

Analisis Struktur Beton Pelat Lantai dan Balok dengan Metode Bekisting Fix Shoring System

Luthfan Arisyi, Hikma Dewita, Kristina Sembiring

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tama Jagakarsa

Email: arisyluthfan@gmail.com; dewitahikma@gmail.com; kristinasembiring70@gmail.com

ABSTRACT

In the construction of a building, it is necessary to plan a concrete structure that can make us feel safe and comfortable. The concrete structure itself is very close to making a slab and beam, the design and implementation of a slab and beam has many innovations in the manufacturing process. One of the information during the construction of the structure is formwork with a fixed shoring system. Where when the formwork can be removed quickly enough from the usual time, this will cause a reaction on the structure itself and the fix shoring is the part that reduces the impact of the reaction. The purpose of this study was conducted to find out whether the fix shoring system formwork is able to provide safe results according to the building permit. The fix shoring method based on the results of the analysis obtained, the floor slab concrete structure was able to withstand the deflection that occurred on day 2 (2.891 of the maximum deflection of 8.333). Meanwhile, the elastic deflection only met the requirements on day 3 ($M_u < M_{cr}$, 8.729 kN/m < 8.700 kN/m). For the concrete structure itself has a size of 40x70 and 30x70. The conclusion is that the overall results comply with the specified permits from the pedestal to the field. It can be stated that the formwork of the fixed shoring system, on the 3rd day, the formwork can be removed without affecting the state of the concrete structure.

Keywords: Formwork, Shoring, Floor Plate, Beams

ABSTRAK

Dalam pembangunan sebuah bangunan perlunya perencanaan struktur beton yang dapat membuat kita merasa aman dan nyaman. Struktur beton sendiri sangat dekat dengan pembuatan sebuah pelat lantai dan balok, perencanaan dan pelaksanaan dalam sebuah pelat lantai dan balok memiliki banyak inovasi dalam pelaksanaan pembuatan. Salah satu inovasi pada saat pelaksanaan pembuatan struktur tersebut adalah bekisting dengan sistem fix shoring. Dimana Ketika bekisting yang dapat dilepas cukup cepat dari waktu umumnya, ini akan menimbulkan reaksi pada struktur itu sendiri dan fix shoring merupakan bagian yang mengurangi dampak reaksi tersebut. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah bekisting sistem fix shoring mampu memberikan hasil yang aman sesuai izin bangunan tersebut. Metode fix shoring berdasarkan hasil analisis diperoleh, pada struktur beton pelat lantai mampu menahan gaya lendutan yang terjadi pada hari ke 2 (2,891 dari maksimum lendutan sebesar 8,333). Sedangkan untuk lendutan elastis baru memenuhi syarat di hari ke-3 ($M_u < M_{cr}$, 8,729 kN/m < 8,700 kN/m). Untuk struktur beton sendiri memiliki ukuran 40x70 dan 30x70. Kesimpulan didapatkan hasil keseluruhan memenuhi izin yang ditentukan dari tumpuan sampai lapangan. Dapat dinyatakan bahwa bekisting sistem fix shoring, pada hari ke 3 bekisting dapat dilepas tanpa mempengaruhi keadaan struktur betonnya.

Kata kunci: Bekisting, Shoring, Pelat Lantai, Balok

Submitted:

06 Desember 2023

Reviewed:

24 Feb 2024

Revised

18 Maret 2024

Published:

01 August 2024

LATAR BELAKANG

Dalam sebuah pembangunan bertingkat tidak akan jauh dari pembangunan pelat dan balok, sehingga banyak sekali inovasi yang bermunculan guna mempermudah pembangunan dikemudian harinya. Struktur bangunan pelat memiliki ketebalan yang kecil dalam SNI nya sekurang-kurangnya kisaran 7-12 cm, sehingga pemilihan ketebalan pelat berpengaruh sekali dalam menahan beban di atasnya. Jika pelat menahan beban yang

bekerja di atasnya, adapun balok yang menahan beban yang bekerja sekaligus menahan beban pelat. Umumnya balok terletak pada sisi garis pelat, jika pelat terlampaui lebar maka dibuat kembali balok di antara pelat.

Pemilihan metode dalam pemasangan bekisting menentukan seberapa kualitas beton yang dibutuhkan tercapai, dikarenakan bekisting yang terlampaui terlalu sulit untuk di pasang ataupun terlalu lama untuk dapat digunakan kembali.

Membuat pekerjaan beton menjadi tidak maksimal.

Selain dari segi waktu pemasangan dan pembongkaran, tidak lain dari segi kekuatan bekisting yang mampu menahan berat beton itu sendiri juga harus mampu menahan beban lain yang bekerja. Dalam hal ini pemilihan metode bekisting sistem *fix shoring* dipilih untuk mengetahui dari segi kekuatannya mampu memenuhi kekuatan yang diperlukan.”Fariasi bekisting mempengaruhi wujudkan *lean construction* yang dikerjakan”(Abdunafi, Agung Wibowo, and Purwanggono, n.d.)

Bekisting tidak terlepas dari perancah yang digunakannya, dalam perkembangannya, “mendapatkan perancah (*scaffolding*) mulai disukai oleh proyek besar bangunan jembatan utama, hingga proyek sederhana skala kecil.”(Panji Semita et al., n.d.) Pemilihan perancah menentukan kuat tidaknya sebuah bekisting dalam menahan berat beton itu sendiri.

METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan bekisting yang dibuat dengan cara teknis untuk menggambarkan pelaksanaan pekerjaan dengan cara sistematis dari awal hingga akhir yang meliputi bagian tahapan maupun urutan pekerjaan yang mampu di pertanggungjawabkan secara teknis.

Untuk itu diperlukan metode yang telah sebelumnya sudah diuji dan mampu dilakukan oleh pekerja. Dalam pelaksanaan metode ini di lapangan perlunya pengawasan dan dokumentasi untuk mencatat agar dapat memantau segala perubahan terjadi jika mengalami permasalahan selama pelaksanaan.

Pelat dua arah:



Sumber:(Doloksaribu, 2018)

Gambar 1. Tampak depan pelat tulangan 2 arah

Koefisien momen pelat 2 arah:

L_y/L_x(Pers. 1)

Dimana:

L_y = Panjang pelat y

L_x = Panjang pelat x

Kemudian nilai koefisien yang didapat ditentukan berdasarkan Gambar 2 yang parameternya adalah nilai L_y/L_x dan kondisi tumpuan tepi jepit.

Skema	Penyaluran beban berdasarkan 'metode amlop' kali $w_u \text{ mm}^{-1} l_x$	Momen per meter lebar	$\frac{L_y}{L_x}$							
			1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
I		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	41	54	67	79	87	97	110	117
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	41	55	31	28	26	25	24	23
		$m_{ux} = \frac{1}{2} m_{uy}$								
II		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	34	42	49	53	58	62	65
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	22	18	15	15	15	14	14
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	51	63	72	78	81	82	83	83
III		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	30	41	52	61	67	72	80	83
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	30	27	23	22	20	19	19	19
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	68	84	97	106	113	117	122	124
IV		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	68	74	77	77	77	76	73	71
		$m_{uy} = \frac{1}{2} m_{ux}$								
		$m_{ux} = \frac{1}{2} m_{uy}$								
V		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	24	36	49	63	74	85	103	113
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	33	33	32	29	27	24	21	20
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	69	85	97	105	110	112	112	112
VI		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	33	40	47	52	55	58	62	65
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	24	20	18	17	17	17	16	16
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	69	76	80	82	83	83	83	83
VII		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	31	45	58	71	81	91	106	115
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	39	37	34	30	27	25	24	23
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	91	102	108	111	113	114	114	114
VIII		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	39	47	57	64	70	75	81	84
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	31	25	23	21	20	19	19	19
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	91	98	107	113	118	120	124	124
IX		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	36	47	57	64	70	79	83
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	28	27	23	20	18	17	16	16
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	54	72	88	100	108	114	121	124
X		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	60	69	74	76	76	76	73	71
		$m_{uy} = \frac{1}{2} m_{ux}$								
		$m_{ux} = \frac{1}{2} m_{uy}$								
XI		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	28	37	45	50	54	58	62	65
		$m_{uy} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	21	19	18	17	17	16	16
		$m_{ux} = -0,001 w_u l_x^2 x$	60	70	76	80	82	83	83	83
XII		$m_{ux} = 0,001 w_u l_x^2 x$	54	55	55	54	53	53	51	49
		$m_{uy} = \frac{1}{2} m_{ux}$								
		$m_{ux} = \frac{1}{2} m_{uy}$								

Sumber: (SNI-2847-2019, 2019.)

Gambar 2. Koefisien pelat 2 arah

a. Beban rencana terfaktor

$Q_u = 1,2 \times Q_D + 1,6 \times Q_L$ ((Pers. 2)

Dimana:

Q_u = Beban rencana terfaktor

Q_D = Beban mati

Q_L = Beban hidup

b. Momen pelat akibat beban terfaktor

$M_{ulx} = C_{lx} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$ (Pers. 3)

$M_{uly} = C_{ly} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$ (Pers. 4)

$M_{utx} = C_{tx} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$ (Pers. 5)

$M_{uty} = C_{ty} \times 0,001 \times Q_u \times L_x^2$ (Pers. 6)

Dimana:

M_{ulx} = Momen lapangan sumbu x

M_{uly} = Momen lapangan sumbu y

M_{utx} = Momen tumpuan sumbu x

M_{uty} = Momen tumpuan sumbu y

C_{lx} = Koefisien lapangan x

C_{ly} = Koefisien lapangan y

C_{tx} = Koefisien tumpuan x

C_{ty} = Koefisien tumpuan y

c. Penulangan pelat

Apabila jenis kuat tekan beton (f'_c) ternyata > 30 MPa, diperlunya kombinasi penyebaran tegangan beton :

$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 30)}{7}$ (Pers. 7)

Dimana:

β_1 = Tegangan beton

f'_c = Kuat tekan beton
 Dilanjutkan kepada kemungkinan tulangan pada kondisi *balance*:

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots (\text{Pers. 8})$$

Dimana:
 ρ_b = kemungkinan tulangan
 f_y = Tegangan leleh baja
 Koefisien pembatasan momen maksimum:

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{600 + f_y} \right] \dots\dots\dots (\text{Pers. 9})$$

Dimana :
 R_{max} = Koefisien pembatasan momen maksimum
 Nilai untuk komponen struktur lentur adalah seragam sebesar 0,8.

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (d_s):
 $d_s = t_s + \frac{\phi}{2} \dots\dots\dots (\text{Pers. 10})$

Dimana :
 d_s = Jarak tulangan terhadap sisi luar beton
 t_s = Tebal bersih selimut beton
 ϕ = Diameter tulangan

Tebal efektif pelat lantai merupakan keseluruhan tebal dari tinggi pelat.
 $d = h - d_s \dots\dots\dots (\text{Pers. 11})$

Dimana :
 d = Tebal efektif pelat lantai
 h = Tinggi tebal pelat

Peninjauan pelat lantai sebesar 1,5 m, diambil dari jarak *fix shoring* yang digunakan. Untuk momen nominal rencana (M_n):

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots (\text{Pers. 12})$$

Dimana :
 M_n = Momen nominal rencana
 M_u = Momen ultimate

Koefisien pembatasan momen:
 $R_n = \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)} \dots\dots\dots (\text{Pers. 13})$

Dimana:
 R_n = Koefisien pembatasan momen
 b = Lebar tinjauan pelat

Jika, koefisien pembatasan momen (R_n) < koefisien pembatasan momen maksimum (R_{max}) maka izin diporolehkan.

Kemungkinan tulangan yang dibutuhkan :
 $\rho = 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left[1 - 2 \times \frac{R_n}{(0,85 \times f'_c)} \right] (\text{Pers.14})$

Dimana :
 ρ = Kemungkinan tulangan
 Kemungkinan tulangan terkecil $\rho_{min} = 0,0025$.

Luas tulangan terkecil yang dibutuhkan :
 $A_{S_{min}} = \rho \times b \times d \dots\dots\dots (\text{Pers.15})$

Dimana :
 $A_{S_{min}}$ = Luas tulangan terkecil
 Setelah didapat luas tulangan yang ditentukan, perlu mengecek jarak tulangan yang dibutuhkan :

$$s_{max} = 2 \times h \dots\dots\dots (\text{Pers. 16})$$

Dimana:
 s_{max} = Jarak tulangan maksimum

Jarak Sengkang yang digunakan $s = 150$ mm, maka diambil dari jarak Sengkang yang paling kecil. Didapatlah tulangan, yang digunakan (ϕ -s), kemudian dihitung untuk luas tulangan yang terpakai (A_s) :

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots (\text{Pers. 17})$$

Dimana :
 A_s = Luas tulangan
 d = Kontrol Lendutan Pelat

Beban merata (tak teraspek) pada pelat (Q) merupakan gabungan dari beban mati (Q_D) dan beban hiduo (Q_L), menjadi :

$$Q = Q_D + Q_L \dots\dots\dots (\text{Pers. 18})$$

Batas lendutan maksimum yang diizinkan:
 $\Delta_{maks} = \frac{L_x}{360} \dots\dots\dots (\text{Pers. 19})$

Dimana:
 Δ_{maks} = Batas lendutan maksimum

Momen inersia brutto dari penampang pelat,
 $I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots\dots\dots (\text{Pers. 20})$

Dimana :
 I_g = Momen inersia brutto
 Data tabel konversi dapat dilihat pada ketetapan yang digunakan pada massanya.

Modulus keruntuhan lentur beton (f_r) :
 $f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (\text{Pers. 21})$

Dimana :
 f_r = Modulus keruntuhan beton
 f_c = Faktor konversi

Nilai modulus elastis pada beton:
 $n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (\text{Pers. 22})$

Dimana:
 n = Nilai perbandingan modulus elastis
 E_s = Modulus elastis baja
 E_c = Modulus elastis beton

Jarak garis bebas terhadap sisi atas beton :

$$c = \frac{n \times A_s}{b} \dots \dots \dots \text{(Pers. 23)}$$

Dimana :

c = Jarak garis bebas

Momen inersia penampang retak :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times b \times c^3 + n \times A_s \times (d - c)^2 \dots \dots \dots \text{(Pers. 24)}$$

Dimana :

I_{cr} = Momen inersia retak

Maka akan diperoleh momen retak (M_{cr}):

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t} \dots \dots \dots \text{(Pers. 25)}$$

Dimana :

M_{cr} = Momen retak

Momen maksimum akibat beban (tanpa aspek)

$$M_a = \frac{1}{8} \times Q \times L_x^2 \dots \dots \dots \text{(Pers. 26)}$$

Dimana :

M_a = Momen maksimum

Untuk perhitungan lendutan :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \dots \dots \dots \text{(Pers. 27)}$$

Dimana :

I_e = Inersia efektif

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup :

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L_x^4}{E_c \times I_e} \dots \dots \dots \text{(Pers. 28)}$$

Dimana :

δ_e = Lendutan elastis

Syarat $\delta_e \leq \Delta_{maks}$, = Aman. Jika lendutan elastis lebih besar dari lendutan izin maka akan mengakibatkan keruntuhan pada beton.

Untuk tinggi efektif balok menjadi:

$$d = h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2} \dots \dots \dots \text{(Pers. 29)}$$

Dimana :

d = Tinggi efektif balok

h = Tinggi balok

c_c = Selimut bersih balok

d_s = Diameter tulangan sengkang

d_b = Diameter tulangan longitudinal

Untuk $f'_c \leq 30 = 0,85$. Aspek bentuk penyebaran tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$. Apabila jenis kuat tekan beton (f'_c) ternyata > 30 MPa, diperlunya kombinasi penyebaran tegangan beton:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 30)}{7} \dots \dots \dots \text{(Pers. 30)}$$

Dimana:

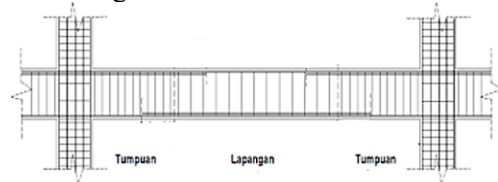
β_1 = Tegangan beton

f'_c = Kuat tekan beton

a. Gaya dalam

Merupakan gaya yang bekerja di dalam bidang struktur atau merambat suatu beban ke reaksi penempatan.

b. Penulangan Lentur



Sumber : (Wiyono and Trisina 2013)

Gambar 3. Penulangan pada balok

Jarak bersih antara tulangan :

$$s = \frac{(b-2)(c_c-2)(d_s-n) \times d_b}{(n-1)} \dots \dots \dots \text{(Pers. 31)}$$

Dimana:

s = Jarak bersih antar tulangan

n = Jumlah tulangan

Cek jarak bersih antar tulangan, jika jarak bersih $\geq d_b$ maka jumlah lapisannya adalah 1. Jarak bersih $< d_b$ maka jumlah lapisan menjadi 2.

Besaran nilai dari luasan tulangan terkecil pada balok sebagai berikut :

$$A_s = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \dots \dots \dots \text{(Pers. 32)}$$

$$A_{s_{min1}} = \frac{(f'_c)^{0,5}}{(4 \times f_y)} \times b \times d \dots \dots \dots \text{(Pers. 33)}$$

$$A_{s_{min2}} = \frac{1,4}{(4 \times f_y)} \times b \times d \dots \dots \dots \text{(Pers. 34)}$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan

$A_{s_{min1}}$ = Luas tulangan terkecil

$A_{s_{min2}}$ = Luas tulangan terkecil

Cek $A_{s_{min}}$ diambil dari nilai tertinggi $A_{s_{min1}}$ dan $A_{s_{min2}}$, $A_s \geq A_{s_{min}}$, jika $A_s < A_{s_{min}}$ maka diperlukan penambahan pada tulangan.

Batasan kemungkinan tulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{(b \times d)} \dots \dots \dots \text{(Pers. 35)}$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots \text{(Pers. 36)}$$

Dimana :

ρ = Kemungkinan tulangan

ρ_{max1} = Kemungkinan tulangan maksimum

Kemungkinan tulangan tidak boleh melebihi $\rho_{max2} = 2,5\%$, didasarkan terutama pada pertimbangan kerapatan tulangan. Cek $A_{smax} \rho \leq \rho_{max}$ dengan nilai kemungkinan tulangan maksimum.

Luasan tulangan aktual yang terpasang:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots \text{(Pers. 37)}$$

Dimana :

a = Jarak serat tekan

Kekuatan lentur nominal :

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots \text{(Pers. 38)}$$

Dimana :

M_n = Momen nominal

Jarak tekan terjauh dari serat sampai ke sumbu bebas :

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots\dots\dots \text{(Pers. 39)}$$

Dimana :

c = Jarak tekan terjauh dari serat ke sumbu bebas

Regangan pada lokasi tulangan:

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \dots\dots\dots \text{(Pers. 40)}$$

Dimana :

ϵ_s = Regangan tulangan tarik

Aspek reduksi:

$$\phi = 0,65 + \frac{(\epsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25 \dots\dots \text{(Pers. 41)}$$

Dimana:

Φ = Aspek reduksi

Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$, maka tulangan yang direncanakan dapat digunakan:

$$\phi M_n = \phi \times M_n \dots\dots\dots \text{(Pers. 42)}$$

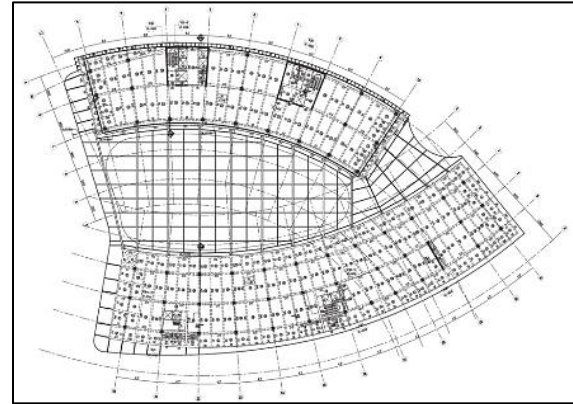
Luas tulangan dibutuhkan pada balok:

$$A_s \text{ Desain} = \frac{M_u}{[f_y \times (d - \frac{a}{2})]} \dots\dots\dots \text{(Pers. 43)}$$

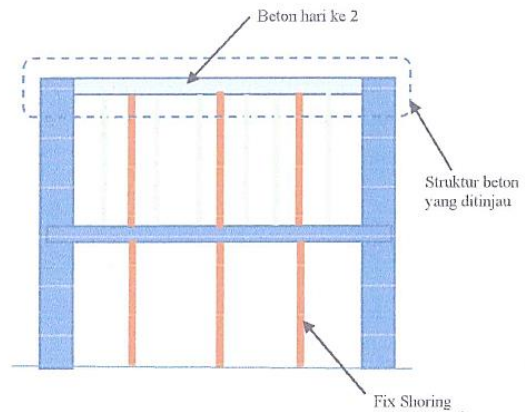
Dengan ini bekisting sistem *fix shoring* dapat diketahui mampu atau tidaknya menahan beban-beban yang bekerja.

HASIL PEMBAHASAN

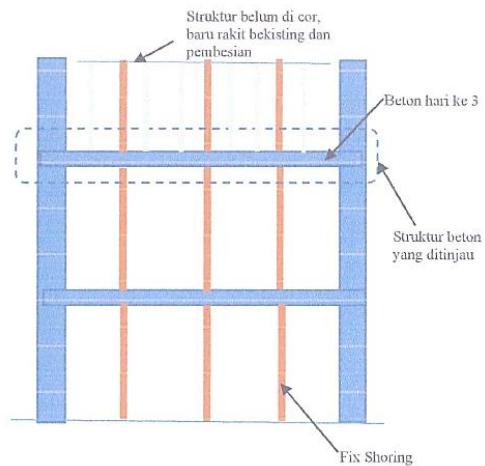
Berdasarkan hasil analisis struktur beton pelat lantai dan balok untuk metode bekisting sistem *fix shoring*.



(Sumber: PT. Tatamulia Nusantara Indah, 2022)
Gambar 4. Denah Gedung Kantor Knowledge Hub



(Sumber: PT. Tatamulia Nusantara Indah, 2022)
Gambar 5. Struktur beton yang ditinjau pada hari ke 2
 Beban yang bekerja pada lantai ditinjau dari DL (Berat Sendiri Beton) dan LL (Pekerja = 250 kg/m²)



(Sumber: PT. Tatamulia Nusantara Indah, 2022)
Gambar 6. Struktur beton yang ditinjau pada hari ke 3

Beton yang digunakan merupakan beton dengan berat jenis = 2400 kg/m^3 .

Mutu beton yang digunakan untuk pelat dan beton, $f'_c = 30 \text{ MPa}$

Modulus elastisitas, $E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{30} = 2,574 \times 10^4 \text{ MPa}$

Dengan keperluan analisis pada saat umur beton hari ke 2 dan 3, maka mutu beton perlu dilakukan aspek konversi yang dapat dilihat:

Umur beton hari ke 2, (Konversi umur beton):
 $f'_c = 0,31 \times 30 = 9,3 \text{ MPa}$

Umur beton hari ke 3, (Konversi umur beton):
 $f'_c = 0,40 \times 30 = 12 \text{ MPa}$

Hasil ini yang digunakan untuk analisis.

Baja Tulangan, Mutu baja tulangan ulir, $F_y = 420 \text{ MPa}$ (BJTD40).

Modulus elastisitas, $E_s = 200000 \text{ MPa} = 2,0 \times 10^5 \text{ MPa}$

Beban lainnya = Bekisting + Tumpukan Besi

$= 150 \text{ kg/m}^2 + 200 \text{ kg/m}^2 = 350 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup = Pekerja = 250 kg/m^2

Lendutan izin = $L/360$

Pelat Lantai

a. Penulangan Pelat

Untuk : $f'_c \leq 30 = 0,85$

Aspek bentuk penyebaran tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$

Kemungkinan tulangan pada kondisi balance f_y

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$\rho_b = 0,0304$$

Koefisien pembatasan momen maksimum,

$$R_{\max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{600 + f_y} \right]$$

$$R_{\max} = 0,75 \times 0,0304 \times 420 \times \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,0304 \times \frac{420}{600 + 420} \right]$$

$$R_{\max} = 7,769$$

Aspek reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d_s = t_s + \frac{\phi}{2}$$

$$d_s = 20 + \frac{10}{2}$$

$$d_s = 25 \text{ mm}$$

Tebal efektif pelat lantai, $d = h - d_s = 120 - 25 = 95 \text{ mm}$, dengan tebal 120 mm sudah memenuhi syarat dari tebal efektif pelat lantai. Ditinjau pelat lantai sebesar $b = 1,5 \text{ m} = 1500 \text{ mm}$.

Momen nominal rencana :

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

$$M_n = \frac{8,707}{0,8} = 10,884 \text{ kN/m}$$

Koefisien pembatasan momen,

$$R_n = \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)}$$

$$R_n = \frac{10,884 \times 10^{-6}}{(1500 \times 95^2)}$$

$$R_n = 0,804$$

$$R_n < R_{\max}, 0,804 < 7,769 \dots \text{OK}$$

Kemungkinan tulangan yang dibutuhkan:

$$\rho = 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left[1 - 2 \times \frac{R_n}{(0,85 \times f'_c)} \right]$$

$$\rho = 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left[1 - 2 \times \frac{0,804}{(0,85 \times 30)} \right]$$

$$\rho = 0,0019$$

Tulangan terkecil $\rho_{\min} = 0,0025$, maka kemungkinan tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0025$

Luas tulangan yang dibutuhkan :

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$A_s = 0,0025 \times 1500 \times 95$$

$$A_s = 356 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan yang dibutuhkan :

$$s = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times \frac{b}{A_s}$$

$$s = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times \frac{1500}{356}$$

$$s = 331 \text{ mm}$$

Jarak tulangan maksimum :

$$s_{\max} = 2 \times h$$

$$s_{\max} = 2 \times 120$$

$$s_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Jarak Sengkang yang digunakan $s = 150 \text{ mm}$, maka diambil dari jarak sengkangnya. Digunakan tulangan, $\phi 10 - 150$

Luas tulangan terpakai,

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times \frac{b}{s}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times \frac{1500}{150}$$

$$A_s = 785 \text{ mm}^2$$

b. Kontrol Lendutan Pelat

Beban merata (tak teraspek) pada pelat,

$$Q = Q_D + Q_L$$

$$Q = 6,38 + 2,5$$

$$Q = 8,88 \text{ N/mm}$$

Batas lendutan maksimum yang diizinkan :

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{L_x}{360}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{3000}{360}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = 8,333 \text{ mm}$$

Momen inersia bruto penampang pelat,

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1500 \times 120^3$$

$$I_g = 216 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Modulus keruntuhan lentur beton, digunakan sesuai tabel faktor diumur 2 hari, dimana kuat tekan beton diumur 2 hari sebesar 9,3 MPa.

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{9,3}$$

$$f_r = 2,135 \text{ MPa}$$

Nilai perbandingan modulus elastis

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{2 \times 10^5}{25.743}$$

$$n = 7,77$$

Jarak garis bebas terhadap sisi atas beton :

$$c = n \times \frac{A_s}{b}$$

$$c = 7,77 \times \frac{785}{1500}$$

$$c = 4,068 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton dihitung

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

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times 1500 \times 4,068^3 + 7,77 \times 785 \times (95 - 3,051)^2$$

$$I_{cr} = 5,049 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Jarak serat tarik terluar ke dalam : $y_t = h/2 = 120/2 = 60 \text{ mm}$

Momen retak:

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{2,135 \times 216 \times 10^6}{60}$$

$$M_{cr} = 768,5 \times 10^4 \text{ N/mm}$$

Momen maksimum akibat beban (tanpa aspek)

$$M_a = 1/8 \times Q \times L_x^2$$

$$M_a = 1/8 \times 8,88 \times 3000^2$$

$$M_a = 99,9 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan,

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

$$I_e = \left(\frac{768,5 \times 10^4}{99,9 \times 10^5} \right)^3 \times 216 \times 10^6 + \left[1 - \left(\frac{768,5 \times 10^4}{99,9 \times 10^5} \right)^3 \right] \times 5,049 \times 10^7$$

$$I_e = 125,8 \times 10^6 \text{ mm}^4;$$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup :

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L_x^4}{E_c \times I_e}$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times \frac{8,88 \times 3000^4}{25743 \times 125,8 \times 10^6}$$

$$\delta_e = 1,3 \times 10^{-2} \times 2,221 \times 10^2$$

$$\delta_e = 2,891 \text{ mm}$$

Syarat $\delta_e \leq \Delta_{\text{maks}}$, = 2,891 mm ≤ 8,333mm
(OK) Aman.

Pembebanan beton pelat lantai hari 3

a. Kontrol Lendutan Pelat

Modulus elastis beton, $E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} = 25.743 \text{ MPa}$

Modulus elastis baja tulangan, $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$

Beban merata (tak teraspek) pada pelat,

$$Q = Q_D + Q_L$$

$$Q = 6,38 + 2,5$$

$$Q = 8,88 \text{ N/mm}$$

Batas lendutan maksimum yang diizinkan :

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{L_x}{360}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{3000}{360}$$

$$\Delta_{maks} = 8,333\text{mm}$$

Momen inersia brutto penampang pelat,

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1500 \times 120^3$$

$$I_g = 216 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Modulus keruntuhan lentur beton, digunakan sesuai tabel faktor diumur 3 hari, dimana kuat tekan beton diumur 3 hari sebesar 12 MPa.

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c}$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{12}$$

$$f_r = 2,425 \text{ MPa}$$

Nilai perbandingan modulus elastis

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{2 \times 10^5}{25.743}$$

$$n = 7,77$$

Jarak garis bebas terhadap sisi atas beton :

$$c = n \times \frac{A_s}{b}$$

$$c = 7,77 \times \frac{785}{1500}$$

$$c = 4,068 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton dihitung

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

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times 1500 \times 4,068^3 + 7,77 \times 785 \times (95 - 3,051)^2$$

$$I_{cr} = 5,049 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Jarak serat tarik terluar ke dalam : $y_t = h/2 = 120/2 = 60 \text{ mm}$

Momen retak:

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{2,425 \times 216 \times 10^6}{60}$$

$$M_{cr} = 872,9 \times 10^4 \text{ N/mm}$$

Momen maksimum akibat beban (tanpa aspek)

$$M_a = 1/8 \times Q \times L_x^2$$

$$M_a = 1/8 \times 8,88 \times 3000^2$$

$$M_a = 99,9 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan,

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

$$I_e = \left(\frac{872,9 \times 10^4}{99,9 \times 10^5} \right)^3 \times 216 \times 10^6 + \left[1 - \left(\frac{872,9 \times 10^4}{99,9 \times 10^5} \right)^3 \right] \times 5,049 \times 10^7$$

$$I_e = 160,9 \times 10^6 \text{ mm}^4;$$

$$I_e = 160,9 \times 10^6 \text{ mm}^4;$$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup :

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L_x^4}{E_c \times I_e}$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times \frac{8,88 \times 3000^4}{25743 \times 160,9 \times 10^6}$$

$$\delta_e = 1,3 \times 10^{-2} \times 1,736 \times 10^2$$

$$\delta_e = 2,261 \text{ mm}$$

Syarat $\delta_e \leq \Delta_{maks}$, = 2,261 mm \leq 8,333mm
.....(OK) Aman.

Balok 40x70

a. Penulangan Lentur

1) Tumpuan Negatif

Jumlah tulangan tumpuan negatif, $n = 3$

Jarak bersih antara tulangan :

$$s = \frac{(b-2)(c_c-2)(d_s-n)d_b}{(n-1)}$$

$$s = \frac{(400-2)(40-2)(10-3) \times 25}{(3-1)} = 117 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih, Jarak bersih $\geq d_b$ (OK), jadi jumlah lapisnya 1

Luas terkecil tulangan lentur:

$$A_s \text{ Pasang: } n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{min1}} = \frac{(f'_c)^{0,5}}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$A_{s_{min1}} = \frac{(30)^{0,5}}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$A_{s_{min1}} = 833,321 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{min2}} = \frac{1,4}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$A_{s_{min2}} = \frac{1,4}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$A_{s_{min2}} = 852 \text{ mm}^2$$

Cek $A_{s_{min}}$ diambil dari nilai tertinggi $A_{s_{min1}}$ dan $A_{s_{min2}}$, $A_s \text{ Pasang} \geq A_{s_{min}}$ (OK)

Batasan kemungkinan tulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{(b \times d)} = \frac{1140,398}{(400 \times 639)} = 0,00446 = 0,45\%$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600+f_y} \right)$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{600}{600+420} \right)$$

$$\rho_{max1} = 0,0227 = 2,28\%$$

$$\rho_{max2} = 2,5\%$$

Cek $\rho_{max} \leq \rho_{max}$ $0,45\% \leq 2,5\% \dots$ OK

Jarak tekan terjauh dari serat

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 46,958 \text{ mm}$$

Kekuatan lentur nominal :

$$M_n = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1140,398 \times 420 \times \left(639 - \frac{46,958}{2} \right)$$

$$M_n = 298,814 \text{ kN/m}$$

Jarak tekan terjauh dari serat sampai ke sumbu bebas :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{46,958}{0,85} = 56,189 \text{ mm}$$

Regangan pada lokasi tulangan:

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \frac{(639 - 56,189)}{56,189} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = 0,031$$

Aspek reduksi :

$$\phi = 0,65 + \frac{(\epsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25$$

$$\phi = 0,967$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 0,967 \times 298,814 = 287,853 \text{ kN/m}$$

Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$, $287,853 > 212,2664$ (OK)

Luas tulangan dibutuhkan

$$As_{Desain} = \frac{M_u}{[f_y \times (d - \frac{a}{2})]}$$

$$As_{Desain} = \frac{212,2664}{[420 \times (639 - \frac{46,958}{2})]}$$

$$As_{Desain} = 821,087 \text{ mm}^2$$

2) Tumpuan Positif

Jumlah tulangan tumpuan positif, $n = 4$

Jarak bersih antara tulangan :

$$s = \frac{(b - 2)(c_c - 2)(d_s - n)xd_b}{(n - 1)}$$

$$s = \frac{(400 - 2)(40 - 2)(10 - 4) \times 25}{(4 - 1)}$$

$$= 70,667 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih, Jarak bersih $\geq d_b$ (OK), jumlah lapisnya 1

Luas terkecil tulangan lentur:

$$As_{Pasang} : n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 1520,531 \text{ mm}^2$$

$$As_{min1} = \frac{(f'_c)^{0,5}}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$As_{min1} = \frac{(30)^{0,5}}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$As_{min1} = 833,321 \text{ mm}^2$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$As_{min2} = 852 \text{ mm}^2$$

$$As_{min4}$$

$$= 0,5 \times A_s \text{ Pasang (tumpuan negatif)}$$

$$As_{min4} = 0,5 \times 1140,398 = 570,199 \text{ mm}^2$$

Cek As_{min} diambil dari nilai tertinggi As_{min1} , As_{min2} dan As_{min4} , $As_{Pasang} \geq As_{min}$ (OK)

Batasan kemungkinan tulangan :

$$\rho = \frac{As}{(b \times d)} = \frac{1520,531}{(400 \times 639)} = 0,0059$$

$$= 0,59\%$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max1}$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$\rho_{max1} = 0,0227 = 2,28\%$$

$$\rho_{max2} = 2,5\%$$

Cek $\rho_{max} \leq \rho_{max}$ $0,45\% \leq 2,5\% \dots$ OK

Jarak tekan terjauh dari serat terjauh

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{1520,531 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 62,61 \text{ mm}$$

Kekuatan lentur nominal :

$$M_n = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1520,531 \times 420 \times \left(639 - \frac{62,61}{2} \right)$$

$$M_n = 388,088 \text{ kN/m}$$

Jarak tekan terjauh dari serat terjauh sampai ke sumbu bebas :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{62,61}{0,85} = 74,918 \text{ mm}$$

Regangan pada lokasi tulangan:

$$\varepsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = \frac{(639 - 74,918)}{74,918} \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,023$$

Aspek reduksi :

$$\phi = 0,65 + \frac{(\varepsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25$$

$$\phi = 0,967$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 0,967 \times 388,088 \\ = 349,279 \text{ kN/m}$$

Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$, $349,279 > 279,423$ (OK)

Luas tulangan dibutuhkan

$$As_{Desain} = \frac{M_u}{\left[f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right]} \\ = \frac{279,423}{\left[420 \times \left(639 - \frac{62,61}{2} \right) \right]}$$

$$As_{Desain} = 1094,782 \text{ mm}^2$$

3) Lapangan negatif

Jumlah tulangan lapangan negatif, $n = 4$

Jarak bersih antara tulangan :

$$s = \frac{(b - 2)(c_c - 2)(d_s - n)x d_b}{(n - 1)}$$

$$s = \frac{(400 - 2)(40 - 2)(10 - 4) \times 25}{(4 - 1)} \\ = 70,667 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih, Jarak bersih $\geq d_b$ (OK), jumlah lapisnya 1

Luas terkecil tulangan lentur:

$$As_{Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = \\ 1520,531 \text{ mm}^2$$

$$As_{min1} = \frac{(f'_c)^{0,5}}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$As_{min1} = \frac{(30)^{0,5}}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$As_{min1} = 833,321 \text{ mm}^2$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$As_{min2} = 852 \text{ mm}^2$$

As_{min4}

$$= 0,25 \times As_{Pasang} \text{ (tumpuan negatif)}$$

$$As_{min4} = 0,25 \times 1140,398 = 285,1 \text{ mm}^2$$

Cek As_{min} diambil dari nilai tertinggi As_{min1} , As_{min2} dan As_{min4} , $As_{Pasang} \geq As_{min}$ (OK)

Batasan kemungkinan tulangan :

$$\rho = \frac{As}{(b \times d)} = \frac{1520,531}{(400 \times 639)} = 0,0059 \\ = 0,59\%$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$\rho_{max1} = 0,0227 = 2,28\%$$

$$\rho_{max2} = 2,5\%$$

Cek $As_{max} \rho \leq \rho_{max}$ $0,45\% \leq 2,5\% \dots$ OK

Jarak tekan terjauh dari serat terjauh

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ = \frac{1520,531 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 62,61 \text{ mm}$$

Kekuatan lentur nominal :

$$M_n = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1520,531 \times 420 \times \left(639 - \frac{62,61}{2} \right)$$

$$M_n = 388,088 \text{ kN/m}$$

Jarak tekan terjauh dari serat sampai ke sumbu bebas :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{62,61}{0,85} = 74,918 \text{ mm}$$

Regangan pada lokasi tulangan:

$$\varepsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = \frac{(639 - 74,918)}{74,918} \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,023$$

Aspek reduksi :

$$\phi = 0,65 + \frac{(\varepsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25$$

$$\phi = 0,967$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 0,967 \times 388,088 \\ = 349,279 \text{ kN/m}$$

Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$, $349,279 > 279,423$ (OK)

Luas tulangan dibutuhkan

$$As_{Desain} = \frac{M_u}{\left[f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right]}$$

$$As_{RDesain} = \frac{279,423}{\left[420 \times \left(639 - \frac{62,61}{2}\right)\right]}$$

$$As_{Desain} = 1094,782 \text{ mm}^2$$

4) Lapangan positif

Jumlah tulangan lapangan positif, $n = 3$

Jarak bersih antara tulangan :

$$s = \frac{(b-2)(c_c-2)(d_s-n)d_b}{(n-1)}$$

$$s = \frac{(400-2)(40-2)(10-3) \times 25}{(3-1)} = 117 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih, Jarak bersih $\geq d_b$ (OK), jadi jumlah lapisnya 1

Luas terkecil tulangan lentur:

$$As_{Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$As_{min1} = \frac{(f'_c)^{0,5}}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$As_{min1} = \frac{(30)^{0,5}}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$As_{min1} = 833,321 \text{ mm}^2$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y)} \times b \times d$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{(4 \times 420)} \times 400 \times 639$$

$$As_{min2} = 852 \text{ mm}^2$$

$$As_{min4} = 0,25 \times A_s \text{ Pasang (tumpuan negatif)}$$

$$As_{min4} = 0,25 \times 1140,398 = 285,1 \text{ mm}^2$$

Cek As_{min} diambil dari nilai tertinggi As_{min1} dan As_{min2} , $As_{Pasang} \geq As_{min}$ (OK)

Batasan kemungkinan tulangan :

$$\rho = \frac{As}{(b \times d)} = \frac{1140,398}{(400 \times 639)} = 0,00446 = 0,45\%$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$\rho_{max1} = 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{600}{600+420}\right)$$

$$\rho_{max1} = 0,0227 = 2,28\%$$

$$\rho_{max2} = 2,5\%$$

Cek $As_{max} \rho \leq \rho_{max}$ $0,45\% \leq 2,5\% \dots$ OK

Jarak tekan terjauh dari serat

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 46,958 \text{ mm}$$

$$a = 46,958 \text{ mm}$$

Kekuatan lentur nominal:

$$M_n = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_n = 1140,398 \times 420 \times \left(639 - \frac{46,958}{2}\right)$$

$$M_n = 298,814 \text{ kN/m}$$

Jarak tekan terjauh dari serat sampai ke sumbu bebas :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{46,958}{0,85} = 56,189 \text{ mm}$$

Regangan pada lokasi tulangan:

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \frac{(639 - 56,189)}{56,189} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = 0,031$$

Aspek reduksi:

$$\phi = 0,65 + \frac{(\epsilon_s - 0,002)}{0,003} \times 0,25$$

$$\phi = 0,967$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 0,967 \times 294,814 = 265,333 \text{ kN/m}$$

Cek Kapasitas $\phi M_n > M_u$, $265,333 > 212,2664$ (OK)

Luas tulangan dibutuhkan

$$As_{Desain} = \frac{M_u}{\left[f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)\right]}$$

$$As_{Desain} = \frac{212,2664}{\left[420 \times \left(639 - \frac{46,958}{2}\right)\right]}$$

$$As_{Desain} = 821,087 \text{ mm}^2$$

$$As_{Desain} = 821,087 \text{ mm}^2$$

Hasil Analisis

Hasil analisis pada pelat lantai

Tabel 1. Hasil analisis pada pelat lantai

No	Kontrol lendutan	Hari ke 2	Hari ke 3	Izin
1	$M_u < M_{cr}$	7,685	8,729	8,707
2	Lendutan elastis	2,891	2,261	8,333

Hasil analisis pada balok

Tabel 2. Hasil analisis pada balok 40x70

No	Kontrol	Terpasang	Izin (diperlukan)
1	M_u , tumpuan (-)	265,333	212,2664
2	M_u , tumpuan (+)	349,279	279,4233
3	M_u , lapangan (-)	349,279	279,4233
4	M_u , lapangan (+)	265,333	212,2664
5	As, tumpuan (-)	1.140,398	821,087
6	As, tumpuan (+)	1.520,531	1.094,782
7	As, lapangan (-)	1.520,531	1.094,782
8	As, lapangan (+)	1.140,398	821,087

KESIMPULAN

Dari hasil analisis pelat lantai dan balok, dapat disimpulkan bahwa desain strukurnya mampu dilakukan dengan bekisting sistem *fix shoring*. Pembongkaran bekisting dengan sistem *fix shoring* ditetapkan pada hari ke 3 dengan status semua izin sudah terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdunnafi, G., Wibowo, M. A., & Purwanggono, B. (2021). Kajian Perbandingan Pengaruh Penggunaan Bekisting Aluminium dan Perth Construction Hire (PCH) dalam Mewujudkan Lean Construction. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 26(2), 156-165. DOI: <http://dx.doi.org/10.32497/wahanats.v26i2.3130>
- Agustanto, K. (2013). Studi Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional dengan Bekisting Semi Sistem (Table Form) pada Proyek Gedung Bertingkat Banyak. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 1(1), 29-33. <https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/bentang/article/view/397>
- Amri, S. (2005) *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Badan Standardisasi Nasional (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Azmarningrum, E. C., Azhar, M., & Bangun, S. (2024). Analisis Struktur Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional dengan Bekisting Pelat Baja pada Kolom Kotak dan Kolom Bulat (Studi Kasus Pembangunan Cibinong City Mall 2). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(1), 105–110. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i1.14890>
- Doloksaribu, B., Hermanto, E. & Lubis, K. (2018) Analisa Perhitungan Kekuatan Perancah Terhadap Waktu Siklus Pengecoran Lantai untuk Memenuhi Keamanan Struktur Bangunan. *Skripsi. Repository Universitas Medan Area*. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/9581>
- Duntemann, J. F., Anderson, N. S., & Longinow, A. (1994). *Synthesis of Falsework, Formwork, and Scaffolding for Highway Bridge Structures*. United States: Federal Highway Administration. <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/898>
- Nasikhin, M. K. (2023). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Kolom Pada Proyek Pembangunan Passengger Terminal Building Bandara Internasional Dhoho Kediri. *Jurnal Vokasi Teknik Sipil*, 117-123. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/viteks/article/view/57333>
- Pangestu, G. A. (2023). Perbandingan Analisis Kekuatan Bekisting Pierhead Menggunakan Dua Tipe Perancah PT. Beton Perkasa Wijaksana (BPW). (Studi Kasus: Proyek 6 Ruas Toll Dalam Kota Seksi C1 Grogol – Kelapa Gading). *SI thesis, Universitas Mercu Buana Jakarta*. <https://repository.mercubuana.ac.id/77824/>.
- Sajekti, A. (2009) *Metode Kerja Bangunan Sipil*, Jakarta: Graha Ilmu.
- Semita, A. P., Julita, S. R., & Suropto, S. (2020). Pelaksanaan Pekerjaan Beton Bertulang Lantai 24 Menara BRI Gatot Subroto. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil* (pp. 129-137). <https://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/snts/article/view/3759>
- Wigbout, F. (1987). *Bekisting (Kotak Cetak)*. Jakarta: Erlangga.
- Wiyono, D. R., and Trisina, W. (2013). Analisis Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 20-37. <https://doi.org/10.28932/jts.v9i1.1367>