

TINJAUAN STRUKTUR GEDUNG B RUMAH SAKIT CIMACAN

Disusun Oleh :
Wiratna Tri Nugraha,
Fajar Ramdani
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Suryakencana

ABSTRAK

Rumah Sakit Umum Daerah Cimacan adalah sarana pelayanan kesehatan yang sangat penting bagi masyarakat di sekitar rumah sakit yaitu kecamatan yang berada di wilayah utara Cianjur. Desain-desain struktur yang digunakan pada bangunan ini memiliki banyak jenis, misalkan balok menggunakan 11 jenis, kolom menggunakan 5 jenis, dan pelat lantai dengan tebal 12 cm, pelat dak dengan tebal 10 cm dengan desain-desain tulangan yang terpasang. Tinjauan ini dilakukan untuk melihat bagaimana jika jenis-jenis balok, kolom, maupun pelat yang digunakan sebelumnya diganti dengan jenis-jenis yang baru.

Desain baru yang direncanakan berdasarkan hasil analisis adalah Kolom menggunakan dimensi 550 mm x 550 mm dengan tulangan 16 D16 mm, balok arah X menggunakan dimensi 300 mm x 650 mm dengan tulangan pada daerah tumpuan 8 D16 mm dan daerah lapangan 8 D16 mm, balok arah Y menggunakan dimensi 300 mm x 650 mm dengan tulangan pada daerah tumpuan 7 D16 mm dan daerah lapangan 5 D16 mm, balok anak menggunakan dimensi 300 mm x 500 mm dengan tulangan pada daerah tumpuan 6 D16 mm dan daerah lapangan 5 D16 mm, pelat lantai dengan tebal 12 cm menggunakan tulangan rangkap pada lantai 2,3,4, daerah lapangan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm, daerah tumpuan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm, daerah lapangan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm, daerah tumpuan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm dan pelat dak tebal 10 cm menggunakan tulangan tulangan rangkap daerah lapangan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm, daerah tumpuan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm, daerah lapangan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm, daerah tumpuan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm. total biaya yang dibutuhkan untuk membangun struktu atas sebesar Rp. 2.173.867.988.90 dan waktu yang dibutuhkan untuk membangun yaitu selama 12 minggu atau 3 bulan

Kata kunci: *Struktur gedung, beton bertulang, SRPMM, SAP v.15, tulangan.*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan gedung B RUMAH SAKIT CIMACAN di Cimacan ini adalah proyek pembangunan yang dilakukan pihak swasta yaitu pihak rumah sakit. Pembangunan GEDUNG B RUMAH SAKIT CIMACAN di Cimacan. ini berlokasi di jalan raya Ciawi-Cianjur Kabupaten Cianjur provinsi Jawa Barat. Pembangunan gedung ini bertujuan untuk melayani kebutuhan kesehatan masyarakat. Pembangunan gedung B RUMAH SAKIT CIMACAN ini direncanakan selesai dalam waktu dua belas bulan. Untuk menahan beban yang bekerja tentunya diperlukan struktur bangunan yang kuat. Jenis struktur

yang dipakai dalam proyek ini adalah struktur beton. Maka dari itu memilih proyek pembangunan GEDUNG B RUMAH SAKIT CIMACAN ini sebagai bahan untuk tugas akhir. Adapun judul yang dibuat yaitu “Tinjauan Struktur Gedung B Rumah Sakit Cimacan”. Desain-desain struktur yang digunakan pada bangunan ini memiliki banyak jenis, misalkan balok menggunakan 11 jenis, kolom menggunakan 5 jenis, dan pelat lantai dengan tebal 12 cm, pelat dak dengan tebal 10 cm dengan desain-desain tulangan yang terpasang. Tinjauan ini dilakukan untuk melihat bagaimana jika jenis-jenis balok, kolom, maupun pelat yang digunakan

sebelumnya diganti dengan jenis-jenis yang baru. Tujuan dari rumusan masalah diatas yaitu

1. Meninjau kekuatan dan keamanan struktur kolo, balok, dan pelat lantai beton bertulang gedung B RUMAH SAKIT CIMACAN menggunakan bantuan SNI program SAP 2000 v.15 3D dan Pca Coloumn.
2. Meninjau rencana anggaran biaya dan kurva S yang dibutuhkan untuk struktur atas gedung B rumah sakit Cimacan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada umumnya bahan bangunan yang sering digunakan dalam kegiatan konstruksi adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi kayu
2. Konstruksi beton
3. Konstruksi baja
4. Konstruksi komposit

a) KOLOM

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil (SK SNI T-15-1991-03).

Kolom adalah struktur utama yang berguna untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup, beban angin, dan beban gempa untuk didistribusikan ke pondasi dan diteruskan ke dalam tanah. Kolom dalam struktur portal harus dibuat menerus dari lantai bawah sampai lantai atas, letak kolom berada pada titik yang sama dan tidak boleh digeser, karena hal tersebut akan menghilangkan sifat kekakuan dari struktur portal. Ukuran kolom makin ke atas dapat makin kecil, sesuai dengan beban bangunan yang diterima, karena makin ke atas bebannya makin kecil.

b) BALOK

Balok adalah bagian dari struktur portal yang dirancang untuk menahan dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Balok berfungsi sebagai pengikat kolom-kolom untuk mempertahankan bentuk dan posisinya.

Tegangan yang timbul pada balok tergantung pada besar dan distribusi beban pada penampang balok. Semakin besar dimensi balok semakin kuat kemampuannya untuk memikul beban, tetapi menambah berat sendiri balok tersebut. Variabel utama dalam mendesain balok meliputi bentang, jarak antar kolom penopang, jenis dan besar beban, jenis material, ukuran dan bentuk penampang, serta

cara penggabungan atau fabrikasi. Beberapa faktor yang merupakan prinsip-prinsip desain umum dalam perencanaan balok, yaitu:

1. Kontrol kekuatan dan kekakuan.
 2. Variasi besaran material.
 3. Variasi bentuk balok pada seluruh panjangnya.
 4. Variasi kondisi tumpuan dan kondisi batas.
- Balok umumnya menjadi kesatuan yang monolit dengan pelat. Pelat berlaku sebagai lapis sayap tekan yaitu sebagai komponen struktur yang bekerja pada dua arah lenturan saling tegak lurus, sedangkan balok berlaku sebagai badan.

c) PELAT LANTAI

Pelat lantai adalah struktur bangunan yang tidak berada di atastanah secara langsung. Pelat lantai dibingkai oleh balok yang kemudian dtopang oleh kolom-kolom bangunan.

Fungsi dari pelat lantai adalah:

1. Memisahkan ruang bawah dan ruang atas.
2. Sebagai tempat berpijak penghuni di lantai atas.
3. Meredam suara dari ruang atas maupun dari ruang bawah.
4. Menambah kekakuan bangunan pada arah horizontal.

Pada SNI 03-2847-2002, pelat lantai hanya menahan beban tetap (penghuni, perabotan, berat lapis keramik, berat sendiri pelat) yang bekerja dalam waktu lama. Sedangkan untuk beban tak terduga seperti gempa, angin, dan getaran tidak diperhitungkan.

Perencanaan dan hitungan pelat lantai dari beton bertulang harus mengikuti persyaratan yang tercantum dalam pedoman SK SNI T-15-1991-03. Beberapa persyaratan tersebut antara lain:

1. Pelat lantai harus mempunyai tebal sekurang-kurangnya 12 cm, sedang untuk pelat atap sekurang-kurangnya 7 cm.
2. Pelat lantai menggunakan tulangan silang dengan diameter minimum 8 mm.
3. Pada pelat lantai yang tebalnya lebih dari 25 cm harus dipasang tulangan rangkap atas bawah.
4. Jarak tulangan pokok yang sejajar tidak kurang dari 2,5 cm dan tidak lebih dari 20 cm atau dua kali tebal pelat.
5. Semua tulangan pelat harus terlapsi beton setebal minimum 1 cm, untuk melindungi baja dari karat, korosi, atau kebakaran.

Dalam perencanaan pelat lantai, terdapat beberapa jenis pelat lantai yang sering digunakan, diantaranya adalah:

1. Sistem *flat slab*
2. Sistem lantai grid
3. Sistem lajur balok
4. Sistem pelat dan balok

d) BETON BERTULANG

Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan: beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknyayang rendah, dan batang-batang baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. (Wang, 1993:1).

Nilai kuat tarik beton adalah sekitar 5%-9% kuat tekannya. Maka dari itu perkuatan sangat diperlukan dalam struktur beton. Perkuatan yang umum adalah menggunakan tulangan baja yang jika dipadukan dengan beton sering disebut dengan beton bertulang.

Untuk kuat tekan, di Indonesia sering digunakan satuan kg/cm^2 dengan simbol K untuk benda uji kubus, dan satuan MPa dengan simbol f^c untuk benda uji silinder. Kuat tekan dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Jenis dan kualitas semen.
2. Jenis agregat.
3. Perawatan, hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji. Perawatan yang kurang baik dapat menimbulkan kehilangan kuat tekan sekitar 40%.
4. Suhu, kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambah suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan bertambah umur.

6. PEMBEBANAN STRUKTUR

Beban-beban yang diperhitungkan dalam perencanaan gedung ini besarnya ditentukan oleh Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG-1989).

Beban-beban yang diperhitungkan dalam perhitungan struktur adalah sebagai berikut:

1. Beban mati sendiri (DL) dari elemen struktur yang meliputi berat balok, kolom, pelat lantai, dan tangga.
2. Beban mati dari elemen tambahan (DL) yang meliputi dinding, keramik, plesteran, *plumbing*, *mechanical electrical*, plafond dan rangka plafond, *waterproofing*.
3. Beban hidup (LL) yang tergantung pada fungsi bangunan, yang dalam kasus ini gedung digunakan sebagai rumah sakit.

4. Beban gempa (Q), dalam kasus ini hanya ditinjau terhadap beban gempa statik ekuivalen.

e) KOMBINASI BEBAN

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI Beton 03-2847-2002, kombinasi bebana pada perhitungan struktur gedung dapat dirangkum sebagai berikut:

1. 1,4DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,2 DL + 1 LL + 1EX + 0,3 EY
4. 1,2 DL + 1 LL – 1 EX – 0,3 EY
5. 1,2 DL + 1 LL + 0,3 EX + 1 EY
6. 1,2 DL + 1 LL – 0,3 EX – 1 EY
7. 0,9 DL + 1 EX + 0,3 EY
8. 0,9 DL – 1 EX – 0,3 EY
9. 0,9 DL + 0,3 EX + 1 EY
10. 0,9 DL – 0,3 EX – 1 EY

Dimana:

- DL : Beban mati
- LL : Beban hidup
- E : Beban gempa

Tanda \pm menyatakan arah beban yang bolak-balik. Beban gempa (E) dianggap bekerja 100 % pada arah sumbu utama bersamaan dengan 30 % pada arah tegak lurus sumbu utama.

f) PERATURAN-PERATURAN

Perhitungan konstruksi gedung ini memperhatikan ketentuan-ketentuan yang berlaku yang terdapat pada buku-buku pedoman antara lain:

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002).
2. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727-1989).
3. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-03-1726-2002).
4. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002).

g) SAP 2000 v.15 3D

SAP 2000 merupakan sebuah program yang dikembangkan oleh perusahaan Computer & Structure, Inc. Program SAP ini memiliki kelebihan dalam perancangan struktur baja dan beton agar dimensi yang digunakan bisa optimal dan ekonomis.

Program ini dapat membantu dalam perhitungan analisis struktur dan desain. Program ini digunakan untuk merancang, menganalisa, dan menampilkan geometri

struktur, properti, dan hasil analisis. Hasil analisis ini berupa nilai-nilai yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan-perhitungan yang mempengaruhi struktur, seperti tulangan pokok, tulangan geser, dll.

h) PCA COLOUMN

Pca Coloumn dapat digunakan untuk mendesain atau mengecek struktur kolom. Setelah melakukan analisa struktur secara manual maupun menggunakan software yang dalam hal ini adalah SAP 2000, dan diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada kolom, maka langkah selanjutnya adalah melakukan desain tulangan kolom.

Data-data yang diperlukan dalam analisis kolom menggunakan program Pca Coloumn ini adalah momen lentur dan gaya aksial tekan yang dipikul oleh kolom. Dari kedua data ini, Pca Coloumn akan menampilkan diagram interaksi, dimana diagram ini adalah diagram yang menunjukkan hubungan momen lentur dan gaya aksial tekan yang dapat dipikul oleh elemen kolom pada kondisi batas. Jika semua beban masih berada di dalam garis diagram, maka kolom tersebut mampu menahan beban tersebut (aman), jika beban berada di luar garis diagram dapat disimpulkan bahwa kolom tidak mampu menahan beban. Jika hal ini terjadi, alternatif yang bisa dilakukan diantaranya adalah menaikkan mutu beton, menambah jumlah tulangan, dan memperbesar ukuran kolom.

4. ANALISA PEMBEBANAN

Beban yang bekerja pada struktur diambil dari berat sendiri struktur, beban mati tambahan dari komponen pendukung, dan beban hidup yang telah ditentukan pada tabel 1 dan tabel 2, Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SNI 03-1727-1989.

1. Beban mati pada pelat lantai
 - a. Finishing (2,5 cm) 53 Kg/m²
 - b. Pasangan keramik 24 Kg/m²
 - c. ME 25 Kg/m²
 - d. Plafond dan rangka 18 Kg/m²
 - e. Sanitasi/plumbing 30 Kg/m²
 - f. Partisi 100 Kg/m²
2. Berat mati pada pelat atap
 - a. Waterproofing 105 Kg/m²
 - b. ME 25 Kg/m²
 - c. Plafond dan rangka 18 Kg/m²
 - d. Sanitasi/plumbing 30 Kg/m²
3. Beban tambahan lainnya, yaitu dinding. Beban ini tergantung pada tinggi dinding

dan panjang balok yang menahan dinding tersebut.

Beban hidup merupakan beban yang bukan berasal dari berat komponen-komponen bangunan, atau secara garis besar yaitu beban yang berasal dari orang atau benda yang tidak tetap dalam bangunan.

1. Beban hidup pada pelat lantai sebesar 250 Kg/m²
2. Beban hidup pada pelat atap sebesar 100 Kg/m²

Beban gempa menggunakan perhitungan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dikarenakan bangunan terletak di wilayah gempa zona 4 dan beban gempa yang direncanakan adalah beban gempa statik ekuivalen.

Fix=Fi _y (Kg)	Untuk Tiap Portal x	Untuk Tiap Portal y
	1/5.Fi (Kg)	1/4.Fi (Kg)
25275,85885	5055,17177	6318,96471
40945,59862	8189,11972	10236,39965
66678,36725	13335,67345	16669,59181
80220,80909	16044,16182	20055,20227
89409,71852	17881,94370	22352,42963
109392,03598	21878,40720	27348,00899
91405,05131	18281,01026	22851,26283

a) DIMENSIONING STRUKTUR

Dimensi-dimensi pada struktur yang digunakan adalah:

1. Pelat, dimensi pelat yang digunakan yaitu tebal 12 cm dan atap 10 cm.
2. Balok, dimensi balok yang akan dianalisa yaitu balok dengan gaya dalam terbesar dari tiap lantai, yaitu:
 - a. Balok 650 mm x 300 mm
 - b. Balok 500 mm x 300 mm

Kolom, dimensi kolom yang akan dianalisa adalah kolom dengan gaya dalam terbesar, yaitu kolom 550 mm x 550 mm.

b) PENULANGAN PELAT

Tulangan pelat lantai yang digunakan adalah baja tulangan ulir (*deform*) dengan mutu $f_y = 400$ Mpa untuk $D \geq 10$ mm dan mutu beton $f_c = 25$ Mpa dengan selimut beton 25 mm. Tipe pelat yang digunakan pada tiap lantai merupakan pelat yang dijepit pada keempat sisinya, dan menahan beban kerja yang ada di atasnya.

Perhitungan menggunakan sistem pelat dua arah yaitu pelat dengan perbandingan panjang dan lebar kurang dari sama dengan 2,5 ($L_y/L_x \leq 2,5$), tulangan dipasang pada dua arah yang saling tegak lurus.

Pelat lantai dan dak

Pelat yang dianalisa merupakan pelat dengan perbandingan panjang dan lebar terbesar, dan

mewakili seluruh pelat lantai yaitu dengan $L_x = 3$ m dan $L_y = 7.073$ m.

Beban-beban yang diterima oleh pelat yaitu:

1. Beban mati = 438 kg/m²
2. Beban hidup = 250 kg/m²
3. Beban terfaktor = 925,6 kg/m²

Menghitung nilai momen yang bekerja pada pelat

$$M_{lx} (+) = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot x$$

$$M_{ly} (+) = 0,001 \cdot q_u \cdot L_y^2 \cdot x$$

$$M_{tx} (-) = 0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot x$$

$$M_{ty} (-) = 0,001 \cdot q_u \cdot L_y^2 \cdot x$$

Menghitung jarak tulangan yang digunakan pada pelat:

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{506,999 \cdot 10^4}{0,8 \cdot 1000 \cdot 90^2} = 0,782 \text{ Mpa}$$

$$\rho = 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0,85 \cdot f_c}} \right]$$

$$= 0,85 \times \frac{25}{400} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,99}{0,85 \cdot 25}} \right] = 0,0025$$

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

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{f_y + 600} \right]$$

$$= 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{400} \left[\frac{600}{400 + 600} \right] = 0,0271$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,0203$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 315 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ max} = \rho_{max} \cdot b \cdot d = 1827 \text{ mm}^2$$

$$s \text{ perlu} = \frac{1/4 \pi D^2 b}{A_s \text{ perlu}} = \frac{1/4 \pi 10^2 \cdot 1000}{315} = 249,206 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$$

Jarak tulangan (s) yang dipakai yaitu 200 mm.

$$A_s = \frac{1/4 \pi D^2 b}{s} = \frac{1/4 \pi 10^2 \cdot 1000}{200} = 392,5 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} (315 \text{ mm}^2)$$

➤ Kontrol momen pada pelat

$$M_{lx} = 506,999 \text{ Kgm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \text{ terpasang} \times f_y \times j d$$

$$= 10,4562 \text{ kNm} = 1045,62 \text{ Kgm}$$

$$\phi M_n (1045,62) > M_{lx} (506,999)$$

➤ Kontrol lendutan

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$q_D + q_L = 438 + 250 = 6,88 \text{ N/mm}$$

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan ijin} = L_x / 240 = 12,5 \text{ mm}$$

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 144 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c} = 3,5 \text{ Mpa}$$

$$n = E_s / E_c = 8,511$$

$$c = n \cdot \frac{A_s}{b} = 3,341 \text{ mm}$$

$$I_{cr} = (1/3 \cdot b \cdot c^3) + (n \cdot A_s \cdot (d-c)^2)$$

$$= 19643617,65 \text{ mm}^4$$

$$y_t = h/2 = 60 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{(f_r \cdot I_g)}{y_t} = 84 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$$

$$M_a = 1/8 \cdot q \cdot L_x^2 = 1/8 \cdot 6,88 \cdot 3000^2 = 7740000 \text{ Nmm}$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right) \times I_{cr}$$

$$= 150813280,9 \text{ mm}^4$$

➤ Lendutan seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\delta e = \left(\frac{5}{384} \right) \cdot q \cdot L_x^4 / (E_c \cdot I_e) = 2,047 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{392,5}{1000 \cdot 90} = 0,00436$$

$$T = 2$$

$$\left[\frac{T}{1+50\rho} \right] \left[\frac{2}{1+50 \cdot 0,00436} \right] = 1,642$$

$$\delta g = \left[\frac{5}{384} \right] \frac{q L_x^4}{E_c \cdot I_e} = 3,396 \text{ mm}$$

$$\delta_{total} = \delta e + \delta g = 2,032 + 3,396 = 5,464 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm (aman)}$$

Dengan menggunakan metode yang sama, dapat dihitung pula momen-momen yang bekerja pada pelat yang lain..

c) PELAT LANTAI DAK

Pelat yang dianalisa merupakan pelat dengan perbandingan panjang dan lebar terbesar, dan mewakili seluruh pelat atap yaitu dengan $L_x = 3$ m dan $L_y = 7.073$ m. Jika dilihat dari segi ukuran, pelat ini tidak masuk dalam kategori pelat dua arah, tapi dalam pelaksanaan di lapangan dan perhitungan pelat dilakukan secara dua arah.

Beban-beban yang diterima oleh pelat yaitu:

1. Beban mati = 466 kg/m²
2. Beban hidup = 100 kg/m²
3. Beban terfaktor = 719,2 kg/m²

Sama seperti sebelumnya perhitungan momen-momen yang diterima oleh pelat, jarak tulangan, kontrol momen, dan kontrol lendutan yang dilakukan rumus-rumus yang digunakan tidak berbeda dengan pelat lantai sebelumnya.

d) PENULANGAN BALOK

Balok yang dianalisa merupakan balok dengan nilai gaya dalam terbesar dari setiap lantai. Tulangan yang digunakan adalah baja ulir (*deform*) dengan mutu $f_y = 400$ Mpa untuk $D \geq 10$ mm dan beton dengan mutu $f_c = 25$ Mpa. Balok induk arah X dengan data sebagai berikut:

Dimensi balok	0,3 m x 0,65 m
Tulangan pokok	D16 mm
Tulangan sengkang	D10 mm
Selimut beton	50 mm

Momen rencana akibat beban terfaktor adalah:

$$Mut_1 : 200,7013 \text{ kNm}$$

$$Mut_2 : 211,5044 \text{ kNm}$$

$$Mul : 201,6755 \text{ kNm}$$

$$Vu : 191,439 \text{ kN}$$

$$d_{ix} = h - sb - s - \frac{1}{2} D = 582 \text{ mm}$$

$$jd_{ix} = 0,875 \times d_{ix} = 509,25 \text{ mm}$$

Luas tulangan yang diperlukan pada tumpuan

$$As \text{ perlu} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 1597.40493 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 7.94164 \approx 8 \text{ Buah}$$

tulangan 8 D 16 mm ($A = 1609.143 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan yang diperlukan pada lapangan

$$As \text{ perlu} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 1523.1713 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 7.57258 \approx 8 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 8 D 16 mm ($A = 1609.143 \text{ mm}^2$)

Nilai a dan cek kondisi tulangan tumpuan

$$a = \frac{As.fy}{0,85.f.c.b} = 100,229 \text{ mm}$$

$$Jd \text{ baru} = d - \frac{a}{2} = 531.885 \text{ mm}$$

$$As \text{ baru} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 1529.424 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 7.603 \approx 8 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 8 D16 mm ($A = 1609.143 \text{ mm}^2$)

Nilai a dan cek kondisi tulangan lapangan

$$a = \frac{As.fy}{0,85.f.c.b} = 95.572 \text{ mm}$$

$$Jd \text{ baru} = d - \frac{a}{2} = 534.214 \text{ mm}$$

$$As \text{ baru} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 1451.992 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 7.219 \approx 8 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 8 D16 mm ($A = 1609.143 \text{ mm}^2$)

Kontrol kuat momen tulangan tumpuan

Ø Momen rencana \geq Momen ultimate

Ø.Mn = Ø x As perlu baru x fy x jd baru

$$= 0,8 \times 1529,424 \times 400 \times 531,885$$

$$= 260,313 \text{ kNm} > Mu = 211,504 \text{ kNm}$$

Jadi tulangan yang digunakan 8 D16 mm, di bagian atas balok 5 D16 mm, dan di bagian bawah balok 3 D16 mm.

$$Mu_1 = 141,003 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 70,502 \text{ kNm}$$

As terpasang atas = n x Luas tulangan

$$= 5. 201.143 = 1005,715 \text{ mm}$$

As terpasang bawah = n x Luas tulangan

$$= 3. 201.143 = 603,429 \text{ mm}$$

Dari data mengenai tulangan yang digunakan, diperlukan cek kuat tulangan yang digunakan:

$$\text{Ø.Mn}_1 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 1005,715.400. 531.885$$

$$= 171,176 \text{ kNm}$$

$$\text{Ø.Mn}_2 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 603,429.400. 531.885$$

$$= 102,706 \text{ kNm}$$

$$Mr = \text{Ø.Mn}_1 + \text{Ø.Mn}_2$$

$$= 171,176 + 102,706$$

$$= 273,882 \text{ kNm}$$

$$Mr > Mu_1 + Mu_2$$

$$273,882 \text{ kNm} > 211,5044 \text{ kNm (aman)}$$

Kontrol kuat momen tulangan lapangan

Ø Momen rencana \geq Momen ultimate

Balok induk arah "X" tulangan lapangan

$$\text{Ø.Mn} = \text{Ø} \times As \text{ perlu baru} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8 \times 1451,99 \times 400 \times 534,214$$

$$= 248,216 \text{ kNm} > Mu = 201,675 \text{ kNm}$$

Jadi tulangan yang digunakan 8 D16 mm, di bagian atas balok 3 D16 mm, dan di bagian bawah balok 5 D16 mm.

$$Mu_1 = 67,2252 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 134,451 \text{ kNm}$$

As terpasang atas = n x Luas tulangan

$$= 3. 201.143 = 603,429 \text{ mm}$$

As terpasang bawah = n x Luas tulangan

$$= 5. 201.143 = 1005,715 \text{ mm}$$

Dari data mengenai tulangan yang digunakan, diperlukan cek kuat tulangan yang digunakan:

$$\text{Ø.Mn}_1 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 603,429.400. 534,214$$

$$= 103,156 \text{ kNm}$$

$$\text{Ø.Mn}_2 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 1005,715.400. 534,214$$

$$= 171,926 \text{ kNm}$$

$$Mr = \text{Ø.Mn}_1 + \text{Ø.Mn}_2$$

$$= 103,156 + 171,926$$

$$= 275,082 \text{ kNm}$$

$$Mr > Mu_1 + Mu_2$$

$$275,082 \text{ kNm} > 201,675 \text{ kNm (aman)}$$

Mengecek kondisi tulangan

$$\rho \text{ terpasang} \leq \rho \text{ max}$$

$$\rho b = \frac{0,85.f.c.\beta_1}{fy} \cdot \frac{600}{(600+fy)} = 0.02709$$

$$\rho \text{ max} = 0,75 \times \rho b = 0.02032$$

Cek tulangan max

Balok induk arah "X"

$$\rho = \frac{As \text{ perlu}}{b \times d} = \frac{1451,992}{300 \times 582}$$

$$= 0,00832 > \rho \text{ max} = 0,02032$$

Karena dengan tulangan sebanyak 8 D16 mm, nilai ρ kurang dari $\rho \text{ max}$ maka tulangan sebanyak 8 D16 mm aman.

Balok induk arah Y dengan data sebagai berikut:

Dimensi balok 0,3 m x 0,65 m

Tulangan pokok D16 mm

Tulangan sengkang D10 mm

Selimit beton 50 mm

Momen rencana akibat beban terfaktor adalah:

Mut₁ : 183,2202 kNm

Mut₂ : 173,9964 kNm

Mul : 126,4047 kNm

Vu : 134,348 kN

$$d_{iy} = h - sb - s - \frac{1}{2} D = 582 \text{ mm}$$

$$j_{d_{iy}} = 0,875 \times d_{ix} = 509,25 \text{ mm}$$

Luas tulangan yang diperlukan pada tumpuan

$$As \text{ perlu} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 1383,786 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 6,87962 \approx 7 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 7 D 16 mm (A = 1408 mm²)

Luas tulangan yang diperlukan pada lapangan

$$As \text{ perlu} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 954,682 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 4,746 \approx 5 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 5 D 16 mm (A = 1005,7143 mm²)

Nilai a dan cek kondisi tulangan tumpuan

$$a = \frac{As.fy}{0,85.f.c.b} = 86,82580 \text{ mm}$$

$$Jd \text{ baru} = d - \frac{a}{2} = 538,587 \text{ mm}$$

$$As \text{ baru} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 1308,410 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 6,50488 \approx 7 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 7 D16 mm (A = 1408 mm²)

Nilai a dan cek kondisi tulangan lapangan

$$a = \frac{As.fy}{0,85.f.c.b} = 59,902 \text{ mm}$$

$$Jd \text{ baru} = d - \frac{a}{2} = 552,049 \text{ mm}$$

$$As \text{ baru} = \frac{Mu}{s.fy.jd} = 880,667 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luas \text{ tulangan}} = 4,378 \approx 5 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 5 D16 mm (A = 1005,71429 mm²)

Kontrol kuat momen tulangan tumpuan

Ø Momen rencana \geq Momen ultimate

$$\text{Ø.Mn} = \text{Ø} \times As \text{ perlu baru} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8 \times 1308,4106 \times 400 \times 538,587$$

$$= 225,501 \text{ kNm} > Mu = 183,220 \text{ kNm}$$

Jadi tulangan yang digunakan 8 D16 mm, di bagian atas balok 4 D16 mm, dan di bagian bawah balok 3 D16 mm.

$$Mu_1 = 122,1468 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 61,0734 \text{ kNm}$$

As terpasang atas = n x Luas tulangan

$$= 4. 201.143 = 840,572 \text{ mm}$$

As terpasang bawah = n x Luas tulangan

$$= 3. 201.143 = 603,429 \text{ mm}$$

Dari data mengenai tulangan yang digunakan, diperlukan cek kuat tulangan yang digunakan:

$$\text{Ø.Mn}_1 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 840,572.400. 538.587$$

$$= 144,871 \text{ kNm}$$

$$\text{Ø.Mn}_2 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 603,429.400. 538.587$$

$$= 103,999 \text{ kNm}$$

$$Mr = \text{Ø.Mn}_1 + \text{Ø.Mn}_2$$

$$= 144,871 + 103,999$$

$$= 248,87 \text{ kNm}$$

$$Mr > Mu_1 + Mu_2$$

$$248,87 \text{ kNm} > 183,2202 \text{ kNm} \text{ (aman)}$$

Kontrol kuat momen tulangan lapangan

Ø Momen rencana \geq Momen ultimate

$$\text{Ø.Mn} = \text{Ø} \times As \text{ perlu baru} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8 \times 880,667 \times 400 \times 552,049$$

$$= 155,575 \text{ kNm} > Mu = 126,404 \text{ kNm}$$

Jadi tulangan yang digunakan 5 D16 mm, di bagian atas balok 2 D16 mm, dan di bagian bawah balok 3 D16 mm.

$$Mu_1 = 42,1349 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 84,2698 \text{ kNm}$$

As terpasang atas = n x Luas tulangan

$$= 2. 201.143 = 402,286 \text{ mm}$$

As terpasang bawah = n x Luas tulangan

$$= 3. 201.143 = 603,429 \text{ mm}$$

Dari data mengenai tulangan yang digunakan, diperlukan cek kuat tulangan yang digunakan:

$$\text{Ø.Mn}_1 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$= 0,8. 402,286.400. 552,049$$

$$= 71,067 \text{ kNm}$$

$$\text{Ø.Mn}_2 = \text{Ø} \times As \text{ terpasang} \times fy \times jd \text{ baru}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,8 \cdot 603,429 \cdot 400 \cdot 552,049 \\
&= 106,599 \text{ kNm} \\
M_r &= \emptyset \cdot M_{n1} + \emptyset \cdot M_{n2} \\
&= 71,067 + 106,599 \\
&= 177,666 \text{ kNm} \\
M_r &> M_{u1} + M_{u2} \\
177,666 \text{ kNm} &> 126,4047 \text{ kNm (aman)}
\end{aligned}$$

Mengecek kondisi tulangan

$$\begin{aligned}
\rho \text{ terpasang} &\leq \rho \text{ max} \\
\rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} = 0,02709 \\
\rho \text{ max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,02032
\end{aligned}$$

Cek tulangan max

Balok induk arah "Y"

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{A_s \text{ perlu}}{b \times d} = \frac{880,667}{300 \times 582} \\
&= 0,00504 > \rho \text{ max} = 0,02032
\end{aligned}$$

Karena dengan tulangan sebanyak 7 D16 mm, nilai ρ kurang dari $\rho \text{ max}$ maka tulangan sebanyak 7 D16 mm aman.

Balok anak dengan data sebagai berikut:

Dimensi balok	0,3 m x 0,65 m
Tulangan pokok	D16 mm
Tulangan sengkang	D10 mm
Selimit beton	50 mm

Momen rencana akibat beban terfaktor adalah:

Mut ₁	: 117,9821 kNm
Mut ₂	: 109,2092 kNm
Mul	: 95,6961 kNm
Vu	: 102,902 kN

$$d_{ia} = h - s_b - s - \frac{1}{2} D = 432 \text{ mm}$$

$$j d_{ia} = 0,875 \times d_{ia} = 378 \text{ mm}$$

Luas tulangan yang diperlukan pada tumpuan

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot j d} = 1200,469 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan}} = 5,96824 \approx 6 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 6 D 16 mm (A = 1206,857 mm²)

Luas tulangan yang diperlukan pada lapangan

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot j d} = 973,708 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan}} = 4,84088 \approx 5 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 5 D 16 mm (A = 1005,7143 mm²)

Nilai a dan cek kondisi tulangan tumpuan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = 75,323 \text{ mm}$$

$$Jd \text{ baru} = d - \frac{a}{2} = 394,33823 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ baru} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot j d} = 1150,73122 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan}} = 5,721 \approx 6 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 6 D16 mm (A = 1206,857 mm²)

Nilai a dan cek kondisi tulangan lapangan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = 61,095 \text{ mm}$$

$$Jd \text{ baru} = d - \frac{a}{2} = 401,452 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ baru} = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot j d} = 916,826 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan, yaitu:

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan}} = 4,5581 \approx 5 \text{ Buah}$$

Digunakan tulangan 5 D16 mm (A = 1005,71429 mm²)

Kontrol kuat momen tulangan tumpuan

\emptyset Momen rencana \geq Momen ultimate

$$\emptyset \cdot M_n = \emptyset \times A_s \text{ perlu baru} \times f_y \times j d \text{ baru}$$

$$= 0,8 \times 1150,731 \times 400 \times 349,338$$

$$= 145,208 \text{ kNm} > M_u = 117,982 \text{ kNm}$$

Jadi tulangan yang digunakan 6 D16 mm, di bagian atas balok 4 D16 mm, dan di bagian bawah balok 2 D16 mm.

$$M_{u1} = 78,6548 \text{ kNm}$$

$$M_{u2} = 39,3274 \text{ kNm}$$

As terpasang atas = n x Luas tulangan

$$= 4 \cdot 201,143 = 840,572 \text{ mm}^2$$

As terpasang bawah = n x Luas tulangan

$$= 2 \cdot 201,143 = 402,286 \text{ mm}^2$$

Dari data mengenai tulangan yang digunakan, diperlukan cek kuat tulangan yang digunakan:

$$\emptyset \cdot M_{n1} = \emptyset \times A_s \text{ terpasang} \times f_y \times j d \text{ baru}$$

$$= 0,8 \cdot 840,572 \cdot 400 \cdot 394,33823$$

$$= 106,071 \text{ kNm}$$

$$\emptyset \cdot M_{n2} = \emptyset \cdot A_s \text{ terpasang} \times f_y \times j d \text{ baru}$$

$$= 0,8 \cdot 402,286 \cdot 400 \cdot 394,33823$$

$$= 50,764 \text{ kNm}$$

$$M_r = \emptyset \cdot M_{n1} + \emptyset \cdot M_{n2}$$

$$= 106,071 + 50,764$$

$$= 156,835 \text{ kNm}$$

$$M_r > M_{u1} + M_{u2}$$

156,835 kNm > 117,9821 kNm (aman)

Kontrol kuat momen tulangan lapangan

\emptyset Momen rencana \geq Momen ultimate

$$\emptyset \cdot M_n = \emptyset \times A_s \text{ perlu baru} \times f_y \times j d \text{ baru}$$

$$= 0,8 \times 916,826 \times 400 \times 401,452$$

$$= 117,77 \text{ kNm} > M_u = 95,696 \text{ kNm}$$

Jadi tulangan yang digunakan 5 D16 mm, di bagian atas balok 2 D16 mm, dan di bagian bawah balok 3 D16 mm.

$$Mu_1 = 42,1349 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 84,2698 \text{ kNm}$$

$$\text{As terpasang atas} = n \times \text{Luas tulangan} \\ = 2 \cdot 201.143 = 402,286 \text{ mm}$$

$$\text{As terpasang bawah} = n \times \text{Luas tulangan} \\ = 3 \cdot 201.143 = 603,429 \text{ mm}$$

Dari data mengenai tulangan yang digunakan, diperlukan cek kuat tulangan yang digunakan:

$$\begin{aligned} \emptyset.Mn_1 &= \emptyset \times \text{As terpasang} \times f_y \times jd \text{ baru} \\ &= 0,8 \cdot 402,286 \cdot 400 \cdot 401.452 \\ &= 51,679 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset.Mn_2 &= \emptyset \cdot \text{As terpasang} \times f_y \times jd \text{ baru} \\ &= 0,8 \cdot 603,429 \cdot 400 \cdot 401.452 \\ &= 77,519 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mr &= \emptyset.Mn_1 + \emptyset.Mn_2 \\ &= 71,067 + 106,599 \\ &= 177,666 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$Mr > Mu_1 + Mu_2$$

$$129,216 \text{ kNm} > 95,6961 \text{ kNm} \text{ (aman)}$$

Mengecek kondisi tulangan

$$\rho \text{ terpasang} \leq \rho \text{ max}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} = 0,02709$$

$$\rho \text{ max} = 0,75 \times \rho_b = 0,02032$$

Cek tulangan max

Balok induk arah "Y"

$$\rho = \frac{As \text{ perlu}}{b \times d} = \frac{916,826}{300 \times 432}$$

$$= 0,00707 > \rho \text{ max} = 0,02032$$

Karena dengan tulangan sebanyak 6 D16 mm, nilai ρ kurang dari $\rho \text{ max}$ maka tulangan sebanyak 6 D16 mm aman.

e) PENULANGAN KOLOM

Tulangan kolom yang digunakan adalah baja tulangan ulir (*deform*) dengan mutu $f_y = 400$ Mpa untuk $D \geq 10$ mm dan mutu beton $f_c = 25$ Mpa.

1. Penulangan kolom

Data-data yang diperlukan untuk perencanaan penulangan kolom ini adalah:

Dimensi kolom 1 = 0,55 m x 0,55 m

Dimensi kolom 2 = 0,55 m x 0,55 m

Tinggi kolom bawah = 3,5 m

Tinggi kolom atas = 3,5 m

Dimensi balok kanan = 0,6 m x 0,3 m

Dimensi balok kiri = 0,6 m x 0,3 m

Panjang balok kanan = 7,073 m

Panjang balok kiri = 7,073 m

Dimensi tulangan (D) = D16 mm

Dimensi sengkang (s) = D10 mm

$$\text{Selimut beton (sb)} = 50 \text{ mm}$$

$$d = h - sb - D/2 = 550 - 50 - 8$$

$$= 492 \text{ mm}$$

2. Beban-beban rencana:

Gaya aksial (Pu) kolom bawah

$$Pu = 2220,382 \text{ kN} = 2220382 \text{ N}$$

Gaya aksial (Pu) kolom atas

$$Pu = 998,986 \text{ kN} = 998,986 \text{ N}$$

Gaya aksial (Pu) balok kanan

$$Pu = 0,210 \text{ kN} \text{ (akibat beban mati)}$$

$$Pu = 0,164 \text{ kN} \text{ (akibat kombinasi 2)}$$

Gaya aksial (Pu) balok kiri

$$Pu = 1,715 \text{ kN} \text{ (akibat beban mati)}$$

$$Pu = 2,112 \text{ kN} \text{ (akibat kombinasi 2)}$$

Momen terkecil pada ujung kolom yang akan ditinjau,

$$Mu = 41,2297 \text{ kNm} = 41229700 \text{ Nmm}$$

Momen terbesar pada ujung kolom yang akan ditinjau,

$$Mu = 92,1994 \text{ kNm} = 92199400 \text{ Nmm}$$

3. Analisa struktur kolom

Kolom bawah

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 550 \times 550^3 \\ = 7625520833 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,802$$

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{1 + \beta} = \frac{23500 \cdot 7625520833}{1 + 0,802} = 3,977796661 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Kolom atas

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 550 \times 550^3 \\ = 7625520833 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,809$$

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{1 + \beta} = \frac{23500 \cdot 7625520833}{1 + 0,809} = 3,962404413 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Balok kanan

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 600^3 \\ = 5400000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 1,536$$

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{1 + \beta} = \frac{23500 \cdot 5400000000}{1 + 1,536} = 2,001577287 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Balok kiri

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 600^3 \\ = 5400000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,974$$

$$EI = \frac{EcI_g}{1+\beta} = \frac{23500 \cdot 5400000000}{1+0,974}$$

$$= 2,571428571 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Faktor kekangan ujung pada kolom, struktur merupakan kolom yang dapat bergoyang (SNI 03-2847-2002 12.11 pasal 6). Struktur kolom termasuk dalam struktur portal bergoyang, karena ukuran portal dan beban-beban yang diterima oleh struktur tidak simetris. Hal ini menyebabkan faktor kekangan pada ujung atas kolom harus dicari terlebih dahulu.

$$\Psi_A = \frac{\frac{3,977796661 \cdot 10^{13}}{3500} + \frac{3,962404413 \cdot 10^{13}}{3500}}{\frac{2,001577287 \cdot 10^{13}}{7073} + \frac{2,571428571 \cdot 10^{13}}{7073}}$$

$$= 3,508$$

$\Psi_B = 0$, karena struktur kolom dengan perletakan jepit-jepit
 Dari nomogram diperoleh faktor panjang efektif kolom, $k = 1,4$

- a. Menentukan angka kelangsingan kolom

$$R = 0,3 h \text{ (0,3 untuk kolom persegi)}$$

$$= 0,3 \times 550$$

$$= 165$$

$$\left(\frac{k \cdot lu}{r}\right) = \left(\frac{1,08 \times (4500 - 400)}{225}\right) < 34 - 12 \cdot \frac{M1}{M2}$$

$$= 27,151 < 34 - 12 \cdot \frac{41,2297}{92,1994}$$

$$= 27,151 < 28,633$$

Dari nilai perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kolom yang ditinjau termasuk kolom pendek.

- b. Menentukan eksentrisitas kolom

$$e = \frac{Mu}{Pu}$$

$$= \frac{92,1994}{2220,382}$$

$$= 41,52 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 0,1 \cdot h$$

$$= 0,1 \cdot 550$$

$$= 55 \text{ mm}$$

- c. Menghitung P_n perlu

$$A_g = b \times h$$

$$= 550 \times 550$$

$$= 302500 \text{ mm}^2$$

$$0,1 \cdot A_g \cdot f_c = 0,1 \cdot 302500 \cdot 25$$

$$= 756,250 \text{ kN} < P_u = 2220,382 \text{ kN}$$

Digunakan faktor reduksi 0,65, maka didapatkan:

$$P_n \text{ perlu} = \frac{2220,382}{0,65}$$

$$= 3415,972 \text{ kN}$$

$$a = \frac{P_n \text{ Perlu}}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$= \frac{3415,972}{0,85 \cdot 25 \cdot 550}$$

$$= 292,275 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{P_n \text{ perlu} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{a}{2}\right)}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$= \frac{3415,972 \left(55 - \frac{550}{2} + \frac{292,275}{2}\right)}{400 (492 - 68)}$$

$$= 1487,69 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_s'$$

- d. Kontrol luas tulangan

$$A_{st} = A_s + A_s'$$

$$= 1487,69 + 1487,69$$

$$= 2975,38 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = 1\% A_g$$

$$= 3025 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \max} = 6\% A_g$$

$$= 18150 \text{ mm}^2$$

Nilai $A_{st} < A_{s \min}$, maka luas tulangan yang digunakan harus sama dengan atau lebih besar dari luasan tulangan minimum.

- e. Pola keruntuhan tekan menggunakan pendekatan whitney

$$A_n = A_g + A_{st}$$

$$= (550 \times 550) + 3025$$

$$= 305525 \text{ mm}^2$$

$$P_{no} = A_n \times 0,85 \times f_c + A_{st} \times f_y$$

$$= 305525 + 0,85 \times 25 \times 3025 + 400$$

$$= 1515546,25 \text{ N}$$

$$= 1515,546 \text{ kN}$$

$$P_n = \frac{P_{no}}{1 + \left(\frac{P_{no}}{P_{np}} - 1\right) \times \frac{e}{e_b}}$$

$$= \frac{1515546,25}{1 + \left(\frac{1515546,25}{3415972} - 1\right) \times \frac{41,52}{41,52}}$$

$$= 3415972 \text{ N}$$

$$= 3415,972 \text{ kN}$$

- f. Kontrol keamanan kolom

$$P_u \geq 0,1 \cdot A_g \cdot f_c$$

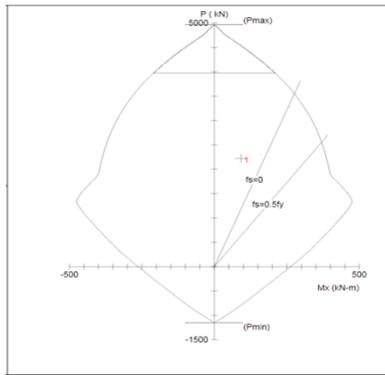
$$2220,382 \text{ kN} \geq 0,1 \cdot (550 \times 550) \cdot 25$$

$$2220,382 \text{ kN} \geq 756,250 \text{ kN}$$

$$\phi P_n \geq 0,65 \times 3415,972$$

$$= 2220,3818 \text{ kN} >$$

$$P_u = 2220,382 \text{ kN (aman)}$$



Gambar 4.9 Grafik rasio tulangan kolom

Dari diagram yang dihasilkan oleh Pca column, ini berdasarkan dari dimensi kolom, jumlah tulangan, mutu beton dan mutu baja yang digunakan bisa disimpulkan bahwa kolom yang direncanakan memiliki rasio aksial maksimum dan momen maksimum berada pada area grafik yang aman.

g. Tulangan pokok

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 1\% \times b \times h \\ &= 0,01 \cdot 550 \cdot 550 \\ &= 3025 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan adalah:

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{3025}{201,143} = 15,039$$

Karena tulangan kolom dipasang pada keempat sisi, jadi tulangan yang digunakan adalah 16 D 16 mm.

h. Menghitung nilai ϕ Pn maksimum
Luas tulangan yang digunakan (Ast)

$$\begin{aligned} \text{Ast} &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 16 \times 201,143 \\ &= 3218,288 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pn} &= 0,80 \times (0,85 \times f_c' \times (a_g - \text{ast}) + f_y \times \text{ast}) \\ &= 0,8 \cdot (0,85 \cdot 25 \cdot (302500 - 3218,288) + 400 \cdot 3218,288) \\ &= 6375104,304 \text{ N} \\ &= 6375,104304 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi \text{Pn} &= 0,85 \cdot 6375,104304 \\ &= 5418,838 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dimensi dengan dibandingkan dengan perhitungan Pu terbesar, dengan syarat bahwa $\Phi \text{Pn} \geq \text{Pu}$
 $\Phi \text{Pn} = 5418,838 \text{ kN} \geq \text{Pu terbesar} = 2220,382 \text{ kN}$ (aman)

i. Tulangan sengkang kolom

Gaya geser perlu kolom ($V_{u,k}$)

$$\begin{aligned} V_{u,k} &= \frac{M_{u2} - M_{u1}}{\lambda n, k} \\ &= \frac{92,1994 - (-41,2297)}{3,5} \end{aligned}$$

$$= 38,1226 \text{ kN} \sim 38122,6 \text{ N}$$

- Gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_{u,k}}{14 \cdot A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d \\ &= \left(1 + \frac{2220382}{14 \cdot 550 \cdot 550}\right) \frac{\sqrt{25}}{6} \cdot 550 \cdot 492 \\ &= 343728,1325 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya geser yang ditahan oleh sengkang (V_s) dan V_s maks

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u - \phi \cdot V_c}{\phi} \\ &= \frac{38122,6 - 0,75 \cdot 343728,1325}{0,75} \\ &= -292897,9992 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{25} \cdot 550 \cdot 492 \\ &= 902000 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $V_s < 0$, maka dipakai tulangan sengkang minimal dengan luas per meter panjang seperti berikut:

- Luas tulangan sengkang perlu (A_{vu}) untuk setiap panjang kolom

$$\begin{aligned} S &= 1000 \text{ mm} \\ A_v &= \frac{b \cdot S}{f_y \cdot 3} \\ &= \frac{550 \cdot 1000}{400 \cdot 3} \\ &= 458,333 \text{ mm}^2 \\ A_v &= \frac{75 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \\ &= \frac{75 \cdot \sqrt{25} \cdot 550 \cdot 1000}{1200 \cdot 400} \\ &= 429,6875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dari kedua A_v dipilih yang paling besar, yaitu $A_v = 458,333 \text{ mm}^2$. Digunakan tulangan sengkang 2 kaki dengan $d_p = 10 \text{ mm}$ dengan jarak sengkang yaitu:

$$\begin{aligned} s &= \frac{\frac{n}{4} \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot S}{A_{v,u}} \\ &= \frac{\frac{2}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \cdot 1000}{458,333} \\ &= 342,545 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan sengkang

$$s \leq 16 \cdot D = 16 \cdot 16 = 256 \text{ mm}$$

$$s \leq 48 \cdot d_p = 48 \cdot 10 = 480 \text{ mm}$$

$$s \leq d/2 = 492/2 = 246 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

dipakai nilai terkecil dan dibulatkan ke bawah yaitu:

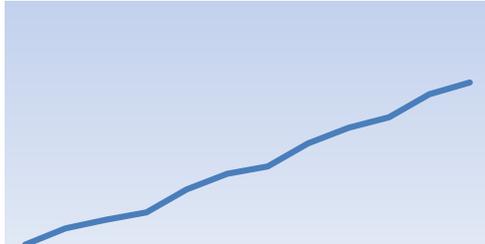
$$s = 250 \text{ mm} < 246 \text{ mm}$$

jadi digunakan tulangan sengkang D10 – 250 mm.

RAB

No	Uraian	Jumlah harga (Rp)
1	Pekerjaan Lantai 2	332,329,053.25
2	Pekerjaan Lantai 3	616,142,538.17
3	Pekerjaan Lantai 4	616,142,538.17
4	Pekerjaan Lantai dak	609,253,859.32
Jumlah Total		2,173,867,988.90

Kurva S



Dengan waktu yang dibutuhkan yaitu 12 minggu atau 3 bulan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan analisis struktur yang dilakukan sebelumnya mulai dari analisis gambar kerja sampai analisis perhitungan pembebanan serta analisis struktur kontrol *dimensioning*, maka dapat ditarik kesimpulan-kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Dari hasil permodelan struktur yang dilakukan oleh program SAP 2000 v.15 3D, gedung yang direncanakan masuk dalam katagori aman, hal ini terlihat jelas bahwa tidak ada struktur bangunan utama yang mengalami beban berlebihan (*Ovestres*) dalam arti struktur bangunan utama mampu menahan beban yang bekerja pada bangunan tersebut. Dengan hasil perhitungan sebagai berikut:
 - a. Kolom menggunakan dimensi 550 mm x 550 mm direncanakan 16 D16 mm, pada desain awal digunakan dimensi 550 mm x 550 mm dengan tulangan 20 D16 mm.
 - b. Balok induk arah "X" menggunakan dimensi 300 mm x 650 mm dengan menggunakan tulangan:
 - ❖ Daerah tumpuan menggunakan tulangan 8 D16 mm.
 - ❖ Daerah lapangan menggunakan tulangan 8 D16 mm.

sedangkan pada desain awal digunakan dengan jumlah tulangan tumpuan 12 D16 mm dan tulangan lapangan 11 D16 mm.
 - c. Balok induk arah "Y" menggunakan dimensi 300 mm x 650 mm dengan menggunakan tulangan:
 - ❖ Daerah tumpuan menggunakan tulangan 7 D16 mm.
 - ❖ Daerahlapangan menggunakan tulangan 5 D16 mm.

sedangkan pada desain awal digunakan dengan jumlah tulangan tumpuan 10 D16 mm dan tulangan lapangan 8 D16 mm.

- d. Balok anak menggunakan dimensi 300 mm x 500 mm dengan menggunakan tulangan:

- ❖ Daerah tumpuan menggunakan tulangan 6 D16 mm.
- ❖ Daerah lapangan menggunakan tulangan 5 D16 mm.

sedangkan pada desain awal digunakan dengan jumlah tulangan tumpuan 8 D16 mm dan tulangan lapangan 7 D16 mm.

- e. Pada perhitungan perencanaan pelat dua arah yang telah dilakukan, diperoleh hasil tulangan :

- Pelat lantai

- ❖ Daerah lapangan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm
- ❖ Daerah tumpuan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm
- ❖ Daerah lapangan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm
- ❖ Daerah tumpuan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm.

- Pelat dak

- ❖ Daerah lapangan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm
- ❖ Daerah tumpuan arah x menggunakan tulangan D10 – 200 mm
- ❖ Daerah lapangan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm
- ❖ Daerah tumpuan arah y menggunakan tulangan D10 – 100 mm.

2. Total biaya yang dibutuhkan untuk membangun struktu atas sebesar Rp. 2.173.867.988.90
3. Total waktu yang dibutuhkan untuk membangun struktu atas yaitu selama 12 minggu atau 3 bulan.

Saran

Berdasarkan hasil dari pengerjaan tugas akhir ini memiliki beberapa saran untuk penulisan karya tulis berikutnya supaya didapatkan hasil penulisan tugas akhir yang lebih baik.

1. Dibutuhkan literatur dan sumber referensi yang mendukung dalam penulisan tugas akhir ini supaya mempermudah sistem analisis yang dilakukan.
2. Menguasai aplikasi atau program hitungan yang digunakan untuk memperlancar proses pengerjaan.
3. Suatu struktur bangunan yang kokoh dan kuat memerlukan suatu perencanaan struktur yang baik dengan menggunakan peraturan- peraturan perencanaan secara tepat dan benar.
4. Mungkin tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, namun penulis berusaha sebaik mungkin untuk mendekati benar, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk para penulis yang akan mengambil materi yang sama di waktu mendatang, yaitu seperti tinjauan struktur atas gedung rumah sakit juga bisa menjadi bahan pertimbangan.

5. DAFTAR PUSTAKA

Kusu, Gideon, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.

Imran, Iswandi, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Penerbit ITB, Bandung, 2010.

SNI 03-1726-2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional

SNI 03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum

SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional

SNI 1727-1989. *Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional

Asroni, A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Asroni Ali. 1998. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga