



BAB 4 ASESMEN KELAYAKAN STRUKTUR

4.1 Deskripsi Umum

Kabupaten Batang merupakan salah satu kabupaten yang berada di Provinsi Jawa Tengah, memiliki luas wilayah sebesar 788,65 km², serta memiliki 15 kecamatan. Bangunan gedung yang akan diasesmen pada penelitian ini berada di Jalan Pemuda KM 4, Rowobelang, Kecamatan Batang, Kabupaten Batang, Jawa Tengah. Proyek ini merupakan Gedung X di Kabupaten Batang yang sedang dalam tahap perencanaan. Peta lokasi proyek diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Proyek (Sumber: Diolah dari <https://goo.gl/maps/ugCpALPRWeAbMUwm9>, pada hari Senin 11 April 2022, pukul 19.21 WIB)

Bangunan ini direncanakan dengan 4 lantai dengan tinggi total bangunan adalah 14,8 meter dari lantai *lower ground floor* dengan struktur beton bertulang yang terdiri dari struktur kolom, balok, dan pelat lantai. Tinggi antar lantai pada bangunan ini direncanakan sebesar dijabarkan pada Tabel 4.1 dan diperjelas pada Lampiran L-3.

Tabel 4.1 Tinggi Antar Lantai

Lantai	Tinggi (m)
<i>Lower Ground Floor – Ground Floor</i>	4,8
<i>Ground Floor – Lantai 1</i>	4
Lantai 1 – Lantai 2	4
Lantai 2 – Lantai 3	4

(Sumber : Gambar *Detailed Engineering Design*)



Bangunan ini memiliki luas tanah sebesar 2.176 m² dan memiliki beberapa fungsi ruang antara lain :

- a. Ruang Perpustakaan
- b. Ruang Rapat
- c. Ruang Parkir Kendaraan
- d. Ruang Genset Dan Elektrikal
- e. Ruang Mushola
- f. Ruang Pantri
- g. Toilet
- h. Ruang Arsip

Bangunan ini direncanakan oleh CV. Dirga Fasad yang memiliki kantor di Kabupaten Batang. Perencanaan proyek bangunan ini telah disetujui oleh kepala dinas yang menaungi dan kepala bidang tata bangunan lingkungan Kabupaten Batang pada tahun 2019. Bangunan ini memiliki data umum sebagai berikut :

- a. Nama Bangunan : Gedung Kantor X
- b. Alamat : Jalan Pemuda KM 4, Rowobelang, Kec. Batang, Kabupaten Batang, Jawa Tengah
- c. Fungsi : Gedung Perkantoran
- d. Luas Bangunan : 5.235 m²
- e. Jumlah Lantai : 4 Lantai

Adapun dalam melakukan asesmen pada penelitian ini terdapat perangkat lunak yang digunakan yaitu :

- a. ETABS 18.1.1

ETABS Extended Three Analysis Building Systems (ETABS) merupakan *software* yang dimanfaatkan untuk menganalisis dan mendesain struktur bangunan dengan tepat dan cepat. Penggunaan program ini memiliki *interface* menarik dan *tools*nya mudah dipakai (Koespiadi, 2020). *Software* ETABS pada penelitian ini digunakan untuk pemodelan struktur bangunan, analisis struktur, dan pembebanan.

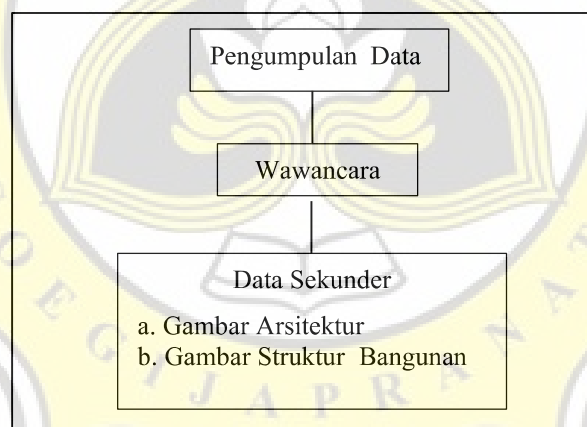
- b. Microsoft Excel



Microsoft Excel adalah sebuah *software* yang digunakan untuk mengolah sebuah data dengan otomatis melalui berbagai bentuk seperti rumus, perhitungan dasar, pengolahan data, dan pembuatan tabel (Setiawan, 2010). Perangkat lunak Microsoft Excel pada penelitian ini untuk melakukan perhitungan analisis elastik balok, kolom, serta hubungan antara balok dan kolom.

4.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan kegiatan yang dilakukan sebelum dilakukannya kegiatan pengolahan data. Menurut Gautama (2017) pengumpulan data merupakan kegiatan mencari data di lapangan yang akan digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian. Validitas pengumpulan data serta kualifikasi pengumpul data sangat diperlukan untuk memperoleh data yang berkualitas. Adapun tujuan dilakukannya pengumpulan data untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Diagram alir pengumpulan data diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram Alir Pengumpulan Data (Sumber: Diolah dari <https://repository.usm.ac.id/>, pada hari Sabtu 06 Agustus 2022, pukul 16.53 WIB)

4.2.1 Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data merupakan teknik atau cara yang dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan data (Gautama, 2017). Terdapat berbagai metode dalam pengumpulan data antara lain, wawancara, observasi, kuesioner, dan studi dokumen. Metode yang peneliti lakukan dalam penelitian ini yaitu dengan metode wawancara dan studi dokumen. Wawancara merupakan teknik pengumpulan data



yang dilakukan melalui tatap muka dan tanya jawab langsung antara peneliti dan narasumber (Gautama, 2017). Kegiatan ini peneliti lakukan guna memperoleh data sekunder berupa gambar *Detailed Engineering Design* dan data teknis. Kegiatan wawancara dilakukan dengan konsultan perencana yang berkantor di Kabupaten Batang. Beberapa pertanyaan yang diajukan kepada konsultan perencana antara lain :

- a. Apa fungsi dari Gedung X yang direncanakan selaku konsultan perencana?
- b. Berapa dimensi Gedung X yang anda rencanakan?
- c. Apakah metode penyelidikan tanah yang digunakan dalam perencanaan Gedung X?

Selain kegiatan wawancara peneliti juga melakukan metode studi dokumen. Studi dokumen merupakan metode pengumpulan data yang tidak ditujukan langsung kepada subjek penelitian (Gautama, 2017). Studi dokumen adalah jenis pengumpulan data yang meneliti berbagai macam dokumen yang berasal dari buku, jurnal, dan situs internet guna untuk bahan analisis.

4.3 Asumsi Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan beragam asumsi dalam perhitungannya, salah satunya bersumber pada SNI 1727 Tahun 2019 tentang pembebanan. Asumsi yang digunakan dalam menunjang perencanaan gedung ini:

- a. Beban mati yang digunakan sebagai berikut:
 - a.1 Beton bertulang = 2.400 kg/m^3
 - a.2 Pasir = 1.800 kg/m^3
 - a.3 Spesi dengan tebal 1 cm = 21 kg/m^2
 - a.4 Pasangan bata merah tebal setengah batu = 300 kg/m^2
 - a.5 Plafon dan penggantung = 18 kg/m^2
 - a.6 Keramik = 24 kg/m^2
 - a.7 Penutup atap genteng = 50 kg/m^2
- b. Untuk beban hidup yang digunakan berdasarkan SNI 1727 Tahun 2019 dan sesuai dengan Tabel 2.3 sebagai berikut:
 - b.1 Lantai kantor = 250 kg/m^2



- b.2 Tangga dan bordes = 300 kg/m²
- b.3 Pekerja = 100 kg
- c. Koefisien reduksi beban hidup untuk portal dan balok induk sebesar 0,75.
- d. Menurut Mc Cormac, JC. (2004), mutu beton yang digunakan untuk semua elemen struktur adalah K-250 adalah K-250 ($f'_c=20,75$ MPa), dengan modulus elastisitas $E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{20,75} = 23452,95291$ MPa. Mutu baja yang digunakan sebagai berikut:
- d.1 Baja profil untuk struktur baja = BJ 37
- d.2 Baja tulangan dengan $\varnothing \leq 10$ mm = U 24 ($f_y = 240$ MPa)
- d.3 Baja tulangan dengan $D \geq 16$ mm = U 39 ($f_y = 370$ MPa)
- d.4 Modulus elastisitas, E_s = $2,0 \times 10^5$ MPa
- e. Berdasarkan SNI 03-2847-2002, faktor reduksi kekuatan beton sebagai berikut :
- e.1 Lentur (f_c) = 0,80
- e.2 Geser (V_u) dan torsi (T) = 0,75
- e.3 Aksial tarik dengan lentur = 0,7
- e.4 Aksial tekan dengan lentur = 0,65
- f. Balok
- Dalam perencanaan pembangunan gedung ini menggunakan balok berbentuk persegi dengan dimensi sesuai dengan gambar kerja. Namun, bila setelah dimasukkan pada *software* dan tidak memenuhi syarat, maka dimensi akan diubah sesuai dengankaedah ekonomis dan teknis. Terdapat 6 macam jenis balok dan ring balok dengan berbagai ukuran dan jumlah tulangan. Spesifikasi balok dan ring balok pada bangunan ini dijabarkan pada Tabel 4.2 dan diperjelas pada Lampiran L-6.

Tabel 4.2 Spesifikasi Balok

Nama	Ukuran	Jumlah Tulangan	Sengkang
B1	250 x 400	6 D 16	Ø10 – 150 / 200
B2	200 x 350	8 D 16	Ø10 – 150 / 200
B3	200 x 350	4 D 12	Ø10 – 150 / 200
B4	250 x 350	6 D 12	Ø10 – 150 / 200
B5	200 x 300	4 D 16	Ø10 – 150 / 200
B6	200 x 400	4 D 12	Ø10 – 150 / 200

(Sumber : Gambar *Detailed Engineering Design*)

g. Kolom



Kolom yang digunakan dalam perencanaan ini berbentuk persegi dan persegi panjang, memiliki 7 jenis kolom dengan dimensi dan jumlah penulangan yang berbeda. Spesifikasi kolom yang digunakan dalam perencanaan ini diperlihatkan pada Tabel 4.3 dan diperjelas pada Lampiran L-7.

Tabel 4.3 Spesifikasi Kolom

Nama	Ukuran	Jumlah Tulangan	Sengkang
K1	450 x 450	16 D 19	Ø10 – 150 / 200
K2	400 x 400	12 D 19	Ø10 – 150 / 200
K3	450 x 450	16 D 19	Ø10 – 150 / 200
K4	500 x 500	8 D 19	Ø10 – 150 / 200
K5	300 x 300	8 D 12	Ø10 – 150 / 200
K6	400 x 400	6 D 16	Ø10 – 150 / 200
K7	400 x 200	4 D 12	Ø10 – 150 / 200

(Sumber : Gambar *Detailed Engineering Design*)

h. Beban merata (q)

Beban merata (q) berasal dari beban pelat ekuivalen maupun berat sendiri balok dan pelat akan diterima oleh balok anak atau balok induk. Sistem pembebanan didasarkan asumsi bahwa balok anak dan balok induk merupakan konstruksi yang menerima beban secara bersamaan. Beban - beban tersebut didistribusikan ke kolom oleh balok yang kemudian diteruskan ke pondasi.

i. Tebal dinding direncanakan pasangan batu bata setengah batu dengan tebal 15 cm termasuk plesteran dan acian.

j. Pondasi adalah struktur bagian bawah yang paling penting, karena pondasi berfungsi sebagai media atau perantara untuk meneruskan seluruh beban dari atas kepada tanah pendukung. Untuk bangunan ini direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang dan pondasi menerus.

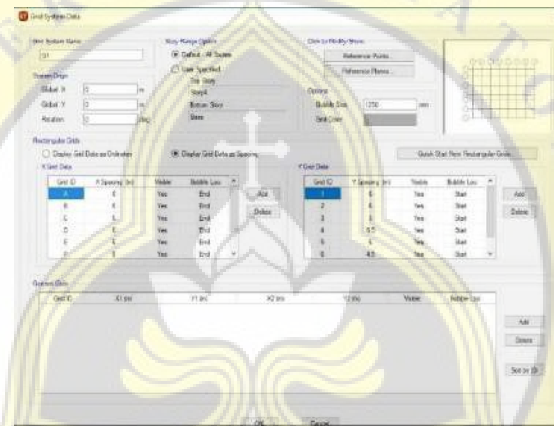
4.4 Analisis Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini peneliti melakukan analisis pemodelan struktur menggunakan *software* ETABS. Menurut Koespiadi (2020), ETABS merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan tepat. Tujuan dilakukannya pemodelan ini untuk mengetahui kemampuan struktur balok dan kolom ketika menerima beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan tersebut akan menjadi salah satu pertimbangan bagi penulis apakah bangunan Gedung X layak atau tidak layak untuk dilanjutkan ke



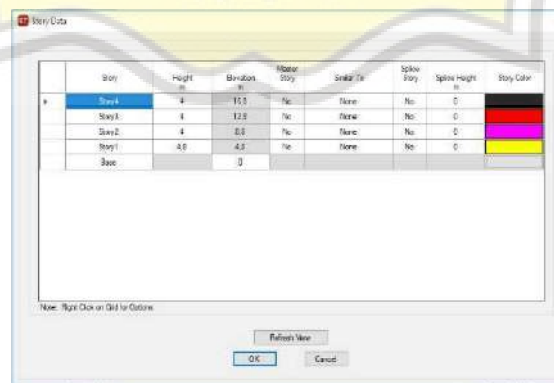
tahap pelaksanaan. Tahapan dan langkah – langkah dalam analisis pemodelan sebagai berikut:

- Langkah awal peneliti memilih satuan dan acuan yang akan digunakan. Pada proses pemodelan ini, penulis menggunakan satuan $\text{Kg/N}^0\text{C}$.
- Selanjutnya memilih garis bantu yang akan digunakan dalam pemodelan. Tujuan pemilihan garis bantu ini untuk memudahkan penulis untuk membuat suatu *grid* atau titik as suatu elemen struktur.
- Menentukan titik as arah X dan Y beserta jarak antar as dengan melihat pada gambar *detailed engineering design*. Hasil dari menentukan titik as diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Dari Menentukan Titik As

- Setelah selesai menentukan titik as, dilanjutkan memasukan tinggi bangunan. Gedung X memiliki tinggi keseluruhan 14,8 m yang diperjelas pada Lampiran L-3. Hasil memodelkan jumlah lantai diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Pemodelan Jumlah Lantai



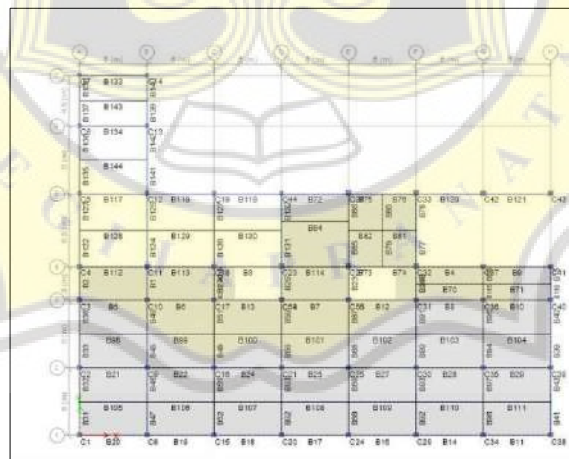
- e. Menentukan material dan mutu material yang akan digunakan. Gedung X ini menggunakan beton dengan mutu K-250 dengan nilai $f_c=20,75$ MPa. Beton dengan mutu K-250 memiliki berat jenis sebesar 2400 m^3 . Penulangannya menggunakan besi baja BJTS 37, besi baja tersebut memiliki nilai $f_y= 240$ MPa, nilai $f_u=370$ MPa, dan modulus elastisitas 200.000 MPa, sifat mekanis baja diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Sifat Mekanis Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, F_u (Mpa)	Tegangan Leleh Minimum, F_y (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	500	290
BJ 55	550	410

(Sumber : SNI 2052:2017)

- f. Memodelkan struktur balok dengan menentukan lokasi penggunaan balok tiap lantainya dan menginput ukuran dimensi balok. Gedung X ini memiliki 6 jenis balok dengan bentuk *rectangular* yang diberi kode B1,B2,B3,B4,B5,B6 yang diperjelas pada Tabel 4.2. Salah satu hasil pemodelan balok pada lantai 2 diperlihatkan pada Gambar 4.5.

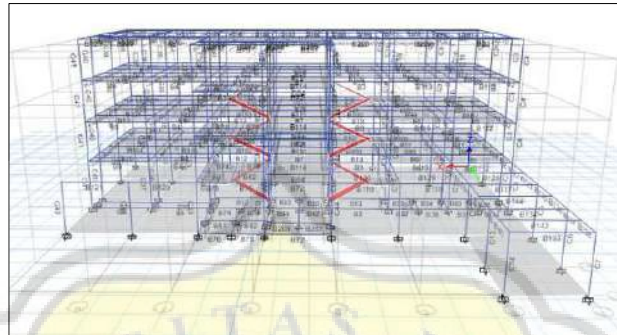


Gambar 4.5 Hasil Menentukan Penggunaan Balok Pada Lantai 2

- g. Memodelkan struktur kolom dengan menentukan lokasi tiap lantainya penggunaan kolom dan menginput ukuran dimensi kolom. Gedung X ini memiliki 7 jenis kolom dengan bentuk *rectangular* yang diberi kode K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7 yang diperjelas pada Tabel 4.3. Berdasarkan SNI 2847

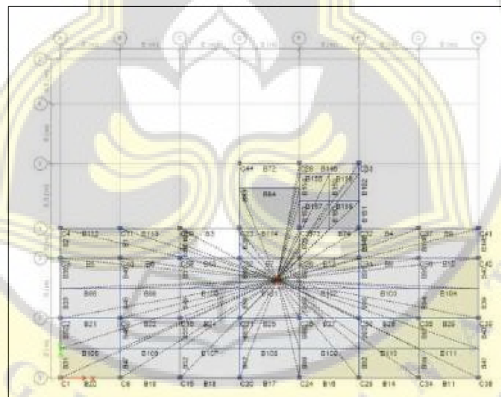


Tahun 2019 Pasal 20 selimut beton yang digunakan pada struktur kolom dan balok setebal 6 cm. Hasil memodelkan struktur balok dan kolom diperlihatkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil Pemodelan Kolom Dan Balok

- h. Pembebanan *diaphragm*, tujuan dilakukannya pembebanan *diaphragm* agar beban pada plat lantai dapat terpusat. Hasil pembebanan *diaphragm* diperlihatkan pada Gambar 4.7.

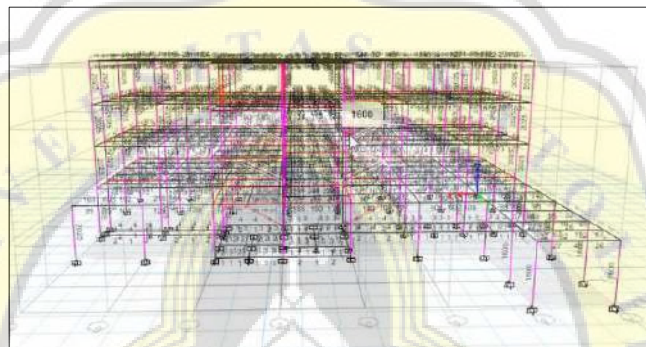


Gambar 4.7 Hasil Pemodelan Beban Terpusat

- i. Melakukan perhitungan *Response Spectrum Analysis* (RSA). Menurut Putra (2018) *Response Spectrum Analysis* adalah suatu cara analisis dinamik struktur dimana pada suatu model matematik dari struktur diberlakukan suatu spektrum respons gempa rencana dan berdasarkan hal itu ditentukan respons spektrum terhadap gempa rencana tersebut melalui superposisi dari respons masing - masing ragamnya. Langkah awal analisis dengan memasukan kualitas tanah pada lokasi proyek. Hal ini dapat diketahui pada data penyelidikan tanah yang diperjelas pada Lampiran L-1. Gedung X ini kualitas tanah dengan kategori D,



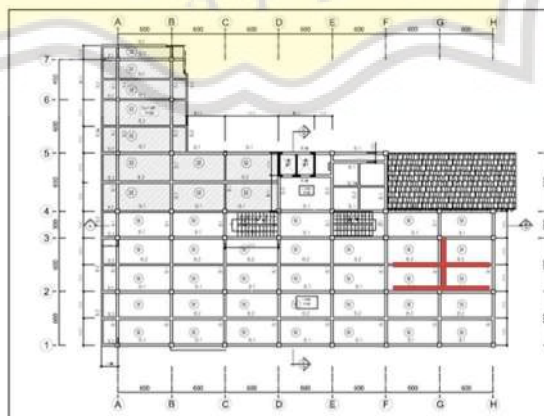
- selanjutnya menginput nilai SS dan S1 yang juga diketahui dalam laporan penyelidikan tanah atau menggunakan aplikasi DSI (Desain Spektra Indonesia).
- j. Memasukan beban kombinasi dan seluruh beban yang bekerja pada pemodelan. Beban – beban yang bekerja antara lain, beban atap, beban gravitasi, beban gempa, beban hidup, beban mati, dan beban angin.
 - k. Setelah selesai melakukan langkah – langkah pemodelan dan menambahkan beban – beban yang bekerja dapat diperoleh hasil akhir yang diperlihatkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Akhir Pemodelan

Hasil akhir yang diperlihatkan pada gambar 4.8 dapat diketahui bahwa ada struktur kolom dan balok yang tidak layak, hal tersebut diperlihatkan dengan garis yang berwarna merah. Hal tersebut diakibatkan karena nilai stress ratio lebih dari 1.

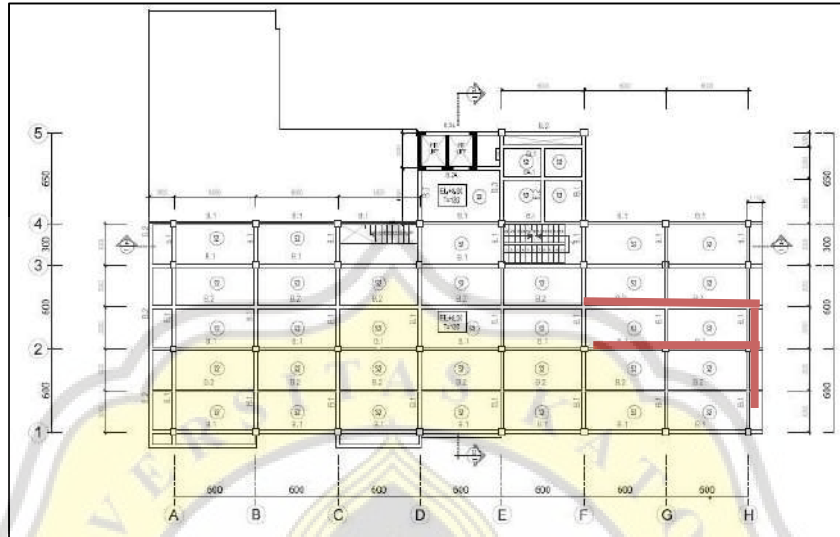
- l. Balok yang tidak layak pada lantai 1 balok tipe B1 dan B2. Lokasi balok diperlihatkan pada Gambar 4.9 yang diberi tanda merah.



Gambar 4.9 Denah Balok Lantai 1

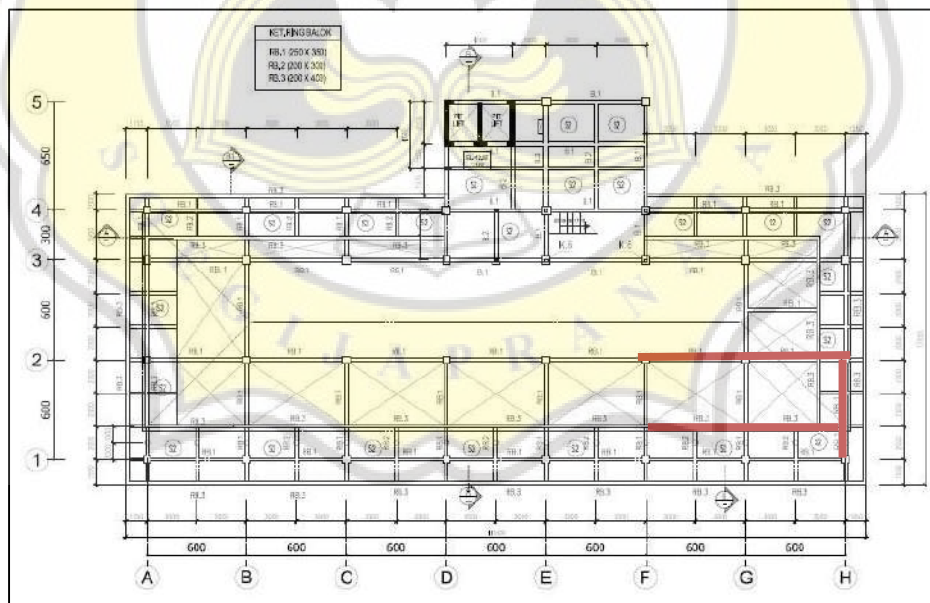


m. Balok yang tidak layak pada lantai 2 balok tipe B1, B2, dan B3. Lokasi balok diperlihatkan pada Gambar 4.10 yang diberi tanda merah.



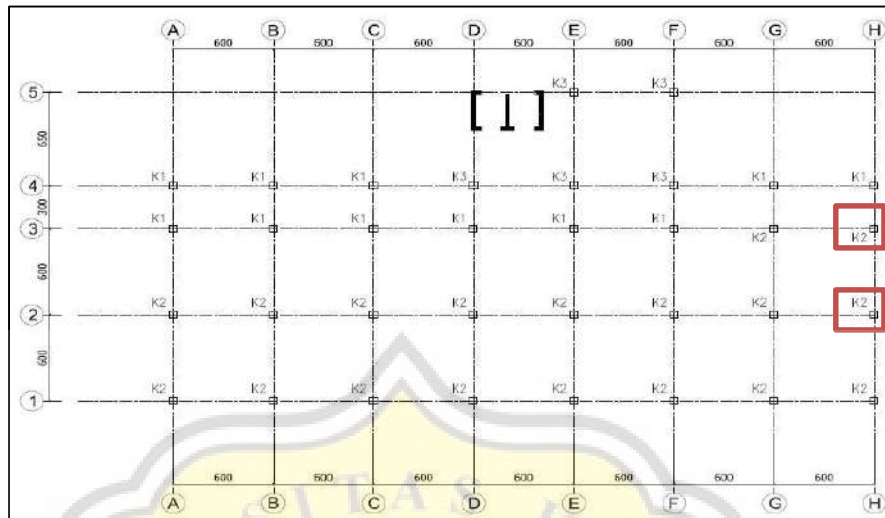
Gambar 4.10 Denah Balok Lantai 2

n. Balok yang tidak layak pada lantai 3 balok tipe B1, B2, dan B3. Lokasi balok diperlihatkan pada Gambar 4.11 yang diberi tanda merah.



Gambar 4.11 Denah Balok Lantai 3

o. Selain pada struktur balok, peneliti juga mendapati struktur kolom yang tidak layak dikarenakan nilai stress ratio lebih dari 1, yaitu Lantai 3 kolom tipe K6. Lokasi kolom diperlihatkan pada Gambar 4.12 yang diberi tanda merah.



Gambar 4.12 Denah Kolom Lantai 3

- p. Setelah selesai melakukan pemodelan pada ETABS dilanjutkan melakukan analisis tulangan dengan export data dari ETABS ke *software* Microsoft Excel., yang diperjelas pada subbab 4.5.

4.5 Analisis Perhitungan Tulangan

Dalam merencanakan suatu bangunan bertingkat banyak ada banyak hal yang perlu diperhitungkan agar suatu struktur bangunan dapat menopang dengan kuat dan kokoh (www.mustikaland.co.id). Perhitungan yang perlu direncanakan adalah analisis perhitungan tulangan struktur balok dan struktur kolom yang dijabarkan pada subbab 4.5.1 dan subbab 4.5.2.

4.5.1 Perhitungan balok

Balok menurut situs jurnal elektronik UAJY (<http://e-journal.uajy.ac.id>) adalah elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai menuju ke kolom sebagai penyangga vertikal. Menurut situs <https://kontraktorjogja.co.id/>, berdasarkan fungsi dan lokasi pada bangunan balok terdiri dari berbagai macam, antara lain:

- Balok sederhana, Balok ini bertumpu pada kolom di ujung - ujungnya, dengan satu ujung bebas berotasi dan tidak memiliki momen tahan.
- Kantilever, kantilever adalah balok yang diproyeksikan atau struktur kaku lainnya didukung hanya pada satu ujung tetap.



- c. Balok teritisasi, merupakan balok sederhana yang memanjang melewati salah satu kolom tumpuannya.
- d. Balok dengan ujung – ujung tetap, balok yang dibuat untuk menahan translasi dan rotasi. Ujung-ujung dari balok ini dikunci sedemikian kuat sehingga tidak bergerak ataupun berotasi karena momen.

Pada subbab 4.5.1, penulis menjabarkan berbagai perhitungan, antara lain : beban mati, penulangan longitudinal tumpuan, tulangan geser, tulangan tekan, torsi tumpuan, dan penulangan sengkang.

a. Perhitungan *tie beam* (TB1)

a.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati

Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1,2q_{DL}$$

$$= 1,2 \times 15,12 \text{ kN/m}$$

$$= 18,144 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4$$

$$= 30,24 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2$$

$$= 20,16 \text{ kN.m}$$

a.2 Data perencanaan

TB1 direncanakan dengan dimensi 25 cm x 40 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$



$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 19 \text{ mm}$$

a.3 Perhitungan penulangan *tie beam*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

a.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{20,75}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0210 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_c}}{0,008} \right) \\ &= 0,0210 \times \left(\frac{0,003 + \frac{420}{200000}}{0,008} \right) \\ &= 0,0131 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{umaks} &= \phi \rho_{\text{maks}} f_y \left(1 - \frac{\rho_{\text{maks}} f_y}{1,7 f_c'} \right) \\ &= 0,9 \times 0,0131 \times 420 \left(1 - \frac{0,0131 \times 420}{1,7 \times 20,75} \right) \\ &= 4,1855 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser} \\ &= 400 - \frac{19}{2} - 40 - 10 \\ &= 340,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ul} &= R_{umaks} b d^2 \\ &= 4,1855 \times 250 \times 340,5^2 \\ &= 121,3159 \text{ kN.m} > M_u (= 20,16 \text{ kN.m}) \end{aligned}$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 3D19.



$$\begin{aligned} Q &= \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{bd} \\ &= \left(\frac{1,7}{0,9 \times 20,75} \right) \frac{20,16}{200 \times 340,5} \\ &= 0,0166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right] \\ &= \frac{20,75}{420} \times \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - 0,0166} \right] \\ &= 0,0005 < \rho_{\text{maks}} (= 0,0131) \text{ maka penampang terkendali tarik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho bd \\ &= 0,0005 \times 250 \times 340,5 \\ &= 41,2137 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{41,2137 \times 420}{0,85 \times 20,75 \times 250} \\ &= 3,9257 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{3,257}{0,85} \\ &= 4,6184 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \left(\frac{d-c}{c} \right) \\ &= \left(\frac{340,5 - 4,6184}{4,6184} \right) \\ &= 0,218 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu (= 41,2137 mm²) sehingga menggunakan tulangan tarik 3D19 (A_s pakai = 1117,1073 mm²) untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 3D19 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.

a.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan Ø10



$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17\lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,75 (0,17) (1,0)\sqrt{20,75} (250) (340,5) \\ &= 49,4398 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_u (= 30,24 \text{ kN}) > \phi V_c/2 (= 24,7199 \text{ kN})$, maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}V_s &= (V_u - \phi V_c)/\phi \\ &= (30,24 - 49,4398)/0,75 \\ &= 23,1069 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c1} &= 0,33\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,33\sqrt{20,75} \times 250 \times 340,5 \\ &= 127,9617 \text{ kN} > V_s (= 23,1069 \text{ kN})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c2} &= 0,66\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,66\sqrt{20,75} \times 200 \times 192 \\ &= 255,9345 \text{ kN} > V_s (= 23,1069 \text{ kN})\end{aligned}$$

Diameter Sengkang yang digunakan 16 mm dua kaki dengan perhitungan jarak sengkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi d_b^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 850,5662 \text{ mm}^2 \\ s_1 &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= \frac{850,5662 \times 420 \times 340,5}{23,1069 \times 19^3} \\ &= 14582,6001 \text{ mm}^2 \\ s_2 &= d/2 \\ &= 340,5/2 \\ &= 170,25 \text{ mm} \\ s_3 &= \frac{A_v \times f_{yt}}{0,35b_w} \\ &= \frac{850,5662 \times 420}{0,35 \times 250} \\ &= 4082,8138 \text{ mm}^2\end{aligned}$$



b. Perhitungan *tie beam* (TB2)

b.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati

Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1,2q_{DL}$$

$$= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m}$$

$$= 18,144 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4$$

$$= 30,24 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2$$

$$= 20,16 \text{ kN.m}$$

b.2 Data perencanaan

TB2 direncanakan dengan dimensi 200 cm x 350 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 16 \text{ mm}$$

b.3 Perhitungan penulangan *tie beam*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.



b.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0210\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \\ &= 0,0131\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{umaks} &= \phi \rho_{maks} f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} f_y}{1,7 f_c'} \right) \\ &= 4,1855 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser} \\ &= 292,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ul} &= R_{umaks} b d^2 \\ &= 71,3738 \text{ kN.m} > M_u\end{aligned}$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 3D16.

$$\begin{aligned}Q &= \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d} \\ &= 0,0008\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right] \\ &= 0,0001 < \rho_{maks}, \text{ maka penampang terkendali tarik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b d \\ &= 1,4020 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= 1,4020 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= 0,1964 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 4,458 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}\end{aligned}$$



Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 3D16 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 3D16 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.

b.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17\lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 33,181 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_u > \phi V_c/2$, maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}V_s &= (V_u - \phi V_c)/\phi \\ &= 23,1069 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c1} &= 0,33\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 22,6121 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c2} &= 0,66\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 45,2242 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

Diameter Sengkang yang digunakan 16 mm dua kaki dengan perhitungan jarak sengkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi d_b^2 \\ &= 603,1858 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= 19528,9503 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_2 &= d/2 \\ &= 146 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_3 &= \frac{A_v \times f_{yt}}{0,35b_w} \\ &= 3619,1147 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

c. Perhitungan Balok (B1)

c.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati



Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2q_{DL} \\ &= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m} \\ &= 18,144 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4 \\ &= 30,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{12} \times q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2 \\ &= 20,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

c.2 Data perencanaan

B1 direncanakan dengan dimensi 25 cm x 40 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 16 \text{ mm}$$

c.3 Perhitungan penulangan *beam*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

c.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0210 \end{aligned}$$



$$\rho_{\text{maks}} = \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_c}}{0,008} \right)$$

$$= 0,0131$$

$$R_{umaks} = \phi \rho_{\text{maks}} f_y \left(1 - \frac{\rho_{\text{maks}} f_y}{1,7 f_c'} \right)$$

$$= 4,1855 \text{ MPa}$$

$$d = h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser}$$

$$= 352,0 \text{ mm}$$

$$M_{ul} = R_{umaks} b d^2$$

$$= 129,6489 \text{ kN.m} > M_u$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 3D16.

$$Q = \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d}$$

$$= 0,1374$$

$$\rho = \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right]$$

$$= 0,0042 < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka penampang terkendali tarik}$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 369,8566 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= 35,2294 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= 41,4464 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$= 0,022 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 3D16 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 3D16 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.



c.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 51,1095 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_u > \phi V_c/2$, maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}V_s &= (V_u - \phi V_c)/\phi \\ &= 14,1562 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c1} &= 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 132,2835 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c2} &= 0,66 \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 264,5670 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

Diameter sengkang yang digunakan 16 mm dua kaki dengan perhitungan jarak sengkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi d_b^2 \\ &= 603,1858 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= 24606,8306 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_2 &= d/2 \\ &= 176 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_3 &= \frac{A_v \times f_{yt}}{0,35 b_w} \\ &= 2895,2918 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

d. Perhitungan Balok (B2)

d.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati

Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1,2 q_{DL}$$

$$= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m}$$



$$= 18,144 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4$$

$$= 30,24 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2$$

$$= 20,16 \text{ kN.m}$$

d.2 Data perencanaan

Balok B1 direncanakan dengan dimensi 20 cm x 35 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 16 \text{ mm}$$

d.3 Perhitungan penulangan *beam*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

d.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,0210$$

$$\rho_{\text{maks}} = \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right)$$

$$= 0,0131$$



$$R_{umaks} = \phi \rho_{maks} f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} f_y}{1,7 f_c'} \right)$$

$$= 4,1855 \text{ MPa}$$

$$d = h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser}$$

$$= 302,0 \text{ mm}$$

$$M_{ul} = R_{umaks} b d^2$$

$$= 76,3462 \text{ kN.m} > M_u$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 3D16.

$$Q = \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d}$$

$$= 0,0196$$

$$\rho = \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right]$$

$$= 0,0006 < \rho_{maks}, \text{ maka penampang terkendali tarik}$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 34,5862 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= 4,1180 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= 4,8447 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$= 0,184 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 3D16 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 3D16 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.

d.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\phi V_c = \phi 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$



$$= 35,0797 \text{ kN}$$

Karena $V_u < \phi V_c/2$, maka tidak diperlukan tulangan geser.

e. Perhitungan Balok (B3)

e.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati

Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1,2q_{DL}$$

$$= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m}$$

$$= 18,144 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4$$

$$= 30,24 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2$$

$$= 20,16 \text{ kN.m}$$

e.2 Data perencanaan

Balok B3 direncanakan dengan dimensi 25 cm x 40 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 12 \text{ mm}$$

e.3 Perhitungan penulangan *tie beam*



Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

e.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0210\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \\ &= 0,0131\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{umaks} &= \phi \rho_{maks} f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} f_y}{1,7 f_c'} \right) \\ &= 4,1855 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser} \\ &= 304,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ul} &= R_{umaks} b d^2 \\ &= 77,3607 \text{ kN.m} > M_u\end{aligned}$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 3D12.

$$\begin{aligned}Q &= \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d} \\ &= 0,0098\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right] \\ &= 0,0003 < \rho_{maks}, \text{ maka penampang terkendali tarik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b d \\ &= 17,4302 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= 2,0753 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= 2,4415 \text{ mm}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \left(\frac{d-c}{c}\right) \\ &= 0,371 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 2D12 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 2D12 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.

e.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17\lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 35,3120 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_u > \phi V_c/2$, maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}V_s &= (V_u - \phi V_c)/\phi \\ &= 51,4422 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c1} &= 0,33\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 91,3959 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c2} &= 0,66\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 182,7917 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

Diameter Senggang yang digunakan 12 mm dua kaki dengan perhitungan jarak sengkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi d_b^2 \\ &= 226,1947 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= 3898,7295 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_2 &= d/2 \\ &= 152 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_3 &= \frac{A_v \times f_{yt}}{0,35b_w} \\ &= 1357,1680 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

f. Perhitungan Ring Balok (RB1)

f.1 Data pembebanan



Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati

Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1,2q_{DL}$$

$$= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m}$$

$$= 18,144 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4$$

$$= 30,24 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2$$

$$= 20,16 \text{ kN.m}$$

f.2 Data perencanaan

Balok RB1 direncanakan dengan dimensi 25 cm x 35 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 12 \text{ mm}$$

f.3 Perhitungan penulangan *ring balk*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

f.4 Tulangan longitudinal tumpuan



$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0210\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \\ &= 0,0131\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{umaks} &= \phi \rho_{maks} f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} f_y}{1,7 f_c'} \right) \\ &= 4,1855 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser} \\ &= 304,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ul} &= R_{umaks} b d^2 \\ &= 96,7009 \text{ kN.m} > M_u\end{aligned}$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 3D12.

$$\begin{aligned}Q &= \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d} \\ &= 0,0288\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right] \\ &= 0,0008 < \rho_{maks}, \text{ maka penampang terkendali tarik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b d \\ &= 64,1729 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= 6,1126 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= 7,1931 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \left(\frac{d - c}{c} \right) \\ &= 0,124 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}\end{aligned}$$



Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 3D12 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 3D12 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.

f.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17\lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 44,1401 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_u > \phi V_c/2$, maka diperlukan tulangan geser.

$$\begin{aligned}V_s &= (V_u - \phi V_c)/\phi \\ &= 16,5134 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c1} &= 0,33\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 114,2449 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{c2} &= 0,66\sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 228,4897 \text{ kN} > V_s\end{aligned}$$

Diameter Sengkang yang digunakan 12 mm dua kaki dengan perhitungan jarak sengkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi d_b^2 \\ &= 339,2920 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= 18217,8672 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_2 &= d/2 \\ &= 152 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_3 &= \frac{A_v \times f_{yt}}{0,35b_w} \\ &= 1628,6016 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

g. Perhitungan Ring Balok (RB2)

g.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati



Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2q_{DL} \\ &= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m} \\ &= 18,144 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4 \\ &= 30,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{12} \times q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2 \\ &= 20,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

g.2 Data perencanaan

Balok RB2 direncanakan dengan dimensi 20 cm x 30 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$f_c' = 20,75 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 16 \text{ mm}$$

g.3 Perhitungan penulangan *ring balk*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

g.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0210 \end{aligned}$$



$$\rho_{\text{maks}} = \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_c}}{0,008} \right)$$

$$= 0,0131$$

$$R_{u\text{maks}} = \phi \rho_{\text{maks}} f_y \left(1 - \frac{\rho_{\text{maks}} f_y}{1,7 f_c'} \right)$$

$$= 4,1855 \text{ MPa}$$

$$d = h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser}$$

$$= 252,0 \text{ mm}$$

$$M_{ul} = R_{u\text{maks}} b d^2$$

$$= 53,1587 \text{ kN.m} > M_u$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 2D12.

$$Q = \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d}$$

$$= 0,0197$$

$$\rho = \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right]$$

$$= 0,0006 < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka penampang terkendali tarik}$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 29,0575 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= 3,4597 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= 4,0703 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$= 0,183 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 2D16 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 2D16 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.



g.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17\lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 29,2718 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_u < \phi V_c/2$, maka tidak diperlukan tulangan geser.

h. Perhitungan Ring Balok (RB3)

h.1 Data pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dijabarkan sebagai berikut:

Beban mati

Beban dinding setengah batu \times tinggi dinding = $3,78 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 15,12 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 15,12 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}q_u &= 1,2q_{DL} \\ &= 1,2 \times 15,12 \text{ Kn/m} \\ &= 18,144 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 18,144 \times 4 \\ &= 30,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= \frac{1}{12} \times q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 18,144 \times 4^2 \\ &= 20,16 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

h.2 Data perencanaan

Balok RB3 direncanakan dengan dimensi 20 cm x 40 cm dengan mutu beton K-250 dan mutu baja 420 MPa.

b	= 200	mm
h	= 400	mm
L	= 4	m
f_c'	= 20,75	MPa
f_y	= 420	MPa
f_{yt}	= 420	MPa



$$\text{Tebal selimut} = 60 \text{ mm}$$

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 12 \text{ mm}$$

h.3 Perhitungan penulangan *ring balk*

Untuk beton persegi dengan f_c' sebesar 20,75 MPa, β_1 diambil 0,85 dan f_y sebesar 420 MPa.

h.4 Tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,0210 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \\ &= 0,0131 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{umaks}} &= \phi \rho_{\text{maks}} f_y \left(1 - \frac{\rho_{\text{maks}} f_y}{1,7 f_c'} \right) \\ &= 4,1855 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan geser} \\ &= 354,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ul} &= R_{\text{umaks}} b d^2 \\ &= 929,1183 \text{ kN.m} > M_u \end{aligned}$$

Karena $M_{ul} > M_u$ maka tidak perlu menggunakan tulangan tekan, namun akan tetap digunakan tulangan tekan 2D12.

$$\begin{aligned} Q &= \left(\frac{1,7}{\phi f_c'} \right) \frac{M_u}{b d} \\ &= 0,0079 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85^2) - Q} \right] \\ &= 0,0002 < \rho_{\text{maks}}, \text{ maka penampang terkendali tarik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 16,2988 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$



$$= 1,9406 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= 2,2831 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d-c}{c} \right)$$

$$= 0,462 \geq 0,005 \text{ (Tulangan tarik leleh)}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui A_s perlu sehingga menggunakan tulangan tarik 2D12 untuk dapat memenuhi kebutuhan luas tulangan tarik. Sedangkan untuk tulangan tekan tetap menggunakan 2D12 meskipun berdasarkan perhitungan tidak memerlukan tulangan tekan.

h.5 Tulangan geser dan torsi tumpuan

Tulangan geser diasumsikan menggunakan tulangan $\emptyset 10$

$$\phi V_c = \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$= 41,1199 \text{ kN}$$

Karena $V_u < \phi V_c / 2$, maka tidak diperlukan tulangan geser.

4.5.2 Perhitungan kolom

Kolom merupakan merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai dan runtuhnya bangunan secara total (<https://eticon.co.id/>). Berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, adapun jenis kolom terbagi menjadi tiga jenis, diantaranya sebagai berikut:

- Kolom segi empat atau bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan menyengkang. Dalam proyek perencanaan Gedung X menggunakan kolom jenis ini.
- Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan menyengkang berbentuk spiral. Adapun fungsi dari tulangan spiral ini adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar.
- Kolom komposit, yaitu gabungan antara beton dan profil baja sebagai pengganti tulangan di dalamnya



Menurut situs internet <https://eticon.co.id/>, fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Beban sebuah bangunan yang dimulai dari atap akan diterima oleh kolom. Seluruh beban yang diterima oleh kolom kemudian didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. Dengan begitu, kolom pada sebuah bangunan memiliki fungsi yang sangat vital, dapat disimpulkan bahwa kolom termasuk struktur utama bangunan untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), maupun beban hembusan angin. Keruntuhan dan kegagalan struktur pada kolom menjadi titik kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya bangunan.

Dalam subbab 4.5.2 peneliti menjabarkan berbagai perhitungan, antara lain : tulangan longitudinal tumpuan, tulangan longitudinal lapangan, dan tulangan sengkang.

a. Kolom K20×20

a.1 Data perencanaan

b	= 200	mm
h	= 200	mm
f_c'	= 20,75	MPa
f_y	= 420	MPa
f_{yt}	= 420	MPa
Tebal selimut	= 60	mm
d longitudinal	= 19	mm
d sengkang	= 12	mm
d ikat silang	= 12	mm
E_s	= $2,0 \times 10^5$	MPa
M_u tumpuan	= 9,9926	kN.m
M_u lapangan	= 9,9926	kN.m
V_u tumpuan	= 5,3808	kN.m
V_u lapangan	= 5,3808	kN.m
P_u tumpuan	= 140,0474	kN.m
P_u lapangan	= 140,0474	kN.m
N_u tumpuan	= 34,4895	kN.m



$$N_u \text{ lapangan} = 34,4895 \text{ kN.m}$$

a.2 Perhitungan tulangan longitudinal tumpuan

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

$$= \frac{9,9926}{140,0474}$$

$$= 0,0714 \text{ m}$$

$$d' = \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang}$$

$$= 40 + \frac{19}{2} + 12$$

$$= 61,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 200 - 61,5$$

$$= 138,5 \text{ mm}$$

$$\gamma h = h - 2d'$$

$$= 200 - 2 \times 61,5$$

$$= 77 \text{ mm}$$

$$\gamma = \frac{\gamma h}{h}$$

$$= \frac{77}{200}$$

$$= 0,4$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$

$$= \frac{140,0474}{0,65}$$

$$= 215,4575 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{9,9926}{0,65}$$

$$= 15,3732 \text{ N}$$

$$K_n = \frac{P_n}{f_c' A_g}$$

$$= \frac{215,4575}{20,75 \times 200 \times 200}$$

$$= 0,2596$$



$$\begin{aligned} R_n &= \frac{P_n e}{f_c A_g h} \\ &= \frac{215,4575 \times 0,0714}{20,75 \times 200 \times 200 \times 200} \\ &= 0,0926 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b h \\ &= 0,01 \times 200 \times 200 \\ &= 400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a.3 Perhitungan tulangan longitudinal lapangan

$$\begin{aligned} e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{9,9926}{140,0474} \\ &= 0,0714 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 12 \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 200 - 61,5 \\ &= 138,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma h &= h - 2d' \\ &= 200 - 2 \times 61,5 \\ &= 77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{77}{200} \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{140,0474}{0,65} \\ &= 215,4575 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$



$$= \frac{9,9926}{0,65}$$

$$= 15,3732 \text{ N}$$

$$K_n = \frac{P_n}{f'_c A_g}$$

$$= \frac{215,4575}{20,75 \times 200 \times 200}$$

$$= 0,2596$$

$$R_n = \frac{P_n e}{f'_c A_g h}$$

$$= \frac{215,4575 \times 0,0714}{20,75 \times 200 \times 200 \times 200}$$

$$= 0,0926$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$A_s = \rho b h$$

$$= 0,01 \times 200 \times 200$$

$$= 400 \text{ mm}^2$$

a.4 Perhitungan tulangan sengkang

$$0,3 A_g f'_c = 0,3 \times 200 \times 200 \times 20,75$$

$$= 249 \text{ kN} \geq P_u (= 140,0474 \text{ kN})$$

$$b_c = b - 2 \times \text{selimut beton}$$

$$= 200 - 2 \times 40$$

$$= 120 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = b_c \times b_c$$

$$= 120 \times 120$$

$$= 14.400 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times h$$

$$= 200 \times 200$$

$$= 40.000 \text{ mm}^2$$

$$x_i = h - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - d \text{ longitudinal}$$

$$= 200 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 19$$

$$= 38,5 \text{ mm}$$



Karena $P_u (= 140,0474 \text{ kN}) \leq 0,3A_gf_c' (= 249 \text{ kN})$, maka untuk menghitung A_{sh} akan digunakan 2 (dua) persamaan dengan mengambil nilai terbesar diantara kedua persamaan yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \left(\frac{40.000}{14.000} - 1 \right) \frac{20,75}{420} \\ &= 0,02635\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{20,75}{420} \\ &= 0,00445\end{aligned}$$

Maka nilai $\frac{A_{sh}}{s_{bc}}$ yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya dipilih sebesar 0,02635. Beberapa syarat jarak tulangan transversal yang dipersyaratkan antara lain yaitu:

- i. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur $= \frac{1}{4} (200) = 50 \text{ mm}$
- ii. 6 kali diameter tulangan memanjang $= 5 (19) = 114 \text{ mm}$
- iii. $S_o = 50 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$
 $= 50 + \left(\frac{350 - 38,5}{3} \right)$
 $= 387,167 \text{ mm}$

Nilai s_o tidak perlu diambil lebih dari 150 mm dan tidak kurang dari 50 mm. sehingga jarak maksimum tulangan sengkang diambil sebesar 50 mm. Untuk menghitung kebutuhan tulangan transversal dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times \frac{A_{sh}}{s_{bc}} \\ &= 120 (0,02635) \\ &= 3,1619 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh} &= \frac{A_{sh}}{s} \times s \\ &= 3,1619 \times 50 \\ &= 158,095 \text{ mm}^2\end{aligned}$$



Dengan menggunakan sengkang tertutup dan ikat silang dengan diameter 13 mm, maka diperlukan 3 kaki Ø13 ($A_{sh} = 158,095 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{5,3808}{0,75} \\ &= 7,1744 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt}d} \\ &= \frac{7,1744 \times 10^3}{420 \times 138,5} \\ &= 0,12334 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_v &= \frac{A_v}{s} \times s \\ &= 0,12334 \times 100 \\ &= 12,3335 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

A_{sh} dari sengkang tertutup dan ikat silang 3 kaki Ø13 sudah mencukupi. Untuk daerah di luar l_o , nilai V_c dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{34,4895}{14 \times 40.000} \right) (1,0) \sqrt{20,75} (200) (138,5) \\ &= 22,7716 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_c (= 22,7716 \text{ kN}) > V_u (= 5,3808 \text{ kN})$ di luar panjang l_o , maka tulangan sengkang dapat dipasang dengan jarak $d/2 = 138,5/2 = 69,25 \text{ mm}$. Namun karena syarat jarak tulangan transversal di luar daerah l_o menyatakan bahwa jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 150 mm atau $6d_b (= 114 \text{ mm})$, sehingga tulangan dipasang dengan jarak maksimal 150 mm.

b. Kolom K30×30

b.1 Data perencanaan

b	= 300	mm
h	= 300	mm
f_c'	= 20,75	MPa
f_y	= 420	MPa
f_{yt}	= 420	MPa



Tebal selimut	= 40	mm
d longitudinal	= 19	mm
d sengkang	= 12	mm
d ikat silang	= 12	mm
E_s	= $2,0 \times 10^5$	MPa
M_u tumpuan	= 96,0541	kN.m
M_u lapangan	= 96,0541	kN.m
V_u tumpuan	= 55,6174	kN.m
V_u lapangan	= 55,6174	kN.m
P_u tumpuan	= 927,2417	kN.m
P_u lapangan	= 927,2417	kN.m
N_u tumpuan	= 4,046	kN.m
N_u lapangan	= 4,046	kN.m

b.2 Perhitungan tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned}e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{96,0541}{927,2417} \\ &= 0,1036 \text{ m} \\ d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 12 \\ &= 61,5 \text{ mm} \\ d &= h - d' \\ &= 300 - 61,5 \\ &= 238,5 \text{ mm} \\ yh &= h - 2d' \\ &= 300 - 2 \times 61,5 \\ &= 177 \text{ mm} \\ \gamma &= \frac{yh}{h} \\ &= \frac{177}{300} \\ &= 0,6\end{aligned}$$



$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{927,2471}{0,65} \\ &= 1426,5257 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{96,0541}{0,65} \\ &= 147,7755 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{P_n}{f'_c A_g} \\ &= \frac{1426,5257}{20,75 \times 300 \times 300} \\ &= 0,7639 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{P_n e}{f'_c A_g h} \\ &= \frac{1426,5257 \times 0,1036}{20,75 \times 300 \times 300 \times 300} \\ &= 0,2638 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b h \\ &= 0,01 \times 300 \times 300 \\ &= 900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b.3 Perhitungan tulangan longitudinal lapangan

$$\begin{aligned} e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{96,0541}{927,2417} \\ &= 0,1036 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 12 \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 300 - 61,5 \\ &= 238,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \gamma h &= h - 2d' \\ &= 300 - 2 \times 61,5 \\ &= 177 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{177}{300} \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{927,2417}{0,65} \\ &= 1426,5257 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{96,0541}{0,65} \\ &= 147,7755 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{P_n}{f_c' A_g} \\ &= \frac{1426,5257}{20,75 \times 300 \times 300} \\ &= 0,7639 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{P_n e}{f_c' A_g h} \\ &= \frac{1426,5257 \times 0,1036}{20,75 \times 300 \times 300 \times 300} \\ &= 0,2638 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b h \\ &= 0,01 \times 300 \times 300 \\ &= 900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b.4 Perhitungan tulangan sengkang

$$\begin{aligned} 0,3A_g f_c' &= 0,3 \times 300 \times 300 \times 20,75 \\ &= 560,25 \text{ kN} \geq P_u (= 927,2417 \text{ kN}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_c &= b - 2 \times \text{selimut beton} \\ &= 300 - 2 \times 40 \end{aligned}$$



$$= 220 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= b_c \times b_c \\ &= 220 \times 220 \\ &= 48.400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 300 \times 300 \\ &= 90.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_i &= h - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - d \text{ longitudinal} \\ &= 300 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 19 \\ &= 88,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $P_u (= 927,2417 \text{ kN}) \leq 0,3A_gf'_c (= 560,25 \text{ kN})$, maka untuk menghitung A_{sh} akan digunakan 2 (dua) persamaan dengan mengambil nilai terbesar diantara kedua persamaan yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \left(\frac{90.000}{48.400} - 1 \right) \frac{20,75}{420} \\ &= 0,01273 \\ \frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{20,75}{420} \\ &= 0,00445 \end{aligned}$$

Maka nilai $\frac{A_{sh}}{s_{bc}}$ yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya, dipilih sebesar 0,01273. Beberapa syarat jarak tulangan transversal yang dipersyaratkan antara lain yaitu:

- i. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur $= \frac{1}{4}(300) = 75 \text{ mm}$
- ii. 6 kali diameter tulangan memanjang $= 5(19) = 114 \text{ mm}$
- iii. $S_o = 75 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$
 $= 75 + \left(\frac{350 - 88,5}{3} \right)$
 $= 420,5 \text{ mm}$



Nilai s_o tidak perlu diambil lebih dari 150 mm dan tidak kurang dari 75 mm. sehingga jarak maksimum tulangan sengkang, dipilih sebesar 75 mm. Untuk menghitung kebutuhan tulangan transversal dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times \frac{A_{sh}}{s_{bc}} \\ &= 220 (0,01273) \\ &= 2,8025 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh} &= \frac{A_{sh}}{s} \times s \\ &= 2,80025 \times 75 \\ &= 210,194 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan menggunakan sengkang tertutup dan ikat silang dengan diameter 13 mm, maka diperlukan 3 kaki Ø13 ($A_{sh} = 210,194 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{55,6174}{0,75} \\ &= 74,1565 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt}d} \\ &= \frac{74,1565 \times 10^3}{420 \times 238,5} \\ &= 0,7403 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_v &= \frac{A_v}{s} \times s \\ &= 0,7403 \times 100 \\ &= 74,03 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

A_{sh} dari sengkang tertutup dan ikat silang 3 kaki Ø13 sudah mencukupi. Untuk daerah di luar l_o , nilai V_c dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{4,046}{14 \times 90.000} \right) (1,0) \sqrt{20,75} (300) (238,5) \\ &= 55,5852 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_c (= 55,5852 \text{ kN}) > V_u (= 55,6174 \text{ kN})$ di luar panjang l_o , maka tulangan sengkang dapat dipasang dengan jarak $d/2 = 238,5/2 = 119,25 \text{ mm}$. Namun karena



syarat jarak tulangan transversal di luar daerah l_o menyatakan bahwa jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 150 mm atau $6d_b$ (= 114 mm), sehingga tulangan dipasang dengan jarak maksimal 150 mm.

c. Kolom K40×40

c1. Data perencanaan

b	= 400	mm
h	= 400	mm
f_c'	= 20,75	MPa
f_y	= 420	MPa
f_{yt}	= 420	MPa
Tebal selimut	= 40	mm
d longitudinal	= 19	mm
d sengkang	= 19	mm
d ikat silang	= 19	mm
E_s	= $2,0 \times 10^5$	MPa
M_u tumpuan	= 37,0945	kN.m
M_u lapangan	= 37,0945	kN.m
V_u tumpuan	= 15,6995	kN.m
V_u lapangan	= 15,6995	kN.m
P_u tumpuan	= 305,3653	kN.m
P_u lapangan	= 305,3653	kN.m
N_u tumpuan	= 6,0641	kN.m
N_u lapangan	= 6,0641	kN.m

c.2 Perhitungan tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned} e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{37,0945}{305,3653} \\ &= 0,1215 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 19 \end{aligned}$$



$$= 68,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 400 - 68,5 \\ &= 331,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma h &= h - 2d' \\ &= 400 - 2 \times 68,5 \\ &= 263 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{263}{400} \\ &= 0,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{305,363}{0,65} \\ &= 469,7928 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{37,0945}{0,65} \\ &= 57,0685 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{P_n}{f_c' A_g} \\ &= \frac{469,7928}{20,75 \times 400 \times 400} \\ &= 0,1415 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{P_n e}{f_c' A_g h} \\ &= \frac{469,7928 \times 0,1215}{20,75 \times 400 \times 400} \\ &= 0,0430 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b h \\ &= 0,01 \times 400 \times 400 \\ &= 1.600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c.3 Perhitungan tulangan longitudinal lapangan



$$\begin{aligned}e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{37,0945}{305,3653} \\ &= 0,1215 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 19 \\ &= 68,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 400 - 68,5 \\ &= 331,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma h &= h - 2d' \\ &= 400 - 2 \times 68,5 \\ &= 263 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{263}{400} \\ &= 0,7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{305,363}{0,65} \\ &= 469,7928 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{37,0945}{0,65} \\ &= 57,0685 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_n &= \frac{P_n}{f_c A_g} \\ &= \frac{469,7928}{20,75 \times 400 \times 400} \\ &= 0,1415\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{P_n e}{f_c A_g h}$$



$$= \frac{469,7928 \times 0,0,1215}{20,75 \times 400 \times 400 \times 400}$$
$$= 0,0430$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$A_s = \rho b h$$
$$= 0,01 \times 400 \times 400$$
$$= 1.600 \text{ mm}^2$$

c.4 Perhitungan tulangan sengkang

$$0,3A_g f_c' = 0,3 \times 400 \times 400 \times 20,75$$
$$= 996 \text{ kN} \geq P_u (= 305,3653 \text{ kN})$$

$$b_c = b - 2 \times \text{selimut beton}$$
$$= 400 - 2 \times 40$$
$$= 320 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = b_c \times b_c$$
$$= 320 \times 320$$
$$= 102.400 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times h$$
$$= 400 \times 400$$
$$= 160.000 \text{ mm}^2$$

$$x_i = h - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - d \text{ longitudinal}$$
$$= 400 - 2 \times 40 - 2 \times 19 - 19$$
$$= 131,5 \text{ mm}$$

Karena $P_u (= 305,3653 \text{ kN}) \leq 0,3A_g f_c' (= 996 \text{ kN})$, maka untuk menghitung A_{sh} akan digunakan 2 (dua) persamaan dengan mengambil nilai terbesar di antara kedua persamaan yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\frac{A_{sh}}{s_{bc}} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$$
$$= 0,3 \left(\frac{160.000}{102.400} - 1 \right) \frac{20,75}{420}$$
$$= 0,0083$$

$$\frac{A_{sh}}{s_{bc}} = 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$$



$$= 0,09 \times \frac{20,75}{420}$$
$$= 0,00445$$

Maka nilai $\frac{A_{sh}}{s_{bc}}$ yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya dipilih sebesar 0,0083. Beberapa syarat jarak tulangan transversal yang dipersyaratkan antara lain yaitu:

i. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur $= \frac{1}{4}(400) = 100$ mm

ii. 6 kali diameter tulangan memanjang $= 5(19) = 114$ mm

iii. $S_o = 75 + \left(\frac{350 - h_x}{3}\right)$
 $= 75 + \left(\frac{350 - 131,5}{3}\right)$
 $= 406,1667$ mm

Nilai s_o tidak perlu diambil lebih dari 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm. sehingga jarak maksimum tulangan sengkang diambil sebesar 100 mm. Untuk menghitung kebutuhan tulangan transversal dijabarkan sebagai berikut:

$$\frac{A_{sh}}{s} = b_c \times \frac{A_{sh}}{s_{bc}}$$
$$= 320 (0,0083)$$
$$= 2,6678 \text{ mm}^2/\text{mm}$$
$$A_{sh} = \frac{A_{sh}}{s} \times s$$
$$= 2,6678 \times 100$$
$$= 266,78 \text{ mm}^2$$

Dengan menggunakan 98engkang tertutup dan ikat silang dengan diameter 19 mm, maka diperlukan 3 kaki Ø19 ($A_{sh} = 266,78 \text{ mm}^2$).

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}$$
$$= \frac{15,6995}{0,75}$$
$$= 20,9326 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt}d}$$
$$= \frac{20,9326 \times 10^3}{420 \times 331,5}$$



$$= 0,1503 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{A_v}{s} \times s \\ &= 0,1503 \times 100 \\ &= 15,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_{sh} dari 99enggang tertutup dan ikat silang 3 kaki $\emptyset 13$ sudah mencukupi. Untuk daerah di luar l_o , nilai V_c dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{6,0641}{14 \times 160.000} \right) (1,0) \sqrt{20,75} (400) (331,5) \\ &= 102,961 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena $V_c (= 102,961 \text{ kN}) > V_u (= 15,6995 \text{ kN})$ di luar sengkang l_o , maka tulangan 99enggang dapat dipasang dengan jarak $d/2 = 331,5/2 = 165,75 \text{ mm}$. Namun karena syarat jarak tulangan transversal di luar daerah l_o menyatakan bahwa jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 150 mm atau $6d_b (= 114 \text{ mm})$, sehingga tulangan dipasang dengan jarak maksimal 150 mm.

d. Kolom K45/45

d.1 Data perencanaan

b	= 450	mm
h	= 450	mm
f_c'	= 20,75	Mpa
f_y	= 420	Mpa
f_{yt}	= 420	Mpa
Tebal selimut	= 40	mm
d longitudinal	= 19	mm
d 99enggang	= 19	mm
d ikat silang	= 19	mm
E_s	= $2,0 \times 10^5$	Mpa
M_u tumpuan	= 75,0887	kN.m
M_u lapangan	= 75,0887	kN.m
V_u tumpuan	= 55,6174	kN.m
V_u lapangan	= 55,6174	kN.m



$$P_u \text{ tumpuan} = 851,4297 \text{ kN.m}$$

$$P_u \text{ lapangan} = 851,4297 \text{ kN.m}$$

$$N_u \text{ tumpuan} = 4,046 \text{ kN.m}$$

$$N_u \text{ lapangan} = 4,046 \text{ kN.m}$$

d.2 Perhitungan tulangan longitudinal tumpuan

$$\begin{aligned} e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{75,0887}{851,4297} \\ &= 0,0882 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 19 \\ &= 68,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 450 - 68,5 \\ &= 381,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma h &= h - 2d' \\ &= 450 - 2 \times 68,5 \\ &= 313 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{313}{450} \\ &= 0,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{851,4297}{0,65} \\ &= 1309,8918 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{75,0887}{0,65} \\ &= 115,5211 \text{ N} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}K_n &= \frac{P_n}{f_c A_g} \\ &= \frac{1039,8918}{20,75 \times 450 \times 450} \\ &= 0,3117\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{P_n e}{f_c A_g h} \\ &= \frac{1309,8918 \times 0,0882}{20,75 \times 450 \times 450 \times 450} \\ &= 0,0611\end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b h \\ &= 0,01 \times 450 \times 450 \\ &= 2025 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

d.3 Perhitungan tulangan longitudinal lapangan

$$\begin{aligned}e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{75,0887}{851,4297} \\ &= 0,0882 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d' &= \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} \\ &= 40 + \frac{19}{2} + 19 \\ &= 68,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 450 - 68,5 \\ &= 381,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma h &= h - 2d' \\ &= 450 - 2 \times 68,5 \\ &= 313 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{313}{450} \\ &= 0,7\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\&= \frac{851,4297}{0,65} \\&= 1309,8918 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\&= \frac{75,0887}{0,65} \\&= 115,5211 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_n &= \frac{P_n}{f'_c A_g} \\&= \frac{1039,8918}{20,75 \times 450 \times 450} \\&= 0,3117\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{P_n e}{f'_c A_g h} \\&= \frac{1309,8918 \times 0,0882}{20,75 \times 450 \times 450 \times 450} \\&= 0,0611\end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b h \\&= 0,01 \times 450 \times 450 \\&= 2025 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

d.4 Perhitungan tulangan sengkang

$$\begin{aligned}0,3A_g f'_c &= 0,3 \times 450 \times 450 \times 20,75 \\&= 1260,5625 \text{ kN} \geq P_u (= 851,4297 \text{ kN})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b_c &= b - 2 \times \text{selimut beton} \\&= 400 - 2 \times 45 \\&= 370 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{ch} &= b_c \times b_c \\&= 370 \times 370 \\&= 136.900 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_g &= b \times h \\&= 450 \times 450\end{aligned}$$



$$= 202.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}x_i &= h - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - d \text{ longitudinal} \\ &= 450 - 2 \times 40 - 2 \times 19 - 19 \\ &= 156,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena $P_u (= 851,4297 \text{ kN}) \leq 0,3A_gf_c' (= 1260,5625 \text{ kN})$, maka untuk menghitung A_{sh} akan digunakan 2 (dua) persamaan dengan mengambil nilai terbesar diantara kedua persamaan yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \left(\frac{202.500}{136.900} - 1 \right) \frac{20,75}{420} \\ &= 0,0071\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{20,75}{420} \\ &= 0,00445\end{aligned}$$

Maka nilai $\frac{A_{sh}}{s_{bc}}$ yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya dipilih sebesar 0,0083. Beberapa syarat jarak tulangan transversal yang dipersyaratkan antara lain yaitu:

i. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur $= \frac{1}{4} (450) = 112,5 \text{ mm}$

ii. 6 kali diameter tulangan memanjang $= 5 (19) = 114 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\text{iii. } s_o &= 75 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \\ &= 75 + \left(\frac{350 - 156,5}{3} \right) \\ &= 397,8334 \text{ mm}\end{aligned}$$

Nilai s_o tidak perlu diambil lebih dari 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm. sehingga jarak maksimum tulangan sengkang diambil sebesar 100 mm. Untuk menghitung kebutuhan tulangan transversal dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times \frac{A_{sh}}{s_{bc}} \\ &= 320 (0,0071) \\ &= 2,2777 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}A_{sh} &= \frac{A_{sh}}{s} \times s \\ &= 2,6277 \times 100 \\ &= 262,77 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan menggunakan sengkang tertutup dan ikat silang dengan diameter 19 mm, maka diperlukan 3 kaki Ø19 ($A_{sh} = 262,77 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{55,6174}{0,75} \\ &= 74,1565 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt}d} \\ &= \frac{74,1565 \times 10^3}{420 \times 381,5} \\ &= 0,4628 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_v &= \frac{A_v}{s} \times s \\ &= 0,4628 \times 100 \\ &= 46,28 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

A_{sh} dari sengkang tertutup dan ikat silang 3 kaki Ø13 sudah mencukupi. Untuk daerah di luar l_o , nilai V_c dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{4,046}{14 \times 202.500} \right) (1,0) \sqrt{20,75} (400) (381,5) \\ &= 133,1325 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_c (= 133,1325 \text{ kN}) > V_u (= 55,6174 \text{ kN})$ di luar panjang l_o , maka tulangan sengkang dapat dipasang dengan jarak $d/2 = 381,5/2 = 190,75 \text{ mm}$. Namun karena syarat jarak tulangan transversal di luar daerah l_o menyatakan bahwa jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 150 mm atau $6d_b (= 114 \text{ mm})$, sehingga tulangan dipasang dengan jarak maksimal 150 mm.

e. Kolom K50×50

e.1 Data perencanaan

$$b = 500 \quad \text{mm}$$



h	= 500	mm
f_c'	= 20,75	MPa
f_y	= 420	MPa
f_{yt}	= 420	MPa
Tebal selimut	= 40	mm
d longitudinal	= 19	mm
d sengkang	= 19	mm
d ikat silang	= 19	mm
E_s	= $2,0 \times 10^5$	MPa
M_u tumpuan	= 96,0541	kN.m
M_u lapangan	= 96,0541	kN.m
V_u tumpuan	= 54,7425	kN.m
V_u lapangan	= 54,7425	kN.m
P_u tumpuan	= 897,2857	kN.m
P_u lapangan	= 897,2857	kN.m
N_u tumpuan	= 18,6639	kN.m
N_u lapangan	= 18,6639	kN.m

e.2 Perhitungan tulangan longitudinal tumpuan

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{96,0541}{897,2857} = 0,1070 \text{ m}$$

$$d' = \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang} = 40 + \frac{19}{2} + 19 = 68,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 500 - 68,5 = 431,5 \text{ mm}$$

$$yh = h - 2d' = 500 - 2 \times 68,5$$



$$= 363 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\gamma h}{h} \\ &= \frac{363}{500} \\ &= 0,7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{897,2857}{0,65} \\ &= 1380,4395 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{96,0541}{0,65} \\ &= 147,7775 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_n &= \frac{P_n}{f_c A_g} \\ &= \frac{1380,4395}{20,75 \times 500 \times 500} \\ &= 0,2661\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{P_n e}{f_c A_g h} \\ &= \frac{1380,4395 \times 0,1070}{20,75 \times 500 \times 500 \times 500} \\ &= 0,0570\end{aligned}$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b h \\ &= 0,01 \times 500 \times 500 \\ &= 2500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

e.3 Perhitungan tulangan longitudinal lapangan

$$\begin{aligned}e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{96,0541}{897,2857} \\ &= 0,1070 \text{ m}\end{aligned}$$

$$d' = \text{selimut beton} + \frac{\text{diameter tulangan longitudinal}}{2} + \text{diameter sengkang}$$



$$= 40 + \frac{19}{2} + 19$$

$$= 68,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 500 - 68,5$$

$$= 431,5 \text{ mm}$$

$$\gamma h = h - 2d'$$

$$= 500 - 2 \times 68,5$$

$$= 363 \text{ mm}$$

$$\gamma = \frac{\gamma h}{h}$$

$$= \frac{363}{500}$$

$$= 0,7$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$

$$= \frac{897,2857}{0,65}$$

$$= 1380,4395 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{96,0541}{0,65}$$

$$= 147,7775 \text{ N}$$

$$K_n = \frac{P_n}{f'_c A_g}$$

$$= \frac{1380,4395}{20,75 \times 500 \times 500}$$

$$= 0,2661$$

$$R_n = \frac{P_n e}{f'_c A_g h}$$

$$= \frac{1380,4395 \times 0,1070}{20,75 \times 500 \times 500 \times 500}$$

$$= 0,0570$$

$$\rho = 0,01 \text{ (diagram interaksi)}$$

$$A_s = \rho b h$$

$$= 0,01 \times 500 \times 500$$



$$= 2500 \text{ mm}^2$$

e.4 Perhitungan tulangan sengkang

$$\begin{aligned} 0,3A_gf_c' &= 0,3 \times 500 \times 500 \times 20,75 \\ &= 1556,25 \text{ kN} \geq P_u (= 897,2857 \text{ kN}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_c &= b - 2 \times \text{selimut beton} \\ &= 500 - 2 \times 40 \\ &= 420 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= b_c \times b_c \\ &= 420 \times 420 \\ &= 176.400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 500 \times 500 \\ &= 250.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_i &= h - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - d \text{ longitudinal} \\ &= 500 - 2 \times 40 - 2 \times 19 - 19 \\ &= 181,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $P_u (= 897,2857 \text{ kN}) \leq 0,3A_gf_c' (= 1556,25 \text{ kN})$, maka untuk menghitung A_{sh} akan digunakan 2 (dua) persamaan dengan mengambil nilai terbesar diantara kedua persamaan yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \left(\frac{250.000}{176.400} - 1 \right) \frac{20,75}{420} \\ &= 0,0061 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s_{bc}} &= 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{20,75}{420} \\ &= 0,00445 \end{aligned}$$

Maka nilai $\frac{A_{sh}}{s_{bc}}$ yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya dipilih sebesar 0,0061. Beberapa syarat jarak tulangan transversal yang dipersyaratkan antara lain yaitu:



- i. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur $= \frac{1}{4} (500) = 125 \text{ mm}$
- ii. 6 kali diameter tulangan memanjang $= 5 (19) = 114 \text{ mm}$
- iii. $S_o = 75 + \left(\frac{350 - h_x}{3}\right)$
 $= 75 + \left(\frac{350 - 181,5}{3}\right)$
 $= 389,5 \text{ mm}$

Nilai s_o tidak perlu diambil lebih dari 150 mm dan tidak kurang dari 125 mm. sehingga jarak maksimum tulangan sengkang diambil sebesar 125 mm. Untuk menghitung kebutuhan tulangan transversal dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times \frac{A_{sh}}{s_{bc}} \\ &= 470 (0,0061) \\ &= 2,5972 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ A_{sh} &= \frac{A_{sh}}{s} \times s \\ &= 2,5972 \times 100 \\ &= 259,72 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan menggunakan sengkang tertutup dan ikat silang dengan diameter 19 mm, maka diperlukan 3 kaki Ø19 ($A_{sh} = 262,77 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{54,7425}{0,75} \\ &= 72,99 \text{ kN} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} d} \\ &= \frac{72,99 \times 10^3}{420 \times 431,5} \\ &= 0,4027 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ A_v &= \frac{A_v}{s} \times s \\ &= 0,4027 \times 100 \\ &= 40,27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

A_{sh} dari sengkang tertutup dan ikat silang 3 kaki Ø13 sudah mencukupi. Untuk daerah di luar l_o , nilai V_c dijabarkan sebagai berikut:



$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{18,6639}{14 \times 202.500} \right) (1,0) \sqrt{20,75} (400) (431,5) \\ &= 167,9649 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena $V_c (= 167,9649 \text{ kN}) > V_u (= 54,7425 \text{ kN})$ di luar panjang l_o , maka tulangan sengkang dapat dipasang dengan jarak $d/2 = 431,5/2 = 215,75 \text{ mm}$. Namun karena syarat jarak tulangan transversal di luar daerah l_o menyatakan bahwa jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 150 mm atau $6d_b (= 114 \text{ mm})$, sehingga tulangan dipasang dengan jarak maksimal 150 mm .

