 200000 Mpa

= -91,482 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,03579 x 200000 Mpa

= 7158,14 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,03579 $\geq$ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc’ x a x b

= 0,85 x 30 x 47,47 x 500

= 605276,236 N

Cs = As’ x fs

= 981,25 x (-91,482)

= -90119,986 N

Ts = As x fy

= 981,25 x 420

= 515156,25 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ts

605276,236 N + (-90119,986 N) = 515156,25 N

515156,25 N = 515156,25 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 734{,}5 - \frac{1}{2} x\ 47{,}47$

= 710,764 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = T x Z1

= 515156,25 N x 710,764 mm

= 366154350,497 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 366154350,497 Nmm

= 329538915,447 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$\Phi Mn > Mu^{+}$

329538915,447 Nmm > 39995500 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 25 = 981,25 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 25 = 981,25 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

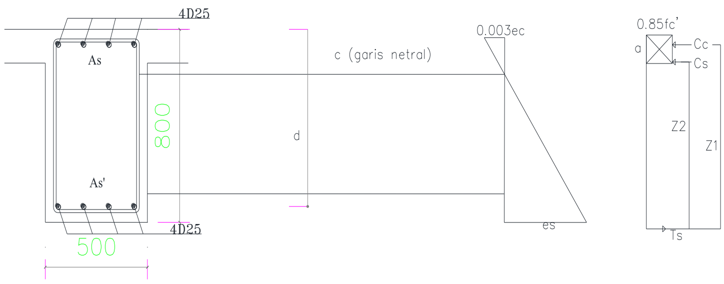
= 40 + 13 + ½ x 25

= 65,5 mm

d = h - d'

= 800 - 65,5

= 734,50 mm



Gambar 4.52 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\ \left(\frac{c-d''}{c}\right)\ 600\ ] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) + As’ c – 600 d’’ As’ = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d" As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d" As' = 981,25 x 525 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 515156,25 c

35873 c^2 + 588750 c - 38563125 = 515156,25 c

35873 c^2 + 588750 c - 515156,25 c - 38563125 = 0

35873 c^2 + 73594 c - 38563125 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

$$C^+ = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

= 31,78

$$C^- = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

= -33,83

35873 x $31{,}78^2$ + 176625 x 31,78 - 38563125 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 31,78 < 65,50 Tidak Ok

Karena c < d’’ tulangan tekan sebagian mengalami gaya Tarik, maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{d''-c}{c})\,Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{d''-c}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{d''-c}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{d''-c}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) = As\ \left(\frac{c-d''}{c}\right)600 + As\ x\ fy$$

(0,85 Fc’ a b c) = 600 As’ c – 600 d’’ As’ + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c - 600 d" As' + 981,25 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 c^2 x 1683 + 600 x 981,25 x c - 600 x 65,5 x 981,25 = 515156,25 c

35873 c^2 + 588750 c - 38563125 = 515156,25 c

35873 c^2 + 588750 c - 515156,25 c - 38563125 = 0

35873 c^2 + 73594 c - 38563125 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

$$C^+ = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

= 31,78

$$C^- = \frac{-73594 \pm \sqrt{73594^2 - (4\ x\ 35873\ \mathrm{x}(-38563125))}}{2\ x\ 35873}$$

= -33,83

$35873 \text{ x } 31{,}78^2 + 176625 \text{ x } 31{,}78 - 38563125 = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai c = 31,78 < 65,50 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 31,78

= 25,56 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d`' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{65{,}5 - 31{,}78}{31{,}78}$ x 0,003

  = 0,00318 > εs = 0,002 (sudah leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c}$ x εc

  $= \frac{734{,}5 - 31{,}78}{31{,}78}$ x 0,003

  = 0,06634 < εy = 0,002 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{525}{200000}$

$= 0{,}002$

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= 0,00318 x 200000 Mpa

= 636,731 Mpa > fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fs')

fs = εs x Es

= 0,06944 x 200000 Mpa

= 13268,383 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,06944 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 26,56 x 1683,33

= 1139948,794 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 981,25 x 636,731

= 624792,544 N

Ts2 = As x fy

= 981,25 x 525

= 515156,25 N

Cc = Ts1 + Ts2

1139948,794 N = 624792,544 N + 515156,25 N

1139948,794 N = 1139948,794 N (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 65{,}5 - \frac{1}{2} x\ 26{,}56$

$= 52,22$ mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 734,5 – 0,5 \times 26,56$

$= 721,22$ mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 624792,544 N x 52,22 mm + 515156,25 N x 721,22 mm

= 398444120,650 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 398444120,650 Nmm

= 358599708,650 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^-

358599708,650 Nmm > 182367800 Nmm (AMAN)

Tabel 4.32 Data Penulangan Balok 500/800

Lokasi		**Mu**	**keb. Tul**			**As psg**	**Mn**	**Ket.**
a	**b**							
Tump.	Kan. -	215,027,300	4	D	25	1964.286	650,690,538	Oke
	Kan +	107,513,650	4	D	25	1964.286	687,614,135	Oke
	kir -	205,654,200	4	D	25	1964.286	722,989,486	Oke
	kir +	102,827,100	4	D	25	1964.286	687,614,135	Oke
Lap	-	39,995,500	2	D	25	982.1429	329,538,915	Oke
	+	182,367,800	2	D	25	982.1429	358,599,709	Oke

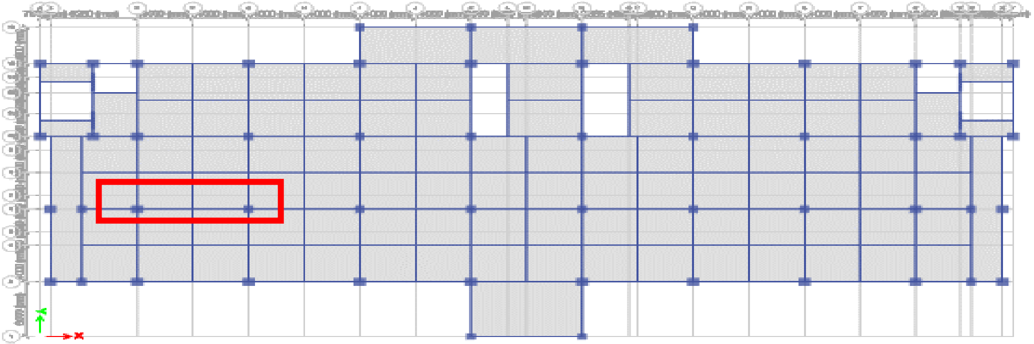
Mpr^- = 722,989,486 Nmm

Mpr^+ = 764,015,705 Nmm

Mpr^+ = 764,015,705 Nmm

Mpr^- = 722,989,486 Nmm

4.6.12 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal Balok 500 x 800



Gambar 4.53 Letak Balok 500 x 800 (Tipe Balok B 472 Lantai 1)

Balok yang akan didesain dengan data-data desain sebagai berikut:

Lebar Balok (bw) = 500 mm

Tinggi Balok (h) = 800 mm

Selimut Beton (cb) = 40 mm

Mutu Beton Fc' = 30 Mpa

fy ulir = 420 Mpa

fy sengkang ulir = 280 Mpa

Diameter Tul. Pokok = 25 mm

Diameter Tul. Sengkang = 13 mm

L Balok = 8000 mm

Es Baja = 200000 Mpa

Ln Balok Bersih = 7100 mm

P balok anak dari tributari beban area pelat = 87.8192

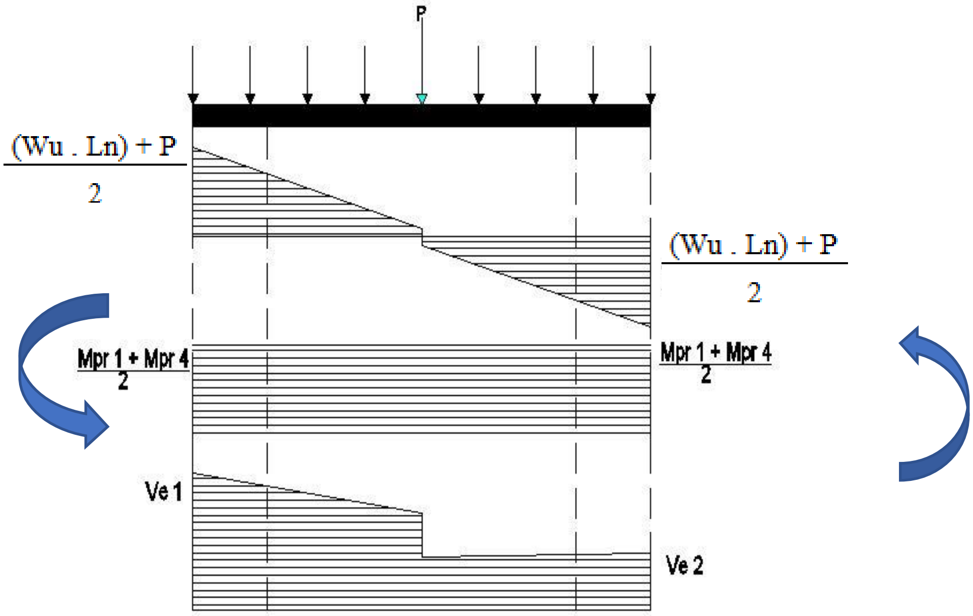
Wu balok dari tributari beban area pelat = 25.47776

A. Menghitung Gaya Geser Desain

Menghitung gaya geser desain dihitung berdasarkan momen ujung balok atau probable moment capacities (Mpr). Momen ujung dihitung berdasarkan nilai tegangan Tarik baja sebesar 1,25 fy dan factor reduksi kekuatan lentur ϕ = 1

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kiri

Wu = 1,2 D + 1,0 L



Momen ujung tumpuan kiri negatif (Mpr 1)

Mpr1 = Mpr – kiri balok (fy.1.25)

= 722,989,486 N.mm

Momen ujung tumpuan kanan positif (Mpr 4)

Mpr4 = Mpr + kanan balok (fy.1.25)

= 764,015,705 N.mm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$V_{q\ kiri}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$

= 90,489.96 N

$V_{q\ kanan}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$

= 90,489.96 N

V_{sway} $= \frac{M_{pr\,1}+M_{pr\,4}}{In}$ $= \frac{722{,}989{,}468.18+764{,}015{,}705}{7{,}100}$

= 209,437.4 N

Gaya geser akibat goyangan ke kiri :

V_{el} $= V_{sway} + V_{q\ kiri}$

= 209,437.4 + 90,489.96

= 299,927.31 N

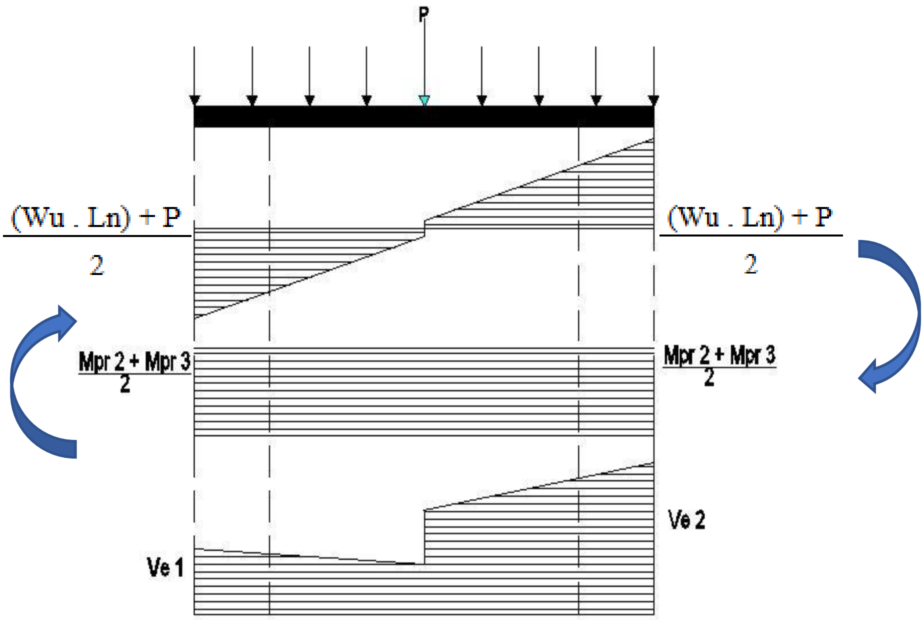
V_{e2} $= V_{sway} - V_{q\ kanan}$

= 209,437.4 - 0.00

= 209,437.35 N

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kanan

Wu = 1,2 D + 1,0 L



Momen ujung tumpuan kiri Positif (Mpr 2)

$M_{pr\ 2}$ = Mpr + tumpuan kiri

= 764,015,705 N.mm

Momen ujung tumpuan kanan Negatif (Mpr 3)

$M_{pr\ 4}$ = Mpr - tumpuan kanan

= 722,989,486 N.mm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$$V_{q\ kiri} = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$$

$$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$$

= 90,489.96 N

$$V_{q\ kanan} = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$$

$$= \frac{(25.48 \times 7.100)+87.82}{2}$$

= 90,489.96 N

$$V_{Mpr} = \frac{M_{pr\ 1}+M_{pr\ 4}}{In} = \frac{722{,}989{,}468.18+764{,}015{,}705}{7{,}100}$$

= 209,437.4 N

Gaya geser akibat goyangan ke kiri :

V_{el} = V_{Mpr} - $V_{q\ kiri}$

= 209,437.4 - 90,489.96

= 118947,39 N

$V_{e2} \quad = V_{Mpr} + V_{q\ kanan}$

= 209,437.4 – 90,489,96

= 299927,31 N

B. Tulangan Geser Didaerah Sendi Plastis

SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 menyatakan daerah sendi plastis sepanjang 2h dari muka kolom, maka konstribusi beton dalam menahan geser Vc = 0 apabila :

c. Gaya geser akbiat gempa melebihi ½ atau lebih dari kekuatan geser maksimum disepanjang bentang.

d. Gaya tekan aksial terfaktor, Pu termasuk pengaruh gempa kurang dari Ag.fc'/20

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4) yaitu S = d/4, S = 6 x db dan S = 150 mm.

Syarat a :

Arah Gempa	**Geser Gempa (N)**	**Tump. Kiri**		**Tump. Kanan**	
		Ve (N)	**0,5 Ve (N)**	**Ve (N)**	**0,5 Ve (N)**
Kanan	299,927.31	299,927.31	149,963.654	209,437.3509	104,718.675
Kiri	299,927.31	118,947.393	59,473.6966	299,927.308	149,963.65

Syarat b :

Nilai Pu = 0 kN < Agfy'/20.fc'

pu = 0 N $< \frac{400,000\ x\ 420}{20\ x\ 30}$ = 280000 N (OK)

Karena kedua syarat diatas terpenuhi maka Vc atau gaya geser yang diakibatkan beton dianggap 0

maka Vc = 0 KN

C. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kiri

Ve	= 299,927.3 N	fc	= 30.0	bw	= 500 mm
d	= 734.50 mm	d	= 734.5	fy	= 280 Mpa
		d tul utama	= 25 mm		

Karena Vu > ϕ Vc, maka Vs dihitung dengan:

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$ (SNI 2847-2019 22.5.10.1)

$= \frac{299{,}927.3}{0.75} - 0 = 399{,}903.1$

$V_{s\ max}$ = 0.66 $\sqrt{f'c}$ x bw x d

$V_{s\ max}$ = 0.66 $\sqrt{30.0}$ x 400 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 399,903.1 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 13 = Av : 531 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{531 \times 280 \times 734.50}{369903.1} = 272{,}90\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 150 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{531 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 737,570 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 727,570

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 727,570 N

= 545,677.7 N > Ve = 299,927.31 N (Aman)

D. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kanan

Ve	= 299,927.3 N	fc	= 30.0	bw	= 500 mm
d	= 734.50 mm	d	= 734.5	fy	= 280 Mpa

d tul utama = 25 mm

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$ d utama = 25 mm

$= \frac{299{,}927.3}{0.75} - 0 = 399{,}903.1$

$V_{s\ max}$ = 0.66 x 30 x 400 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 399,903.1 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 13 = Av : 531 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{531 \times 280 \times 734.50}{369{,}903.1} = 272\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 150 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal:

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{531 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 737,570 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 727,570

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 727,570 N

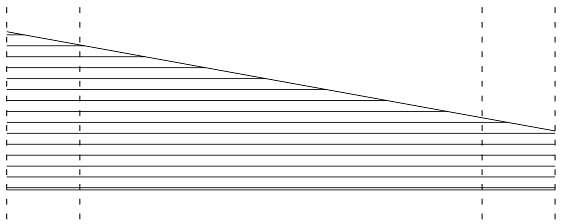
= 545,677.7 N > Ve = 299,927.31 N (Aman)

E. Tulangan Geser Didaerah Luar Sendi Plastis

h	= 800 mm	2h = 1,600 mm	fc	= 30.0 Mpa
l	= 8,000 mm		d	= 734.5 mm
Ve kiri	= 299,927.3 N		bw	= 500 mm
Ve kanan	= 209,437.35 N			

Ve kiri 299,927.3 N

V_e Lap



Ve kanan 209,437.35 N

l= 8000 mm

2 h = 2 x 800

= 1,600 mm

Menghitung Nilai Ve lap menggunakan persamaan segitiga sebagai berikut:

$\frac{I-2h}{I}$ $= \frac{Ve\ lap}{Ve\ kiri - Ve\ kanan}$

$V_{e\ lap}$ $= \frac{(8000-1{,}600)\times(299{,}927.3-209{,}437.35)}{8.000} + 209{,}437.35$

= 281,829.32 N

Vc = 0.17 x λ x fc x bw x d

= 0.17 x λ x 30.0 x 500 x 734.50

= 341,956.9 N

v_s $= \frac{Ve\ lap}{\phi} - Vc$

$= \frac{281{,}829{,}3}{0.75} - 341{,}956.9$

= 33,815.54 N

$V_{s\ max}$ = 0.66 x fc x bw x d

= 0.66 x 30.0 x 500 x 734.50

= 1,327,597.3 N

Vs dipakai = 33,815.54 N

Dipakai sengkang 2 kaki D 13 = Av : 265 mm

S $= \frac{Av\times fy\times d}{Vs} = \frac{265\times280\times734.50}{33{,}815.54} = 1.613.69\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6)

Sehingga dipakai sengkang : 2 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As\times fy\times d}{s} = \frac{265\times280\times734.5}{150}$

= 36,785 N

Vn = Vc + Vs

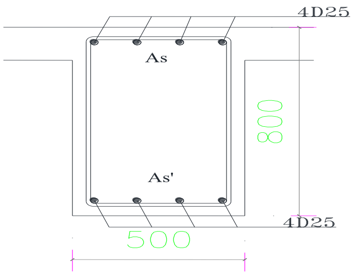
= 341,957 + 363,785 = 705,742 N

ɸ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 705,742 N

= 545,677.7 N > Vu = 281,829.317 N (Aman)

Perhitungan Penulangan Torsi :



Acp = 500 x 800

= 400000 mm²

Pcp = 2 (500 + 800)

= 2600 mm

$$\phi\, Tnc = \phi\ 0.083\ \lambda\ \sqrt{fc'}\left(\frac{Acp}{Pcp}\right)^2$$ SNI 2847:2019 Pasal 22.7.4.1

$$= 0.75\ \ 0.083\ 1\ \sqrt{30}\left(\frac{160{,}000{,}000{,}000}{2{,}600{,}000}\right)^2$$

= 20,981,987.20 Nmm

= 20.98 KNm < Tu = 11.99 KNm

Dari perhitungan di atas Tnc lebih besar, maka tidak diperlukan tulangan torsi

Balok	Tulangan Transversal	
	Dalam Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
B2 50 x 80	4 Ø 13 - 150	2 Ø 13 - 150

Panjang penyalurann tulangan balok induk :

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3:

Data - data Parameter :

db = 25 mm **Ψ**t = 1.0 λ = 1.0

fc = 30 Mpa **Ψ**e = 1.0

fy = 420 Mpa **Ψ**s = 0.8

cb = Deck + D tul Geser + 0,5 D tul Utama

= 40 + 13 + 12.5 = 65.5 mm

Ktr = 0 (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3)

(cb + ktr)/db $= \frac{65.5+0}{25.00} = 2.62$ > 2.5 diambil = 2.5

$I_d = \frac{fy}{1.1\sqrt{\lambda}fv} \times \frac{\varphi t\ \ \varphi e\ \varphi s}{)cb+ktr)/db}$

$= \frac{420}{6.024} \times \frac{1\ 1\ 0.8}{2.5} \times 2.5$ = 557.681 mm

ld min = 300 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.1)

maka dipakai: 600 mm

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan :

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.9 :

ldc 1 $= \frac{0.24 \times fy \times \varphi e \times db}{\lambda\sqrt{x}fc} = \frac{0.24 \times 420 \times 1 \times 25}{1.0 \times \sqrt{30}}$ = 460 mm

ldc 2 = 0.043 x 420 x 25

$= 451{,}5$ mm

ldc min = 200 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.9.1)

dipakai: 600 mm

Panjang Kait :

Panjang penyaluran dibutuhkan oleh kait menurut SNI 2847-2019 pasal 25.4.3.1 dapat dihitung untuk kait 90˚sebagai berikut :

$L_{dh} = \left(\frac{0{,}24 \text{ x } \Psi e \text{ x } fy}{\lambda \text{ x } \sqrt{fc'}}\right) \text{ x db}$

$= \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{1.0 \times \sqrt{30}} \times 25$

$= 460{,}1$ mm

maka dipakai ldh: 500 mm

Persyaratan mengenai kait ada dalam SNI 2847-2019 pasal 25.3.1 yaitu :

4. Batang tulangan D10-D16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 6db
5. Batang tulangan D19, D22 dan D25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 12db
6. Batang tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan 6db

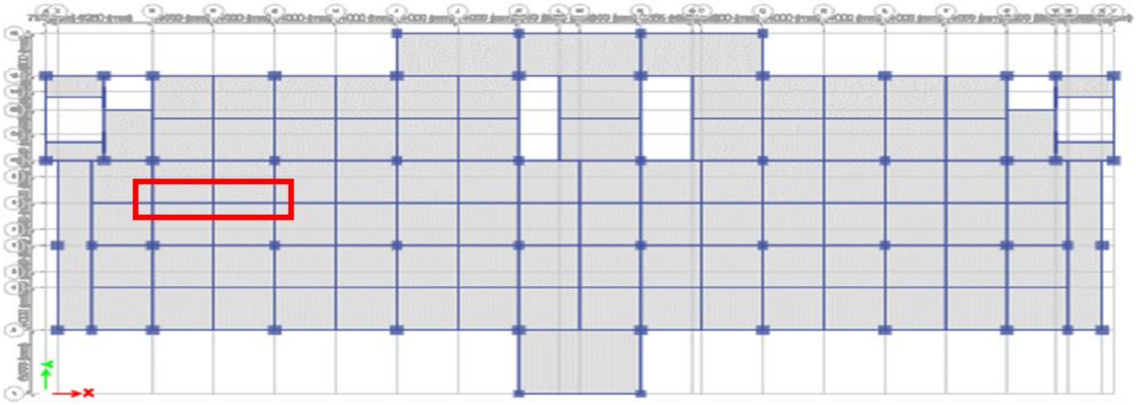
Sehingga karena tulangan yang dipakai yaitu D25, maka panjang bengkokan :

12 db $= 12 \text{ x } 25$

$= 300$ mm

$= 270$ mm

4.6.13 Penulangan Balok 350 x 700 mm (Pada Balok 463 Lantai 1)



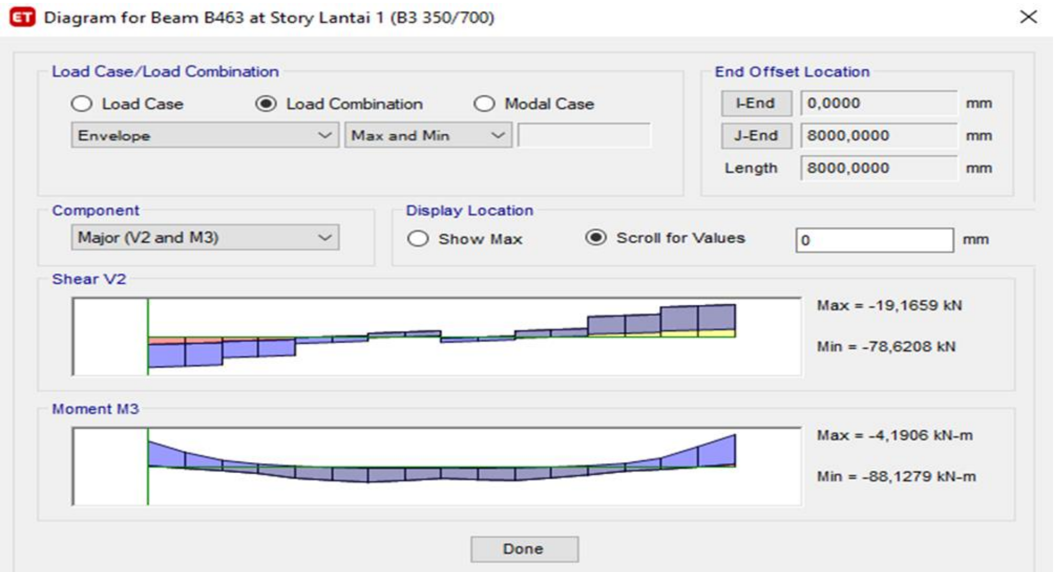
Gambar 4.54 Letak Balok 350 x 700 (Tipe Balok B 463 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut :

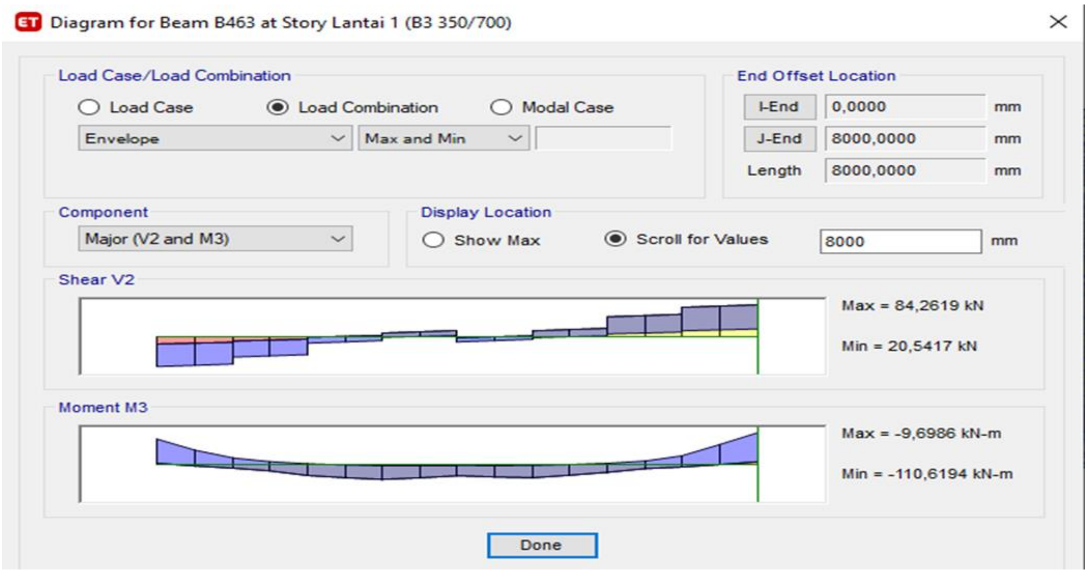
Lebar Balok bw	= 350 mm
Tinggi Balok h	= 700 mm
Selimut Beton cb	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	= 30 Mpa
fy ulir	= 420 Mpa
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 22 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 13 mm
L Balok	= 8000 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 7100 mm
Tebal Plat hf	= 120 mm

Momen terfaktor :

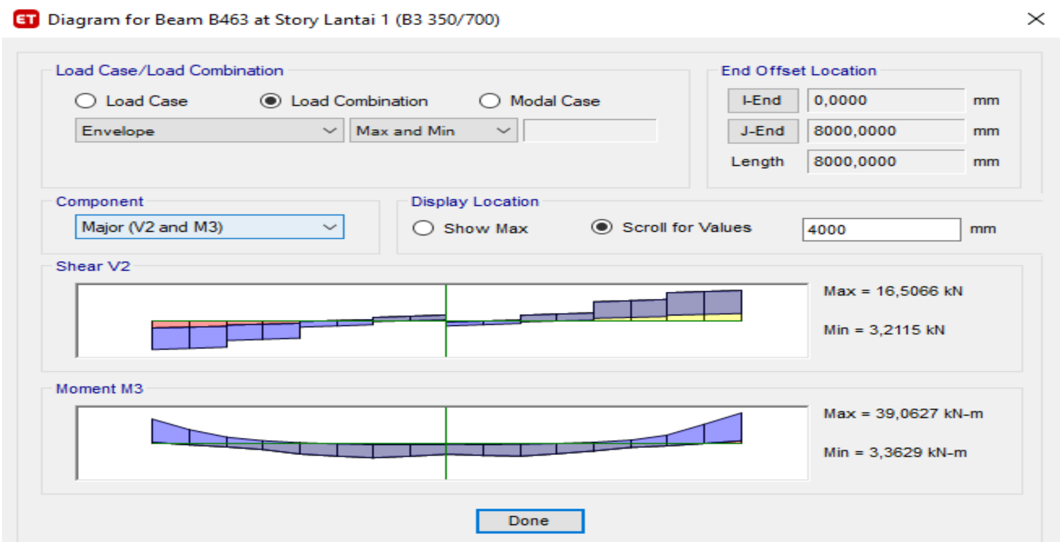
Tumpuan Kiri +	= 4,1906 kNm
	= 88,1279 kNm
Tumpuan Kanan +	= 9,6986 kNm
	= 110,6194 kNm
Lapangan +	= 39,0627 kNm
	= 3,3629 kNm



Gambar 4.55 Momen Tumpuan Kiri



Gambar 4.56 Momen Tumpuan Kanan



Gambar 4.57 Momen Lapangan

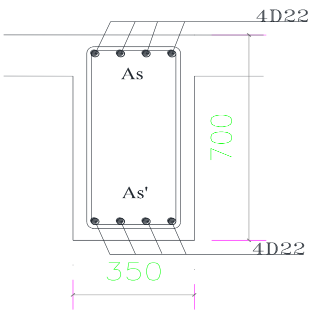
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \le f_c' \le 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \ge 55$	0,65	c)

β1 = 0,85- [30 -28] x 0. 05

= 0, 84

4.6.14 Perhitungan Penulangan Pada Kondisi Momen Maksimum



Gambar 4.58 Rencana Penulangan Balok 350 x 700

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 700 - 64,00

= 636,00 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$$As\min = \frac{0,25\sqrt{Fc'}}{Fy}\,bw\,d = \frac{0,25\sqrt{30}}{420}\,400\,x\,636,00 \quad = 725,732\text{ mm}^2$$

$$As\min = \frac{1,4\text{ bw d}}{\text{Fy}} = \frac{1,4\,x\,400\,x\,636,00}{420} = 742\text{ mm}^2$$

Maka tulangan minimal adalah = 742 mm^2

b. Tulangan maksimal harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

As max = 0,75 x $\frac{0,85\,Fc'\beta 1}{Fy}$ x $\frac{600}{600+\,Fy}$ bw x d

As max = 0,75 x $\frac{0,85\;\;30\;0,8}{420}$ x $\frac{600}{600+\,420}$ 350 x 636

As max = 4982,9 mm^2

c. Syarat spasi tulangan pada Sni 2847-2019 pasal 25.2.1 :

3. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
4. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 pasal 6.3.2.1. tidak boleh melebihi salah satu sisi :

4. Be < 6 x tebal pelat + bw

   Be < 6 x 120 + 350

   Be < 1070 mm
5. Be < Sw / 2 + bw (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < 2900 / 2 + 350

   Be < 1800 mm
6. Be < Ln x 1 / 12 + bw (Ln: panjang bersih balok)

   Be < 7200 x 1 / 12 + 350

   Be < 950 mm

   Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 950 mm

Kedua sisi :

1. Be < 8 x tebal pelat x 2 + bw

   Be < 8 x 120 x 2 + 120

   Be < 2040 mm
2. Be < Sw / 2 + bw

   Be < 2900 / 2 x 2 + 350

   Be < 3250 mm

3. Be < Ln x 1 / 12 + bw

Be < 7200 x 1 / 12 x 2 + 350

Be < 1550 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1550

A. Perhitungan penulangan tumpuan kiri

Mu + = 4,19060 kNm

= 4190600 Nmm

Mu - = 88,12790 kNm

= 88127900 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas) As 4D 22 = 1520 mm²

Tulangan di daerah (bawah) As'4D 22 = 1520 mm²

Momen Negatif :

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \ x \ b \ x \ d}$$

$$= \frac{88127900}{0{,}9 \ x \ 350 \ x \ 636^{2}}$$

$$= 0{,}69$$

$$\rho = \frac{Mu \ x \ F'c}{Fy} \text{ x } \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \ x \ Rn}{0{,}85 \ F'c}}\right)$$

$$= \frac{0{,}85 \ x \ 30}{420} \text{ x } \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \ x \ 0{,}69}{0{,}85 \ x \ 30}}\right)$$

$$= 0{,}001669755$$

$$\rho \text{ min} = \frac{\sqrt{F'c}}{4 \ x \ Fy}$$

$$\frac{\sqrt{30}}{4 \ x \ 420} = 0{,}0032603$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1{,}4}{Fy}$$

$$\frac{1{,}4}{420} = 0{,}0033$$

$$\rho \text{ balance} = \frac{0{,}85 \ x \ F'c \ x \ \beta 1}{fy} \ x \ \left(\frac{600}{600+fy}\right)$$

$= \frac{0,85\ x\ 30\ x 0,8}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,001669755 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,00167 x 350 x 636

=371,6874 mm²

As tul = D22

= 380,3 mm²

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{371,6874}{380,3}$

= 6 tulangan D 22

Momen Positif

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{4190600}{0,9\ x\ 400\ x\ 636^2}$

= 0,43

$\rho = \frac{0,85 x F'c}{fy}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0,85\ F'c}}$

$= \frac{0,85 x 30}{420}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0,4333}{0,85\ \ 30}}$

= 0,0001

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 420}$

= 0,0033

ρ balance$= \frac{0,85\ x\ F'c x \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0,85\ x\ 30 x 0,8}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0298

= 0,022385204

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,0010 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,001040608 x 400 x 420

= 174,8221224 mm²

As tul = D 22

= 380,3 mm²

n tul = $\frac{As}{As\ tulangan}$

= $\frac{174{,}8221224}{380{,}3}$ = 3 tulangan D 22

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

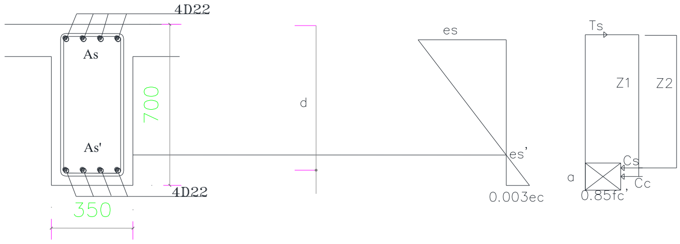
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 700 - 64,000

=636,0 mm



Gambar 4.59 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kiri

Cc + Cs = T1

Cc = 0,85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc= 0,003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0{,}003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ fc'b\ ) + \left(As' \frac{c-d'}{c}\right) 600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c - 600 d' As' = 1520 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' =638299,2 c

0,85 x 30 x 0,8 x c^2 x 350 + 600 x 1520 x c – 600 x 64 x1520 = 638299,2 c

7458,75 c^2 + 911856 c – 58358784 = 638299,2 c

7458,75 c^2 + 911856 c – 638299 c - 58358784 = 0

7458,75 c^2 + 273557 c – 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

c $= -273557 \pm \frac{\sqrt{74833322826 - 4\ x\ 7458{,}75\ x\ (-58358784)}}{2\ x\ 7458{,}75}$

c^+ $= -273557 + \frac{\sqrt{74833322826 - 4\ x\ 7458{,}75(-58358784\ )}}{2\ x\ 7458.75}$

= 72,00

c^{-} = -273557 - $\frac{\sqrt{74833322826-4\,x\,7458{,}75(-58358784\,)}}{2\,x\,7458.75}$

= -108,6734

7458,75 x 5183,6297 + 273556,8 x 72,00 - 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 72,00 > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 71,997

= 60,17 mm

Menghitung regangan tulangan :

$$\varepsilon s' = \frac{c - d'}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{72 - 64{,}0}{71{,}997}\ x\ 0{,}003$$

= 0,0003 < εy = 0,002 tulangan belum leleh

$$\varepsilon s = \frac{d - c}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{636 - 72}{71{,}997}\ x\ 0{,}003$$

= 0,024 > εy = 0,002 tulangan sudah leleh

$$\varepsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{420}{200000} = 0{,}002$$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= 0,0003 x 200000

= 66,6 Mpa < 420 Mpa maka di pakai fs' = 66,6 Mpa

Fs = εs x Es

= 0,0235 x 200000

= 4700 Mpa > 420 Mpa maka di pakai fy = 420 Mpa

menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik : Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0235 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0,85 x 30 x 60,1693 x 350

= 537010,8 N

Cs = As' x fs'

= 1519,76 x 66,6

= 101288,4 N

Ts = As x fy

=1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cc +Cs = Ts

537010,81 + 101288,38 = 638299,20

638299,20 = 638299,20 (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

=636,000 - ½ x 60,1693

= 605,9 mm

Momen nominal (Mnb) :

Mn = T . Z1

= 638299,2 x 605,915

= 386755290 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0,9 x 386755290

= 348079761 Nmm

ϕMn > Mu

348079761Nmm > 88127900 Nmm (Memenuhi)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

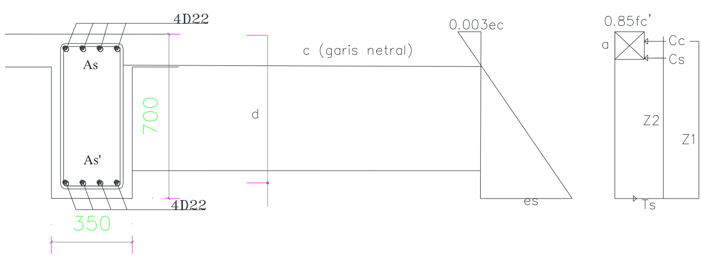
= 40 + 13 + ½ x 22

= 64, mm

d = h - d'

= 700 - 64,00

= 636,0 mm



Gambar 4.60 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\, Fc'a\, b\,) + As\,\left(\frac{c-d''}{c}\right)\,600\,] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc' a b c) + As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1520 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,8 c^2 1550 + 600 x 1520 x c - 600 x 64 x 1520 = 638299 c

33032 c^2 + 911856 c + -58358784 = 638299 c

33032 c^2 + 911856 c + -638299 c + -58358784 = 0

33032 c^2 + 273557 c + -58358784 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$c = \frac{-273556,8 \pm \sqrt{74833322826 - 4\,(33032)x(-58358784)}}{2x(33032)}$

$C^{+} = \frac{-273556,8 + \sqrt{7785571028518}}{66063,214}$

= 38,095

$C^{-} = \frac{-273556,8 - \sqrt{7785571028518}}{66063,21}$

= -46,3771

33032 x 1451,2621 + 273556,8 38,1 + -58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 38,1 < 64,00 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0,84 x 38,095

= 31,837 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c}$ x εc

  $= \frac{64 - 38,1}{38,10}$ x 0,003

  = 0,0021 (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c}$ x εc

$= \frac{636 - 38,1}{38,1}$ x 0,003

= 0,047 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= 0,0020 x 200000 Mpa

= 407,99 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

fs = εs x Es

= 0,0471 x 200000 Mpa

= 9416,9 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0471 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 30 x 1550

= 1258353,4 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1519,76 x 407,9948

= 620054,21 N

Ts2 = As x fy

= 1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cc = Ts1 + Ts2

1258353,406 = 620054,2 + 638299,2

1258353,406 = 1258353,406 (metode keseimbangan terpenuhi)

➢ Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 64 - \frac{1}{2} x\ 31{,}8$

= 48 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 636 – 0,5 x 31,8

= 620 mm

➢ Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 620054,21 N x 48,08 mm + 638299,2 N x 620 mm

= 425610752,679 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 425610752,679 Nmm

= 383049653,111 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^{-}

383049653,111 Nmm > 9698600 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn -

425610725,68 > ½ 386755289,76

425610725,68 > 193377645 (Memenuhi)

B. Perhitungan penulangan tumpuan kanan

Mu + = 9,69860 kNm

= 9698600 Nmm

Mu - = 110,61940 kNm

= 1106199400 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

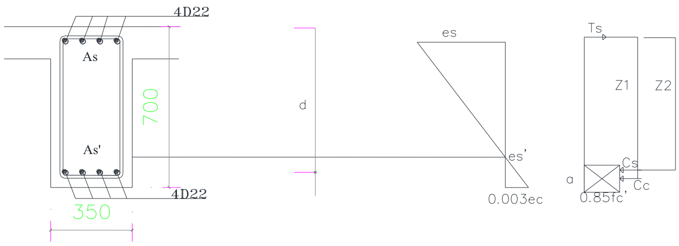
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d'

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.61 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \frac{c-d'}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As xfy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 1519,8 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 638299,2 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 350 + 600 x 1519,76 x c - 600 x 64 x 1519,76

= 638299,2 c

7458,75 c^2 + 911856 c - 58358784 = 638299,2 c

7458,75 c^2 + 911856 c - 638299,2 c – 58358784 = 0

7458,75 c^2 + 273556,8 c - 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-273556{,}8 \pm \sqrt{74833322826 - 4\,x(7459)(-58358784)}}{2x(7458{,}75)}$$

$$C^+ = \frac{-273556{,}8 + \sqrt{1815967643466}}{14917{,}5}$$

= 71,997

$$C^- = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{1815967643466}}{14917{,}5}$$

= -108,6734

7458,8 x 5183,6297 + 273556,8 x 71,9974 - 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 72 > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 72

= 60,169 mm

Menghitung Regangan Tulangan

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{71{,}997-64}{71{,}997}$ x 0,003

  = 0,0021 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{636 - 72}{72}$ x 0,003

  = 0,0235 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,0021, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = εs' x Es

  = 0,0235 x 200000 Mpa

  = 66,6 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs')

  fs' = εs' x Es

  = 0,0235 x 200000 Mpa

  = 4700,2 Mpa > fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 200000 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc’ x a x b

= 0,85 x 30 x 60,17 x 350

= 537010,82 N

Cs = As’ x fs’

= 1519,76 x 66,648

= 101288,38 N

Ts = As x fy

= 1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ts

537010,8184 N + 101288,38 N = 638299,2 N

638299,2 N =638299,2 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 636 - $\frac{1}{2}$x 60,169

= 605,92 mm

Mn = T x Z1

=638299,2 N x 605,92 mm

= 386755290 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 386755290 Nmm

= 348079761 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu

348079761 Nmm > 110619400 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen positif :

Tulangan tarik As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

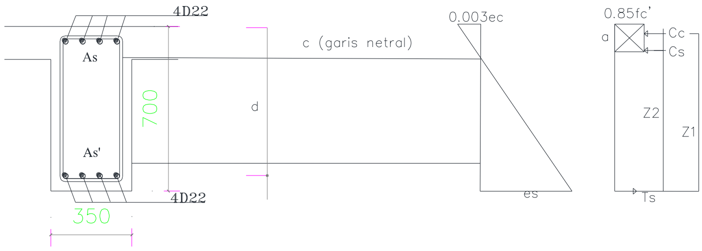
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d'

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.62 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \frac{c-d'}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As'\ \frac{c-d'}{c}\ 600 = A_s\, fy$

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As xfy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 1519,8 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 638299,2 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1550 + 600 x 1519,76 x c - 600 x 64 x 1519,76

= 638299,2 c

33031,6 c^2 + 911856 c - 58358784 = 638299,2 c

33031,6 c^2 + 911856 c - 638299,2 c – 58358784 = 0

33031,6 c^2 + 273556,8 c - 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c=\frac{-273556{,}8\pm\sqrt{74833322826-4\,x(33032)(-58358784)}}{2x(33031{,}6)}$$

$$C^{+}=\frac{-273556{,}8+\sqrt{7785571028518}}{66063{,}21}$$

= 38,095

$$C^{-}=\frac{-273556{,}8-\sqrt{1815967643466}}{14917{,}5}$$

= -46,3771

7458,8 x 5183,6297 + 273556,8 x 71,9974 - 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 38,095 < 64,00 OK

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka dihitung ulang dengan persamaan sebagai berikut:

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 x Fc x a x b = As' x fs' + As x Fy

Substitusikan nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{d'-c}{c}\right) Es$

εc = 0,003

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) \varepsilon c' \, Es$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right)$ 0,003 x 200000

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) 600$

(0,85 F'c a b) = $As' \, \frac{c-d'}{c} \, 600$ + A_s fy

(0,85 fc' a b) = 600 As'c -600 d' As'+ As xfy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c = 600 As' c - 600 d' As' + 1520 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c – 600 d' As' + 1520 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1550 = 600 x 1520 x c - 600 x 64 x 1520

+ 638299,2 c

33031,6 c^2 + 911856 c - 58358784 = 638299,2 c

33031,6 c^2 + 911856 c - 638299,2 c – 58358784 = 0

33031,6 c^2 + 273556,8 c - 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

C= $\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$$c = \frac{-273556{,}8 \pm \sqrt{74833322826 - 4\,x(33032)(-58358784)}}{2x(33031{,}6)}$$

$$C^{+} = \frac{-273556{,}8 + \sqrt{7785571028518}}{66063{,}21}$$

$= 38{,}095$

$$C^{-} = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{1815967643466}}{14917{,}5}$$

$= -46{,}3771$

7458,8 x 5183,6297 + 273556,8 x 71,9974 - 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 38,095 < 64,00 OK

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih kecil dari d',maka dilanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 38,095

= 31,837 mm

Menghitung Regangan Tulangan

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d' - c}{c} \times \varepsilon c$

  $= \frac{64 - 38{,}1}{38{,}1} \times 0{,}003$

  $= 0{,}0021$ (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c} \times \varepsilon c$

  $= \frac{636 - 38{,}1}{38{,}1} \times 0{,}003$

  $= 0{,}047$ (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{420}{200000}$

  $= 0{,}002$

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs’):

fs’ = εs’ x Es

= 0,002 x 200000 Mpa

= 407,99 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs’)

fs’ = εs’ x Es

= 0,0471 x 200000 Mpa

= 9416,9 Mpa > fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0471 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc’ x a x b

= 0,85 x 30 x 31,8 x 1550

= 1258353,4 N

Ts1 = As’ x fs’

= 1519,76 x 407,9948

= 620054,21 N

Ts2 = As x fy

= 1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ts

1258353,406 N =620054,21 N + 638299,2 N

1258353,406 N =1258353,406 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 64 - $\frac{1}{2}$x 31,8

= 48 mm

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 636 - $\frac{1}{2}$x 31,8

= 620 mm

➢ Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

=620054,21 x 48,08 + 638299,2 x 620

= 425610725,679 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 425610725,679 Nmm

= 383049653,111 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu

383049653,111 Nmm > 9698600 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn -

425610725,68 > ½ 386755289,76

425610725,68 > 193377645 (Memenuhi)

C. Perhitungan penulangan lapangan

Mu + = 39,06 kNm

= 39062700 Nmm

Mu = 3,3629 kNm

= 3362900 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan bawah As 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan atas As'2 D 22 = 759,88 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan bawah As 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan atas As'2 D 22 = 759,88 mm²

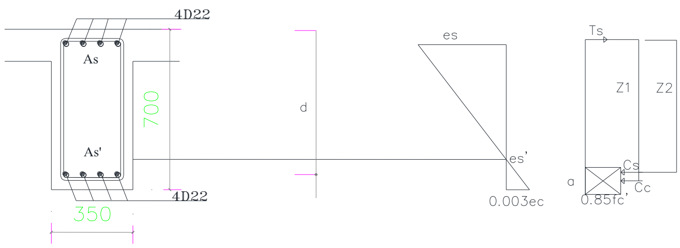
d' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h – d”

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.63 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d’ maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c} \ \ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c} \ \ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 759,9 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 400 + 600 x 759,9 x c - 600 x 64 x 759,9

= 319149,60 c

7458,75 c^2 + 455928 c + -29179392 = 0

7458,75 c^2 + 455928 c + -319150 c + -29179392 = 0

7458,75 c^2 + 136778 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$= \frac{-136778{,}4 \pm \sqrt{18708330707^2 - 4\ \mathrm{x}\ (7459)\mathrm{x}(-29179392)}}{2\ \mathrm{x}\ 7459}$

$= \frac{-136778{,}4 \pm \sqrt{18708330707^2 - 4\ \mathrm{x}\ (7459)\mathrm{x}(-29179392)}}{2\ \mathrm{x}\ 7459}$

c+ $= \frac{-136778{,}4 + \sqrt{1013642228215}}{1748{,}5714}$

= 54,046

c- $= \frac{-136778,4-\sqrt{1013642228215}}{1748,5714}$

= -72,384

8524,3 x 2604,247 + 136778,4 x 51,03 + -29179392 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 54,046 < 64,0 (OK)

Karena c < d' tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

a = β1 x c

= 0,84 x 54,0

= 45,167 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

  $= \frac{54,0 - 64,0}{54,0}$ x 0,003

  = -0,0006 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{636 - 54,0}{54,0}$ x 0,003

  = 0,0323 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

fs' = εs' x Es

= -0,0006 x 200000 Mpa

= -110,5 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs'= -111 Mpa)

Fs = εs x Es

= 0,0323 x 200000 Mpa

= 6460,6 Mpa > fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fs'= 420 Mpa)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0403 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b
= 0,85 x 30 x 45,2 x 350
= 403117,8 N

Cs = As' x fs
= 759,88 x -110,502
= -83968,22 N

Ts = As x fy
= 759,9 x 420
= 319149,6 N

Cek kondisi seimbang :

Cc	+	Cs	=	T1
403117,823	+	-83968,22	=	319149,6 N
319149,6 N	=	319149,6 N	(kondisi seimbang terpenuhi)	

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a
= 636,0 - $\frac{1}{2}$x 45,2
= 613,4 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1
= 399149,6 N x 613,42 mm
= 195771588,627 Nmm

Mr = ΦMn
= 0,9 x 195771588,627 Nmm
= 176194429,8 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu :

ΦMn > Mu

176194429,8 Nmm > 3362900 Nmm (AMAN)

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 22 = 759,88 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 22 = 759,88 mm²

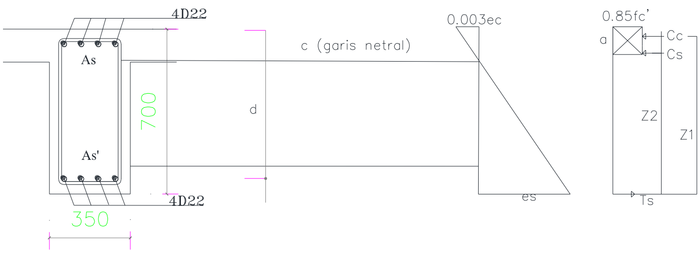
d'' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h - d'

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.64 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F’c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc’ a b) + 600 As’c -600 d’ As’= As x fy

Distribusi :   a = β1   c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As'   = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As'   = 759,9 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1550 + 600 x 759,9 x c - 600 x 64 x 759,9

= 319149,60 c

33031,6 c^2 + 455928 c + -29179392 = 0

33031,6 c^2 + 455928 c + -319150 c + -29179392 = 0

33031,6 c^2 + 136778 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-136778{,}4 + \sqrt{18708330707^2 - 4\ x\ (33032)x(-29179392)}}{2\ x\ 33032}$$

$$= \frac{-136778{,}4 \pm \sqrt{18708330707^2 - 4\ x\ (33032)x(-29179392)}}{2\ x\ 33032}$$

$$c+ = \frac{-136778{,}4 \pm \sqrt{3874077183552}}{66063{,}21}$$

= 27,72

$$c- = \frac{-136778{,}4 - \sqrt{3874077183552}}{66063{,}21}$$

= -31,86

33031,6 x 768,5804 + 136778,4 x 27,72 + -29179392 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 27,723 < 64,0 (Tidak OK)

Karena nilai c < d' tulangan tekan Sebagian mengalami gaya Tarik maka nilai c harus dihiting ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{d''-c}{c}\right) Es$

$\varepsilon c = 0{,}003$

$fs' = \left(\frac{d''-c}{c}\right) \varepsilon c \; Es$

$fs' = \left(\frac{d''-c}{c}\right) 0.003\ 200000$

$fs' = \left(\frac{d''-c}{c}\right) 600$

(0,85 Fc' a b) $= As \left(\frac{c-d\prime\prime}{c}\right) 600$ + As fy

(0,85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy

Subtitusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c² b = 600 As' c – 600 d' As' + 760 x 420 x c

0,85 x 30 x 0.8 c² 1550 = 600 x 759,9 x c – 600 x 64 x 759,9 + 319051c

33032 c² + 455928 c +-29179392 c = 319051 c

33032 c² + 455928 c - 398937 c + -29179392 = 0

33032 c² + 136778 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

c $= \frac{-136778 \pm \sqrt{18708330707 - 4\,(33032)x\,(-29179392)}}{2\,x\,33032}$

c+ $= \frac{-56991 + \sqrt{3874077183552}}{66063{,}214}$

= 27,72

c- $= \frac{-136778 - \sqrt{3874077183552}}{66063{,}214}$

= -30,86

33032 (768,5804) +136778,4 (27,72) + (-29179392) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 27,72 < 64,00 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0.84 (27,72)

= 23,169 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{636 - 27{,}7}{27{,}7}$ x 0,003

= 0,004 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d - c}{c}$ x εc

$= \frac{636 - 27{,}7}{27{,}7}$ x 0,003

= 0,0658 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,004, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs’) :

  fs’ = εs’ x Es

  = 0,0039 x 200000 Mpa

  = 785,12 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  fs’ = εs’ x Es

  = 0,0658 x 200000 Mpa

  = 13165 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ɸ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0658 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

  maka diambil ɸ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

  Cc = 0,85 x fc’ x a x b

  = 0,85 x 30 x 23.2 x 1550

  = 915744,6 N

  Ts1 = As’ x fs’

  = 759,88 x 785,1174

  = 596594,98 N

  Ts2 = As x fy

  = 759,9 x 420

  = 319149,6 N

Cek kondisi seimbang :

Cc = Ts1 + Ts2

915744,6 N = 596594,98 N + 319149,6 N

915744,6 N = 915744,6 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

  Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

  $= 64{,}0 - \frac{1}{2} x\ 23{,}2$

  = 52,42 mm

  Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

  $= 636{,}0 - \frac{1}{2} x\ 23{,}2$

= 624,4 mm

- ➢ Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 319150 N x 52,42+ 319150x 624,4

= 216010424,839 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 216010424,8 Nmm

= 194409382,4 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

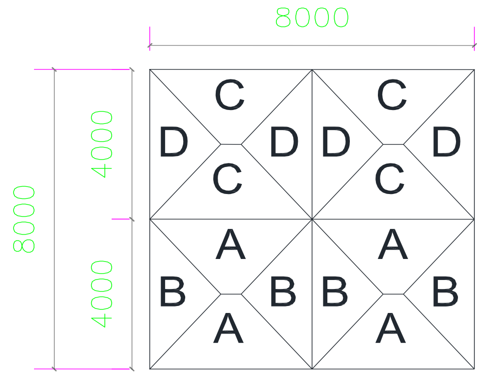
ΦMn > Mu

194409382,4 Nmm > 39062700 Nmm (AMAN)

Tabel 4.33 Data Penulangan Balok 350 x 700

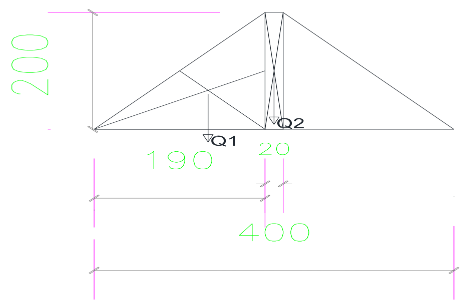
Lokasi		**Mu**	**keb. Tul**			**As psg**	**Mn**	**Ket.**
a	**b**							
Tump.	Kan. -	110.619.400	4	D	22	1521,143	348.079.761	Oke
	Kan +	55.309.700	4	D	22	1521,143	383.049.653	Oke
	kir -	88.127.900	4	D	22	1521,143	348.079.761	Oke
	kir +	44.063.950	4	D	22	1521,143	383.049.653	Oke
Lap	-	3.362.900	2	D	22	760,5714	176.194.430	Oke
	+	39.062.700	2	D	22	760,5714	194.409.382	Oke

4.6.15 Perhitungan Perataan Beban Gelagar Pada Balok 350 x 700 mm



Gambar 4.65 Perhitungan Perataan Beban Gelagar

a. Perataan beban tipe A



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 1,9

= 1,900 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 1,900 + 0,2

= 2,10 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

= 2,73 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

$= 2$ h m^2

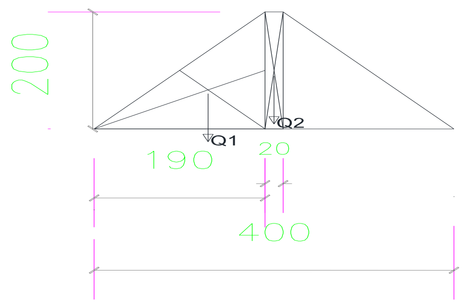
M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2,733}{2}$

= 1,3667 m < 1,90 m (OK)

b. Perataan beban tipe C



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 1,9

= 1,900 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 1,900 + 0,2

= 2,10 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

= 2,73 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

$= 2$ h m^2

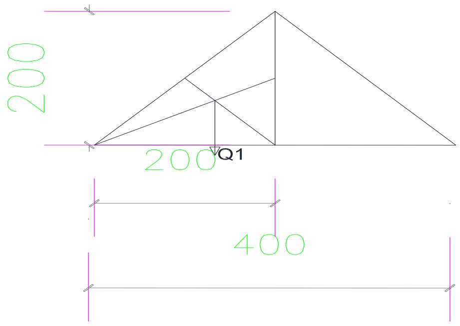
M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2,733}{2}$

= 1,3667 m < 1,90 m (OK)

c. Perataan beban tipe B



Q1 = $\frac{1}{2}$ x tinggi x alas

= $\frac{1}{2}$ x 2 x 2

= 2,000 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1

= 2,000

= 2,00 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,000 x 2) – (2,000 x 0,667)

= 2,67 m^2

M2 = $\frac{1}{8}$ x h x L^2

= $\frac{1}{8}$ x h x 4^2

= 2 h m^2

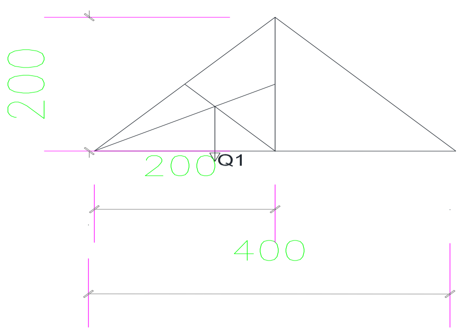
M1 = M2

2,733 = 2

H = $\frac{2,67}{2}$

= 1,333 m < 2 m (OK)

d. Perataan beban tipe D



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 2 x 2

= 2,000 m^2

Q2 = 0,1 x 2

= 0,2 m^2

RAV = RBV = Q1

= 2,000

= 2,00 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,000 x 2) – (2,000 x 0,667)

= 2,67 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x 4^2

= 2 h m^2

M1 = M2

2,733 = 2

H $= \frac{2,67}{2}$

= 1,333 m < 2 m (OK)

Tabel 4.34 Perataan Beban

Tipe	h
A	1,3667
B	1,3333
C	1,3667
D	1,3333

4.6.15.1 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Pada Sebelah Kanan Balok 350 x 700 mm

a. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,35 x (0,7 – 0,12)

= 0,203 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,203 x 24

= 4,79 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 5,123 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,333 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,552 kN/m

d. total beban mati

= 4,791 + 5,123 + 7,6

= 17,4748 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributary area)

berat = 1,333 x 2,87 x 2

= 7,653 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 17,4748 + 1 x 7,653

= 28,623 kN/m

V q kiri = 50,090 kN

4.6.15.2 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Pada Sebelah Kiri Balok 350 x 700 mm

a. beban sendidi balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,35 x (0,7 – 0,12)

= 0,203 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,203 x 24

= 4,79 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 4,349 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,333 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,552 kN/m

d. total beban mati

= 4,791 + 4,349 + 7,6

= 16,692 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

b. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 1,333 x 2,87 x 2

= 7,653 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 16,692 + 1 x 7,653

= 27,684 kN/m

V q kanan = 48,446 kN

P balok = 50,090 + 48,446

= 98,5365 kN

Jadi kesimpulan perhitungan beban mati yang bekerja pada balok :

e. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,35 x (0,7 – 0,12)

= 0,203 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,203 x 24

= 4.791 kN/m^3

f. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 5,547 kN/m

g. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,367 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,741 kN/m

h. total beban mati

= 4,791 + 5.547 + 7,7

= 18,079 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

b. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 1,367 x 2,87 x 2

= 7,844 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 18 + 1 x 7,845

= 29,561 kN/m

Jadi kesimpulan Wu dan P balok adalah :

Wu = 29,539

P balok= 98,537

4.6.16 Perhitungan Momen MPR Pada Balok 350 x 700 mm

Gambar 4.66 Letak Balok 350 x 700 (Tipe Balok B 491 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut :

Lebar Balok bw	= 350 mm
Tinggi Balok h	= 700 mm
Selimut Beton cb	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	= 30 Mpa
fy ulir	= 525Mpa
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 22 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 13 mm
L Balok	= 8000 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 7200 mm
Tebal Plat hf	= 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri + = 4,1906 kNm

= 88,1279 kNm

Tumpuan Kanan + = 9,6986 kNm

= 110,6194 kNm

Lapangan + = 39,0627 kNm

= 3,3629 kNm

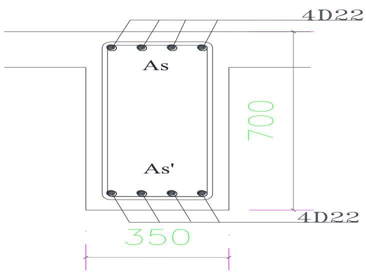
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \le f_c' \le 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0{,}85 - \frac{0{,}05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \ge 55$	0,65	c)

β1 = 0,85- [30 -28] x 0. 05

= 0, 84

4.6.17 Perhitungan Penulangan Pada Kondisi Momen Maksimum



Gambar 4.67 Rencana Penulangan Balok 350 x 700

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 700 - 64,00

= 636,00 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$As \min = \frac{0{,}25\sqrt{Fc'}}{Fy}\ bw\ d = \frac{0{,}25\sqrt{30}}{525}\ 350\ x\ 636{,}00$ = 580,586 mm^2

$As \min = \frac{1{,}4 \text{ bw d}}{\text{Fy}} = \frac{1{,}4\ x\ 350\ x\ 636{,}00}{525}$ = 593,6 mm^2

Maka tulangan minimal adalah = 593,6 mm^2

b. Tulangan maksimal harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

As max = 0,75 x $\frac{0{,}85\,Fc'\beta 1}{Fy}$ x $\frac{600}{600+Fy}$ bw x d

As max = 0,75 x $\frac{0{,}85\ \ 30\ 0{,}8}{525}$ x $\frac{600}{600+525}$ 350 x 636,00 mm^2

As max = 3614 mm^2

c. Syarat spasi tulangan pada Sni 2847-2019 pasal 25.2.1 :

5. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
6. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 pasal 6.3.2.1. tidak boleh melebihi salah satu sisi :

7. Be < 6 x tebal pelat + bw
   Be < 6 x 120 + 350
   Be < 1070 mm
8. Be < Sw / 2 + bw (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)
   Be < 2900 / 2 + 350
   Be < 1800 mm
9. Be < Ln x 1 / 12 + bw (Ln: panjang bersih balok)
   Be < 7100 x 1 / 12 + 350
   Be < 950 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 950 mm

Kedua sisi :

1. Be < 8 x tebal pelat x 2 + bw

Be < 8 x 120 x 2 + 350

Be < 2270 mm

2. Be < Sw/2 x 2 + bw

   Be < 2900 + 350

   Be < 3250 mm

3. Be < Ln x 1/12 x 2 + bw

   Be < 7100 x 1/12 x 2 + 350

   Be < 1550 mm

   Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 1550 mm

A. Perhitungan penulangan tumpuan kiri

Mu +	= 4,19060	kNm
	= 4190600	Nmm
Mu -	= 88,127900	kNm
	= 88127900	Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas)   As 4D 22 = 1520 mm²

Tulangan di daerah (bawah)   As'4D 22 = 1520 mm²

Momen Negatif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{88127900}{0,9\ x\ 350\ x\ 636^2}$

$= 0,69$

ρ $= \frac{Mu\ x\ F'c}{Fy}$ x $\left(1 - \sqrt{1} - \frac{2\ x\ Rn}{0,85\ F'c}\right)$

$= \frac{0,85\ x\ 30}{525}$ x $\left(1 - \sqrt{1} - \frac{2\ x\ 0,6917}{0,85\ x\ \ 30}\right)$

$= 0,001335804$

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ Fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 525}$ = 0,0026082 ρ min $= \frac{1,4}{Fy}$

$= \frac{1,4}{525}$ = 0,0027

ρ balance $= \frac{0,85\ x\ F'c\ x\ \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0,85\ x\ 30\ x 0,8}{525}\ x\ (\frac{600}{600+525})$

= 0,0216

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0216

= 0,016236735

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0027 ≤ 0,001641279 ≤ 0,016236735

As = ρ x b x d

= 0,001336 x 350 x 636

= 297,35 mm²

As tul = D22

= 380,3 mm²

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{592,2297}{380,3}$

= 6 tulangan D 22

Momen Positif

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{4190600}{0,9\ 350\ x\ 636^2}$

= 0,03

ρ $= \frac{0,85xF'c}{fy}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0,85\ F'c}}$

$= \frac{0,85x30}{525}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0,0329}{0,85\ x\ 30}}$

= 0,0001

ρ min $=\frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 525}$

= 0,0027

ρ balance= $\frac{0{,}85\ x\ F\prime c x \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30x0{,}8}{525}\ x\ (\frac{600}{600+525})$

= 0,0216

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0216

= 0,016236735

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0027 ≤ 0,0001 ≤ 0,016

As = ρ x b x d

= 0,00006269 x 350 x 525

= 11,51860296 mm²

As tul = D 22

= 380,3 mm²

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{11{,}51860296}{380{,}3} = 3$ tulangan D 22

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

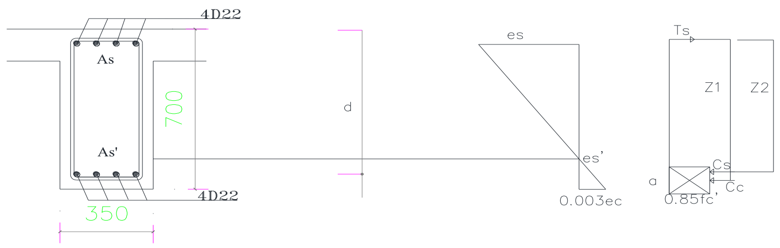
= 40 + 13 + ½ 22

= 64,00 mm

d = h - d"

= 700 - 64,000

=636,00 mm



Gambar 4.68 Penampang Balok dan Diagram Momen Negatif Tumpuan Kiri

Cc + Cs = T1

Cc = 0,85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

Ec = 0,003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0{,}003\ x\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ fc'b\ ) + \left(As'\frac{c-d'}{c}\right)\ 600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c - 600 d' As' = 1520 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 797874 c

0,85 x 30 x 0,8 x c^2 x 350 + 600 x 1520 x c – 600 x 64 x 1520 = 797874 c

7458,8 c^2 + 911856 c – 58358784 = 797874 c

7458,8 c^2 + 911856 c – 797874 c - 58358784 = 0

$7458{,}8\ c^2 + 113982\ c - 58358784 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c = $-113982 \pm \frac{\sqrt{12991896324 - (4\ x\ 7458{,}8\ x\ (-58358784))}}{2\ x\ 7458{,}8}$

c^+ = $-273557 + \frac{\sqrt{1754126216964}}{149117{,}5}$

= 81,14

c^- = $-113982 - \frac{\sqrt{1754126216964}}{149117{,}5}$

= -96,4248

7458,75 x 6584,204 + 113982 x 81,14 - 58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 81,14 > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 81,14

= 67,8 mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s' = \frac{c - d'}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{81{,}14 - 64{,}0}{81{,}14}\ 0{,}003$

= 0,0006 < εy = 0,002 tulangan belum leleh

$\varepsilon s = \frac{c - d'}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{636 - 81{,}1}{81{,}14}\ 0{,}003$

= 0,021 > εy = 0,002 tulangan sudah leleh

$\varepsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{525}{200000} = 0{,}003$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= 0,0006 x 200000

= 126,8 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = 126,8 Mpa

Fs = εs x Es

= 0,0205 x 200000

= 4103 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik : Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0205 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0,85 x 30 x 67,812 x 350

= 605226,1504 N

Cs = As' x fs'

= 1519,76 x 126,8

= 192647,8496 N

Ts = As x fy

= 1519,76 x 525

= 797874 N

Cc +Cs = Ts

605226,1504 + 192647,8496 = 797874,00

797874,00 = 797874,00 (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

=636,000 - ½ x 67,812

= 602 mm

Momen Mpr :

Mpr = T x Z_1

= 797874 x 602,094

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

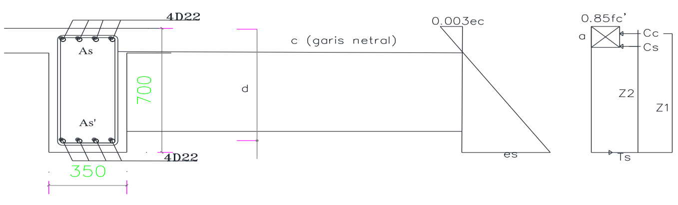
= 40 + 13 + ½ x 22

= 64, mm

d = h - d'

= 700 - 64,00

= 636,00 mm



Gambar 4.69 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\, Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\, Fc'a\, b\,) + As\, \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600\,] = As\, x\, fy$$

(0,85 Fc' a b c) + As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d'' As' = 1520 x 525x c

0,85 x 30 x 0,8 c^2 1550 + 600 x 1520 x c - 600 x 64 x 1520 = 797874 c

33032 c^2 + 911856 c + -58358784 = 797874 c

33032 c^2 + 911856 c + -797874c + -58358784 = 0

33032 c^2 + 113982 c + -58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C= \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4 \, x \, 33032 - 58358784}}{2 \, x \, 33032}$$

$$C^{+}= \frac{-113982 + \sqrt{7785571028518}}{66063{,}21429}$$

= 40,34284287

$$C^{-}= \frac{-113982 - \sqrt{7785571028518}}{66063{,}21429}$$

=-43,79353782

33032 x 1627,544971 + 113982 x 40,34284287 + -58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 40,34284287 < 64,00 Ok

Karena < d‟ tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang:

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' x fs' + As x fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{d'' - c}{c}\right) Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c - d''}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c - d''}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c - d''}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85 \, Fc' a \, b) = As \left(\frac{c - d''}{c}\right) 600 + As \, x \, fy$$

(0,85 Fc' a b c) = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c + 600 d" As' = 1520 x 525 x c

0,85 x 30 x 0,8 c^2 1550 + 600 x 1520 x c - 600 x 64 x 1520 = 797874 c

33032 c^2 + 911856 c - 58358784 = 638299 c

33032 c^2 + 911856 c + -797874c - 58358784 = 0

33032 c^2 + 113982 c - 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ x\ 33031{,}60714 - 58358784}}{2\ x\ 33031{,}60714}$$

$$C^{+} = \frac{-113982 + \sqrt{7785571028518}}{66063{,}21429}$$

= 40,34284287

$$C^{-} = \frac{-113982 - \sqrt{7785571028518}}{66063{,}21429}$$

=-43,79353782

33031,60714 x 1627,544971 + 113982 x 40,34284287 +-58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 40,34284287 < 64,00 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a $= \beta 1 \quad c$

$= 0{,}84 \times 40{,}34284287$

$= 33{,}71509011$ mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c} \times \varepsilon c$

  $= \frac{64 - 40{,}34}{40{,}34} \times 0{,}003$

  $= 0{,}0018 < \varepsilon y = 0{,}003$ (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs") $= \frac{d - c}{c} \times \varepsilon c$

  $= \frac{636 - 40{,}34}{40{,}343} \times 0{,}003$

  $= 0{,}044 < \varepsilon y = 0{,}003$ (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

  $= \frac{525}{200000}$

  $= 0{,}003$

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' $= \varepsilon s' \times Es$

$= 0{,}0018 \times 200000$ Mpa

$= 351{,}8416965$ Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

fs $= \varepsilon s \times Es$

$= 0{,}0443 \times 200000$ Mpa

$= 8858{,}926859$ Mpa > fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0443 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 33,7 x 1550

= 1332588,937 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1519,76 x 351,8416965

= 534714,9367

Ts2 = As x fy

= 1519,76 x 525

= 797874 N

Cc = Ts1 + Ts2

1332588,937 N = 534714,9367 N +797874,000 N

1332588,937 N =1332588,937 N (metode keseimbangan terpenuhi)

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 64 - \frac{1}{2} x\ 33{,}72$

= 47 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 636 – 0,5 x 33,72

= 619 mm

Menghitung momen nominal (Mnb):

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 534715 N x 47 mm + 797874 N x 619 mm

= 519205441,907 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 519205441,907 Nmm

= 467284897,716 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

$\Phi Mn > Mu^{-}$

467.284.897,72 Nmm > 4190600 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn -

519.205.441,91 Nmm > ½ x 480.394.967,11

519.205.441,91 Nmm > 240.197.484 (Memenuhi)

B. Perhitungan penulangan tumpuan kanan

Mu + = 9,69860 kNm

= 9698600 Nmm

Mu - = 110,61940 kNm

= 110619400 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 22 = 1520 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 22 = 1520 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

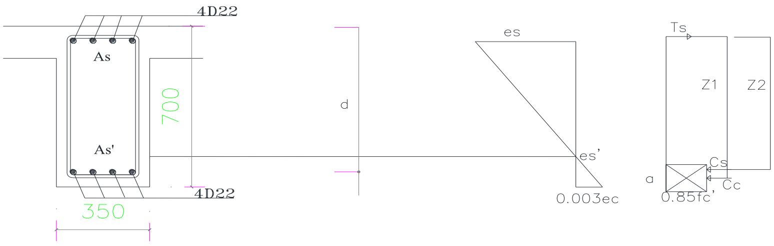
= 40 + 13 + ½ x 22

= 64,00 mm

d = h - d'

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.70 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \frac{c-d\prime}{c}\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As xfy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 1519,8 x 525 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 638299,2 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 350 + 600 x 1519,76 x c - 600 x 64 x 1519,76

= 797874 c

$7458{,}75\,c^2 + 911856\,c - 58358784 = 797874\,c$

$7458{,}75\,c^2 + 911856\,c – 797874c – 58358784 = 0$

$7458{,}75\,c^2 + 113982\,c - 58358784 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$c = \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 7458{,}75 - 58358784}}{2\ 7458{,}75}$

$C^{+} = \frac{-113982 + \sqrt{1754126216964}}{14917{,}5}$

= 81,14310714

$C^{-} = \frac{--113982 - \sqrt{1754126216964}}{14917{,}5}$

=-96,42475621

7458,75   6584,203836 + 113982   81,14310714   - 58358784   = 0

0   = 0

Maka di pakai nilai c = 81,14 > 64,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 81,14310714

= 67,81245382 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{81{,}14310714 - 64}{81{,}14310714}$ x 0,003

$= 0,0006$ (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$= \frac{636 - 81,14}{81,14}$ x 0,003

$= 0,0205$ (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{525}{200000}$

$= 0,003$

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= 0,0006x 200000 Mpa

= 126,8 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

fs = εs' x Es

= 0,0205 x 200000 Mpa

= 4102,802412 Mpa > 525

maka di pakai Fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0, 0000 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 67,8 x 350

= 605226,1504 N

Cs = As' x fs'

= 1519,76 x 126,7620214

= 192647,8496 N

Ts = As x fy

= 1519,76 x 525

= 797874 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ts

605226,1504 + 192647,85 = 797874,00 N

797874 = 797874,00 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 636 - $\frac{1}{2}$x 67,81245382

= 602,0937731 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = T x Z1

= 797874 N x 602,0937731

= 480.394.967 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 480.394.967 Nmm

= 432.355.470 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^{+}

432.355.470 Nmm > 110.619.400 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

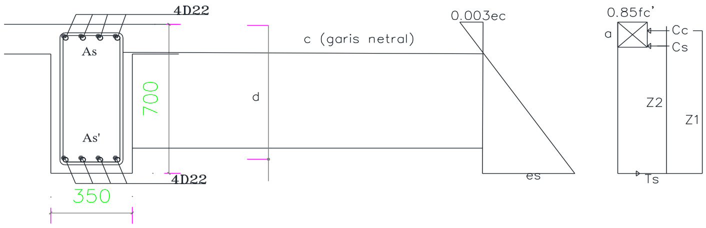
d' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h – d"

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.71 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kanan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1550 + 600 x 1519,8 x c - 600 x 64 x 1519,76 = 1519,76 x525 c

33031,60714 c^2 + 911856 c + -797874 c + -58358784 = 0

33031,60714 c^2 + 113982 c + -58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-113982 \pm \sqrt{12991896324 - 4\ 33031{,}60714 - 58358784}}{2 \text{ x} 33031{,}60714}$$

$$c+ = \frac{-113982 \pm \sqrt{7723729602015}}{66063{,}21429}$$

= 40,34284287

$$c- = \frac{-113982 - \sqrt{7723729602015}}{66063{,}21429}$$

=-43,79353782

33031,60714 x 1627,544971 + 113982 x 40,34284287 + -58358784 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 40,34284287 < 64,0 (OK)

Karena c < d' tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

a = β1 x c

= 0,84 x 40,34

= 33,71509011 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

  $= \frac{64{,}0 - 40{,}3}{40{,}34}$ x 0,003

  = -0,0018 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{636 - 40{,}3}{40{,}343}$ x 0,003

= 0,044 (tulangan sudah leleh)

➢ Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{\text{fy ulir}}{\text{Es}}$

$= \frac{525}{200000}$

= 0,003

Karena εy = 0,003 > εs' = 0,044 tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

➢ Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

fs' = εs' x Es

= 0,0018 x 200000 Mpa

= 351,8416965 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0443 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

➢ Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 33,7 x 1550

= 1332588,937 N

Cs = As' x fs

= 1519,76 x -351,8416965

= 534714,9367 N

Ts = As x fy

= 1519,76 x 525

= 797874 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = T1

1332588,937 =534714,9367 = 797874 N

1332588,937 = 1332588,937 (kondisi seimbang terpenuhi)

➢ Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 64,0 - \frac{1}{2} x\ 33,7$

= 47 mm

Z2 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 636- \frac{1}{2} x\ 33,7$

= 619 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x z2

= 534714,9367 N x 47,14 + 797874 x 619

= 519205441,907 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 519205441,907 Nmm

= 467284897,716 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu :

ΦMn > Mu

467.284.897,72 Nmm > 9.698.600 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + ≥ ½ mn

519.205.441,91 ≥ ½ 480.394.967,11

519.205.441,91 ≥ 240.197.484 Memenuhi

C. Perhitungan penulangan lapangan

Mu + = 39,06 kNm

= 39062700 Nmm

Mu = 3,3629 kNm

= 3362900 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan bawah = As 2 D 22 = 759,88 mm^2

Tulangan atas = As’ 2 D 22 = 759,88 mm

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 2 D 22 = 759,88 mm^2

Tulangan tekan (bawah) As’ 2 D 22 = 759,88 mm^2

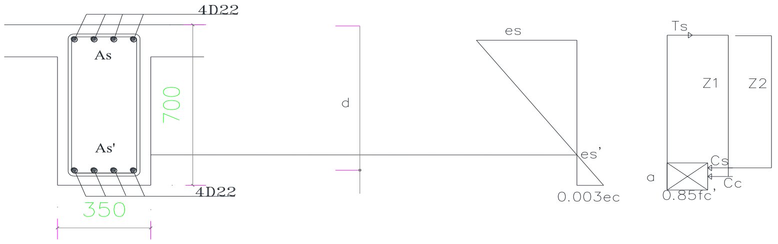
d" = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h - d'

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.72 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d’ maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Menghitung jarak Ts terhadap Cc : Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 759,9 x 525x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 350 + 600 x 759,9 x c - 600 x 64 x 759,9

= 398937,00 c

7458,75 c^2 + 455928 c + -29179392 = 0

7458,75 c^2 + 455928 c + -398937c + -29179392 = 0

7458,75 c^2 + 56991 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$= \frac{-56991+\sqrt{3247974081-4\ x\ 7458{,}75--29179392}}{2\ x\ 7458{,}75}$

c+ $= \frac{-56991 \pm\sqrt{873815134401}}{14917{,}5}$

=58,84295591

c- $= = \frac{-56991-\sqrt{873815134401}}{14917,5}$

= -66,48378045

7458,75 3462,493461 + 56991 58,84295591 + -29179392 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 58,84 < 64,0 (tdk OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih kecil dari d”, maka dilanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 58,8

= 49,17589887 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs’) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{58,8 - 64}{58,8}$ x 0,003

  = -0,003 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d - c}{c}$ x εc

  $= \frac{636 - 58,8}{58,8}$ x 0,003

  = 0,0294 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{525}{200000}$

  = 0,003

Karena εy = -0,003 > εs’ = 0,004, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs’) :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs’) :

  fs’ = εs’ x Es

  = -0,003 x 200000 Mpa

  = -52, 58 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fs)

fs = εs x Es

= 0,0294 x 200000 Mpa

= 5885,058306 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ф dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0294 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ф : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 49,2 x 350

= 438894,9 N

Cs = As' x fs'

= 759,88 x -52,584

= -39957,9 N

Ts = As x fy

= 759,9 x 525

= 398937 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ti

438894,8974 N + -39957,89742 = 398937 N

398937N = 398937N (kondisi seimbang terpenuhi)

Z1 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 636{,}0- \frac{1}{2} x\ 49{,}2$

=611,4 mm

Z2 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 636{,}0- \frac{1}{2} x\ 49{,}2$

=611,4 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 +

= 398937 x 611,41

= 243914889,216 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 243914889,2 Nmm

= 219523400,3 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu

219.523.400,3 Nmm > 3.362.900 Nmm (AMAN)

Kontrol Momen Positif

Tulangan tekan (atas) = As 2 D 22 = 759,88 mm^2

Tulangan tarik (bawah) = As' 2 D 22 = 759,88 mm^2

Kontrol Momen Positif :

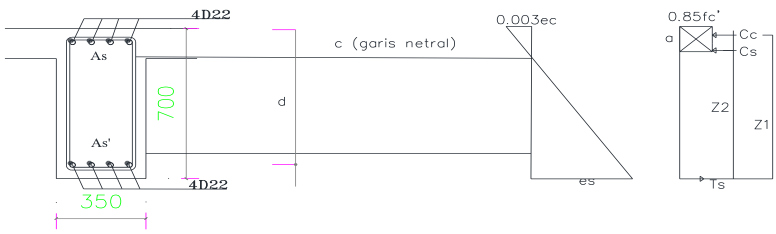
d'' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 13 + ½ x 22 = 64,00 mm

d = h - d'

= 700 - 64,000

= 636,0 mm



Gambar 4.73 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Menghitung jarak Ts terhadap Cc : Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$

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

(0,85 F’c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc’ a b) + 600 As’c -600 d’ As’= As x fy

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 759,9 x 525x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1550 + 600 x 759,9 x c - 600 x 64 x 759,9

= 398937,00 c

33031,60714 c^2 + 455928 c + -29179392 = 0

33031,60714c^2 + 455928 c + -398937c + -29179392 = 0

33031,60714c^2 + 56991 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$= \frac{-56991+\sqrt{3247974081-4 \text{ x } 33031{,}60714-29179392}}{2 \text{ x} 33031{,}60714}$

c+ $= \frac{-56991 \pm\sqrt{3858616826927}}{66063{,}21429}$

=28,87151725

c- = = $\frac{-56991-\sqrt{3858616826927}}{66063,21429}$

= -30,59686472

33031,60714 833,5645081 + 56991 28,87151725 + -29179392 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 28,87 < 64,0 (tdk OK)

karena c < d" tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1+Ts2

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$

$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c² b + 600 As' c – 600 d' As' = 760 x 525x c

0,85 x 30 x 0,84 x c² x 1550 + 600 x 760 x c - 600 x 64 x 759,9

= 398937,00 c

33032 c^2 + 455928 c + -29179392 = 0

33032 c^2 + 455928 c + -398937c + -29179392 = 0

33032 c^2 + 56991 c + -29179392 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-56991 + \sqrt{3247974081 - 4 \text{ x } 33031{,}60714 - 29179392}}{2 \text{ x} 33031{,}60714}$$

$$c+ = \frac{-56991 \pm \sqrt{3858616826927}}{66063{,}21429}$$

=28,87151725

$$c- = = \frac{-56991 - \sqrt{3858616826927}}{66063{,}21429}$$

= -30,59686472

33031,60714 833,5645081 + 56991 28,87151725 + -29179392 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 28,87 < 64,0 (tdk OK)

karena c < d" tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1+Ts2

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c} \quad 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}$ 600 = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy

Distribusi :   a = β1   c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As'   = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As'   = 760 x 525x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 1550 + 600 x 760 x c - 600 x 64 x 759,9

= 398937,00   c

33032 c^2 + 455928 c + -29179392   = 0

33032 c^2 + 455928 c + -398937c + -29179392   = 0

33032 c^2 + 56991   c + -29179392   = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c = $\frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

= $\frac{-56991+\sqrt{3247974081-4 \times 33031{,}60714-29179392}}{2 \times 33031{,}60714}$

c+ = $\frac{-56991 \pm\sqrt{3858616826927}}{66063{,}21429}$

=28,87151725

c- = = $\frac{-56991-\sqrt{3858616826927}}{66063{,}21429}$

= -30,59686472

33031,60714   833,5645081   + 56991 28,87151725 + -29179392 = 0

Maka di pakai nilai c = 28,87151725 < 64,00 Ok

a = β1 c

= 0,84 x 28,9

= 24,12833941

- Menghitung regangan tulangan = (εs') = $\frac{d' - c}{c}$ x εc

= $\frac{64\ 28,9}{28,9}$ x 0,003

= 0,004 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) = $\frac{d - c}{c}$ x εc

= $\frac{636 - 28,9}{28,9}$ x 0,003

= 0,0631 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) = $\frac{fy\ ulir}{Es}$

= $\frac{525}{200000}$

= 0,003

:

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

fs' = εs' x Es

= 0,0037 x 200000 Mpa

= 730,0305513 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fs)

fs = εs x Es

= 0,0631 x 200000 Mpa

= 12617,1786 Mpa < fy ulir = 525 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0631 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 24,1 x 1550

= 953672,6 N

Ts1 = As' x fs'

= 759,88 x 730,031

= 554735,6 N

Ts2 = As x fy

= 759,9 x 525

= 398937 N

Cek kondisi seimbang :

Cc + Cs = Ti

953672,6153 N + 554735,6153 = 398937 N

953672,6153 N = 953672,6153N (kondisi seimbang terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc:

Z1 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 64{,}00- \frac{1}{2} x\ 24{,}1$

=51,94 mm

Z2 $= d- \frac{1}{2} x\ a$

$= 636{,}0- \frac{1}{2} x\ 24{,}1$

=623,9 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2+Z2

= 398937 x 51,94+398937 x 623,9

= 269630212,659 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 269630212,7 Nmm

= 242667191,4 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu

242.667.191,4 Nmm > 39.062.700 Nmm (memenuhi)

Tabel 4.35 Data Penulangan Balok 350 x 700

Lokasi		**Mu**	**keb. Tul**			**As psg**	**Mn**	**Ket.**
a	**b**							
Tump.	Kan. -	110.619.400	4	D	22	1521,143	432.355.470	Oke
	Kan +	55.309.700	4	D	22	1521,143	467.284.898	Oke
	kir -	88.127.900	4	D	22	1521,143	480.394.967	Oke
	kir +	44.063.950	4	D	22	1521,143	467.284.898	Oke
Lap	-	3.362.900	2	D	22	760,5714	219.523.400	Oke
	+	39.062.700	2	D	22	760,5714	242.667.191	Oke

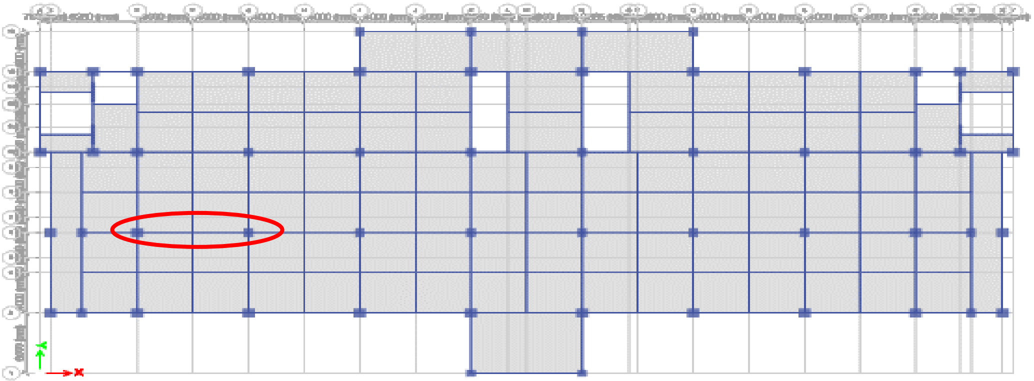
Mpr - Tumpuan Kiri = 480.394.967

Mpr + Tumpuan Kanan = 519.205.442

Mpr + Tumpuan Kiri = 519.205.442

Mpr - Tumpuan Kanan = 480.394.967

4.6.18 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal Balok 350 x 700



Gambar 4.74 Letak Balok 350 x 700 (Tipe Balok B 463 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut:

Lebar Balok (bw) = 350 mm

Tinggi Balok (h) = 700 mm

Selimut Beton (cb) = 40 mm

Mutu Beton Fc' = 30 Mpa

fy ulir = 420 Mpa

fy sengkang ulir = 280 Mpa

Diameter Tul. Pokok = 22 mm

Diameter Tul. Sengkang = 13 mm

L Balok = 8000 mm

Es Baja = 200000 Mpa

Ln Balok Bersih = 7100 mm

P balok anak dari tributari beban area pelat = 98,5365 N

Wu balok dari tributari beban area pelat = 29,5389 Nmm

A. Menghitung Gaya Geser Desain

Menghitung gaya geser desain dihitung berdasarkan momen ujung balok atau probable moment capacities (Mpr). Momen ujung dihitung berdasarkan nilai tegangan Tarik baja sebesar 1,25 fy dan factor reduksi kekuatan lentur ϕ = 1.

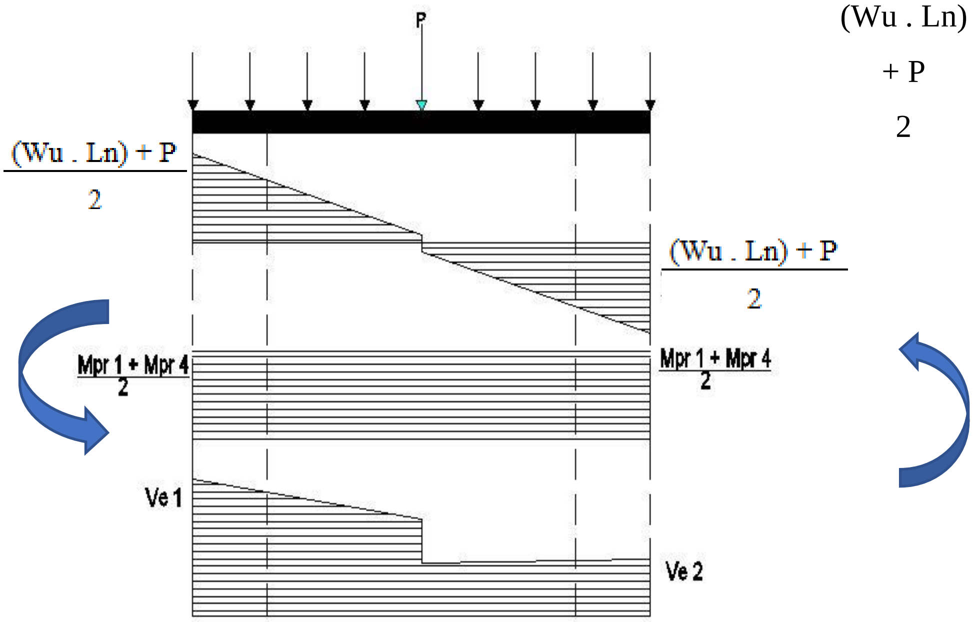
Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kiri

Wu = 1,2 D + 1,0 L

(Wu . Ln)

+ P

2



Momen ujung tumpuan kiri negatif (Mpr 1)

Mpr1 = Mpr – kiri balok (fy.1.25)

= 480394967,109 Nmm

Momen ujung tumpuan kanan positif (Mpr 4)

Mpr4 = Mpr + kanan balok (fy.1.25)

= 519205442,907 Nmm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$V_{q\ kiri}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25{,}54 \times 7.100)+98{,}54}{2}$

= 106389,62 N

$V_{q\ kanan}$ $= \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(25{,}54 \times 7.100)+98{,}54}{2}$

= 106389,62 N

V_{sway} $= \frac{M_{pr\ 1}+M_{pr\ 4}}{In} = \frac{480394967{,}109+519205441{,}907}{7200}$

= 138833,390 N

Gaya geser akibat goyangan ke kiri :

V_{el} $= V_{sway} + V_{q\ kiri}$

= 138833,390 N + 106389,62 N

= 245223,01 N

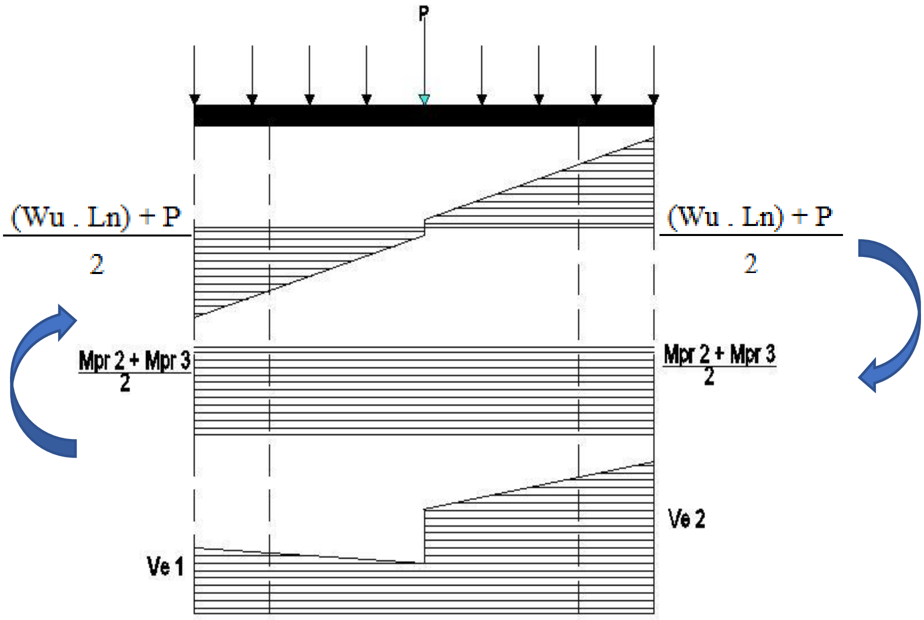
V_{e2} $= V_{sway} - V_{q\ kanan}$

= 138833,390 N - 106389,62 N

= 32443,77 N

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kanan

Wu = 1,2 D + 1,0 L



Momen ujung tumpuan kiri Positif (Mpr 2)

$M_{pr\ 2}$ = Mpr + tumpuan kiri

= 519205442,907 Nmm

Momen ujung tumpuan kanan Negatif (Mpr 3)

$M_{pr\ 4}$ = Mpr - tumpuan kanan

= 480394967,109 Nmm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$$V_{q\ kiri} = \frac{(W_u \times Ln) + P}{2}$$

$$= \frac{(29{,}54 \times 7.200) + 98{,}54}{2}$$

= 106389,620 N

$V_{q\ kanan} \quad = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(29,54 \times 7.200)+98,54}{2}$

= 106389,620 N

$V_{Mpr} \quad = \frac{M_{pr\ 2}+M_{pr\ 4}}{In} = \frac{480394967,109+519205441,907}{7200}$

= 138833,390 N

Gaya geser akibat goyangan ke kanan :

$V_{el} = V_{Mpr} - V_{q\ kiri}$

= 138833,390 N - 106389,620 N

= 32443,77 N

$V_{e2} = V_{Mpr} - V_{q\ kanan}$

= 138833,390 N + 106389,620 N

= 245223,01 N

B. Tulangan Geser Didaerah Sendi Plastis

SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 menyatakan daerah sendi plastis sepanjang 2h dari muka kolom, maka konstribusi beton dalam menahan geser Vc = 0 apabila :

a. Gaya geser akbiat gempa melebihi ½ atau lebih dari kekuatan geser maksimum disepanjang bentang.

b. Gaya tekan aksial terfaktor, Pu termasuk pengaruh gempa kurang dari Ag.fc'/20

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4) yaitu S = d/4, S = 6 x db dan S = 150 mm.

Syarat a :

Arah Gempa	**Geser Gempa (N)**	**Tump. Kiri**		**Tump. Kanan**	
		Ve (N)	**0,5 Ve (N)**	**Ve (N)**	**0,5 Ve (N)**
Kanan	245.223,01	245.223,01	122.611,505	32.443,7699	16.221,885
Kiri	245.223,01	32.443,770	16.221,8849	245.223,010	122.611,51

Syarat b :

Nilai Pu = 0 kN < Agfy'/20.fc'

pu = 0 N < $\frac{245000 \; x \; 420}{20 \; x \; 30}$ = 163333,33 N (OK)

Karena kedua syarat diatas terpenuhi maka Vc atau gaya geser yang diakibatkan beton dianggap 0

maka Vc = 0 KN

C. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kiri

Ve = 245223,01 N fc = 30.0 bw = 350 mm

d = 734.50 mm d = 734.5 fy = 280 Mpa

d tul utama = 22 mm

Karena Vu > ϕ Vc, maka Vs dihitung dengan:

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$ (SNI 2847-2019 22.5.10.1)

$= \frac{245223{,}01}{0.75} - 0 = 326964{,}014 \; N$

$V_{s\,max}$ = 0.66 $\sqrt{f'c}$ x bw x d

$V_{s\,max}$ = 0.66 $\sqrt{30.0}$ x 350 x 734.5

= 929318,125 N

Vs yang dipakai = 326964,014 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 13 = Av : 531 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{531 \times 280 \times 734.50}{326964{,}014} = 333{,}78\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 22 = 132 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{531 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 727,570 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 727,570

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 727,570 N

= 545,677.68 N > Ve = 245223,01 (Aman)

D. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kanan

Ve	= 299,927.3 N	fc	= 30.0	bw	= 350 mm
d	= 734.50 mm	d	= 734.5	fy	= 280 Mpa

d tul utama = 22 mm

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$

$= \frac{245223{,}01}{0.75} - 0 = 326964{,}01\ N$

$V_{s\ max}$ = 0.66 x 30 x 420 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 326964,014 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 13 = Av : 531 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{531 \times 280 \times 734.50}{326964,014} = 333,78\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 150 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal:

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{531 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 727,570 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 727,570

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 727,570 N

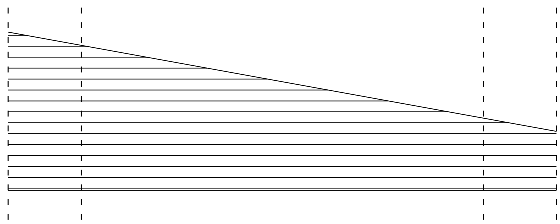
= 545,677.7 N > Ve = 245223,01 N (Aman)

E. Tulangan Geser Didaerah Luar Sendi Plastis

h	= 700 mm	2h = 1400 mm		fc	= 30.0 Mpa
l	= 8,000 mm			d	= 734.5 mm
Ve kiri		= 245223,01 N		bw	= 350 mm
Ve kanan		= 32443,77 N			

Ve kiri 245223,01 N

V_e Lap



Ve kanan 32443,77 N

l= 8000 mm

2 h = 2 x 700

= 1400 mm

Menghitung Nilai Ve lap menggunakan persamaan segitiga sebagai berikut:

$$\frac{I-2h}{I} = \frac{Ve\ lap}{Ve\ kiri - Ve\ kanan}$$

$$V_{e\ lap} = \frac{(8000-1400)\times(245223{,}01 - 32443{,}77)}{8.000} + 32443{,}77$$

= 207986,64 N

Vc = 0.17 x λ x fc x bw x d

= 0.17 x λ x 30.0 x 350 x 734.50

= 239369,82 N

$$v_s = \frac{Ve\ lap}{\phi} - Vc$$

$$= \frac{281{,}829{,}3}{0.75} - 239369{,}82 \text{ N}$$

= 37945,70 N

$V_{s\ max}$ = 0.66 x fc x bw x d

= 0.66 x 30.0 x 350x 734.50

= 929318,12 N

Vs dipakai = 37945,70 N

Dipakai sengkang 2 kaki D 13 = Av : 265 mm

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{265 \times 280 \times 734.50}{37945,70} = 1438,05\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6)

S $= \frac{d}{2} = \frac{734.50}{2} = 367,25\ mm$

Sehingga dipakai sengkang : 2 kaki Ø 13 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{265 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 363,785 N

Vn = Vc + Vs

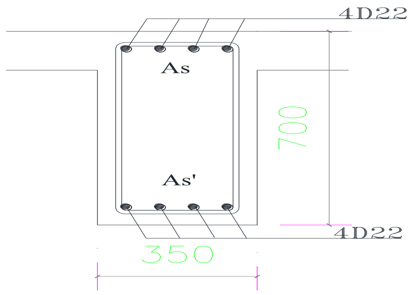
= 239,370 + 363,785 = 603,155 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 603,155 N

= 452366, N > Vu = 207986,643 N (Aman)

Perhitungan Penulangan Torsi :



Acp = 350 x 700

= 245000 mm²

Pcp = 2 (350 + 700)

= 2100 mm

ϕ Tnc = ϕ 0.083 λ $\sqrt{fc'}\left(\frac{Acp}{Pcp}\right)^2$ SNI 2847:2019 Pasal 22.7.4.1

= 0.75 x 0.083 x 1 $x\ \sqrt{30}\left(\frac{60025000000}{2100}\right)^2$

= 9745695,93 Nmm

= 9,75 kNm < Tu = 1,15 kNm

Dari perhitungan di atas Tnc lebih besar, maka tidak diperlukan tulangan torsi :

Balok	**Tulangan Transversal**	
	Dalam Sendi Plastis	**Luar Sendi Plastis**
B1 35 x 70	2 Ø 13 - 150	2 Ø 13 - 150

Panjang penyalurann tulangan balok induk :

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3:

Data - data Parameter :

db = 22 mm **Ψ**t = 1.0 λ = 1.0

fc = 30 Mpa **Ψ**e = 1.0

fy = 420 Mpa **Ψ**s = 0.8

cb = Deck + D tul Geser + 0,5 D tul Utama

= 40 + 13 + 11 = 64 mm

Ktr = 0 (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3)

(cb + ktr)/db $= \frac{64+0}{25.00} = 2{,}909 > 2.5$ diambil = 2.5

$I_d = \frac{fy}{1.1\ \sqrt{\lambda} fv} \times \frac{\varphi t\ \ \varphi e\ \varphi s}{)cb+ktr)/db}$

$= \frac{420}{6.024} \times \frac{1\ x\ 1\ x\ 0.8}{2.5} \times 22$ = 490,759 mm

ld min = 300 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.1)

maka dipakai: 500 mm

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan :

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.9 :

ldc 1 $= \frac{0.24 \times fy \times \varphi e \times db}{\lambda\sqrt{x} fc} = \frac{0.24 \times 420 \times 1 \times 22}{1.0 \times \sqrt{30}}$ = 460 mm

ldc 2 = 0.043 x 420 x 22

= 397,32 mm

ldc min = 200 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.9.1)

dipakai: 500 mm

Panjang Kait :

Panjang penyaluran dibutuhkan oleh kait menurut SNI 2847-2019 pasal 25.4.3.1 dapat dihitung untuk kait 90 ° sebagai berikut :

$$L_{dh} = \left(\frac{0{,}24 \text{ x } \Psi e \text{ x } fy}{\lambda \text{ x } \sqrt{fc'}}\right) \text{ x db}$$

$$= \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{1.0 \times \sqrt{30}} \times 22$$

= 404,877 mm

maka dipakai ldh: 500 mm

Persyaratan mengenai kait ada dalam SNI 2847-2019 pasal 25.3.1 yaitu :

1. Batang tulangan D10-D16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 6db
2. Batang tulangan D19, D22 dan D25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 12db
3. Batang tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan 6db

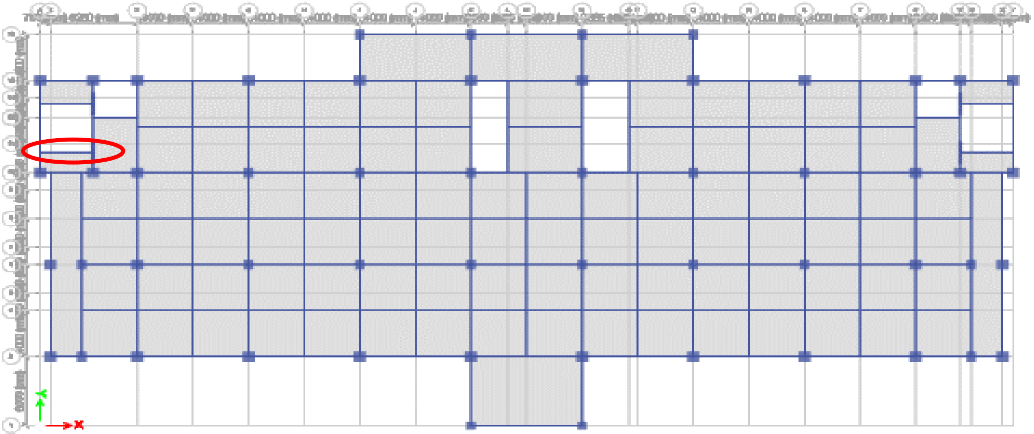
Sehingga karena tulangan yang dipakai yaitu D25, maka panjang bengkokan :

12 db = 12 x 22

= 264 mm

= 270 mm

4.6.19 Penulangan Balok 300 x 600 mm (Pada Balok 504 Lantai 1)



Gambar 4.75 Letak Balok 300 x 600 (Tipe Balok B 504 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut :

Lebar Balok bw	= 300 mm
Tinggi Balok h	= 600 mm
Selimut Beton cb	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	= 30 Mpa
fy ulir	= 420 Mpa
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 16 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 10 mm
L Balok	= 3800 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 3050 mm
Tebal Plat hf	= 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri + = 33,3966 kNm

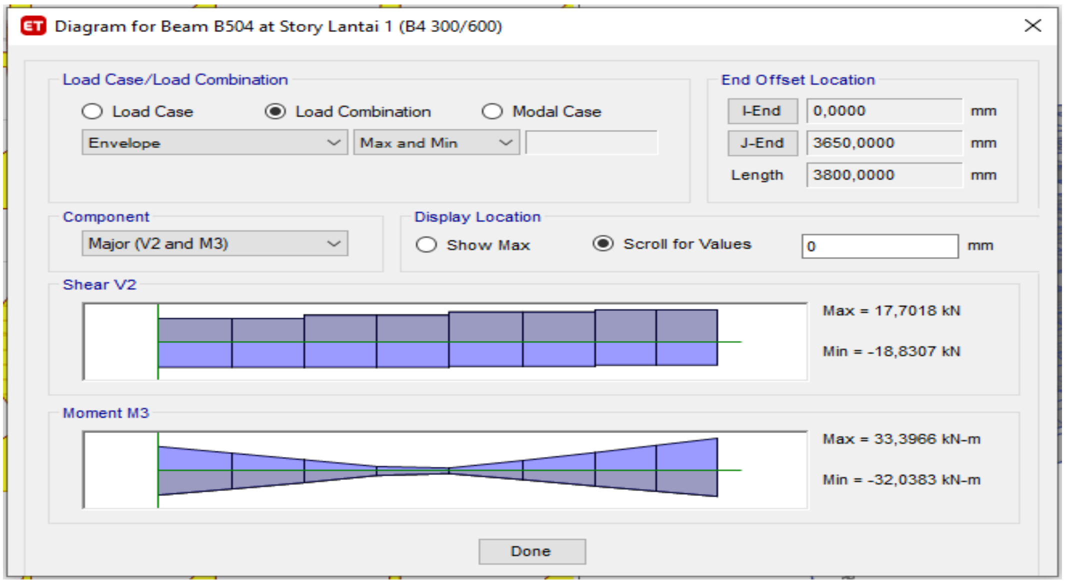
= 32,0383 kNm

Tumpuan Kanan + = 35,0993 kNm

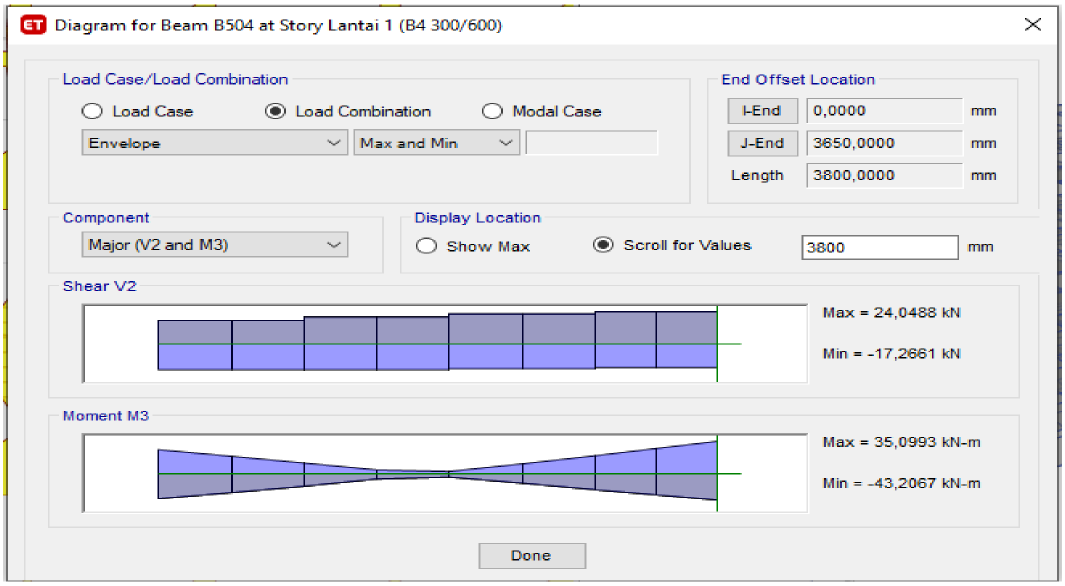
= 43,2067 kNm

Lapangan + = 4,3366 kNm

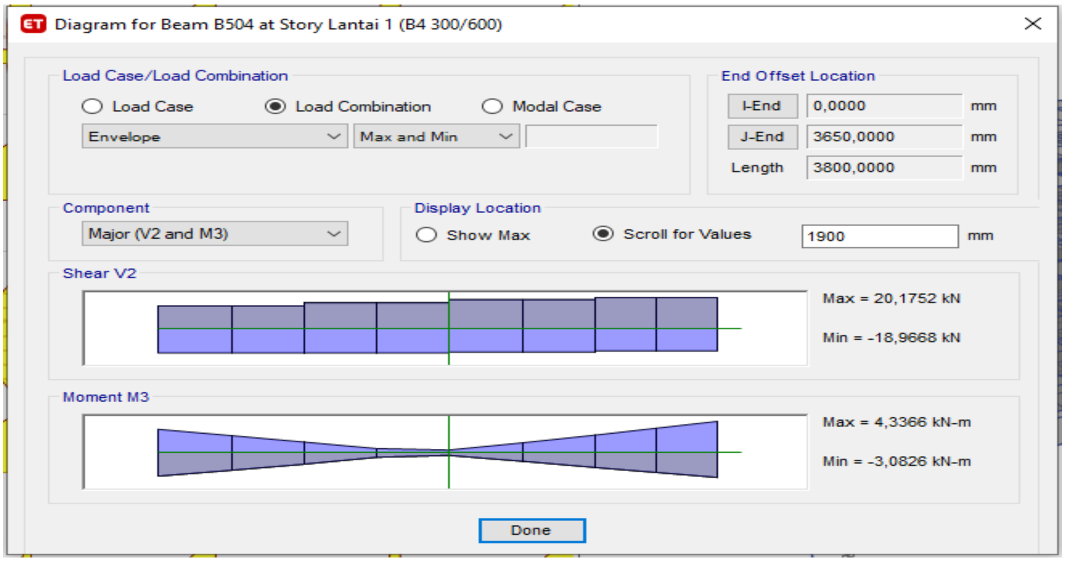
= 3,0826 kNm



Gambar 4.76 Momen Tumpuan Kiri



Gambar 4.77 Momen Tumpuan Kanan



Gambar 4.78 Momen Lapangan

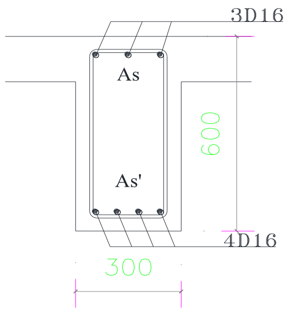
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \le f_c' \le 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \ge 55$	0,65	c)

β1 = 0,85- [30 -28] x 0. 05

= 0, 84

4.6.20 Perhitungan Penulangan Pada Kondisi Momen Maksimum



d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d"

= 600 - 58,00

= 542,00 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

$As \min = \frac{0,25 \sqrt{Fc'}}{Fy} bw\ d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{420}$ 300 542,00 = 530,1172 mm^2

$As \min = \frac{1,4 \text{ bw d}}{\text{Fy}} = \frac{1,4\ x\ 300\ x\ 542,00}{420}$ = 542 mm^2

Maka tulangan minimal adalah 542 mm^2

b. Tulangan maksimal harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 :

As max = 0,75 x $\frac{0,85\ Fc'\beta 1}{Fy}$ x $\frac{600}{600+Fy}$ bw x d

As max = 0,75 x $\frac{0,85\ \ 30\ 0,8}{420}$ x $\frac{600}{600+420}$ 300 x 542

As max = 3639,8 mm²

c. Syarat spasi tulangan pada Sni 2847-2019 pasal 25.2.1 :

1. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
2. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 pasal 6.3.2.1. tidak boleh melebihi salah satu sisi :

1. Be < 6 x tebal pelat + bw

   Be < 6 x 120 + 300

   Be < 1120 mm
2. Be < Sw / 2 + bw (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < 2900 / 2 + 300

   Be < 1750 mm
3. Be < Ln x 1 / 12 + bw (Ln adalah panjang bersih balok)

   Be < 3050 x 1 / 12 + 300

   Be < 554,2 mm

Dua sisi :

1. Be < 8 x tebal pelat + bw

   Be < 8 x 120 + 300

   Be < 2040 mm
2. Be < Sw / 2 + bw (Sw: jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

   Be < 2900 / 2 + 300

   Be < 3200 mm
3. Be < Ln x 1 / 12 + bw (Ln adalah panjang bersih balok)

   Be < 3050 x 1 / 12 + 300

   Be < 808,3 mm

A. Perhitungan penulangan tumpuan kiri

Mu + = 33,39660 kNm

= 3339660 Nmm

Mu - = 32,038300 kNm

= 32038300 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas) As 3 D 16 = 603 mm²

Tulangan di daerah (bawah) As'4 D 16 = 804 mm²

Momen Negatif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$

$= \frac{32038300}{0,9\ x\ 300\ x\ 542^2}$

= 0,4

P $= \frac{Mu\ x\ F'c}{Fy}$ x $\left(1 - \sqrt{1} - \frac{2\ x\ Rn}{0,85\ F'c}\right)$

$= \frac{0,85\ x\ 30}{420}$ x $\left(1 - \sqrt{1} - \frac{2\ x\ 0,8309}{0,85\ 30}\right)$

= 0,000969481

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ Fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 420}$

= 0,0032603

ρ min $= \frac{1,4}{Fy}$

$= \frac{1,4}{420}$

= 0,0033

ρ balance $= \frac{0,85\ x\ F'c\ x\ \beta 1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0,85\ x\ 30\ x 0,8}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

ρ max = 0,7 x ρ balance

= 0,7 x 0,0298

= 0,0033

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,000969481 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,00201165 x 300 x 736

= 1576376 mm²

As tul = D 16

= 276,6 mm²

n tul $= \frac{As}{As\ tulangan}$

$= \frac{127,3773}{276,6}$

= 3 tulangan D16

Momen Positif :

$$Rn = \frac{Mu}{\phi\ x\ b\ x\ d}$$

$$= \frac{33396600}{0,9\ 300\ \ 542^2}$$

= 0,42

$$\rho = \frac{0,85\text{xF'c}}{\text{fy}} \text{ x } (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \text{ x Rn}}{0,85 \text{ F'c}}}$$

$$= \frac{0,85x30}{420}\ x\ (1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0,4333}{0,85\ \ 30}}$$

= 0,0010

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4\ x\ fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4\ x\ 420}$

= 0,0033

ρ balance$= \frac{0,85\ x\ F'cx\beta1}{fy}\ x\ (\frac{600}{600+fy})$

$= \frac{0,85\ x\ 30x0,8}{420}\ x\ (\frac{600}{600+420})$

= 0,0298

ρ max = 0,75 x ρ balance

= 0,75 x 0,0298

= 0,022385204

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0,0033 ≤ 0,0010 ≤ 0,022

As = ρ x b x d

= 0,001040608 x 300 x 542

= 164,3773 mm²

As tul = D 16

= 276,6 mm²

n tul = $\frac{As}{As\ tulangan}$

= $\frac{164{,}3773}{276{,}6} = 3$ tulangan D16

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik (atas) As 3 D 16 = 602,88 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 16 = 803,84 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

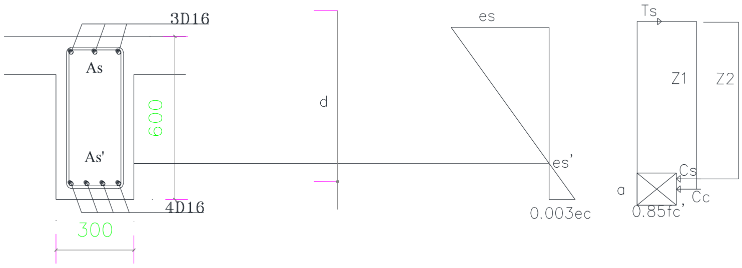
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d"

= 600 - 58,000

=542,0 mm



Gambar 4.79 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kiri

Cc + Cs = T1

Cc = 0,85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc= 0,003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.1

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0{,}003\ 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$$

$$(0{,}85\ fc'b\ ) + \left(As'\frac{c-d'}{c}\right)\ 600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c - 600 d' As' = 253210 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 253210 c

0,85 x 30 x 0,8 x c^2 x 400 + 600 x 1520 x c – 600 x 58 x1520 = 253210 c

8524,285714 c^2 + 911856 c – 58358784 = 253210 c

8524,285714 c^2 + 911856 c – 638299 c - 58358784 = 0

8524,285714 c^2 + 273557 c – 58358784 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c = -229094,4 $\pm \frac{\sqrt{74833322826 - 48524,285714 - 58358784}}{2\ 8524,285714}$

c^+ = -229094,4 $+ \frac{\sqrt{74833322826 - 48524,285714 - 58358784}}{17048,57143}$

= 50,61

c^- = -229094,4 - $\frac{\sqrt{74833322826 - 48524,285714 - 58358784}}{17048,57143}$

= -86,4483

6393,2 x 2561,807 + 273556,8 50,61 - 273556,8 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 50,61 > 58

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 50,61

= 42,3 mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s' = \frac{c - d\prime}{c}\ x\ \varepsilon c = \frac{50{,}61 - 58{,}0}{50{,}61}$ 0,003

= -0,0004 < εy = 0,002 tulangan belum leleh

$\varepsilon s = \frac{c - d'}{c} \; x \; \varepsilon c = \frac{542 - 50{,}6}{50{,}61} \; 0{,}003$

= 0,029 > εy = 0,002 tulangan sudah leleh

$\varepsilon s = \frac{fy}{Es} = \frac{420}{200000} = 0{,}002$

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= -0,0002 x 200000

= -87,6 Mpa < 420 Mpa maka di pakai fs' = -87,6 Mpa

Fs = εs x Es

= 0,0291 x 200000

= 5825 Mpa > 420 Mpa maka di pakai fy = 420 Mpa

menentukan nilai ф dari penampang yang terkendali tarik : Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0291 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ф : 0,90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0,85 x 30 x 42,299 x 300

= 323588 N

Ts 1 = As' x fs'

= 602,88 x 417,369

= 251623,3 N

Ts2 = As x fy

=803,84 x 420

= 337612,8 N

Cc = Ts1 + TS2

589226,0855 = 251623,2855 + 337612,800

589226,0855 = 589226,0855 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

=58 - ½ x 28,586

= 44 mm

Z2 = d - ½ a

=542 - ½ x 28,586

= 528 mm

Momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 251623 x 44 + 337612,8 x 528

= 189158234,441 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0,9 x 189158234,441

= 170242410,997 Nmm

ϕMn > Mu

170242411,44 Nmm > 33396,600 Nmm (Memenuhi)

Kontrol Momen Positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 22 = 1519,76 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 22 = 1519,76 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

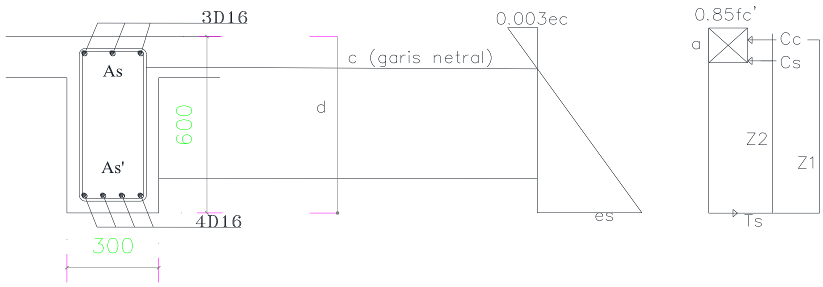
= 40 + 13 + ½ x 22

= 64, mm

d = h - d'

= 800 - 64,00

= 736,0 mm



Gambar 4.80 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d''}{c})\ Es$

εc = 0,003

fs' = $\left(\frac{c-d\prime\prime}{c}\right)$ εc' Es

fs' = $\left(\frac{c-d\prime\prime}{c}\right)$ 0,003 200000

fs' = $\left(\frac{c-d\prime\prime}{c}\right)$ 600

$$(0{,}85\ Fc'a\ b\ ) + As\ \left(\frac{c - d''}{c}\right)\ 600\ ] = As\ x\ fy$$

(0,85 Fc' a b c) + As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 x c) b x c + 600 As' c – 600 d" As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d" As' = 1520 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,8 c^2 1583 + 600 x 1520 x c - 600 x 64 x 1520 =

638299 c 33742 c^2 + 911856 c + -58358784 = 638299 c

33742 c^2 + 911856 c + -638299 c + -58358784 = 0

33742 c^2 + 273557 c + -58358784 =0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-273556{,}8 \pm \sqrt{74833322826 - 4\ 33741{,}96429 - 58358784}}{2\ 33742}$$

$$C^{+} = \frac{-273556{,}8 + \sqrt{7951393344769}}{67483{,}92857}$$

= 37,73142381

$$C^{-} = \frac{-273556{,}8 - \sqrt{7951393344769}}{67483{,}92857}$$

= -45,83874079

33741,96429 1423,660343 + 273556,8 37,73142381 + -58358784 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 37,73142381 < 64,00 (Ok)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d'', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0,84 37,73142381

= 31,5326899 mm

Menghitung regangan tulangan :

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{d` - c}{c}$ x εc

$= \frac{64 - 37{,}73}{37{,}73}$ x 0,003

= 0,021 (belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs'') $= \frac{d - c}{c}$ x εc

$= \frac{736 - 37{,}7}{37{,}7}$ x 0,003

= 0,056 (sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,00003, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

fs' = εs' x Es

= 0,0021 x 200000 Mpa

= 417,72 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

fs = εs x Es

= 0,0556 x 200000 Mpa

= 11104 Mpa < fy ulir = 400 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0555 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 31,5 x 1583,3

= 1273132 N

Ts1 = As'1 x fs'

= 1519,76 x 417,719

= 634833,2 N

Ts2 = As x fy

= 1519,76 x 420

= 638299,2 N

Cc	Ts1	+	Ts2	
1273132,355	=	644833,155	+	638299,200
1273132,355	=	1273132,355	(metode keseimbangan terpenuhi)	

- Menghitung jarak Cc, Cs ke T :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 64 - \frac{1}{2} x\ 31{,}53$

= 48 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

= 736 – 0,5 x 31,53

= 720 mm

Mn = T1 x Z1 + T2 x Z2

= 634833,2 N x 48 mm + 638299,2 N x 720 mm

= 490344889,229 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 490344889,229 Nmm

= 44130100,307 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^-

44130100,307 Nmm > 84500000 Nmm (AMAN)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn -

490.344.889,23 > ½ 451.588.079,66

490.344.889,23 > 225.794.040 (Memenuhi)

B. Perhitungan penulangan tumpuan kanan

Mu + = 35,09930 kNm

= 3509930 Nmm

Mu - = 43,20670 kNm

= 4320670 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah tarik (atas) As 3 D 16 = 603 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 16 = 804 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan tarik As 3 D 16 = 602,88 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 16 = 803,84 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D.Pokok

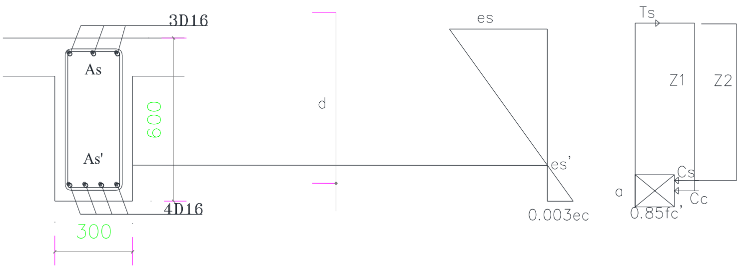
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d'

= 600 - 58,000

= 542 mm



Gambar 4.81 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Tumpuan Kanan

jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \frac{c-d\prime}{c} Es$

Ec = 0,003

$fs' = \frac{c-d'}{c} \ \varepsilon c \ Es$

$fs' = \frac{c-d'}{c} \ 0{,}003 \ 200000$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c} \ 600$ = A_s fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As xfy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = 602,9 x 420 x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 253210 c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 400 + 600 x 803,84 x c - 600 x 64 x 1519,76

= 253210 c

6393,2 c^2 + 482304 c - 58358784 =638299,2 c

6393,2 c^2 + 482304 c - 638299,2 c – 58358784 = 0

6393,2 c^2 + 229094,4 c - 27973632 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

C= $\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$$c = \frac{-229094{,}4 + \sqrt{74833322826 - 4\ 6393 - 27973632}}{2\ x\ 6393{,}2}$$

$$C^{+} = \frac{-229094{,}4 + \sqrt{2064701117843}}{12786{,}42857}$$

= 50,6143

$$C^{-} = \frac{-229094{,}4 - \sqrt{767849939014}}{12786{,}42857}$$

= -86,44829

6393,2 2561,807 + 229094,4 50,614 - 27973632 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 50,61 > 58,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c

= 0,84 x 50,61

= 42,3 mm

- Regangan tulangan tekan (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

  $= \frac{50{,}61 - 58{,}0}{50{,}61}$ x 0,003

  = -0,0004 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

  $= \frac{542{,}0 - 50{,}61}{50{,}61}$ x 0,003

  = 0,0291 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

  $= \frac{420}{200000}$

  = 0,002

Karena εy = 0,002 > $\varepsilon s'$ = -0,0004, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs'):

  fs' = $\varepsilon s'$ x Es

  = -0,0004 x 200000 Mpa

  = -87,6 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0555 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

  Cc = 0,85 x fc' x a x b

  = 0,85 x 30 x 42,3 x 300

  = 323588 N

  Cs = As' x fs'

  = 803,84 x 420

  = 253209,6 N

  Ts = As x fy

  = 602,88 x 420

  = 253209,6 N

  Cek kondisi seimbang :

  Cc + Cs = Ts

  323588 N + -70378,44 = 253209,6

  1273132,355 N = 1273132,355 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

  Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

  = 542 - $\frac{1}{2}$x 42,299

  = 520,85 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

  Mn = Ts1 x Z1

  = 253209,6 N x 520,85

= 131.884.3335 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 131.884.3335 Nmm

= 118.695.902 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

ΦMn > Mu^+

131.884.3335 Nmm > 118.695.902 Nmm (AMAN)

Cek :

syarat $Mn^+ > ½ Mn^-$ (SNI 2847 2013 pasal 21.5.2.2 halaman 186):

Mn (+) ≥ ½ Mn (-)

490344889,229 Nmm ≥ ½ 451.588.079,66 Nmm

490344889,229 Nmm ≥ ½ 225.794.040 Nmm (memenuhi)

C. Perhitungan penulangan lapangan

Mu + = 4,34 kNm

= 433660 Nmm

Mu = 3,0826 kNm

= 3082600 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan bawah As 2 D 16 = 401,92 mm²

Tulangan atas As'2 D 16 = 401,92 mm²

Kontrol Momen Negatif :

Tulangan bawah As 2 D 16 = 401,92 mm²

Tulangan atas As'2 D 16 = 401,92 mm²

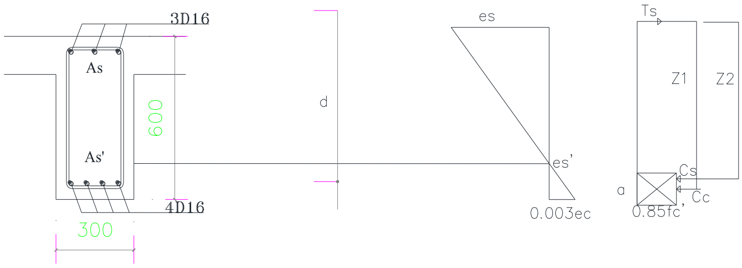
d' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 10 + ½ x 16 = 58,00 mm

d = h – d”

= 600 - 58,000

= 542,0 mm



Gambar 4.82 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs'}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy x c

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 401,9 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 400 + 600 x 759,9 x c - 600 x 58 x 401,9

= 168806,40 c

6393,2 c^2 + 241152 c + -13986816 = 0

6393,2 c^2 + 241152 c + -319150 c + -29179392 = 0

6393,2 c^2 + 72346 c + -13986816 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$= \frac{-72345{,}6 + \sqrt{52338858839^2 - 4 \text{ x } 6393 - 13986816}}{2 \text{ x } 6393}$

c+ $= \frac{-72345{,}6 \pm \sqrt{3629167332291}}{12786428}$

= 41,45

c- $= \frac{-72345{,}6 - \sqrt{362916733291}}{12786{,}428}$

= -52,7724

6393,2 x 1718638 + 72345,6 x 41,46 + -13986816 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 41,456 < 58,0 (OK)

Karena c < d' tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

a = β1 x c
= 0,84 x 41,10
= 34,646 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{c - d'}{c}$ x εc

$= \frac{41{,}5 - 58{,}0}{41{,}0}$ x 0,003

= -0,00012 (tulangan belum leleh)

➢ Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d' - c}{c} \times \varepsilon c$

$= \frac{542 - 41,0}{41,0} \times 0,003$

= 0,0362 (tulangan sudah leleh)

➢ Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = -0,0008, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

➢ Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

fs' = εs' x Es

= -0,00012 x 200000 Mpa

= -239,4 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0403 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

➢ Menghitung gaya tekan dan tarik

Cc = 0,85 x fc' x a x b

= 0,85 x 30 x 34,6 x 300

= 265040,1 N

Cs = As' x fs

= 401,92 x -239,432

= -96233,65 N

Ts = As x fy

= 401,9 x 420

= 168806,4 N

Cek kondisi seimbang :

Cc	+	Cs	=	T1
2650040 N	+	-96233,7	=	168806,4 N

168806,4 N = 168806,4 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d- $\frac{1}{2}$x a

= 542,0 - $\frac{1}{2}$x 34,6

= 524,7 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1

= 168806,4 N x 524,68 mm

= 88568855,9 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 88568855,9 Nmm

= 79711970,3 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu :

ΦMn > Mu

79711970,3 Nmm > 3082600 Nmm (AMAN)

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 16 = 401,92 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 16 = 401,92 mm²

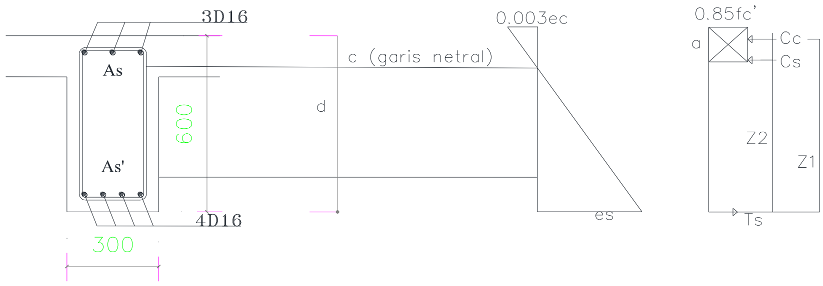
d'' = Tebal selimut beton balok + D. Sengkang + ½ D. Pokok

= 40 + 10 + ½ x 16 = 58,00 mm

d = h - d'

= 600 - 58,000

= 542,0 mm



Gambar 4.83 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral maka garis netral dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' x a x b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' : $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = (\frac{c-d'}{c})\ Es$

Ec = 0,003

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ \varepsilon c\ Es$$

$$fs' = \frac{c-d'}{c}\ \ 0{,}003\ 200000$$

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

(0,85 F'c a b) + $As' = \frac{c-d'}{c}\ 600$ = A_s x fy

(0,85 fc' a b) + 600 As'c -600 d' As'= As x fy

Distribusi : a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c - 600 d' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 401,9 x 420 x c

0,85 x 30 x 0,84 x c^2 x 808,3 + 600 x 401,9 x c - 600 x 58 x 401,9

= 168806,40 c

17226 c^2 + 241152 c + -13986816 = 0

17226c^2 + 241152 c + -168806 c + -13986816 = 0

17226c^2 + 72346 c + -13986816 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-72345,6 + \sqrt{5233885839^2 - 4 \text{ x } 17226 - 13986816}}{2 \text{ x } 17266}$$

$$c+ = \frac{-72345,6 + \sqrt{968990447028}}{34452,32}$$

= 26,472

$$c- = \frac{-72345,6 - \sqrt{3956988341678}}{34452,32143}$$

= -30,671

17226 x 700,775 + 72345,6 x 26,47 + -13986816 = 0

0 = 0

Maka dipakai nilai c = 26,47 < 58,0 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih kecil dari d", maka dilanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 x c
= 0,84 x 26,5
= 22,123 mm

- Menghitung regangan tulangan = (εs') $= \frac{d' - c}{c}$ x εc

$$= \frac{58 - 26,5}{26,5} \text{ x } 0,003$$

= 0,004 (tulangan belum leleh)

- Regangan tulangan tekan (εs) $= \frac{d - c}{c}$ x εc

$= \frac{542\ -\ 26,5}{26,5}$ x 0,003

= 0,0584 (tulangan sudah leleh)

- Regangan tulangan ulir (εy) $= \frac{fy\ ulir}{Es}$

$= \frac{420}{200000}$

= 0,002

Karena εy = 0,002 > εs' = 0,004, tulangan tekan belum leleh. Sehingga dilanjutkan ke perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

- Perhitungan tegangan pada tulangan tekan (fs') :

  fs' = εs' x Es

  = 0,004 x 200000 Mpa

  = 714,59 Mpa < fy ulir = 420 Mpa (dipakai nilai fy)

  Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

  Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0774 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2) maka diambil ϕ : 0,9

- Menghitung gaya tekan dan tarik

  Cc = 0,85 x fc' x a x b

  = 0,85 x 30 x 22,1 x 808,33

  = 456013,8 N

  Ts1 = As' x fs'

  = 401,92 x 714,588

  = 287207,4 N

  Ts2 = As x fy

  = 401,9 x 420

  = 168806 N

Cek kondisi seimbang :

Cc = Ts1 + Ts2

456013,762 N = 287207,4 N + 168806,4 N

456013,762 N = 456013,8 N (kondisi seimbang terpenuhi)

- Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 58{,}0 - \frac{1}{2} x\ 22{,}1$

= 46,94 mm

Z2 $= d - \frac{1}{2} x\ a$

$= 542{,}0 - \frac{1}{2} x\ 22{,}1$

= 530,9 mm

- Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 168806 N x 46,94 + 168806 x 530,9

= 97549307,968 Nmm

Mr = ΦMn

= 0,9 x 97549308 Nmm

= 87794377,2 Nmm

Cek syarat ΦMn > Mu:

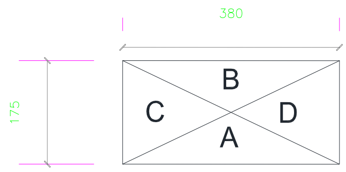
ΦMn > Mu

87794377,2 Nmm > 4336600 Nmm (AMAN)

Tabel 4.36 Data Penulangan Balok 300/600

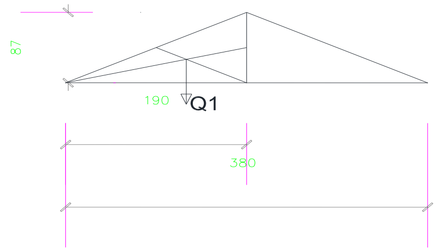
Lokasi		**Mu**	**keb. Tul**			**As psg**	**Mn**	**Ket.**
a	**b**							
Tump.	Kan. -	43.206.700	3	D	16	603,428	118.695.902	Oke
	Kan +	21.603.350	4	D	16	804,571	170.242.411	Oke
	kir -	32.038.300	3	D	16	603,428	118.695.902	Oke
	kir +	16.019.150	4	D	16	804,571	170.242.411	Oke
Lap	-	3.082.600	2	D	16	402,285	79.711.970	Oke
	+	4.336.600	2	D	16	402,285	87.794.377	Oke

4.6.21 P Dan WU Pada Balok 300 x 600 mm



Gambar 4.84 Perhitungan Perataan Beban Gelagar

a. Perataan beban tipe A



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 1,92 x 1,9

= 0,827 m^2

Q2 = 0,1 x 0,87

= 0,087 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 0,827 + 0,087

= 0,91 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 0,87 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (0,91 x 2) – (0,827 x 0,4) – (0,09 x 0,05)

= 1,50 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x $3,8^2$

= 1,805 h m^2

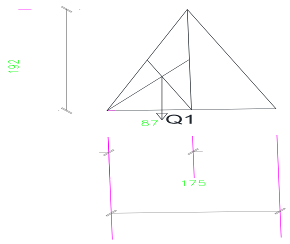
M1 = M2

1,5003 = 1,805

H = $\frac{1,805}{1,5003}$

= 0,8312 m < 1,90 m (OK)

b. Perataan beban tipe C



Q1 = $\frac{1}{2}$ x tinggi x alas

= $\frac{1}{2}$ x 0,87 x 1,9

= 0,827 m^2

Q2 = 0,1 x 0,87

= 0,087 m^2

RAV = RBV = Q1 +Q2

= 0,827 + 0,087

= 0,91 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 0,87 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (2,10 x 2) – (1,900 x 0,8) – (0,2 x 0,05)

= 1,50 m^2

M2 = $\frac{1}{8}$ x h x L^2

= $\frac{1}{8}$ x h x $3,8^2$

= 1,805 h m^2

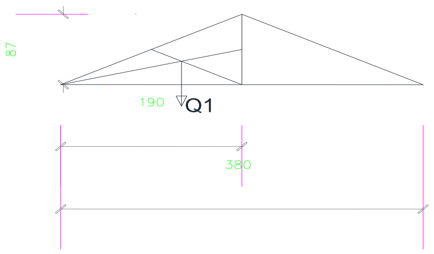
M1 = M2

1,5030 = 2

H = $\frac{1,5030}{1,805}$

= 0,8312 m < 1,90 m (OK)

c. Perataan beban tipe B



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 1,92 x 0,87

= 0,835 m^2

RAV = RBV = Q1

= 0,835 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 0,87 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (0,835 x 0,87) – (0,835 x 0,290)

= 0,48 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x $1{,}75^2$

= 0,383 h m^2

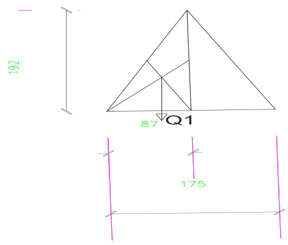
M1 = M2

0,48 = 0,383

H = $\frac{0{,}48}{0{,}383}$

= 1,265 m < 0,9 m (OK)

d. Perataan beban tipe D



Q1 $= \frac{1}{2}$ x tinggi x alas

$= \frac{1}{2}$ x 1,92 x 0,87

= 0,835 m^2

RAV = RBV = Q1

= 0,835 m^2

M1 = (RAV x jarak) – Q1 x ($\frac{1}{3}$ x 2 + 0,1) – Q2 (x $\frac{1}{2}$ x 0,100)

= (0,835 x 0,87) – (0,835 x 0,290)

= 0,48 m^2

M2 $= \frac{1}{8}$ x h x L^2

$= \frac{1}{8}$ x h x $1{,}75^2$

= 0,383 h m^2

M1 = M2

0,48 = 0,383

H $= \frac{0{,}48}{0{,}383}$

= 1,265 m < 0,9 m (OK)

Tabel 4.37 Perataan Beban

Tipe	h
A	0,8312
B	1,2654
C	0,8312
D	1,2654

4.6.21.1 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Pada Balok 300 x 600 mm

a. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,35 x (0,7 – 0,12)

= 0,203 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,203 x 24

= 7,49 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 4,257 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,2654 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,267 kN/m

d. total beban mati

= 4,790 + 4,257 + 7,2

= 16,215 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributary area)

berat = 1,265 x 2,87 x 2

= 7,634 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 16 + 1 x 7,263

= 26,721 kN/m

Jadi kesimpulan :

V q kiri = 46,762 kN

4.6.21.2 Perhitungan Beban Mati Yang Bekerja Sebelah Kanan Pada Balok 300 x 600 mm

a. beban sendidi balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,40 x (0,8 – 0,12)

= 0,272 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,272 x 24

= 6,42 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 5,418 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 1,2654 x 0,12 x 23,6 x 2

= 7,167 kN/m

d. total beban mati

= 6,419 + 5,418 + 7,2

= 19,004 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 1,265 x 2,9 x 2

= 7,263 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 19 + 1 x 7,263

= 30,068 kN/m

V q kanan = 52,620 kN

P balok = 46,762 + 52,620

= 99,383 kN

Jadi kesimpulan perhitungan beban mati yang bekerja pada balok :

a. beban sendiri balok

luas = b x (h – lebar pelat)

= 0,30 x (0,6 – 0,12)

= 0,114 m^2

Bj beton bertulang = 24 kN/m^3

berat = luas x bj beton bertulang

= 0,114 x 24

= 3,398 kN/m^3

b. beban mati tambahan akibat dinding

SILD = 0 kN/m

c. berat pada pelat akibat beban mati

= 0,831 x 0,12 x 23,6 x 2

= 4,707 kN/m

d. total beban mati

= 3,398 + 0 + 4,7

= 8,1063 kN/m

Perhitungan beban hidup yang bekerja pada balok :

a. beban hidup pada pelat (tributari area)

berat = 0,831 x 2,9 x 2

= 4,771 kN/m

Wu kombinasi = 1,2 D + 1 L

= 1,2 x 18 + 1 x 4,771

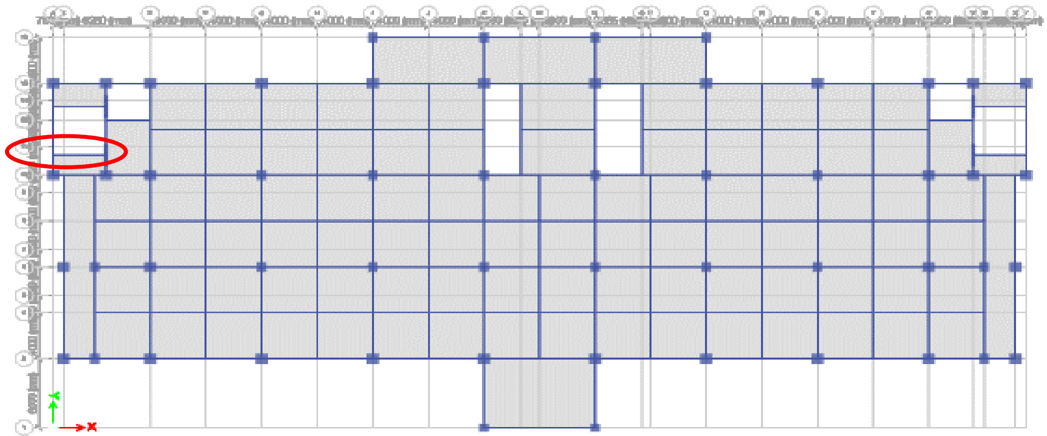
= 14,498 kN/m

Jadi kesimpulan Wu dan P balok adalah :

Wu = 14,498

P balok= 99,383

4.6.22 Perhitungan Momen MPR Pada Balok 300 x 600 mm



Gambar 4.85 Letak Balok 300 x 600 (Tipe Balok 504 lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut:

Lebar Balok (bw)	= 300 mm
Tinggi Balok (h)	= 600 mm
Selimut Beton (cb)	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	=30 Mpa
fy ulir	= 525 Mpa (1,25 dari fy asli)
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 16 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 10 mm
L Balok	= 3800 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 2900 mm
Tebal Plat (hf)	= 120 mm

Momen terfaktor :

Tumpuan Kiri + = 33,3966 kNm

\- = 32,0383 kNm

Tumpuan Kanan + = 35,0993 kNm

\- = 43,2067 kNm

Lapangan + = 4,3366 kNm

\- = 3,0826 kNm

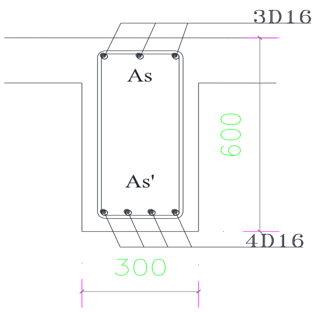
Menentukan nilai β1

f_c', MPa	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0{,}85 - \frac{0{,}05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

β1 = 0.85 – (30 – 28) x 0.05 / 7

= 0.84

4.6.23 Perhitungan Penulangan Pada Kondisi Momen Maksimum



Gambar 4.86 Penampang Balok 300 x 600

d' = cb + D. Sengkang + ½ x Diameter Tul. Pokok

= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d"

= 600 - 58,00

= 542,00 mm

a. Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2

As min $= \frac{0.25\sqrt{Fc\prime}}{Fy} bw \quad = \frac{0.25\sqrt{30}}{525} 300\ 542.00$

$= 424{,}093\ mm^2$

As min $= \frac{1.4\ bw\ d}{fy} \quad = \frac{1.4 \times 300 \times 524{,}00}{525}$

$= 434\ mm^2$

Maka tulangan minimal adalah 434 mm^2

b. Tulangan maksimal dihitung menurut SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2

As max $= 0{,}75 \times \frac{0.85\ Fc'\beta 1}{fy} \times \frac{600}{600+fy} \times bw \times d$

As max $= 0{,}75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.8}{525} \times \frac{600}{600+525} \times 300 \times 542$

As max $= 2640{,}093\ mm^2$

c. Syarat spasi tulangan pada SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1

3. Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.
4. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Lebar flens efektif (beff) menurut SNI 2847-2019 Pasal 6.3.2.1 tidak boleh melebihi :

Satu sisi :

1 Be < 6 x tebal pelat + bw

Be < 6 x 120 + 300

Be < 1020 mm

2 Be < Sw/2 + bw (Sw adalah jarak bersih balok dengan balok sebelahnya)

Be < 2900 /2 + 300

Be < 1750 mm

3 Be < Ln x 1/12 + bw (Ln: panjang bersih balok)

Be < 2900 x 1/12 + 300

Be < 541,7 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 992 mm

Kedua sisi:

1 Be < 8 x tebal pelat x 2 + bw

Be < 8 x 120 x 2 + 120

Be < 2040 mm

2 Be < Sw/2 x 2 + bw

Be < 2900 + 300

Be < 3200 mm

3 Be < Ln x 1/12 x 2 + bw

Be < 2900 x 1/12 x 2 + 300

Be < 783,333 mm

Maka digunakan lebar efektif (beff) terkecil = 783,333 mm

A. Perhitungan Penulangan Tumpuan Kiri

Mu^{+} = 33,39660 kNm

= 3339660 Nmm

Mu^{-} = 32,038300 kNm

= 32038300 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan di daerah (atas) As 4 D 16 = 804 mm²

Tulangan di daerah (bawah) As' 4 D 16 = 804 mm²

Momen negatif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi \times b \times d}$

$= \frac{205654200}{0.9 \times 300 \times 735\text{^}2}$

= 0.85

ρ $= \frac{0.85 \times F'c}{fy} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times F'c}}\right]$

$= \frac{0.85 \times 30}{525} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.403930}{0.85 \times 30}}\right]$

= 0,000775

ρ min $= \frac{\sqrt{F'c}}{4 \times fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 525}$

= 0.0026082

ρ min $= \frac{1.4}{fy}$

$= \frac{1.4}{525}$

= 0.0027

P balance $= \frac{0.85\, Fc'\beta 1}{fy} \times \left(\frac{600}{600+fy}\right)$

$= \frac{0.85 \times 30 \times 0.8}{525} \times \left(\frac{600}{600+525}\right)$

= 0.0216

ρ max = 0.75 x ρ balance

= 0.75 x 0.0216

= 0.016236735

Cek :

ρ min ≤ ρ ≤ ρ max

0.0027 ≤ 0,000775 ≤ 0.016

As = ρ x b x d

= 0.000775 x 300 x 542

= 126,110 mm²

As tul = D 16

= 380 mm²

n tul $= \frac{As}{A\ tulangan}$

$= \frac{126,110}{380.3}$ = 6 tulangan D16

Momen positif :

Rn $= \frac{Mu}{\phi \times b \times d}$

$= \frac{33396600}{0.9 \times 300 \times 542}$

= 0.42

ρ $= \frac{0.85 \times F\prime c}{fy} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times F\prime c}}\right]$

$= \frac{0.85 \times 30}{525} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.421056}{0.85 \times 30}}\right]$

= 0.0008

ρ min $= \frac{\sqrt{F\prime c}}{4 \times fy}$

$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 525}$ = 0.0026082

ρ min $= \frac{1.4}{fy}$

$= \frac{1.4}{525}$ = 0.0027

P balance $= \frac{0.85\ Fc'\beta 1}{fy} \times \left(\frac{600}{600+fy}\right)$

$= \frac{0.85 \times 30 \times 0.8}{525} \times \left(\frac{600}{600+525}\right)$

= 0.0216

ρ max = 0.75 x ρ balance

= 0.75 x 0.0216

= 0.016236735

Cek :

ρ min $\leq \rho \leq \rho$ max

0.0027 $\leq$ 0.0008 $\leq$ 0.016

As = ρ x b x d

= 0,000735198x 400 x 525

= 127,3772 mm²

As tul = D16

= 380.3 mm²

n tul = $\frac{As}{A\ tulangan}$

= $\frac{154.3916}{380.3}$ = 3 tulangan D16

Kontrol momen negatif :

Tulangan tarik (atas) As 4 D 16 = 803,84 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 4 D 16 = 803,84 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D. Pokok

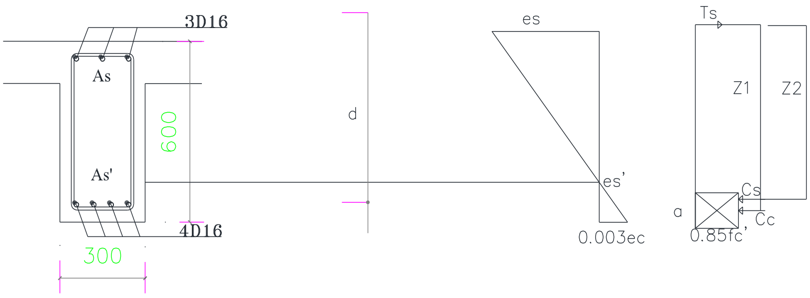
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d''

= 600 – 58,00

= 542 mm



Gambar 4.87 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T1

Cc = 0.85 Fc' a b SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1

εc = 0.003 SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.1

Es = 200000 SNI 2847:2019 pasal 20.2.2.2

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$

(0.85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d'}{c}\right)$ 600 = As fy

(0.85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi: a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c – 600 d' As' = 804 x 525 x c

$0.85\ Fc'\ \beta1\ c^2\ b + 600\ \ As'\ c - \ 600\ d'\ As' = 4220\ c$

$0.85 \times 30 \times 0.8 \times c^2 \times 300 + 600 \times 804 \times c - 600 \times 58 \times 804 = 422016\ c$

$6393,214\ c^2 + 482304\ c - 58358784 = 797874\ c$

$6393,214\ c^2 + 482304\ c - 797874c - 58358784 \quad = 0$

$6393,214\ c^2 + 60288\ c - 27973632 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c $= \frac{-60288 + \sqrt{36346429 - 4\ 6393,214 - 279736}}{2\ x\ 6393,214}$

c+ $= \frac{-60288 + \sqrt{71900033}}{12786,428}$

$= 61,60$

c- $= \frac{-60288 - \sqrt{71900033}}{12786,428}$

$= -71,0305$

$6393,214\ \ 3794,626 + 60288\ \ 61,60 - 27973632 \quad = 0$

$0 \quad = 0$

Maka di pakai nilai c = 61,60 > 58,00

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a $= \beta1\ c$

$= 0.84 \times 61,60$

$= 52,48$ mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{c-d\prime}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{61{,}60-58{,}0}{61{,}60} 0.003$

= 0.0002 < εy = 0.002 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{542-61{,}6}{61{,}6} 0.003$

= 0.023 > εy = 0.002 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0002 x 200000

= 35,1 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = 35,1 Mpa

fs = εs x Es

= 0.0234 x 200000

= 4679 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.0259 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 51,48 x 300

= 393825,438 N

Cs = As' x fs'

= 803,84 x 35,1

= 28190,561 N

Ts = As x fy

= 803,84 x 525

= 422016 N

Cc + Cs = Ts

393825,438 + 28190,56 = 422016,0

422016 = 422016 (Metode Keseimbangan Terpenuhi)

Menghitung jarak terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

= 542.000 - ½ x 51,48

= 516 mm

Momen Mpr :

Mpr = T × Z1

= 422016 x 516,260

= 217.869.885 Nmm

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D 16 = 803,84 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 16 = 803,84 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

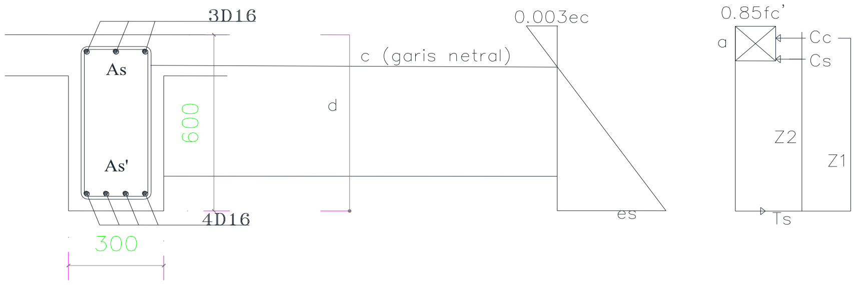
= 40 + 10 + ½ x 16

= 58,00 mm

d = h - d'

= 600 – 58,00

= 542,0 mm



Gambar 4.88 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kiri

Jika dimisalkan garis netral > d'' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0.85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

(0.85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ = As fy

(0.85 Fc' a b c) + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy

Subtitusi: a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c) b c + 600 As' c – 600 d'' As'= As x fy x c

0.85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = 804 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c² 738 + 600 x 804 x c – 600 x 58 x 804 = 422016 c

16693 c² + 482304 c + -27973632 = 422016 c

16693 c² + 482304 c + -422016 c + -27973632 = 0

16693 c² + 60288 c + -27973632 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

c $= \frac{-60288+\sqrt{3634642944-4\ x\ 16639{,}39286(-27973632)}}{2\ x\ 16693{,}39286}$

c+ $= \frac{-60286+\sqrt{1871533957}}{33386{,}785}$

= 39,169

c- $= \frac{-60288\sqrt{1871533957}}{33386{,}785}$

= -42,781

16639,39286 x 1534,269641 + 60288 x 39,16975416 + -27973632) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,1697 < 58,00 (OK)

Karena c < d" tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0.85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{d''-c}{c}\right) Es$

fs' $= \left(\frac{d''-c}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs’ $= \left(\frac{d\prime\prime - c}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs’ $= \left(\frac{d'' - c}{c}\right) 600$

(0.85 Fc’ a b) $= As \left(\frac{c - d\prime\prime}{c}\right) 600$ + As fy

(0.85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d" As' + As x fy

Subtitusi : a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c) b c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c – 600 d' As' + 804 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c^2 783 = 600 x 804 x c – 600 x 58 x 804 + 422016c

16393 c^2 + 482304 c + (-27973632) = 422016 c

16393 c^2 + 482304 c + (-422016) c + (-27973632) = 0

16393 c^2 + 60288 c + (-27973632) = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-60288 + \sqrt{3634642944 - 4\ x\ \ 16693{,}39286\ (-27973632)}}{2\ 16693{,}39286}$$

$$c+ = \frac{-60288 + \sqrt{1871533995}}{33386{,}7857}$$

= 39,169

$$c- = \frac{-113982 - \sqrt{7889551918267}}{67483{,}92857}$$

= -43,31129917

16693,39286 (1534,269641) + 60288 (39,1697) + (-279736) = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,169 < 58,00 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d", maka di lanjutkan menghitung nilai a:

a = β1 c

= 0.84 (39,169)

= 32,735 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{d'-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{58,00-39,17}{39,17} 0.003$

= 0.0014 < εy = 0.003 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{542-39,17}{39,17} 0.003$

= 0.039 > εy = 0.003 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Menghitung tegangan tulangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0014 x 200000

= 288,44 Mpa < 525 Mpa Maka di pakai dengan nilai fs'

fs = εs x Es

= 0.0385 x 200000

= 7702,3 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik:

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.0523 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ: 0.9

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 37,1 x 783,333

= 653876,0943 N

Ts1 = As' x fs'

= 803,84 x 288,441

= 231860,1 N

Ts2 = As x fy

= 803,84 x 525

= 422016 N

Cc = Ts1 + Ts2

653876,0943 = 549552,3096 + 797874,000

653876,094 = 653876,094 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d - 0.5 x a

= 58,00 - 0.5 x 32,73

= 42 mm

Z2 = d - 0.5 x a

= 542 - 0.5 x 32,72

= 526 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 231860 x 42 + 422016 x 526

= 231478331,018 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0.9 x 231478331,018

= 208330497,916 Nmm

Φ Mn > Mu

208.330.497,92 Nmm > 33.396.600 Nmm

Memenuhi Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn

231.478.331,02 > ½ 217.869.885,33

231.478.331,02 > 108.934.943 (Memenuhi)

B. Perhitungan Penulangan Tumpuan Kanan

Mu + = 35,09930 kNm

= 35099300 Nmm

Mu - = 43,20670 kNm

= 43206700 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut:

Tulangan di daerah tarik (atas) As 4 D 16 = 804 mm²

Tulangan di daerah tekan (bawah) As' 4 D 16 = 804 mm²

Kontrol momen negatif :

Tulangan tarik As 4 D 16 = 804 mm²

Tulangan tekan As' 4 D 16 = 804 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D. Pokok

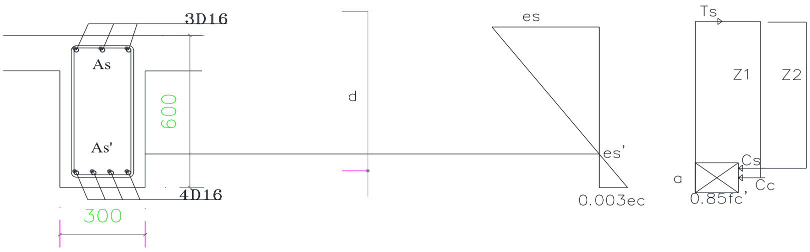
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d"

= 600 – 58,00

= 542,00 mm



Gambar 4.89 Penampang bBalok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Tumpuan Kanan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0.85 Fc' a b + As' fs' = As fs

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$

(0,85 Fc' a b) + $As\left(\frac{c-d'}{c}\right) 600$ = As fy

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

Distribusi: $a = \beta 1\ c$

$(0{,}85\ Fc'\ \beta 1\ c\ b)\ c + 600\ As'\ c - 600\ d'\ As' = 803{,}4 \times 525 \times c$

$0{,}85\ Fc'\ \beta 1\ c^2\ b + 600\ As'\ c - 600\ d'\ As' = 422016\ c$

$0{,}85 \times 30 \times 0.84 \times c^2 \times 300 + 600 \times 803{,}84 \times c - 600 \times 64 \times 803{,}84 = 422016\ c$

$6393{,}214286\ c^2 + 482304\ c - 27973632 = 422016\ c$

$6393{,}214286\ c^2 + 482304\ c - 422016\ c - 27973632 = 0$

$6393{,}214286\ c^2 + 60288\ c - 27973632 = 0$

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-60288 \pm \sqrt{3634642944 - 4\ 6393{,}214286 - 27973632}}{2\ 6393{,}214286}$$

$$c+ = \frac{-60288 + \sqrt{719000337847}}{12786{,}42857}$$

$= 61{,}60053778$

$$c- = \frac{-60288 - \sqrt{719000337847}}{12786{,}42857}$$

$= -71{,}0305361$

$6393{,}214286 \quad 3794{,}626254 \quad + 60288 \quad 61{,}60053778 \quad - 27973632 = 0$

$0 = 0$

Maka di pakai nilai $c = 61{,}60 > 58{,}00$

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

$a = \beta 1\ c$

$= 0.84 \times 61{,}6005$

$= 51{,}48$ mm

Menghitung regangan tulangan :

$\varepsilon s'$ $= \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{61,60053778-58,00}{61,601} 0.003$

= 0.0002 < εy = 0.002 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{542,0-61,60}{61,601} 0.003$

= 0,0234 > εy = 0.002 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan beban. Dihitung tegangan yang terjadi pada tulangan tekan :

fs' = εs' x Es

= 0.0002 x 200000

= 35,1 Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = 35,1 Mpa

fs = εs x Es

= 0,0234 x 200000

= 4679,2 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.000 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 51,5 x 300

= 393825,4 N

Cs = As' x fs'

= 803,84 x 35,07

= 147252,8726 N

Ts = As x fy

= 803,84 x 35,07

= 28190,56 N

Cc + Cs = Ts

393825,438 + 28190,56 = 422016,00
422016 = 422016,00 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

= 542 - ½ x 51,480

= 516,259 mm

Mn = T x Z1

= 422016 x 516,26 .
= 217.869.885 Nmm

Mr = ɸ Mn

= 0.9 x 217.869.885

= 196.082.897 Nmm

Φ Mn > Mu

196.082.897 Nmm > 43.206.700 Nmm (Memenuhi)

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 4 D16 = 803,84 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 4 D 16 = 803,84 mm²

d" = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

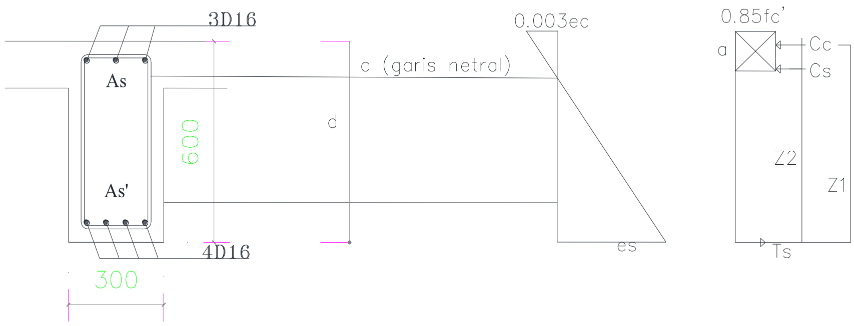
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d'

= 600 - 58,00

= 542 mm



Gambar 4.90 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Tumpuan Kanan

Jika dimisalkan garis netral > d" maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = Ts

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d\prime\prime}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

(0.85 Fc' a b) + $As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ = As fy

(0.85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

Subtitusi: a = β1 c

(0.85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy x c

0,85 x 30 x 0.84 c^2 1583 + 600 x 1519,8 x c – 600 x 58 x 803,84 = 1030313 x 525,000 c

16693,39286 c^2 + 482304 c + -422016 c + -27973632 = 0

16693,39286 c^2 + 60288 c + -27973632 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

c $= \frac{-60288\pm\sqrt{3634642944-4\ 16693{,}39286\ (-27973632)}}{2\ 16693{,}39286}$

c+ $= \frac{-60288+\sqrt{1871533957413}}{33386{,}78571}$

=39,169

c- $= \frac{-60288-\sqrt{1871533957413}}{33386{,}78571}$

= -42,781

16693,39286 1534,269641 + 60288 39,16975416 + -27973632 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,16975416 < 58,00 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d’’, maka dihitung ulang dengan persamaan :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{d'-c}{c}\right) Es$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) 0.003\ 200000$

fs' $= \left(\frac{d'-c}{c}\right) 600$

(0.85 Fc’ a b) $= As \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) 600$ + As fy

(0.85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d" As' + As x fy

Subtitusi: a = $\beta 1$ c

(0,85 Fc' $\beta 1$ c) b c = 600 As' c – 600 d" As' + As x fy x c

0,85 Fc' $\beta 1$ c^2 b = 600 As' c – 600 d' As' + 804 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c^2 783 = 600 x 1520 x c – 600 x 58 x 804+ 422016 c

16693 c^2 + 482304 c + (-27973632) = 422016 c

16693 c^2 + 482304c + (-422016) c + (-27973632) = 0

16693 c^2 + 60288 c + -27973632 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-60288 + \sqrt{3634642944 - 4\ 16693,39286\ (-27973632)}}{2\ 16693,39286}$$

c+ $= \frac{-60288+\sqrt{1871533957413}}{33386,78571}$

= 39,16975416

c- $= \frac{-60288-\sqrt{1871533957413}}{33386,78571}$

= -42,78124288

16693,39286 1534,269641 + 60288 39,16975416 + -27973632 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 39,16975416 < 58,00 Ok

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a:

a = β1 c

= 0.84 (39,16975416)

= 32,73472312 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{d'-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{58,0-39,2}{39,17} 0.003$

= 0.0014 < εy = 0.003 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{542-39,2}{39,170} 0.003$

= 0.039 > εy = 0.003 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Menghitung tegangan tulangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0018 x 200000

= 361,605 Mpa < 525 Mpa maka di pakai dengan nilai fs' = 362 fs $= \varepsilon s \times Es$

$= 0{,}0523 \times 200000$

$= 10458{,}5$ Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik:

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0523 ≥ 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.9

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 37,1 x 783,333

= 653876,0943 N

Ts1 = As' x fs'

= 803,84 x 288,4406029

= 231860,0943 N

Ts2 = As x fy

= 803,84 x 525

= 422016 N

Cc = Ts1 + Ts2

653876,0943 + 231860,0943= 1030312.500

653876,0943 = 653876,0943 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d’ - 0.5 x a

= 58,0 - 0.5 x 32,7

= 42 mm

Z2 = d - 0.5 x a

= 542,0 - 0.5 x 32,7

= 526 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 231860,0943 x 41,63 + 422016 x 526

= 231478331,018 Nmm

Mr = ɸ Mn

= 0.9 x 231478331,018

= 539930633,063 Nmm

Φ Mn > Mu

208.330.497,92 Nmm > 35.099.300 Nmm (Memenuhi)

Syarat kuat momen yang terpasang menurut SNI 2847-2019 18.6.3.2 :

Mn + > ½ Mn

231.478.331,02 > ½ 217.869.885,33

231.478.331,02 >108.934.943 Memenuhi

C. Perhitungan Penulangan Lapangan

Mu + = 4,34 kNm

= 4336600 Nmm

Mu = 3,0826 kNm

= 3.082.600 Nmm

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut:

Tulangan bawah As 2 D 16 = 401,92 mm^2

Tulangan atas As' 2 D 16 = 401,92 mm^2

Kontrol momen negatif :

Tulangan tarik (atas) As 2 D 16 = 401,92 mm²

Tulangan tekan (bawah) As' 2 D 16 = 401,92 mm²

d' = Cb + D. Sengkang + ½ x D. Pokok

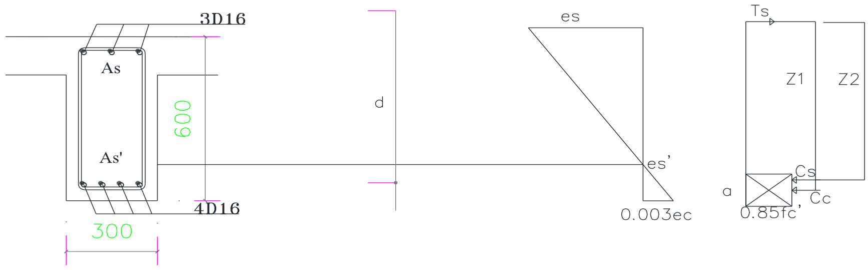
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d"

= 600 – 58,00

= 542,0 mm



Gambar 4.91 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Negatif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs' $= \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) \varepsilon c\ Es$

fs' $= \left(\frac{c-d\prime}{c}\right) 0.003\ 200000$

$$fs' = \left(\frac{c-d'}{c}\right)600$$

$$(0,85\ Fc'\ a\ b) + As\left(\frac{c-d'}{c}\right)600 = As\ fy$$

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy

Distribusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c – 600 d' As' = As x fy xc

0,85 Fc' β1 c^2 b + 600 As' c - 600 d' As' = 401,9 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 x c^2 x 400 + 600 x 759,88 x c – 600 x 58 x 401,9 = 398937c

6393,214286 c^2 + 241152 c + -13986816 = 0

6393,214286 c^2 + 241152c + -211008 + -13986816 = 0

6393,214286 c^2 + 30144c + -13986816 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-30144 \pm \sqrt{908660736 - 4\ 6393{,}214286\ (-13986816)}}{2\ 6393{,}214286}$$

$$c+ = \frac{-30144 + \sqrt{358591508187}}{12786{,}42857}$$

= 44,47536725

$$c- = \frac{-30144 - \sqrt{358591508187}}{12786{,}42857}$$

= -49,19036641

6393,214286 1978,058292 + 30144 44,47536725 + -13986816 =0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 44,475 > 58,0 (OK)

Karena c < d' tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang

a = β c

= 0.84 x 44,5

= 37,169 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs' $= \frac{c-d\prime}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{44{,}5-58{,}00}{44{,}5} 0.003$

= - 0.0009 < εs = 0.002 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{542-44{,}5}{44{,}5} 0.003$

= 0.0336 > εy = 0.002 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Perhitungan nilai tegangan :

fs' = εs' x Es

= -0.0009 x 200000

= -182,4555963Mpa < 525 Mpa maka di pakai fs' = -95 Mpa

fs = εs x Es

= 0.0336 x 200000

= 6711,912641 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik:

Karena nilai εs sesudah leleh = 0.0336 ≥ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ : 0.90

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0,85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 37,2 x 300

= 471049,8 N

Cs = As' x fs'

= 759,88 x -94,90019623

= -284340,6 N

Ts = As x fy

= 401,9 x 525

= 211008 N

Cc + Cs = T1

284340,553 + (-73332,6) = 211008

211008 = 211008 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d - ½ a

= 542,0 - ½ x 37,2

= 523,4 mm

Mn = Ts x Z1

= 211008 x 523,42

= 110444889,499 Nmm

Mr = ϕ Mn

= 0.9 x 110444889,5

= 99400400,5 Nmm

Φ Mn > Mu

99.400.400,5 Nmm > 3.082.600 Nmm Memenuhi

Kontrol momen positif :

Tulangan tekan (atas) As' 2 D 16 = 401,92 mm²

Tulangan tarik (bawah) As 2 D 16 = 401,92 mm²

d'' = Tebal selimut beton balok + D. sengkang + ½ D. Pokok

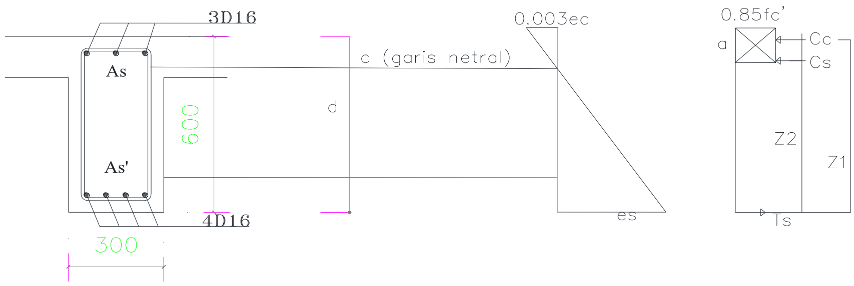
= 40 + 10 + ½ 16

= 58,00 mm

d = h - d'

= 600 - 58.00

= 542,0 mm



Gambar 4.92 Penampang Balok dan Diagram Tegangan Momen Positif Lapangan

Jika dimisalkan garis netral > d' maka perhitungan garis netral harus di cari menggunakan persamaan :

Cc + Cs = T

0,85 Fc' a b + As' fs' = As fy

Substitusi nilai fs' $\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d''}{c}\right) Es$ SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1

fs’ $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) \varepsilon c \; Es$

fs’ $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 0.003 \; 200000$

fs’ $= \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$

(0,85 Fc’ a b) + $As \left(\frac{c-d''}{c}\right) 600$ = As fy

(0,85 Fc' a b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

Subtitusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c + 600 As' c – 600 d'' As' = As x fy x c

0,85 Fc' β1 c² b + 600 As' c – 600 d' As' = 40,9 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.84 c² 1583 + 600 x 401,9 x c – 600 x 58 x 401,9 = 211008c

16693,39286 c² + 241152 c + -13986816 = 0

16693,39286 c² + 241152 c +-211008 + -13986816 = 0

16693,39286 c² + 30144 c +-13986816 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

c $= \frac{-30144 + \sqrt{908660736-4 \; 16693,39286 \; (-13986816)}}{2 \; 16693,39286}$

c+ $= \frac{-30144+\sqrt{934858317970}}{33386,78571}$

= 28,057

c- $= \frac{-30144-\sqrt{934858317970}}{33386,78571}$

= -29,86285424

16693,39286 787,2014151 + 30144 28,05710988 + -13986816 = 0

0 = 0

Maka di pakai nilai c = 28,05710988 < 58,00 (OK)

Karena c < d’’ tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang :

Cc = Ts1 + Ts2

0,85 Fc' a b = As' fs' + As fy

Substitusi nilai fs’ $\frac{fs\prime}{\varepsilon c} = \left(\frac{d''-c}{c}\right) Es$

$\varepsilon c = 0{,}003$

$fs' = \left(\frac{d''-c}{c}\right) \varepsilon c \; Es$

$fs' = \left(\frac{d''-c}{c}\right) 0.003\ 200000$

$fs' = \left(\frac{d''-c}{c}\right) 600$

(0,85 Fc’ a b) $= As\left(\frac{c-d\prime\prime}{c}\right) 600$ + As fy

(0,85 Fc' a b c)= 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy

Subtitusi: a = β1 c

(0,85 Fc' β1 c b) c = 600 As' c – 600 d'' As' + As x fy x c

0,85 Fc' β1 c^2 b = 600 As' c – 600 d' As' + 402 x 525 x c

0,85 x 30 x 0.8 c^2 1583 = 600 x 759,9 x c – 600 x 58 x 402 + 211008c

16693 c^2 + 241152 c + -13986816 c= 211008 c

16693c^2 + 241152 c + 211008 c +13986816 c = 0

16693c^2 +30144 c +-13986816 = 0

Dihitung dengan rumus ABC :

c $= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

c $= \frac{-30144 \pm \sqrt{908660736 - 4\ 16693{,}39286\ (-13986816)}}{2\ 16693{,}39286}$

c+ $= \frac{-30144 + \sqrt{934858317970}}{33386{,}78571}$

= 28,057

c- $= \frac{-30144 - \sqrt{934858317970}}{33386{,}78571}$

= -29,86285424

16693,39286 787,2014151 + 30144 28,05710988 + -13986816 = 0
0 = 0

Maka di pakai nilai c = 28,06 < 58,00 (OK)

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka di lanjutkan menghitung nilai a :

a = β1 c

= 0.84 (28,6)

= 23,8803366 mm

Menghitung regangan tulangan :

εs’ $= \frac{d' - c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{58{,}00 - 28{,}1}{28{,}1}\ 0.003$

= 0.003 > εs = 0.003 tulangan belum leleh

εs $= \frac{d - c}{c} \times \varepsilon c$ $= \frac{542 - 28{,}1}{28{,}1}\ 0.003$

= 0.0550 > εy = 0.003 tulangan sudah leleh

εy $= \frac{fy}{Es}$ $= \frac{525}{200000}$ = 0.003

Menghitung tegangan tulangan :

fs' = εs' x Es

= 0.0032 x 200000

= 640,33 Mpa < 525 Mpa Maka di pakai dengan nilai fs' = 525 Mpa

fs = εs x Es

= 0,0550 x 200000

= 10991 Mpa > 525 Mpa maka di pakai fy = 525 Mpa

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai εs sesudah leleh = 0,0743 $\geq$ 0.005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

maka diambil ϕ: 0.9

Menghitung gaya tekan dan tarik :

Cc = 0.85 Fc' a b

= 0.85 x 30 x 30 x 783,3333333

= 468368,4 N

Ts1 = As' x fs'

= 401,92 x 640,327

= 257360,3577 N

Ts2 = As x fy

= 401,9 x 525

= 211008 N

Cc = Ts1 + Ts2

468368,3577 = 257360,3577 + 211008

468368,3577 = 468368,3577 (Metode keseimbangan terpenuhi)

Menghitung jarak Ts terhadap Cc :

Z1 = d’ - 0.5 x a

= 58,00 - 0.5 x 23,4

= 46,28 mm

Z2 = d - 0.5 x a

= 542,0 - 0.5 x 23,4

= 530,3 mm

Menghitung momen nominal (Mnb) :

Mn = Ts1 x Z1 + Ts2 x Z2

= 211008 x 46,28 + 211008 x 530,3

= 121657141,906Nmm

Mr = ф Mn

= 0.9 x 121657141,9

= 109491427,7 Nmm

Φ Mn > Mu

109.491.427,7 Nmm > 4.336.600 Nmm (Memenuhi)

Tabel 4.38 Data Tulangan Balok 300 x 600

Lokasi		Mu	keb. Tul			As psg	Mn	Ket.
a	b							
Tump.	Kan. -	43.206.700	3	D	16	804,5714	196.082.897	Oke
	Kan +	21.603.350	4	D	16	804,5714	208.330.498	Oke
	kir -	32.038.300	3	D	16	804,5714	217.869.885	Oke
	kir +	16.019.150	4	D	16	804,5714	208.330.498	Oke
Lap	-	3.082.600	2	D	16	402,2857	99.400.401	Oke
	+	4.336.600	2	D	16	402,2857	109.491.428	Oke

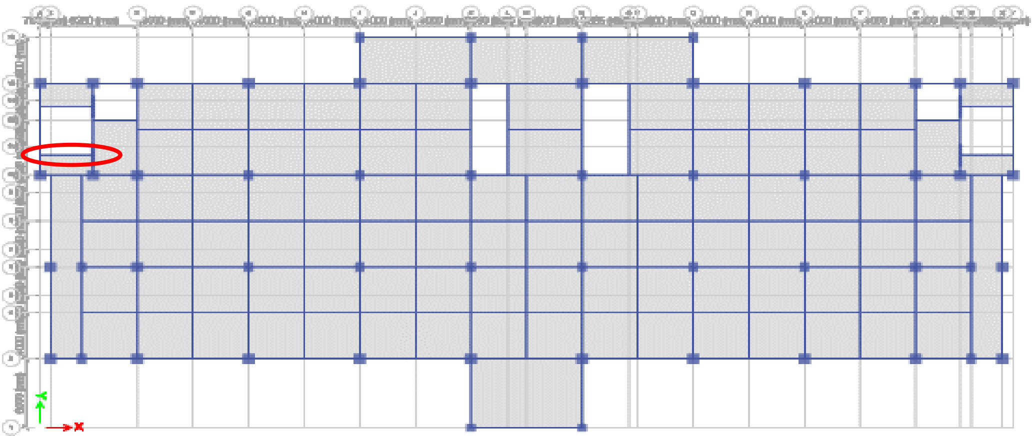
Mpr - Tumpuan Kiri = 217.869.885

Mpr + Tumpuan Kanan = 231.478.331

Mpr + Tumpuan Kiri = 231.478.331

Mpr - Tumpuan Kanan = 217.869.885

4.6.24 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal Balok 300 x 600



Gambar 4.93 Letak Balok 300 x 600 (Tipe Balok B 504 Lantai 1)

Balok yang akan didisain dengan data-data desain sebagai berikut:

Lebar Balok (bw)	= 300 mm
Tinggi Balok (h)	= 600 mm
Selimut Beton (cb)	= 40 mm
Mutu Beton Fc'	= 30 Mpa
fy ulir	= 420 Mpa
fy sengkang ulir	= 280 Mpa
Diameter Tul. Pokok	= 16 mm
Diameter Tul. Sengkang	= 10 mm
L Balok	= 3800 mm
Es Baja	= 200000 Mpa
Ln Balok Bersih	= 3650 mm
P balok anak dari tributari beban area pelat	= 99,38331379
Wu balok dari tributari beban area pelat	= 14,49866121

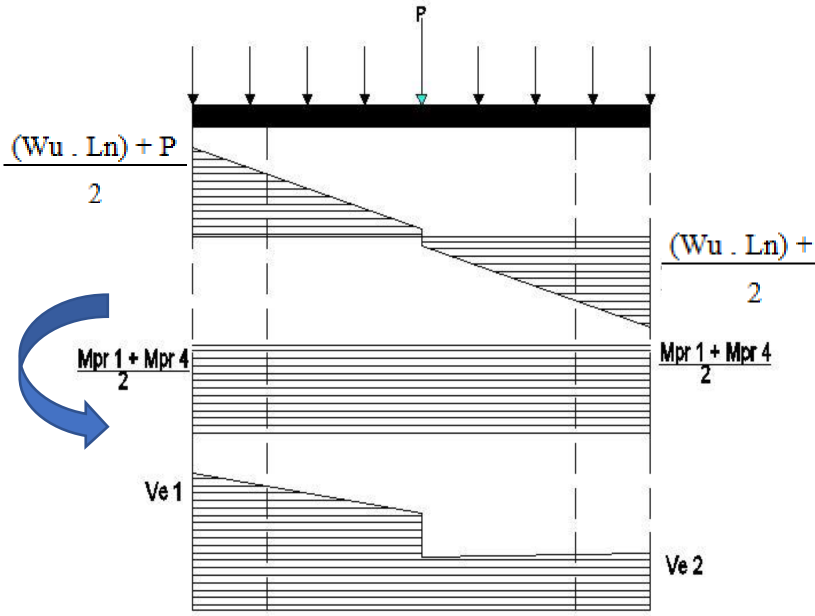
A. Menghitung Gaya Geser Desain

Menghitung gaya geser desain dihitung berdasarkan momen ujung balok atau probable moment capacities (Mpr). Momen ujung dihitung berdasarkan nilai tegangan Tarik baja sebesar 1,25 fy dan factor reduksi kekuatan lentur ϕ = 1.

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kiri

Wu = 1,2 D + 1,0 L

$$\frac{(Wu\ .\ Ln) + P}{2}$$



Momen ujung tumpuan kiri negatif (Mpr 1)

Mpr1 = Mpr – kiri balok (fy.1.25)

= 217.869.885N.mm

Momen ujung tumpuan kanan positif (Mpr 4)

Mpr4 = Mpr + kanan balok (fy.1.25)

= 231.478.331N.mm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$V_{q\ kiri} \quad = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(14{,}50 \times 3.650)+99{,}38}{2}$

= 90,489.96 N

$V_{q\ kanan} \quad = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(14{,}50 \times 3.650)+99{,}38}{2}$

= 26.509,75 N

$V_{sway} \quad = \frac{M_{pr\ 1}+M_{pr\ 4}}{In} \quad = \frac{722{,}989{,}468.18+764{,}015{,}705}{7{,}100}$

= 123.109,1 N

Gaya geser akibat goyangan ke kiri :

$V_{el} \quad = V_{sway} + V_{q\ kiri}$

= 123.109,1+ 26.509,75

= 149.618,85 N

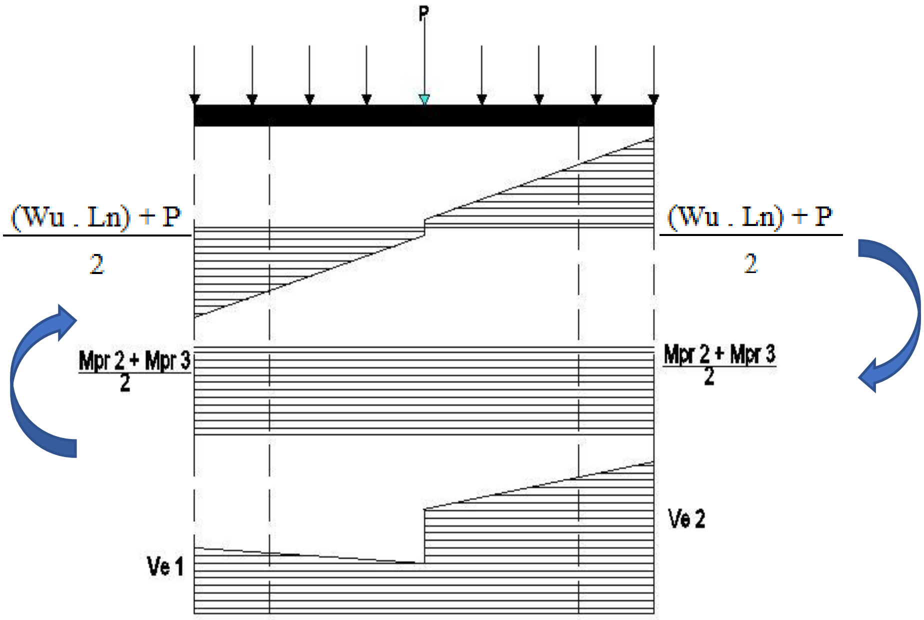
$V_{e2} \quad = V_{sway} - V_{q\ kanan}$

= 123.109,1- 0.00

= 123.109,1 N

Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kanan

Wu = 1,2 D + 1,0 L



Momen ujung tumpuan kiri Positif (Mpr 2)

$M_{pr\ 2}$ = Mpr + tumpuan kiri

= 231.478.331 N.mm

Momen ujung tumpuan kanan Negatif (Mpr 3)

$M_{pr\ 4}$ = Mpr - tumpuan kanan

= 217.869.885 N.mm

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi :

$$V_{q\ kiri} = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$$

$$= \frac{(14{,}50 \times 3.650)+99{,}38}{2}$$

= 26.509,748 N

$V_{q\ kanan} \quad = \frac{(W_u \times Ln)+P}{2}$

$= \frac{(14{,}50 \times 3.650)+99{,}38}{2}$

= 26.509,748 N

$V_{Mpr} \quad = \frac{M_{pr\ 1}+M_{pr\ 4}}{In}$

$= \frac{231.478.331{,}02+217.869.885{,}33}{3.650}$

= 123.109,10 N

Gaya geser akibat goyangan ke kanan :

$V_{el} = V_{Mpr} - V_{q\ kiri}$

= 123.109,10 - 26.509,748

= 96.599,35 N

$V_{e2} = V_{Mpr} - V_{q\ kanan}$

= 123.109,10 + 26.509,748

= 149.618,85N

B. Tulangan Geser Didaerah Sendi Plastis

SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2 menyatakan daerah sendi plastis sepanjang 2h dari muka kolom, maka konstribusi beton dalam menahan geser Vc = 0 apabila :

c. Gaya geser akbiat gempa melebihi ½ atau lebih dari kekuatan geser maksimum disepanjang bentang.
d. Gaya tekan aksial terfaktor, Pu termasuk pengaruh gempa kurang dari Ag.fc’/20

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4) yaitu S = d/4, S = 6 x db dan S = 150 mm.

Syarat a :

Arah Gempa	**Geser Gempa (N)**	**Tump. Kiri**		**Tump. Kanan**	
		Ve (N)	**0,5 Ve (N)**	**Ve (N)**	**0,5 Ve (N)**
Kanan	149.618,85	149.618,85	74.809,424	123.109,1004	61.554,550
Kiri	149.618,85	96.599,352	48.299,6760	149.618,849	74.809,42

Syarat b :

Nilai Pu = 0 kN < Agfy'/20.fc'

pu = 0 N < $\frac{180.000.400}{20.30}$ = 120.000,00 N (OK)

Karena kedua syarat diatas terpenuhi maka Vc atau gaya geser yang diakibatkan beton dianggap 0

maka Vc = 0 KN

C. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kiri

Ve = 149.618,8 N fc = 30.0 bw = 300 mm

d = 734.50 mm d = 734.5 fy = 280 Mpa

d tul utama = 16 mm

Karena Vu > ϕ Vc, maka Vs dihitung dengan:

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$ (SNI 2847-2019 22.5.10.1)

$= \frac{149.618,8}{0.75} - 0 = 199.491,8$

$V_{s\ max}$ = 0.66 $\sqrt{f'c}$ x bw x d

$V_{s\ max}$ = 0.66 $\sqrt{30.0}$ x 400 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 199.491,8 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 10 = Av 314 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{314 \times 280 \times 734.50}{199.491,8} = 323,71\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 96 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 10 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{314 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 430.515 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 430.515

= 430.515 N

ɸ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 430.515 N

= 322.886,2 N > Ve = 149.618,85 N (Aman)

D. Kebutuhan Tulangan Geser Tumpuan Kanan

Ve	= 149.618,85 N	fc	= 30.0	bw	= 500 mm
d	= 734.50 mm	d	= 734.5	fy	= 280 Mpa

d tul utama = 16 mm

Vs $= \frac{Ve}{0.75} - Vc$

$= \frac{149.618,8}{0.75} - 0$

$= 199.491,8$

$V_{s\ max}$ = 0.66 x 30 x 400 x 734.5

= 1,062,077.9 N

Vs yang dipakai = 199.491,8 N

Dipakai sengkang 4 kaki D 10 = Av 314 mm^2

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{314 \times 280 \times 734.50}{199.491,8} = 323,71\ mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4)

S $= \frac{d}{4} = \frac{734.50}{4.00} = 183.63\ mm$

S = 6 db = 6 x 25 = 150 mm

S = 150 mm

Sehingga dipakai sengkang: 4 kaki Ø 10 - 150

Kontrol Tulangan Transversal:

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{314 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 430.515 N

Vn = Vc + Vs

= 0.00 + 430.515

= 727,570 N

ϕ Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 430.515 N

= 322.886,2 N > Ve = 149.618,849 N (Aman)

E. Tulangan Geser Didaerah Luar Sendi Plastis

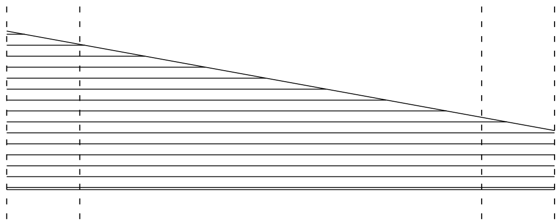
h = 600 mm 2h = 1,200 mm fc = 30.0 Mpa

l = 3,800 mm d = 734.5 mm

Ve kiri = 299,927.3 N bw = 500 mm

Ve kanan = 209,437.35 N

Ve kiri 299,927.3 N $V_{e\ Lap}$



Ve kanan 209,437.35 N

l= 8000 mm

2 h = 2 x 800

= 1,600 mm

Menghitung Nilai Ve lap menggunakan persamaan segitiga sebagai berikut:

$$\frac{I-2h}{I} = \frac{Ve\ lap}{Ve\ kiri - Ve\ kanan}$$

$$V_{e\ lap} = \frac{(3.800-1,200)\times(149.618,8-123.109,10)}{3.800} + 123.109,10$$

= 141.247,35N

Vc = 0.17 x λ x fc x bw x d

= 0.17 x λ x 30.0 x 300 x 734.50

= 205.174,1 N

$$v_s = \frac{Ve\ lap}{\phi} - Vc$$

$= \frac{141.247,3}{0.75} - 205.174,1$

= 16.844,33 N

$V_{s\ max}$ = 0.66 x fc x bw x d

= 0.66 x 30.0 x 300 x 734.50

= 796.558,4 N

Vs dipakai = 16.844,33 N

Dipakai sengkang 2 kaki D 10 = Av 157 mm

S $= \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{157 \times 280 \times 734.50}{16.844,33} = 1.916,88mm$

Syarat jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis (SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6)

Sehingga dipakai sengkang : 2 kaki Ø 10 - 150

Kontrol Tulangan Transversal :

V_s Terpasang $= \frac{As \times fy \times d}{s} = \frac{157 \times 280 \times 734.5}{150}$

= 215.257 N

Vn = Vc + Vs

= 205.174 + 215.257

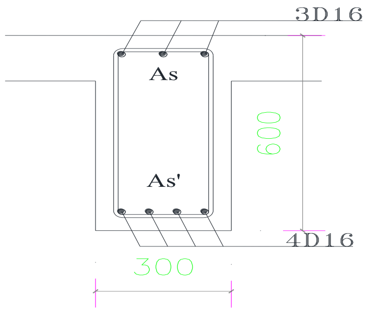
= 420.432 N

ф Vn = 0.75 x Vn

= 0.75 x 420.432 N

= 315.323,**7** N > Vu = 141.247,349 N (Aman)

Perhitungan Penulangan Torsi :



Acp = 300 x 600

= 180,000 mm²

Pcp = 2 (300 + 600)

= 1,800 mm

ϕ Tnc = ϕ 0.083 λ $\sqrt{fc'}\left(\frac{Acp}{Pcp}\right)^2$ SNI 2847:2019 Pasal 22.7.4.1

= 0.75 0.083 1 $\sqrt{30}\left(\frac{32.400.000.000}{1.800,00}\right)^2$

= 6.137.231,26 Nmm

= 6,14 KNm < Tu = 1.50 KNm

Dari perhitungan di atas Tnc lebih besar, maka tidak diperlukan tulangan torsi

Balok	Tulangan Transversal	
	Dalam Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
B1 30 x 60	4 Ø 10 - 150	2 Ø 10 - 150

Panjang penyalurann tulangan balok induk :

Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3:

Data - data Parameter :

db = 25 mm **Ψ**t = 1.0 λ = 1.0

fc = 30 Mpa **Ψ**e = 1.0

fy = 420 Mpa **Ψ**s = 0.8

cb = Deck + D tul Geser + 0,5 D tul Utama

= 40 + 10 + 8 = 58 mm

Ktr = 0 (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3)

(cb + ktr)/db $= \frac{65.5+0}{25.00} = 2.62$ > 2.5 diambil = 2.5

$I_d = \frac{fy}{1.1\,\sqrt{\lambda} fv} \times \frac{\varphi t\ \ \varphi e\ \varphi s}{)cb+ktr)/db}$

$= \frac{420}{6.024} \times \frac{1\ 1\ 0.8}{2.5} \times 2.5$ = 356,9159357 mm

ld min = 300 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.1)

maka dipakai: 400 mm

Panjang penyaluran tulangan kondisi tekan :

Untuk tulangan ulir kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.9 :

ldc 1 $= \frac{0.24 \times fy \times \varphi e \times db}{\lambda\sqrt{x} fc} = \frac{0.24 \times 420 \times 1 \times 25}{1.0 \times \sqrt{30}}$ = 460 mm

ldc 2 = 0.043 x 420 x 16

= 288,96 mm

ldc min = 200 mm (SNI 2847-2019 pasal 25.4.9.1)

dipakai: 400 mm

Panjang Kait :

Panjang penyaluran dibutuhkan oleh kait menurut SNI 2847-2019 pasal 25.4.3.1 dapat dihitung untuk kait 90 ° sebagai berikut :

L_{dh} $= \left(\frac{0{,}24 \text{ x } \Psi\text{e x fy}}{\lambda \text{ x} \sqrt{fc'}} \right) \text{ x db}$

$= \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{1.0 \times \sqrt{30}} \times 16$

= 294,455 mm

maka dipakai ldh: 300 mm

Persyaratan mengenai kait ada dalam SNI 2847-2019 pasal 25.3.1 yaitu :

4. Batang tulangan D10-D16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 6db
5. Batang tulangan D19, D22 dan D25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan 12db
6. Batang tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan 6db

Sehingga karena tulangan yang dipakai yaitu D25, maka panjang bengkokan :

12 db = 12 x 26

= 192 mm

= 270 mm

4.7 Penulangan Kolom K1 (900 x 900)

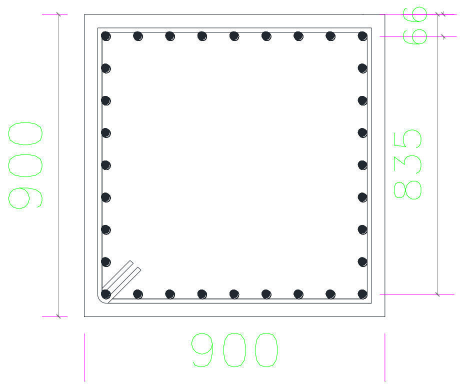
4.7.1 Desain Penulangan Longitudinal Kolom K1 900 x 900

Data- data perencanaan :

- Lebar Kolom (bw) = 900 mm
- Tinggi Balok (h) = 900 mm
- Selimut Beton (sb) = 40 mm
- Mutu Beton fc' = 30 Mpa → β_1 = 0,85
- fy ulir = 420 Mpa
- fy ulir sengkang = 280 Mpa
- Modulus Elastisitas Baja (Es) = 200000 Mpa
- Diameter Tul. Longitudinal = 25 mm
- Diameter Tul. Transversal = 13 mm
- Tinggi Lantai (h lantai) = 5000 mm
- Tinggi Balok (h balok) = 800 mm
- Tinggi Bersih Kolom(hn) = h lantai – h balok
  = 5000 mm – 800 mm
  = 4200 mm

Direncanakan kolom dengan :

- d = h kolom – sb – d sengkang - ½ d tulangan pokok
  = 900 mm – 40 mm – 13 mm - ½ x 25 mm
  = 835 mm
- d' = h kolom – d
  = 900 mm - 834,50 mm
  = 66 mm



Gambar 4.94 Rencana Penulangan Kolom

Karena keempat sisi kolom dapat terkena pengaruh dari gaya, maka jumlah tulangan tiap sisi kolom harus sama (simetris). Maka dari itu dipilih formasi tulangan yang simetris (contoh : 16D25, 20D25, 24D25, 28D25, 32D25) lalu dikontrol rasio tulangannnya (ρg) apakah masih memenuhi syarat 1% - 6%. Jika masih dalam range 1% - 6% perhitungan desain kolom dilanjutkan.

4.7.1.1 Kolom 32D25

- Luas penampang kolom (Ag) = b kolom x h kolom
  = 900 mm x 900 mm
  = 810000 mm^2
- Luas tulangan perlu (Ast) = n tulangan x ¼ x π x d^2
  = 32 x ¼ x 3,14 x $(25\ mm)^2$
  = 15700 mm^2

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.1 luas tulangan memanjang (longitudinal), Ast, tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag.

- Rasio tul. Memanjang (ρg) $= \frac{Ast}{Ag}$
  $= \frac{15700\ mm2}{810000\ mm2}$
  = 0,019

Cek rasio tulangan memanjang (ρg):

0,01 Ag < ρg < 0,6 Ag (OK)

0,01 Ag < 0,019 < 0,6 Ag (OK)

- Perhitungan luas tulangan (As) tiap baris :

Luas tul. baris 1 (As 1) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 9 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 4415,625 mm^2

Luas tul. baris 2 (As 1) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 3 (As 3) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 4 (As 4) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 5 (As 5) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 6 (As 6) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 7 (As 7) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 8 (As 8) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 2 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 981,25 mm^2

Luas tul. baris 9 (As 9) = jumlah tulangan x ¼ x π x d^2
= 9 x ¼ x 3,14 x $(32\ mm)^2$
= 4415,625 mm^2

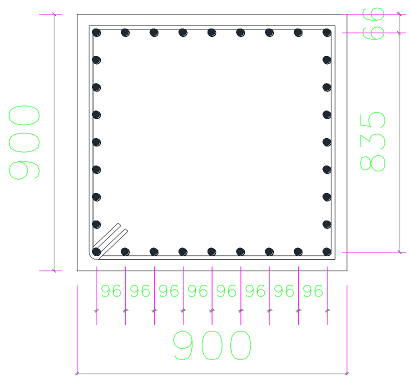
- Perhitungan jarak antar tulangan (x):

$$x = \frac{Jarak\ antar\ tulangan\ tepi}{n\ tulangan\ yg\ ditinjau - 1}$$

$$x = \frac{h - 2d'}{n\ tulangan\ yg\ ditinjau - 1}$$

$$x = \frac{900\ mm - 2(66\ mm)}{9 - 1}$$

x = 96 mm



Gambar 4.95 Jarak Antar Tulangan

a) Kondisi Sentris

Beban Sentris (Po) :

Po = 0,85 x fc' x (Ag – Ast) + fy x Ast

= 0,85 x 30 x (810000 - 15700) + 420 x 15700

= 26848650 N

= 26848,65 kN

Pn = 0,8 x Po

= 0,8 x 26848,65 kN

= 21478,92 kN

ΦPn = 0,65 x Pn

= 0,65 x 21478,92 kN

= 13961,298 kN

b) Kondisi Seimbang

Fy = 420 Mpa

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

$= \frac{600 \ x \ 835}{600 + 420}$

= 490,882 mm

ab = cb x β_1

= 490,882 x 0,85

= 417,250 mm

- **Menghitung regangan tulangan Kondisi Seimbang (cb) :**

ey $= \frac{fy}{Es} = \frac{400}{200000}$ = 0,0021

e's1 $= \frac{cb - d'}{cb} \ x \ ec$

$= \frac{490{,}882 - 66}{490{,}882} \ x \ 0{,}003$

= 0,00260 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's2 $= \frac{cb - (d' + x)}{cb} \ x \ ec$

$= \frac{490{,}882 - (66 + 96)}{490{,}882} \ x \ 0{,}003$

= 0,00201 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's3 $= \frac{cb - (d' + 2x)}{cb} \ x \ ec$

$= \frac{490{,}882 - (66 + 2 \ x \ 96)}{490{,}882} \ x \ 0{,}003$

= 0,00142 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's4 $= \frac{cb - (d' + 3x)}{cb} \ x \ ec$

$= \frac{490{,}882 - (66 + 3 \ x \ 96)}{490{,}882} \ x \ 0{,}003$

= 0,00084 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's5 $= \frac{(d' + 4x) - cb}{cb} \ x \ ec$

$= \frac{(66 + 4 \ x \ 96) - 490{,}882}{490{,}882} \ x \ 0{,}003$

= -0,00020 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's6 $= \frac{(d' + 5x) - cb}{cb} \ x \ ec$

$= \frac{(66 + 5 \ x \ 96) - 490{,}882}{490{,}882} \ x \ 0{,}003$

= 0,00030 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's7 $= \frac{(d'+6x)-cb}{cb}\ x\ ec`$

$= \frac{(\,66+6\ x\ 96\,)-490{,}882}{490{,}882}\ x\ 0{,}003$

= 0,00093 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's8 $= \frac{(d'+7x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\,66+7\ x\ 96\,)-490{,}882}{490{,}882}\ x\ 0{,}003$

= 0,00150 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's9 $= \frac{(d'+8x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\,66+8\ x\ 96\,)-490{,}882}{490{,}882}\ x\ 0{,}003$

= 0,0021 = ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

- **Menghitung tegangan pada tulangan :**

fs'1 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'2 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'3 = e's3 x Es

= 0,00142 x 200000

= 284,955 Mpa

fs'4 = e's4 x Es

= 0,00084 x 200000

= 167,463 Mpa

fs'5 = e's5 x Es

= -0,00020 x 200000

= -49,970 Mpa

fs'6 = e's6 x Es

= 0,00030 x 200000

= 67,522 Mpa

fs'7 = e's7 x Es

= 0,00093 x 200000

= 185,015 Mpa

fs'8 = e's8 x Es

= 0,00150 x 200000

= 302,507 Mpa

fs'9 = fy ulir

= 420 Mpa

- **Menghitung gaya tekan dan tarik :**

NCc = 0,85 x fc' x ab x b

= 0,85 x 30 N/mm^2 x 417,250 mm x 900 mm

= 9575887,50 N

= 9575,888 kN

NC1 = As 1 x fy ulir

= 4415,625 mm^2 x 420 N/mm^2

= 1854562,2 N

= 1854,562 kN

NC2 = As 2 x fs'2

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NC3 = As 3 x fs'3

= 981,25 mm^2 x 284,955 N/mm^2

= 279612,155 N

= 279,612 kN

NC4 = As 4 x fs'4

= 981,25 mm^2 x 167,463 N/mm^2

= 164322,630 N

= 164,323 kN

NT1 = As 5 x fs'5

= 981,25 mm^2 x (-49,970) N/mm^2

= -49033,104 N

= -49,033 kN

NT2 = As 6 x fs'6

= 981,25 mm^2 x 67,522 N/mm^2

= 66256,422 N

= 66,256 kN

NT3 = As 7 x fs'7

= 981,25 mm^2 x 185,015 N/mm^2

= 181545,948 N

= 181,546 kN

NT4 = As 8 x fs'8

= 981,25 mm^2 x 302,507 N/mm^2

= 296835,474 N

= 296,835 kN

NT5 = As 9 x fs'9

= 4415,625 mm^2 x 420 N/mm^2

= 1854562,2 N

= 1854,562 kN

- **Menghitung jarak gaya terhadap $\boldsymbol{h/2}$:**

ZCc $= h/2 - \left(ab/2\right)$

$= \left(900\ mm/2\right) - \left(417{,}25\ mm/2\right)$

= 241,375 mm

ZC1 $= h/2$ – d'

$= \left(900\ mm/2\right)$ – 66 mm

= 384 mm

ZC2 $= h/2$ – d' - x

$= \left(900\ mm/2\right)$ – 66 mm – 96,125 mm

= 288,375 mm

ZC3 $= h/2$ – d' - $2x$

$= \left(900\ mm/_2\right)$– 66 mm – (2 *x* 96,125 mm)

= 192,250 mm

ZC4 $= h/_2$– d' - 3*x*

$= \left(900\ mm/_2\right)$– 66 mm – (3 *x* 96,125 mm)

= 96,125 mm

ZT1 = d' + (4*x*) – $h/_2$

= 66 mm + (4 *x* 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 0 mm

ZT2 = d' + (5*x*) – $h/_2$

= 66 mm + (5 *x* 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 96,125 mm

ZT3 = d' + (6*x*) – $h/_2$

= 66 mm + (6 *x* 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 192,250 mm

ZT4 = d' + (7*x*) – $h/_2$

= 66 mm + (7 *x* 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 288,375 mm

ZT5 = d' + (8*x*) – $h/_2$

= 66 mm + (8 *x* 96,125 mm) –$\left(900\ mm/_2\right)$

= 384 mm

- **Menghitung Pnb pada kondisi seimbang :**

Pnb = NCc + NC1 + NC2 + NC3 + NC4 – NT1 – NT2 – NT3– NT4– NT5

= 9575,888 kN + 1854,562 kN + 412,125 kN + 279,612 kN + 164,323 kN – (-49,033 kN) – 66,256 kN – 181,546 kN – 296,835 kN – 1854,562 kN

= 9936,343 kN

- **Menghitung ΦPnb pada kondisi seimbang :**

ΦPnb = 0,65 x Pnb

= 0,65 x 9936,343 kN

= 6458,623 kN

- **Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi seimbang :**

MCc = NCc x ZCc

= 9575,888 kN x 241,375 mm

= 2311379,845 kNmm

= 2311,379 kNm

MC1 = NC1 x ZC1

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

MC2 = NC2 x ZC2

= 412,125 kN x 288,375 mm

= 118846,567 kNmm

= 118,847 kNm

MC3 = NC3 x ZC3

= 279,612 kN x 192,250 mm

= 53755,437 kNmm

= 53,755 kNm

MC4 = NC4 x ZC4

= 164,323 kN x 96,125 mm

= 15795,513 kNmm

= 15,795 kNm

MT1 = NT1 x ZT1

= -49,033 kN x 0 mm

= 0 kNmm

= 0 kNm

MT2 = NT2 x ZT2

= 66,256 kN x 96,125 mm

= 6368,899 kNmm

= 6,369 kNm

MT3 = NT3 x ZT3

= 181,546 kN x 192,250 mm

= 34902,209 kNmm

= 34,902 kNm

MT4 = NT4 x ZT4

= 296,835 kN x 288,375 mm

= 85599,929 kNmm

= 85,599 kNm

MT5 = NT5 x ZT5

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

Mn total = MCc + MC1 + MC2 + MC3 + MC4 + MT1 + MT2 + MT3 + MT4 + MT5

= 2311,380 kNm + 713,079 kNm + 118,847 kNm + 53,755 kNm + 15,795 kNm + 0 kNm + 6,369 kNm + 34,902 kNm + 85,599 kNm + 713,079 kNm

= 4052,807 kNm

ΦMnb = 0,65 x Mnb

= 0,65 x 4052,807 kNm

= 2634,325 kNm

eb $= \frac{Mnb}{Pnb}$

$= \frac{4052,807}{9936,343}$

= 0,408 m

= 408 mm

c) Kondisi Seimbang 1,25

fy = 420 Mpa

1,25fy= 1,25 *x* 420 Mpa

= 525 Mpa

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

$= \frac{600\ x\ 834}{600 + 525}$

= 445,067 mm

ab = cb x β_1

= 445,067 x 0,85

= 378,307 mm

- **Menghitung regangan tulangan Kondisi Seimbang (cb) :**

ey $= \frac{fy}{Es} = \frac{525}{200000}$ = 0,00263

e's1 $= \frac{cb - d'}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{445{,}067 - 66}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00256 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's2 $= \frac{cb - (d' + x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{445{,}067 - (66 + 96)}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00191 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's3 $= \frac{cb - (d' + 2x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{445{,}067 - (\ 66 + 2\ x\ 96\ )}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00126 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's4 $= \frac{cb - (d' + 3x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{445{,}067 - (\ 66 + 3\ x\ 96\ )}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00061 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's5 $= \frac{(d'+4x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(66+4\ x\ 96)-445{,}067}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00003 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's6 $= \frac{(d'+5x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(66+5\ x\ 96)-445{,}067}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00070 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's7 $= \frac{(d'+6x)-cb}{cb}\ x\ ec`$

$= \frac{(66+6\ x\ 96)-445{,}067}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00130 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's8 $= \frac{(d'+7x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(66+7\ x\ 96)-445{,}067}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00200 < ey = 0,00263 (dipakai fs')

e's9 $= \frac{(d'+8x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(66+8\ x\ 96)-445{,}067}{445{,}067}\ x\ 0{,}003$

= 0,00263 = ey = 0,00263 (dipakai fy ulir)

- **Menghitung tegangan pada tulangan :**

fs'1 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'2 = e's2 x Es

= 0,00191 x 200000

= 382,111 Mpa

fs'3 = e's3 x Es

= 0,00126 x 200000

= 252,524 Mpa

fs'4 = e's4 x Es

= 0,00061 x 200000

= 122,937 Mpa

fs’5 = e’s5 x Es

= 0,00003 x 200000

= 6,651 Mpa

fs’6 = e’s6 x Es

= 0,00070 x 200000

= 136,238 Mpa

fs’7 = e’s7 x Es

= 0,0013 x 200000

= 265,825 Mpa

fs’8 = e’s8 x Es

= 0,0020 x 200000

= 395,413 Mpa

fs’9 = fy ulir

= 420 Mpa

- **Menghitung gaya tekan dan tarik :**

NCc = 0,85 x fc’ x ab x b

= 0,85 x 30 N/mm^2 x 378,307 mm x 900 mm

= 8682138 N

= 8682,138 kN

NC1 = As 1 x fs’1

= 4415,625 mm^2 x 420 N/mm^2

= 1854562,5 N

= 1854,562 kN

NC2 = As 2 x fs’2

= 981,25 mm^2 x 382,111 N/mm^2

= 374946,707 N

= 374,947 kN

NC3 = As 3 x fs’3

= 981,25 mm^2 x 252,524 N/mm^2

= 247789,142 N

= 247,789 kN

NC4 $= As\ 4 \times fs'4$

$= 981,25\ mm^2 \times 122,937\ N/mm^2$

$= 120631,577\ N$

$= 120,632\ kN$

NT1 $= As\ 5 \times fs'5$

$= 981,25\ mm^2 \times 6,651\ N/mm^2$

$= 6525,899\ N$

$= 6,526\ kN$

NT2 $= As\ 6 \times fs'6$

$= 981,25\ mm^2 \times 136,238\ N/mm^2$

$= 133683,554\ N$

$= 133,684\ kN$

NT3 $= As\ 7 \times fs'7$

$= 981,25\ mm^2 \times 265,825\ N/mm^2$

$= 260841,119\ N$

$= 260,841\ kN$

NT4 $= As\ 8 \times fs'8$

$= 981,25\ mm^2 \times 395,413\ N/mm^2$

$= 387998,685\ N$

$= 387,999\ kN$

NT5 $= As\ 9 \times fs'9$

$= 4415,625\ mm^2 \times 420\ N/mm^2$

$= 1854562,50\ N$

$= 1854,563\ kN$

- **Menghitung jarak gaya terhadap $h/2$:**

ZCc $= h/2 - (ab/2)$

$= (900\ mm/2) - (378,307\ mm/2)$

$= 260,847\ mm$

ZC1 $= h/2 - d'$

$= \left(900\ mm/_2\right) - 66$ mm

= 384 mm

ZC2 $= h/_2 -$ d' - x

$= \left(900\ mm/_2\right) - 66$ mm – 96,125 mm

= 288,375 mm

ZC3 $= h/_2 -$ d' - $2x$

$= \left(900\ mm/_2\right) - 66$ mm – (2 x 96,125 mm)

= 192,250 mm

ZC4 $= h/_2 -$ d' - $3x$

$= \left(900\ mm/_2\right) - 66$ mm – (3 x 96,125 mm)

= 96,125 mm

ZT1 = d' + (4x) – $h/_2$

= 66 mm + (4 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 0 mm

ZT2 = d' + (5x) – $h/_2$

= 66 mm + (5 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 96,125 mm

ZT3 = d' + (6x) – $h/_2$

= 66 mm + (6 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 192,250 mm

ZT4 = d' + (7x) – $h/_2$

= 66 mm + (7 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 288,375 mm

ZT5 = d' + (8x) – $h/_2$

= 66 mm + (8 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/_2\right)$

= 384 mm

- **Menghitung Pnb pada kondisi seimbang :**

Pnb = NCc + NC1 + NC2 + NC3 + NC4 – NT1 – NT2 – NT3– NT4– NT5

= 8682,138 kN + 1854,562 kN + 374,947 kN + 247,789 kN + 120,632 kN – 6,526 kN – 133,684 kN – 260,841 kN – 387,999 kN – 1854,562 kN

= 8636,456 kN

- **Menghitung ΦPnb pada kondisi seimbang :**

ΦPnb = 0,65 x Pnb

= 0,65 x 8636,456 kN

= 5613,696 kN

- **Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi seimbang :**

MCc = NCc x ZCc

= 8636,456 kN x 260,847 mm

= 2264706,757 kNmm

= 2264,707 kNm

MC1 = NC1 x ZC1

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

MC2 = NC2 x ZC2

= 374,947 kN x 288,375 mm

= 108125,257 kNmm

= 108,125 kNm

MC3 = NC3 x ZC3

= 247,789 kN x 192,250 mm

= 47637,463 kNmm

= 47,637 kNm

MC4 = NC4 x ZC4

= 120,632 kN x 96,125 mm

= 11595,710 kNmm

= 11,596 kNm

MT1 = NT1 x ZT1

= 6,526 kN kN x 0 mm

= 0 kNmm

= 0 kNm

MT2 = NT2 x ZT2

= 133,684 kN x 96,125 mm

= 12850,332 kNmm

= 12,850 kNm

MT3 = NT3 x ZT3

= 260,841 kN x 192,250 mm

= 50146,705 kNmm

= 50,147 kNm

MT4 = NT4 x ZT4

= 387,999 kN x 288,375 mm

= 111889,121 kNmm

= 111,889 kNm

MT5 = NT5 x ZT5

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

Mn total = MCc + MC1 + MC2 + MC3 + MC4 + MT1 + MT2 + MT3 + MT4 + MT5

= 2264,707 kNm + 864,29 kNm + 713,079 kNm + 108,125 kNm + 47,637 kNm + 11,596 kNm + 0 kNm + 12,850 kNm + 50,147 kNm + 111,889 kNm + 713,079 kNm

= 4033,110 kNm

ΦMnb = 0,65 x Mnb

= 0,65 x 4052,807 kNm

= 2621,521 kNm

eb $= \frac{Mnb}{Pnb}$

$= \frac{4033,110}{8636,456}$

= 0,467 m

= 467 mm

d) Kondisi Patah Desak (c > cb)

Fy = 420 Mpa

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

$= \frac{600\ x\ 835}{600 + 420}$

= 490,882 mm

Karena kondisi patah desak c > cb, maka digunakan nilai c sebagai berikut :

c = 520 mm

ab = cb x β_1

= 520 x 0,85

= 442 mm

- **Menghitung regangan tulangan Kondisi Seimbang (cb) :**

ey $= \frac{fy}{Es} = \frac{400}{200000}$ = 0,0021

e's1 $= \frac{cb-d\prime}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{442-66}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00262 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's2 $= \frac{cb-(d'+x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{442-(66+96)}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00207 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's3 $= \frac{cb-(d'+2x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{442-(\ 66+2\ x\ 96\ )}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00151 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's4 $= \frac{cb-(d'+3x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{442-(\ 66+3\ x\ 96\ )}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00096 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's5 $= \frac{(d'+4x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+4\ x\ 96\ )-442}{442}\ x\ 0{,}003$

= -0,00040 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's6 $= \frac{(d'+5x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+5\ x\ 96\ )-442}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00020 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's7 $= \frac{(d'+6x)-cb}{cb}\ x\ ec$`

$= \frac{(\ 66+6\ x\ 96\ )-442}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00070 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's8 $= \frac{(d'+7x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+7\ x\ 96\ )-442}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00130 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's9 $= \frac{(d'+8x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+8\ x\ 96\ )-442}{442}\ x\ 0{,}003$

= 0,00181 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

- **Menghitung tegangan pada tulangan :**

fs’1 = fy ulir

= 420 Mpa

fs’2 = e’s2 x Es

= 0,00151 x 200000

= 302,596 Mpa

fs’3 = e’s3 x Es

= 0,00151 x 200000

= 302,596 Mpa

fs’4 = e’s4 x Es

= 0,00096 x 200000

= 191,683 Mpa

fs’5 = e’s5 x Es

= -0,00040 x 200000

= -80,769 Mpa

fs’6 = e’s6 x Es

= 0,00015 x 200000

= 30,144 Mpa

fs’7 = e’s7 x Es

= 0,00071 x 200000

= 141,058 Mpa

fs’8 = e’s8 x Es

= 0,00126 x 200000

= 251,971 Mpa

fs’9 = e’s9 x Es

= 0,00181 x 200000

= 362,885 Mpa

Menghitung gaya tekan dan tarik :

NCc = 0,85 x fc’ x ab x b

= 0,85 x 30 N/mm^2 x 442 mm x 900 mm

= 10143900 N

= 10143,90 kN

NC1 = As 1 x fy ulir

= 4415,625 mm^2 x 420 N/mm^2

= 1854562,2 N

$= 1854{,}562$ kN

NC2 $= As\ 2 \times fs'2$

$= 981{,}25\ mm^2 \times 420\ N/mm^2$

$= 412125$ N

$= 412{,}125$ kN

NC3 $= As\ 3 \times fs'3$

$= 981{,}25\ mm^2 \times 302{,}596\ N/mm^2$

$= 296922{,}476$ N

$= 296{,}922$ kN

NC4 $= As\ 4 \times fs'4$

$= 981{,}25\ mm^2 \times 191{,}683\ N/mm^2$

$= 188088{,}642$ N

$= 188{,}089$ kN

NT1 $= As\ 5 \times fs'5$

$= 981{,}25\ mm^2 \times (-80{,}769)\ N/mm^2$

$= -79254{,}808$ N

$= -79{,}255$ kN

NT2 $= As\ 6 \times fs'6$

$= 981{,}25\ mm^2 \times 30{,}144\ N/mm^2$

$= 29579{,}026$ N

$= 29{,}579$ kN

NT3 $= As\ 7 \times fs'7$

$= 981{,}25\ mm^2 \times 141{,}058\ N/mm^2$

$= 138412{,}861$ N

$= 138{,}413$ kN

NT4 $= As\ 8 \times fs'8$

$= 981{,}25\ mm^2 \times 251{,}971\ N/mm^2$

$= 247246{,}695$ N

$= 247{,}247$ kN

NT5 $= As\ 9 \times fs'9$

$= 4415{,}625\ mm^2 \times 362{,}885\ N/mm^2$

$= 1602362{,}380$ N

$= 1602{,}362$ kN

- **Menghitung jarak gaya terhadap $h/2$:**

ZCc $= h/2 - \left(ab/2\right)$

$= \left(900\ mm/2\right) - \left(442\ mm/2\right)$

$= 241{,}375$ mm

ZC1 $= h/2$ – d’

$= \left(900\ mm/2\right)$ – 66 mm

= 384 mm

ZC2 $= h/2$ – d’ - x

$= \left(900\ mm/2\right)$ – 66 mm – 96,125 mm

= 288,375 mm

ZC3 $= h/2$ – d’ - $2x$

$= \left(900\ mm/2\right)$ – 66 mm – (2 x 96,125 mm)

= 192,250 mm

ZC4 $= h/2$ – d’ - $3x$

$= \left(900\ mm/2\right)$ – 66 mm – (3 x 96,125 mm)

= 96,125 mm

ZT1 = d’ + (4x) – $h/2$

= 66 mm + (4 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/2\right)$

= 0 mm

ZT2 = d’ + (5x) – $h/2$

= 66 mm + (5 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/2\right)$

= 96,125 mm

ZT3 = d’ + (6x) – $h/2$

= 66 mm + (6 x 96,125 mm) – $\left(900\ mm/2\right)$

= 192,250 mm

ZT4 $= d' + (7x) - {}^{h}/_{2}$

$= 66$ mm + (7 x 96,125 mm) – $\left({}^{900\ mm}/_{2}\right)$

= 288,375 mm

ZT5 $= d' + (8x) - {}^{h}/_{2}$

$= 66$ mm + (8 x 96,125 mm) –$\left({}^{900\ mm}/_{2}\right)$

= 384 mm

- **Menghitung Pnb pada kondisi seimbang :**

Pnb = NCc + NC1 + NC2 + NC3 + NC4 – NT1 – NT2 – NT3– NT4– NT5

= 10143,900 kN + 1854,562 kN + 412,125 kN + 296,922 kN + 188,089 kN – (-79,255 kN) – 29,579 kN – 138,413 kN – 247,247 kN – 1602,362 kN

= 10957,252 kN

- **Menghitung ΦPnb pada kondisi seimbang :**

ΦPnb = 0,65 x Pnb

= 0,65 x 10957,252 kN

= 7122,214 kN

- **Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi seimbang :**

MCc = NCc x ZCc

= 10143,900 kN x 229 mm

= 2322953,10 kNmm

= 2322,953 kNm

MC1 = NC1 x ZC1

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

MC2 = NC2 x ZC2

= 412,125 kN x 288,375 mm

= 118846,567 kNmm

= 118,847 kNm

MC3 = NC3 x ZC3

= 296,922 kN x 192,250 mm

= 57083,346 kNmm

= 57,083 kNm

MC4 = NC4 x ZC4

= 188,089 kN x 96,125 mm

= 18080,021 kNmm

= 18,080 kNm

MT1 = NT1 x ZT1

= -79,255 kN x 0 mm

= 0 kNmm

= 0 kNm

MT2 = NT2 x ZT2

= 29,579 kN x 96,125 mm

= 2843,284 kNmm

= 2,843 kNm

MT3 = NT3 x ZT3

= 138,413 kN x 192,250 mm

= 26609,872 kNmm

= 26,609 kNm

MT4 = NT4 x ZT4

= 247,247 kN x 288,375 mm

= 71299,766 kNmm

= 71,299 kNm

MT5 = NT5 x ZT5

= 1602,362 kN x 384 mm

= 616108,335 kNmm

= 616,108 kNm

Mn total = MCc + MC1 + MC2 + MC3 + MC4 + MT1 + MT2 + MT3 + MT4 + MT5

= 2322,953 kNm + 713,079 kNm + 118,847 kNm + 57,083 kNm + 18,080 kNm + 0 kNm + 2,843 kNm + 26,609 kNm + 71,299 kNm + 616,108 kNm

= 3946,904 kNm

ΦMnb = 0,65 x Mnb

= 0,65 x 4052,807 kNm

= 2565,487 kNm

eb $= \frac{Mnb}{Pnb}$

$= \frac{3946,904}{100957,252}$

= 0,360 m

= 360 mm

e) Kondisi Patah Tarik (c < cb)

Fy = 420 Mpa

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

$= \frac{600\ x\ 835}{600 + 420}$

= 490,882 mm

Karena kondisi patah desak c < cb, maka digunakan nilai c sebagai berikut :

c = 300 mm

ab = c x β_1

= 300 x 0,85

= 255 mm

- **Menghitung regangan tulangan Kondisi Seimbang (cb) :**

ey $= \frac{fy}{Es} = \frac{400}{200000}$ = 0,0021

e's1 $= \frac{cb-d\prime}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{300-66}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00235 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's2 $= \frac{cb-(d'+x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{300-(66+96)}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00138 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's3 $= \frac{cb-(d'+2x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{300-(\ 66+2\ x\ 96\ )}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00042 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's4 $= \frac{cb-(d'+3x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{300-(\ 66+3\ x\ 96\ )}{300}\ x\ 0{,}003$

= -0,00054 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's5 $= \frac{(d'+4x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+4\ x\ 96\ )-300}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00150 < ey = 0,0021 (dipakai fs')

e's6 $= \frac{(d'+5x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+5\ x\ 96\ )-300}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00250 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir))

e's7 $= \frac{(d'+6x)-cb}{cb}\ x\ ec$`

$= \frac{(\ 66+6\ x\ 96\ )-300}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00342 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir))

e's8 $= \frac{(d'+7x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\ 66+7\ x\ 96\ )-300}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00440 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir))

e's9 $= \frac{(d'+8x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(66+8\,x\,96)-300}{300}\ x\ 0{,}003$

= 0,00535 = ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

- **Menghitung tegangan pada tulangan :**

fs'1 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'2 = e's2 x Es

= 0,00138 x 200000

= 276,750 Mpa

fs'3 = e's3 x Es

= 0,00042 x 200000

= 84,50 Mpa

fs'4 = e's4 x Es

= -0,00054 x 200000

= -107,750 Mpa

fs'5 = e's5 x Es

= 0,00150 x 200000

= 300 Mpa

fs'6 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'7 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'8 = fy ulir

= 420 Mpa

fs'9 = fy ulir

= 420 Mpa

- **Menghitung gaya tekan dan tarik :**

NCc = 0,85 x fc' x ab x b

= 0,85 x 30 N/mm^2 x 255 mm x 900 mm

= 5852250 N

= 5852,250 kN

NC1 = As 1 x fy ulir

= 4415,625 mm^2 x 420 N/mm^2

= 1854562,2 N

= 1854,562 kN

NC2 = As 2 x fs'2

= 981,25 mm^2 x 276,750 N/mm^2

= 271560,938 N

= 271,561 kN

NC3 = As 3 x fs'3

= 981,25 mm^2 x 84,50 N/mm^2

= 82915,625 N

= 82,916 kN

NC4 = As 4 x fs'4

= 981,25 mm^2 x (-107,750) N/mm^2

= -105729,688 N

= -105,730 kN

NT1 = As 5 x fs'5

= 981,25 mm^2 x 300) N/mm^2

= 294375 N

= 294,375 kN

NT2 = As 6 x fs'6

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NT3 = As 7 x fs'7

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NT4 = As 8 x fs'8

= 412125 N

= 412,125 kN

NT5 = As 9 x fs'9

$= 4415{,}625\ mm^2 \times 420\ N/mm^2$

$= 1854562{,}2\ N$

$= 1854{,}562\ kN$

- **Menghitung jarak gaya terhadap $h/2$:**

ZCc $= h/2 - \left(ab/2\right)$

$= \left(900\ mm/2\right) - \left(255\ mm/2\right)$

$= 322{,}5\ mm$

ZC1 $= h/2 - d'$

$= \left(900\ mm/2\right) - 66\ mm$

$= 384\ mm$

ZC2 $= h/2 - d' - x$

$= \left(900\ mm/2\right) - 66\ mm - 96{,}125\ mm$

$= 288{,}375\ mm$

ZC3 $= h/2 - d' - 2x$

$= \left(900\ mm/2\right) - 66\ mm - (2\ x\ 96{,}125\ mm)$

$= 192{,}250\ mm$

ZC4 $= h/2 - d' - 3x$

$= \left(900\ mm/2\right) - 66\ mm - (3\ x\ 96{,}125\ mm)$

$= 96{,}125\ mm$

ZT1 $= d' + (4x) - h/2$

$= 66\ mm + (4\ x\ 96{,}125\ mm) - \left(900\ mm/2\right)$

$= 0\ mm$

ZT2 $= d' + (5x) - h/2$

$= 66\ mm + (5\ x\ 96{,}125\ mm) - \left(900\ mm/2\right)$

$= 96{,}125\ mm$

ZT3 $= d' + (6x) - h/2$

$= 66 \text{ mm} + (6\ x\ 96{,}125 \text{ mm}) - \left({900\ mm}/{2}\right)$

$= 192{,}250$ mm

ZT4 $= d' + (7x) - {h}/{2}$

$= 66 \text{ mm} + (7\ x\ 96{,}125 \text{ mm}) - \left({900\ mm}/{2}\right)$

$= 288{,}375$ mm

ZT5 $= d' + (8x) - {h}/{2}$

$= 66 \text{ mm} + (8\ x\ 96{,}125 \text{ mm}) - \left({900\ mm}/{2}\right)$

$= 384$ mm

- **Menghitung Pnb pada kondisi seimbang :**

Pnb = NCc + NC1 + NC2 + NC3 + NC4 – NT1 – NT2 – NT3– NT4– NT5

= 5852,250 kN + 1854,562 kN + 271,561 kN + 82,916 kN + (-105,730 kN) – 294,375 kN – 412,125 kN – 412,125 kN – 412,125 kN – 1854,562 kN

= 5394,497 kN

- **Menghitung ΦPnb pada kondisi seimbang :**

ΦPnb = 0,65 x Pnb

= 0,65 x 5394,497 kN

= 3506,423 kN

- **Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi seimbang :**

MCc = NCc x ZCc

= 5852,250 kN x 322,5 mm

= 1887350,625 kNmm

= 1887,351 kNm

MC1 = NC1 x ZC1

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

MC2 = NC2 x ZC2

= 271,561 kN x 288,375 mm

= 78311,385 kNmm

= 78,311 kNm

MC3 = NC3 x ZC3

= 82,916 kN x 192,250 mm

= 15940,529 kNmm

= 15,941 kNm

MC4 = NC4 x ZC4

= (-105,730 kN) kN x 96,125 mm

= -10163,266 kNmm

= -10,163 kNm

MT1 = NT1 x ZT1

= 294,375 kN x 0 mm

= 0 kNmm

= 0 kNm

MT2 = NT2 x ZT2

= 412,125 kN x 96,125 mm

= 39615,516 kNmm

= 39,616 kNm

MT3 = NT3 x ZT3

= 412,125 kN x 192,250 mm

= 79231,031 kNmm

= 79,231 kNm

MT4 = NT4 x ZT4

= 412,125 kN x 288,375 mm

= 118846,547 kNmm

= 118,847 kNm

MT5 = NT5 x ZT5

= 1854,562 kN x 384 mm

= 713079,281 kNmm

= 713,079 kNm

Mn total = MCc + MC1 + MC2 + MC3 + MC4 + MT1 + MT2 + MT3 + MT4 + MT5

= 864,29 kNm + 713,079 kNm + 78,311 kNm + 15,941 kNm + (-10,163 kNm) + 0 kNm + 39,616 kNm + 79,231 kNm + 118,847 kNm + 713,079 kNm

= 3635,291 kNm

ΦMnb = 0,65 x Mnb

= 0,65 x 3635,291 kNm

= 2362,939 kNm

eb $= \frac{Mnb}{Pnb}$

$= \frac{3635,291}{5394,497}$

= 0,674 m

= 674 mm

f) Kondisi Lentur Murni

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

Tulangan tarik = 13 D25 = 6378,125 mm^2

Tulangan tekan = 13 D25 = 6378,125 mm^2

d' = h-sb + D.sengkang + ½D.tulangan longitudinal

= 1700 - 40 mm + 3,14 mm + ½ x 25 mm

= 1644,36 mm

d = h – d'

= 1700 mm – 1644,36 mm

= 55,6 mm

Dimisalkan garis netral (c) dihitung berdasarkan d' < c < y2.

Maka garis netral dicari menggunakan persamaan berikut :

Cc + Cs = Ts

(0,85 . fc' . a . b) + As' . fs' = As . fy ulir

Substitusi nilai fs':

$$\frac{fs'}{\varepsilon c} = \left(\frac{c - d'}{c}\right) Es$$

$$\varepsilon c = 0.003$$

$$fs' = \left(\frac{c - d'}{c}\right) \varepsilon c \times Es$$

$$fs' = \left(\frac{c - d'}{c}\right) 0.003 \times 200000$$

$$fs' = \left(\frac{c - d'}{c}\right) 600$$

(0,85 . fc'. a . b) + As'$\left(\frac{c-d'}{c}\right)$ = As . fy ulir

(0,85 . fc'. a . b)c + 600. As'. c – 600As'. d' = As . fy ulir c

Substitusi nilai a = β1. c

(0,85. fc'. β1 . c . b) c + 600 . As'. c – 600As'. d' = As . fy ulir.c

(0,85. fc'. β1. b) c^2 + 600. As'. c – 600As'. d' = As. fy ulir . c

(0,85. 30 . 0,85 . 900) c^2 + 600. 6378,125 . c – 600 . 6378,125 . 55,6 = As.fy ulir. c

19507,5 c^2 + 3826875 c – 212927325 = 2678812,5c

19507,5 c^2 + 3826875 c - 2678812,5c – 212927325 = 2678812,5c

19507,5 c^2 + 1148062,5 c – 212927325 = 2678812,5c

a = 19507,5

b = 1148062,5

c = 212927325

Dengan menggunakan rumus ABC didapatkan nilai c

$$c = \frac{-b \pm\sqrt{b^2 - 4\ a\ c}}{2\ a}$$

$$c = \frac{-1148062.5 \pm\sqrt{1318047503906.25 - 19507.50 \quad -212927325}}{39015}$$

$$c+ = \frac{-1148062.5 + \sqrt{17932766673656.30}}{39015}$$

$$= 79.114 \text{ mm}$$

$$c- = \frac{-1148062.5 - \sqrt{17932766673656.30}}{39015}$$

$$= -137.967 \text{ mm}$$

Maka di pakai nilai c = 79,114 mm

Cek asumsi d’ < c:

d’ < c

55,6 mm < 79,114 mm (OK)

Dari garis netral (nilai c) ternyata lebih besar dari d’, maka dilanjutkan menghitung nilai a :

a = c x β_1

= 79,114 x 0,85

= 67,247 mm

- **Menghitung regangan tulangan Kondisi Seimbang (cb) :**

ey $= \frac{fy}{Es} = \frac{400}{200000}$ = 0,0021

e's1 $= \frac{cb-d\prime}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{79{,}114-66}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,00052 < ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's2 $= \frac{cb-(d'+x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{79{,}114-(66+96)}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,014064 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's3 $= \frac{cb-(d'+2x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{79{,}114-(66+2\ x\ 96)}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,017709 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's4 $= \frac{cb-(d'+3x)}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{79{,}114-(66+3\ x\ 96)}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,021354 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's5 $= \frac{(d'+4x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(66+4\ x\ 96)-79{,}114}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,014064 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's6 $= \frac{(d'+5x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\,66+5\ x\ 96\,)-79{,}114}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,017709 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's7 $= \frac{(d'+6x)-cb}{cb}\ x\ ec$`

$= \frac{(\,66+6\ x\ 96\,)-79{,}114}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,021354 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's8 $= \frac{(d'+7x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\,66+7\ x\ 96\,)-79{,}114}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,024999 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

e's9 $= \frac{(d'+8x)-cb}{cb}\ x\ ec$

$= \frac{(\,66+8\ x\ 96\,)-79{,}114}{79{,}114}\ x\ 0{,}003$

= 0,028644 > ey = 0,0021 (dipakai fy ulir)

- **Menghitung tegangan pada tulangan :**

fs'1 = e's3 x Es

= 0,00052 x 200000

= 103,521 Mpa

fs1 = fy ulir

= 420 Mpa

fs2 = fy ulir

= 420 Mpa

fs3 = fy ulir

= 420 Mpa

fs4 = fy ulir

= 420 Mpa

fs5 = fy ulir

= 420 Mpa

fs6 = fy ulir

= 420 Mpa

fs7 = fy ulir

= 420 Mpa

fs8 = fy ulir

= 420 Mpa

- **Menghitung gaya tekan dan tarik :**

NCc = 0,85 x fc’ x ab x b

= 0,85 x 30 N/mm^2 x 67,247 mm x 900 mm

= 1543323,625 N

= 1543,324 kN

NC1 = As 1 x fy ulir

= 4415,625 mm^2 x 103,521 N/mm^2

= 455916,889 N

= 455,917 kN

NT1 = As 2 x fs’2

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NT2 = As 3 x fs’3

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NT3 = As 4 x fs’4

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NT4 = As 5 x fs’5

= 981,25 mm^2 x 420 N/mm^2

= 412125 N

= 412,125 kN

NT5 = As 6 x fs’6

$= 981,25 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$

= 412125 N

= 412,125 kN

NT6 = As 7 x fs'7

$= 981,25 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$

= 412125 N

= 412,125 kN

NT7 = As 8 x fs'8

$= 981,25 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$

= 412125 N

= 412,125 kN

NT8 = As 9 x fs'9

$= 4415,625 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$

= 1854562,2 N

= 1854,562 kN

- **Menghitung jarak gaya terhadap $h/2$:**

ZCc = c – d'

= 79,114 mm – 66 mm

= 13,614 mm

ZC1 = c – a/2

= 79,114 mm – 33,624 mm

= 45,491 mm

ZT1 = d' + x - c

= 66 mm + 96,125 mm – 79,114 mm

= 82,511 mm

ZT2 = d' + 2x - c

= 66 mm + 2 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 178,636 mm

ZT3 = d' + 3x - c

= 66 mm + 3 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 274,761 mm

ZT4 = d’ + 4x - c

= 66 mm + 4 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 370,886 mm

ZT5 = d’ + 5x - c

= 66 mm + 5 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 467,011 mm

ZT6 = d’ + 6x - c

= 66 mm + 6 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 563,136 mm

ZT7 = d’ + 7x - c

= 66 mm + 7 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 659,261 mm

ZT8 = d’ + 8x - c

= 66 mm + 8 x 96,125 mm – 79,114 mm

= 755,386 mm

- **Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi seimbang :**

MCc = NCc x ZCc

= 9575,888 kN x 13,614 mm

= 70206,971 kNmm

= 70,207 kNm

MC1 = NC1 x ZC1

= 455,917 kN x 45,491 mm

= 6207,022 kNmm

= 6,207 kNm

MT1 = NT1 x ZT1

= 412,125 kN x 82,511 mm

= 34004,692 kNmm

= 34,005 kNm

MT2 = NT2 x ZT2

= 412,125 kN x 178,636 mm

= 73620,208 kNmm

= 73,620 kNm

MT3 = NT3 x ZT3

= 412,125 kN x 274,761 mm

= 113235,724 kNmm

= 113,236 kNm

MT4 = NT4 x ZT4

= 412,125 kN x 370,886 mm

= 152851,239 kNmm

= 152,851 kNm

MT5 = NT5 x ZT5

= 412,125 kN x 467,011 mm

= 192466,755 kNmm

= 192,467 kNm

MT6 = NT6 x ZT6

= 412,125 kN x 563,136 mm

= 232082,270 kNmm

= 232,082 kNm

MT7 = NT7 x ZT7

= 412,125 kN x 659,261 mm

= 271697,786 kNmm

= 271,698 kNm

MT8 = NT8 x ZT8

= 412,125 kN x 755,386 mm

= 1400909,857 kNmm

= 1400,910 kNm

Mn total = MCc + MC1 + MT1 + MT2 + MT3 + MT4

+ MT5 + MT6 + MT7 + MT8

= 70,207 kNm + 6,207 kNm + 34,005 kNm + 73,620 kNm + 118,847 kNm + 53,755 kNm + 113,236 kNm + 152,851 kNm + 192,467 kNm + 232,082 kNm + 271,698 kNm + 1400,910 kNm

= 2547,283 kNm

ΦMnb = 0,65 x Mnb

= 0,65 x 2547,283 kNm

= 1655,734 kNm

4.7.2 Perhitungan Pembesaran Momen Kolom K1 900 x 900

Data- data perencanaan :

- Lebar Kolom (bw) = 900 mm
- Tinggi Balok (h) = 900 mm
- Selimut Beton (sb) = 40 mm
- Mutu Beton fc' = 30 Mpa → β_1 = 0,85
- fy ulir = 420 Mpa
- fy ulir sengkang = 280 Mpa
- Modulus Elastisitas Baja (Es) = 200000 Mpa
- Diameter Tul. Longitudinal = 25 mm
- Diameter Tul. Transversal = 13 mm
- Tinggi Lantai (h lantai) = 5000 mm
- Tinggi Balok (h balok) = 800 mm
- Tinggi Bersih Kolom(hn) = 4200 mm
- Pu max = 3975650 N (analisa ETABS)
- Untuk Balok

  Mpr Balok = 299961462,813 Nmm

  = 299,961 kNm

1. Perhitungan Kekakuan

Elastisitas Beton :

Ec = 4700√fc'

Ec = $4700\sqrt{30}$

Ec = 25742,960 N/mm^2

Inersia penampang utuh kolom :

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

$$= \frac{900\ x\ 900^3}{12}$$

= 54675000000 mm^4

Inersia penampang utuh balok 40 x 80 :

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

$$= \frac{400\ x\ 900^3}{12}$$

= 24300000000 mm^4

Panjang Nominal Kolom :

Ln kolom = 4200 mm

Momen akibat kombinasi 1 = 1,4D = 518,20 Nm

2 = 1,2D + 1,6L = 1510,90 Nm

Jadi,

$$\beta d = \frac{1{,}4D}{1{,}4D+1{,}6L} = \frac{518{,}20}{510{,}90} = 0{,}343$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0{,}7\ x\ Ec\ x\ Ig}{1+\beta d}$$

$$= \frac{0{,}7\ x\ 25742{,}960\ \ x\ 54675000000}{1+0{,}343}$$

= 733630852931215 N/mm^2

$$E_{\text{I Balok}} = \frac{0{,}35\ x\ Ec\ x\ Ig}{1+\beta d}$$

$$= \frac{0{,}35\ x\ 25742{,}960\ \ x\ 24300000000}{1+0{,}343}$$

= 163029078429159 N/mm^2

2. **Menentukan Panjang Tekuk Kolom**

Dianggap Portal tidak bergoyang, berdasarakan SNI 2847-2019 pasal 6.6.4.4.3 maka diambil nilai faktor panjang efektif, *k* sebesar 1 jadi panjang tekuk kolom :

k_c = k x Ln = 1 x 4200 = 4200 mm

3. **Perhitungan Pembesaran Momen**

$$EI_{kolom} = \frac{0{,}4\ x\ Ec\ x\ Ig}{1+\beta d}$$

$$= \frac{0{,}4\ x\ 25742{,}960\ \ x\ 54675000000}{1+0{,}343}$$

$$= 419217630246409\ \ N/mm^2$$

$$\text{Beban kritis, } Pc = \frac{\pi\ x\ EI}{(\mathrm{k\ x\ Ln})^2}$$

$$= \frac{\pi\ x\ 419217630246409}{(4200)^2}$$

$$= 234741697{,}792\ N$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.10.6.4 :

$$\text{Faktor Cm} = 0{,}6 + 0{,}4\ \frac{M1}{M2}$$

$$= 0{,}6 + 0{,}4\ \frac{518{,}20}{1510{,}90}$$

$$= 0{,}737$$

Faktor pembesaran momen (SNI 2847-2019 pasal 6.6.4.5.2) :

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75\quad P_c}} \geq 1$$

$$= \frac{0.737}{1 - \frac{3{,}975{,}650}{0.8\quad x\quad 234{,}741{,}696.792}}$$

$$= 0{,}754 \geq 1 \text{ (diambil 1)}$$

M_2, min = Pu (15 + 0,03h)

= 3975650 (15 + 0,03 x 900)

= 166977300 Nmm

Mc = δns x Mpr Balok

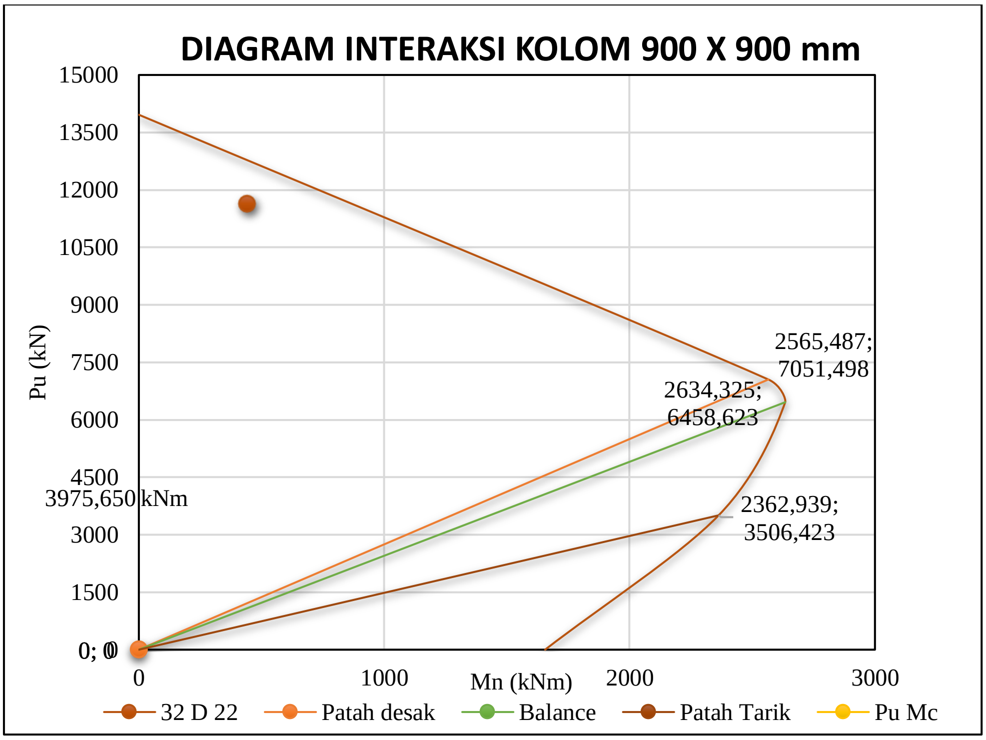
= 1,00 x 299961462,813

= 299961462,813 Nmm

= 299,961 kNm

Maka nilai Mc yang dipakai adalah 299,961 kNm

4.7.3 Diagram Interaksi Kolom K1 900 x 900



4.7.4 Desain Penulangan Transversal Kolom K1 900 x 900

Data- data perencanaan :

- Lebar Kolom (bw) = 900 mm
- Tinggi Balok (h) = 900 mm
- Selimut Beton (sb) = 40 mm
- Mutu Beton fc' = 30 Mpa → β_1 = 0,85
- fy ulir = 420 Mpa
- fy ulir sengkang = 280 Mpa
- Diameter Tul. Longitudinal = 25 mm
- Diameter Tul. Transversal = 13 mm
- Tinggi bersih Lantai (Lu) = h lantai – h balok
  = 5000 mm – 800 mm
  = 4200 mm
- Nu (Diambil dari gaya aksial terfaktor maks pada kolom yang di desain) = 12350,949 kN

1. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom Akibat Ve

- Momen Probable Capacities (Mpr) Kolom

  Nilai Mpr didapat dari diagram interaksi kolom yang menghasilkan :

  Mpr kolom = ØMn kolom kondisi balance dengan 1,25fy
  = 2621,521 kNm
  = 2621521439,205 Nmm

  Karena tulangan longitudinal disepanjang kolom sama, maka Mpr_3 dan Mpr_4 sama :

  Mpr_3 = 2621521439,205 Nmm

  Mpr_4 = 2621521439,205 Nmm

$$\text{Ve kolom} = \frac{Mpr_3+Mpr_4}{Lu}$$

$$= \frac{2621521439{,}205\ \text{Nmm}+2621521439{,}205\ \text{Nmm}}{4200\ mm}$$

= 1248343,542 N

= 1248,344 kN

- Momen Probable Capacities (Mpr) Balok :

Mpr1 = Mpr (+) Tumpuan Kanan

= 599922925,626 Nmm

Mpr2 = Mpr (-) Tumpuan Kiri

= 561788514,912 Nmm

Ve balok $= \frac{Mpr_1 + Mpr_2}{Ln}$

$= \frac{599922925{,}626 \text{ Nmm} + 561788514{,}912 \text{ Nmm}}{7100\ mm}$

= 163621,330 N

= 163,621 kN

2. Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser di Daerah Sendi Plastis

SNI 2847 2019 Pasal 18.7.6.2 menyatakan bahwa untuk daerah sendi plastis sepanjang lo dari muka kolom, maka kontribusi beton dalam menahan geser, Vc = 0 apabila (a) dan (b) terjadi :

a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung dengan 21.6.5.1 mewakili 1/2 atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam lo

b. Gaya tekan aksial terfaktor , Pu, termasuk pengaruh gempa kurang dari Ag.fc'/20

Cek kedua persyaratan di atas:

a. ½ Ve kolom > Vu maksimum sepanjang *lo*

½ 1248,344 kN > 77,134 kN

624,172 kN > 77,134 kN *(memenuhi)*

b. Pu $< \frac{Ag\ x\ fc'}{20}$

3975,650 kN $< \frac{b\ x\ h\ x\ fc'}{20}$

3975,650 kN $< \frac{900\ x\ 900\ x\ 30}{20}$

3975,650 kN < 1215000 N

3975,650 kN < 1215 kN *(tidak memenuhi)*

Karena syarat di atas tidak terpenuhi, maka nilai Vc perlu diperhitungkan. sesuai SNI 2847 2019 :

Vc = 0 kN

Tulangan transversal yang disyaratkan dalam SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.2 sampai 18.7.5.4 harus dipasang sepanjang panjang lo dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang lo tidak boleh kurang dari yang terbesar dari (a), (b) dan (c):

a. Tinggi komponen struktur (h) pada muka joint atau penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi.
   h = 900 mm
b. 1/6 bentang bersih komponen struktur
   1/6 *x* 4200 mm = 700 mm
c. 450 mm

Jadi, daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis (lo) = 900 mm

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3, Spasi tulangan transversal sepanjang lo komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

a. 1/4 dimensi komponen struktur minimum
   1/4 *x* 900 mm = 225 mm
b. 6 *x* diameter batang tulangan longitudinal terkecil
   6 *x* 25 mm = 150 mm
c. So, seperti yang didefinisikan oleh pers (21-2) di bawah ini:
   So = 100 + $\frac{350-hx}{3}$
   = 100 + $\frac{350-286}{3}$

= 121,333 mm

Catatan:

Nilai So, tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Maka direncanakan spasi (s) tulangan transversal sepanjang :

lo = 100 mm

Luas penampang total tulangan sengkang persegi Ash) tidak boleh kurang dari yang disyaratkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.4 :

bc = h kolom – sb – sb - ½db

= 900 mm – 40 mm – 40 mm - ½ 13

= 813,50 mm

Ach = (h kolom – (2 *x* sb)) *x* (b kolom – (2 *x* sb))

= (900 mm – (2 *x* 40 mm)) *x* (900 mm – (2 *x* 40 mm))

= 672400 mm^2

$$Ash = 0,3 \left(\frac{s\ x\ bc\ x\ fc'}{fyt}\right) x \left(\left(\frac{Ag}{Ach}\right) - 1\right)$$

$$= 0,3 \left(\frac{100\ x\ 813,50\ x\ 30}{280}\right) x \left(\left(\frac{b\ x\ h}{Ach}\right) - 1\right)$$

$$= 0,3 \left(\frac{100\ x\ 813,50\ x\ 30}{280}\right) x \left(\left(\frac{900\ x\ 900}{672400}\right) - 1\right)$$

= 535,097 mm^2

Atau

$$Ash = 0,09 \left(\frac{s\ x\ bc\ x\ fc'}{fyt}\right)$$

$$= 0,09 \left(\frac{100\ x\ 813,50\ x\ 30}{280}\right)$$

= 784,446 mm^2

Dicoba pemasangan tulangan pengekang kolom :

8 kaki Ø13 mm-100 mm

As = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2 > Ash

= 8 x ¼ x 3,14 x 13^2 > 784,446 mm^2

= 1061,320 mm^2 > 784,446 mm^2 (OK)

Maka direncanakan tulangan pengekang kolom :

8 kaki Ø13 mm-100 mm

Vs $= \left(\frac{AS\ x\ fyt\ x\ d}{s}\right)$

$= \left(\frac{1061{,}320\ x\ 280\ x\ 636}{100}\right)$

= 1889998,656 N

= 1889,999 kN

Vs max = 0,66 $x\sqrt{\text{fc'}}\ \ x\ b\ x\ d$

= 0,66 $x\sqrt{30}\ x$ 900 x 636

= 2069208,187 N

= 2069,208 kN

Kontrol :

Vs < Vs max

1889,999 kN < 2069,208 kN (OK)

Vn = Vc + Vs

= 0 kN + 1889,999 kN

= 1889,999 kN

ØVn = 0,75 x Vn

= 0,75 x 1889,999 kN

= 1417,499 kN $\geq$ Ve kolom = 1348,344 kN (AMAN)

3. **Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser di Daerah Luar Sendi Plastis**

Sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.5, spasi maksimum untuk tulangan transversal (sengkang) diluar sendi plastis tidak melebihi yang lebih kecil dari :

a. 6 x diameter tulangan kolom longitudinal terkecil

6 x 25 mm = 150 mm

b. 150 mm

Maka, direncanakan tulangan transversal (sengkang) di luar sendi plastis: 12 kaki Ø13 mm-150 mm

As = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2

$= 12 \text{ x } ¼ \text{ x } 3{,}14 \text{ x } 13^2$

$= 1591{,}980 \text{ mm}^2$

Maka direncanakan tulangan pengekang kolom :

8 kaki Ø13 mm-100 mm

$Vs = \left(\frac{AS\ x\ fyt\ x\ d}{s}\right)$

$= \left(\frac{1591{,}980\ x\ 280\ x\ 636}{150}\right)$

= 1889998,656 N

= 1889,999 kN

$Vs\ max = 0{,}66\ x \sqrt{fc'}\ x\ b\ x\ d$

$= 0{,}66\ x \sqrt{30}\ x\ 900\ x\ 636$

= 2069208,187 N

= 2069,208 kN

Kontrol :

Vs < Vs max

1889,999 kN < 2069,208 kN (OK)

Vn = Vc + Vs

= 0 kN + 1889,999 kN

= 1889,999 kN

ØVn = 0,75 x Vn

= 0,75 x 1889,999 kN

= 1417,499 kN ≥ Ve kolom = 1348,344 kN (AMAN)

4. Sambungan Lewatan Tulangan Kolom 900 x 900 mm (K1)

Sesuai SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.3, panjang sambungan lewatan harus dihitung sesuai dengan rumus sebagai berikut :

Untuk sambungan kondisi tertarik :

$$l_d = \left(\frac{fy}{1.1\ \lambda \sqrt{fc'}}\ x\ \frac{\Psi t\ \ \Psi e\ \ \Psi s}{\left(\frac{Cb\ +\ Ktr}{db}\right)}\right) x\ \ d_b$$

Dimana menurut SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.3 menyatakan :

Ψt = 1 (Untuk situasi lainnya)

Ψe = 1 (Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (digalvanis))

Ψs = 1 (Untuk batang tulangan D22 dan yang lebih besar)

λ = 1 (Bila beton berat normal)

(cb+Ktr/db) tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 :

cb = sb + d.sengkang + ½D. tulangan longitudinal kolom

= 40 mm + 13 mm + ½ x 25 mm

= 66 mm

Ktr = 0 (Diizinkan sebagai penyederhanaan desain meski terdapat tulangan transversal. (SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.3)

$$\frac{Cb + Ktr}{db} = \frac{66 + 0}{25} \leq 2.5$$

$$= 2{,}62 \leq 2{,}50 \text{ (dipakai 2,50)}$$

$$l_d = \left(\frac{420}{1.1 \quad 1 \sqrt{30}} \; x \; \frac{1 \qquad 1 \qquad 1}{2.5} \right) x \quad 25$$

= 69,710 x 0,40 x 25

= 697,101 mm ≈ 700 mm

Digunakan panjang *ld* = 700 mm

Sesuai SNI 2847 2019 pasal 18.7.4.3, sambungan lewatan diletakan ditengah panjang kolom, harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik.

SNI 2847 2019 pasal 25.5.2.1, panjang minimum sambungan untuk sambungan lewatan tarik harus seperti disyaratkan untuk sambungan kelas A atau B, tetapi tidak kurang dari 300 mm, dimana :

a. Sambungan kelas A = 1,0 *ld*
b. Sambungan kelas B = 1,3 *ld*

Mengingat sambungan lewatan ini termasuk kelas B, maka panjangnya harus :

1,3 *ld* = 1,3 x 700 mm ≥ 300 mm

$= 910$ mm ≥ 300 mm (OK)

Digunakan panjang *ld* = 910 mm

Spasi sengkang disepanjang sambungan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari (SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.3):

a. d/4 = 636/4 = 159 mm
b. 100 mm

Diambil spasi sengkang disepanjang sambungan lewatan sebesar : 100 mm

Maka dari hasil analisa diatas digunakan tulangan transversal pada daerah sambungan lewatan : 8 kaki Ø13 mm-100 mm

4.7.5 Persyaratan Strong Column Weak Beam (SCWB)

Sesuai persyaratan di SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi: ΣMnc ≥ 1,2 ΣMnb Kekuatan lentur kolom (Mnc) harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang konsisten terhadap arah gempa yang ditinjau yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

Kontrol desain kapasitas untuk joint:

a. Momen pada kolom

Mn atas = 2044304523,98 Nmm

Mn bawah = 2044304523,98 Nmm

$$\Sigma Mnc = \frac{\text{Mn atas} + \text{Mn bawah}}{0{,}65}$$

$$= \frac{2044304523{,}98\text{ Nmm} + 2044304523{,}98\text{ Nmm}}{0{,}65}$$

= 6290167766,11 Nmm

b. Momen pada balok

Mn + = 599922925,63 Nmm

Mn - = 561788514,91 Nmm

$\Sigma Mnb = Mn^{+} + Mn^{-}$

= 599922925,63 Nmm + 561788514,91 Nmm

= 1161711440,54 Nmm

$1,2\ \Sigma Mnb \quad = \frac{1,20 \times \Sigma Mnb}{0,90}$

$= \frac{1,20 \times 1161711440,54 \text{ Nmm}}{0,90}$

= 1548948587,38 Nmm

Kontrol Persyaratan :

$$\Sigma Mnc \geq 1,2\Sigma Mnb$$

$$6290167766,11 \text{ Nmm} \geq 1548948587,38 \text{ Nmm}$$

$6290,168 \text{ kNm} \geq 1548,949 \text{ kNm}$ **(AMAN)**

Dari analisa diatas, kita tahu bahwa persyaratan desain kapasitas "Strong Column Weak Beam" terpenuhi.

4.7.6 Hubungan Balok Kolom (Joints)

Perhitungan untuk Hubungan Balok Kolom (joint) pada portal memanjang:

1. Arah X

Data-data perencanaan :

- Mutu beton (fc') = 30 Mpa → $\beta 1$ = 0,85
- fy ulir (tulangan longitudinal) = 420 Mpa
- Tinggi kolom (h kolom) = 900 mm
- Lebar kolom (b kolom) = 900 mm
- Tinggi lantai = 5000 mm
- Tinggi bersih kolom (hn) = 4200 mm
- Mpr (+) balok = 599922925,63 Nmm
- Mpr (-) balok = 561788514,91 Nmm
- Nu (Aksial terfaktor max) = 12350949 N

Tulangan yang terpasang pada balok :

Balok sisi atas = 4D25

As tulangan atas = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2

= 4 x ¼ x 3,14 x 25^2

= 1962,50 mm^2

Balok sisi bawah = 4D25

As tulangan bawah = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2

= 4 x ¼ x 3,14 x 25^2

= 1962,50 mm^2

a) Kuat Geser Nominal Pada Joint (arah x-x)

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.1, Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25 fy :

- Gaya yang bekerja pada tulangan sisi atas (T1) pada balok di sebelah kiri HBK :

  T1 = 1,25 x As tulangan sisi atas x fy

  = 1,25 x 1962,50 mm^2 x 420 N/mm^2

  = 1030312,50 N

- Gaya tekan yang bekerja pada beton sisi kiri HBK (C1)

  C1 = T1

  = 1030312,50 N

- Gaya yang bekerja pada tulangan sisi bawah (T2) pada balok disebelah kanan HBK :

  T2 = 1,25 x As tulangan sisi atas x fy

  = 1,25 x 1962,50 mm^2 x 420 N/mm^2

  = 1030312,50 N

- Gaya tekan yang bekerja pada balok sisi kanan HBK (C2)

  C2 = T2

  = 1030312,50 N

  Karena kolom memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusinya sebesar 0,5.

- Momen kolom (Mc)

  $$Mc = \frac{Mpr+ + Mpr-}{2}$$

  $$= \frac{599922925{,}63 \text{ Nmm} + 561788514{,}91 \text{ Nmm}}{2}$$

= 580855720,269 Nmm

- Gaya geser kolom (Vh)

  Vh = $\frac{2 \text{ x Mc}}{hn}$

  Vh = $\frac{2 \text{ x } 580855720{,}269}{4200}$

  = 276597,962 N

- Gaya geser horizontal yang terjadi pada joint (Vjh)

  Vjh = T1 + C2 – Vh

  = 1030312,50 N + 1030312,50 N - 276597,962 N

  = 1784027,038 N

- Kuat geser dari HBK yang terkekang (4/3/2/kondisi lainnya) sisinya (syaratnya di SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1)

  Vn = 1,7 x √fc' x Aj

  = 1,7 x √30 x h kolom x b kolom

  = 1,7 x √30 x 900 x 900

  = 7542139,617 N

  Vn = 0,75 x Vn > Vjh

  = 0,75 x 7542139,617 N > 1784027,038 N

  = 5656604,713 N > 1784027,038 N (Aman)

b) Penulangan Geser Horizontal (arah x-x)

- $\frac{Nu}{Ag} = \frac{Nu{,}k}{b\ x\ h}$ > 0,1 x fc'

  = $\frac{1235949{,}00}{900\ x\ 900}$ > 0,1 x 30

  = 15,248 N/mm2 > 3 N/mm2

Maka nilai Vc,h dihitung dengan persamaan berikut :

- Vc,h $= \frac{2}{3} x \left(\sqrt{\frac{Nu{,}k}{b\ x\ h}} - 0{,}1 \right) fc' x\ bj\ x\ hj$

  $= \frac{2}{3} x \left(\sqrt{\frac{1235949{,}00}{900\ x\ 900}} - 0{,}1 \right) 30\ x\ 900\ x\ 900$

  = 1889852,280 N

- Vs,h + Vc,h = Vj,h

  Vs,h = Vj,h – Vc,h

= 1784027,038 N - 1889852,280 N

= 105825,242 N

- $Aj,h \quad = \frac{Vs,h}{fy}$

$= \frac{105825,242}{420}$

= 251,965 mm^2

Dicoba pemasangan pengekang horizontal sebagai berikut:

4 kaki D 13 mm – 6 lapis

As = jumlah tulangan x ¼ π D^2 x 6 lapis > Aj,h

= 4 x ¼ x 3,14 x 13^2 x 6 > 251,965 mm^2

= 3183,960 mm^2 > 251,965 mm^2

c) Penulangan Geser Vertikal (arah x-x)

Vj,v = $\frac{hj}{bj}$ x Vj,h

= $\frac{900}{900}$ x 1784027,038 N

= 1784027,038 N

Vc,v = $\frac{As' x\, Vj,v}{As}\ x\ 0,6\,\frac{Nu,k}{Ag\ x\ fc'}$

= $\frac{As' x\, Vj,v}{As}\ x\ 0,6\,\frac{Nu,k}{b\ x\ h\ x\ fc'}$

= $\frac{1962,50\ x\ 1784027,038}{1962,50}\ x\ 0,6\,\frac{12350949,00}{900\ x\ 900\ x\ 30}$

=1784027,038 x 0,305

= 544059,925 N

Vs,v = Vj,v – Vc,v

= 1784027,038 N – 544059,925 N

= 1239967,113 N

Aj,v = $\frac{Vs,v}{fy}$

= $\frac{1239967,113}{420}$

$= 2952{,}303\ mm^2$

Tulangan longitudinal kolom yang terpasang adalah : 32 D25

As $= n$ tulangan x ¼ x 3,14 x D^2 > Aj,v

$= 32 \times ¼ \times 3{,}14 \times 25^2$ > $2952{,}303\ mm^2$

$= 15700\ mm^2$ > $2952{,}303\ mm^2$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa As tulangan longitudinal kolom > Aj,v yang dibutuhkan, sehingga tidak diperlukan lagi tulangan geser vertikal karena sudah ditahan oleh tulangan longitudinal kolom yang terpasang.

2. Arah Y

Data-data perencanaan :

- Mutu beton (fc') = 30 Mpa → β1 = 0,85
- fy ulir (tulangan longitudinal) = 420 Mpa
- Tinggi kolom (h kolom) = 900 mm
- Lebar kolom (b kolom) = 900 mm
- Tinggi lantai = 5000 mm
- Tinggi bersih kolom (hn) = 4200 mm
- Mpr (+) balok = 599922925,63 Nmm
- Mpr (-) balok = 561788514,91 Nmm
- Nu (Aksial terfaktor max) = 12350949 N

Tulangan yang terpasang pada balok :

Balok sisi atas = 4D25

As tulangan atas = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2

$= 4 \times ¼ \times 3{,}14 \times 25^2$

$= 1962{,}50\ mm^2$

Balok sisi bawah = 4D25

As tulangan bawah = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2

$= 4 \times ¼ \times 3{,}14 \times 25^2$

$= 1962{,}50\ mm^2$

a) **Kuat Geser Nominal Pada Joint (arah y-y)**

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.8.2.1, Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25 fy :

- Gaya yang bekerja pada tulangan sisi atas (T1) pada balok di sebelah kiri HBK :

  T1 = 1,25 x As tulangan sisi atas x fy

  = 1,25 x 1962,50 mm^2 x 420 N/mm^2

  = 1030312,50 N

- Gaya tekan yang bekerja pada beton sisi kiri HBK (C1)

  C1 = T1

  = 1030312,50 N

- Gaya yang bekerja pada tulangan sisi bawah (T2) pada balok disebelah kanan HBK :

  T2 = 1,25 x As tulangan sisi atas x fy

  = 1,25 x 1962,50 mm^2 x 420 N/mm^2

  = 1030312,50 N

- Gaya tekan yang bekerja pada balok sisi kanan HBK (C2)

  C2 = T2

  = 1030312,50 N

  Karena kolom memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusinya sebesar 0,5.

- Momen kolom (Mc)

  $Mc = \frac{\text{Mpr+ +Mpr−}}{2}$

  $= \frac{599922925{,}63 \text{ Nmm} + 561788514{,}91 \text{ Nmm}}{2}$

  = 580855720,269 Nmm

- Gaya geser kolom (Vh)

  $Vh = \frac{2 \text{ x Mc}}{hn}$

$Vh = \frac{2 \text{ x } 580855720{,}269}{4200}$

= 276597,962 N

- Gaya geser horizontal yang terjadi pada joint (Vjh)

  Vjh = T1 + C2 – Vh

  = 1030312,50 N + 1030312,50 N - 276597,962 N

  = 1784027,038 N

- Kuat geser dari HBK yang terkekang (4/3/2/kondisi lainnya) sisinya (syaratnya di SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1)

  Vn = 1,7 x √fc' x Aj

  = 1,7 x √30 x h kolom x b kolom

  = 1,7 x √30 x 900 x 900

  = 7542139,617 N

  Vn = 0,75 x Vn > Vjh

  = 0,75 x 7542139,617 N > 1784027,038 N

  = 5656604,713 N > 1784027,038 N (Aman)

b) Penulangan Geser Horizontal (arah y-y)

$\frac{Nu}{Ag} = \frac{Nu,k}{b \ x \ h}$ > 0,1 x fc'

$= \frac{1235949{,}00}{900 \ x \ 900}$ > 0,1 x 30

= 15,248 N/mm2 > 3 N/mm2

Maka nilai Vc,h dihitung dengan persamaan berikut :

$$Vc,h = \frac{2}{3} x \left(\sqrt{\frac{Nu,k}{b \ x \ h}} - 0{,}1 \right) fc' x \ bj \ x \ hj$$

$$= \frac{2}{3} x \left(\sqrt{\frac{1235949{,}00}{900 \ x \ 900}} - 0{,}1 \right) 30 \ x \ 900 \ x \ 900$$

= 1889852,280 N

Vs,h + Vc,h = Vj,h

Vs,h = Vj,h – Vc,h

= 1784027,038 N - 1889852,280 N

= 105825,242 N

$$Aj,h = \frac{Vs,h}{fy}$$

$$= \frac{105825,242}{420}$$

$= 251,965\ mm^2$

Dicoba pemasangan pengekang horizontal sebagai berikut:

4 kaki D 13 mm – 6 lapis

As = jumlah tulangan x ¼ π D^2 x 6 lapis > Aj,h

= 4 x ¼ x 3,14 x 13^2 x 6 > 251,965 mm^2

= 3183,960 mm^2 > 251,965 mm^2

c) Penulangan Geser Vertikal (arah y-y)

$$Vj,v = \frac{hj}{bj} \text{ x } Vj,h$$

$$= \frac{900}{900} \text{ x } 1784027,038 \text{ N}$$

= 1784027,038 N

$$Vc,v = \frac{As' x\, Vj,v}{As}\ x\ 0,6 \frac{Nu,k}{Ag\ x\ fc'}$$

$$= \frac{As' x\, Vj,v}{As}\ x\ 0,6 \frac{Nu,k}{b\ x\ h\ x\ fc'}$$

$$= \frac{1962,50\ x\ 1784027,038}{1962,50}\ x\ 0,6 \frac{12350949,00}{900\ x\ 900\ x\ 30}$$

=1784027,038 x 0,305

= 544059,925 N

Vs,v = Vj,v – Vc,v

= 1784027,038 N – 544059,925 N

= 1239967,113 N

$$Aj,v = \frac{Vs,v}{fy}$$

$$= \frac{1239967,113}{420}$$

= 2952,303 mm^2

Tulangan longitudinal kolom yang terpasang adalah : 32 D25

As = n tulangan x ¼ x 3,14 x D^2 > Aj,v

= 32 x ¼ x 3,14 x 25^2 > 2952,303 mm^2

= 15700 mm^2 > 2952,303 mm^2

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa As tulangan longitudinal kolom > Aj,v yang dibutuhkan, sehingga tidak diperlukan lagi tulangan geser vertikal karena sudah ditahan oleh tulangan longitudinal kolom yang terpasang.

4.7.7 Kontrol SCWB dan HBK K1 900 x 900

Tabel 4.39 Kontrol SCWB dsn HBK

Kontrol SCWB	
Mn atas Kolom	2044304523,98 Nmm
Mn bawah kolom	2044304523,98 Nmm
ΣMnc	6290167766
Mn + Balok	599922925,63 Nmm
Mn - Balok	561788514,91 Nmm
1.2 ΣMnb	1548948587,38
Cek SCWB	
ΣMnc ≥ 1.2 ΣMnb	6290167766 ≥ 1548948587,38 **Memenuhi**

Tabel Desain Kolom K1 900 x 900						
Data Perencanaan Penulangan Kolom K1		**Perencanaan Kolom K1 900 x 900**				
		16D25	**20D25**	**24D25**	**28D25**	**32D25**
Lebar kolom (bw)		900	900	900	900	900
Tinggi balok (h)		900	900	900	900	900
Selimut beton		40	40	40	40	40
Mutu beton fc'		30	30	30	30	30
Fy ulir utama		420	420	420	420	420
Fy ulir sengkang		280	280	280	280	280
Modulus elastisitas baja (Es)		200000	200000	200000	200000	200000
Diameter Tul. Pokok		25	25	25	25	25
Diameter Tul. Sengkang		13	13	13	13	13
Tinggi lantai (h)		5000	5000	5000	5000	5000
Tinggi balok (h)		800	800	800	800	800
Tinggi bersih kolom (hn kolom)		4200	4200	4200	4200	4200
Kondisi		**Koordinat Diagram Interaksi Formasi Tulangan**				
Sentris	ϕ Pn (kN)	12350.949	12753.53625	13156.1235	13558.71075	13961.298
	ϕ Mn (kNm)	0	0	0	0	0
Patah Desak	ϕ Pn (kN)	6839.154141	7095.439705	6978.614297	7051.498448	7122.214102
	ϕ Mn (kNm)	2044.304524	2158.408744	2302.787903	2380.900701	2565.487309
Balance	ϕ Pn (kN)	6319.941427	6351.812945	6383.684462	6426.506231	6458.622654
	ϕ Mn (kNm)	2075.026072	2212.602894	2351.460327	2490.44805	2634.324512
Balance 1,25 fy	ϕ Pn (kN)	5639.147807	5626.42213	5622.180237	5669.409932	5613.696452
	ϕ Mn (kNm)	2075.026072	2191.75697	2334.305574	2474.833997	2621.521439
Patah tarik	ϕ Pn (kN)	4469.083125	4878.597141	5012.071921	4885.321005	3506.422969
	ϕ Mn (kNm)	1949.312571	2152.073778	2307.881514	2440.693917	2362.939104
Lentur murni	ϕ Pn (kN)	0	0	0	0	0
	ϕ Mn (kNm)	552.6582447	662.174579	762.2032729	1462.404131	1655.733641