

BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum

Pembahasan yang di analisa pada pelaksanaan kerja praktek di proyek pembangunan gedung bertingkat Grand Mall Batam ini adalah untuk mengetahui daya dukung struktur kolom beton bertulang. Tujuan dari hasil analisa pelaksanaan kerja praktek ini diharapkan dapat memberikan gambaran, masukan dan pandangan kepada pemilik proyek untuk mengetahui kapasitas daya dukung beban maksimum yang dapat dipikul oleh struktur kolom bertulang rencana.

5.2 Dasar Peraturan

Dasar peraturan yang digunakan penulis untuk menganalisa struktur kolom beton bertulang pada proyek pembangunan gedung bertingkat ini adalah SK. SNI T-15-1991-03 dan ACI 319-05






5.3 Pembahasan Analisis

5.3.1 Data Analisis

Berikut ini adalah data dari struktur kolom beton bertulang yang akan di analisa:

Kode:	K-3
Koordinat:	M39, MQ
Bentuk:	Lingkar / Spiral
Dimensi:	Diameter 800 mm
Tulangan:	16 D22
Senggang:	D10-100/200
Pengikat:	D10-100/200
Mutu tulangan besi (f_y):	500 Mpa
Mutu beton ($f'c$):	K-300 (30 Mpa) (Ref. SNI 03-2847-2002)

Tabel 5.1 Data kolom K-3, sumber: Denah Proyek

LANTAI	LEVEL	MUTU BETON f_c (MPa)	Tipe Kolom		K-3
			Tulangan		
LANTAI ROOF ↑ LANTAI 3	-	30	DIMENSI	800x800	
			TULANGAN	16 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10-100/200	
LANTAI 3 ↑ LANTAI 2	-	30	DIMENSI	800x800	
			TULANGAN	16 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10-100/200	
LANTAI 2 ↑ LANTAI 1	-	30	DIMENSI	800x800	
			TULANGAN	16 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10-100/200	
LANTAI 1 ↑ GROUND	-	30	DIMENSI	800x800	
			TULANGAN	16 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10-100/200	
GROUND ↑ BASEMENT	-	30	DIMENSI	800x800	
			TULANGAN	16 D22	
			SENGKANG	D10-100/200	
			PENGIKAT	D10-100/200	

Gambar 5.1 Gambar Detail Kolom K-3, Sumber: Denah Proyek

5.3.2 Pembahasan

5.3.2.1 Analisis Pembebanan Struktur

PERHITUNGAN PEMBEBANAN STRUKTUR KOLOM

Marking Kolom K-3	Lantai	Area (m ²)	BEBAN MATI (DL)															BEBAN HIDUP (LL)															
			Kolom					Pelat Lantai					Balok					Plat Lantai		TOTAL	TOTAL ACCUM.	TOTAL	TOTAL ACCUM.										
			Height (m)	B (m)	H (m)	Dc (kN/m ³)	P (kN)	Jenis Beban	t (m)	Dc (kN/m ³)	Q (kN/m ²)	P (kN)	B (m)	H (m)	L (m)	Dc (kN/m ³)	P (kN)	TOTAL Pn DL (kN)	TOTAL ACCUM. Pn DL (kN)	TOTAL Pu DL (1.2) (kN)	TOTAL ACCUM. Pu DL (kN)	Q (kN/m ²)	P (kN)	TOTAL Pn LL (kN)	TOTAL ACCUM. Pn LL (kN)	TOTAL Pu LL (1.6) (kN)	TOTAL ACCUM. Pu LL (kN)						
	Atap	55.04	5.50	0.80	0.80	24.00	84.48	Beban sendiri slab Beban finishing slab Beban plafon dan rangka Beban instalasi ME	0.15 0.05	24.00 22.00	3.60 1.10 0.40 0.25	198.14 60.54 22.02 13.76	0.25 0.25 0.30 0.35 0.40	0.60 0.80 0.70 0.70 0.80	8.00 8.00 5.76 2.88 4.00 8.00	24.00 24.00 24.00 24.00 24.00 24.00	28.80 38.40 29.03 16.93 26.88 61.44					4.00	220.16										
SUBTOTAL (kN)						84.48										294.46										201.48			220.16				
	Lantai 3	55.04	5.00	0.80	0.80	24.00	76.80	Beban sendiri slab Beban finishing slab Beban plafon dan rangka Beban instalasi ME	0.15 0.05	24.00 22.00	3.60 1.10 0.40 0.25	198.14 60.54 22.02 13.76	0.25 0.25 0.35 0.35 0.40	0.60 0.70 0.70 0.70 0.80	8.00 8.00 14.88 24.00 8.00	24.00 24.00 24.00 24.00 24.00	28.80 57.75 87.49	580.43	580.43	696.51	696.51	2.50	137.60	220.16	220.16	352.26	352.26						
SUBTOTAL (kN)						76.80										294.46										174.04			137.60				
	Lantai 2	55.04	5.00	0.80	0.80	24.00	76.80	Beban sendiri slab Beban finishing slab Beban plafon dan rangka Beban instalasi ME	0.15 0.05	24.00 22.00	3.60 1.10 0.40 0.25	198.14 60.54 22.02 13.76	0.25 0.25 0.30 0.35 0.50	0.60 0.70 0.70 0.70 0.70	8.00 8.00 5.76 6.88 8.00	24.00 24.00 24.00 24.00 24.00	28.80 33.60 29.03 40.45 67.20	545.31	1,125.74	654.37	1,350.88	2.50	137.60	137.60	357.76	220.16	572.42						
SUBTOTAL (kN)						76.80										294.46										199.08			137.60				
	Lantai 1	96.00	6.00	0.80	0.80	24.00	92.16	Beban sendiri slab Beban finishing slab Beban plafon dan rangka Beban instalasi ME	0.13 0.01	24.00 22.00	3.12 1.11 0.40 0.25	299.52 10.56 38.40 24.00	0.25 0.25 0.35 0.35	0.50 0.70 0.60 0.70	16.00 8.00 8.00 12.00	24.00 24.00 24.00 24.00	48.00 33.60 40.32 70.56	570.35	1,696.09	684.42	2,035.30	2.50	240.00	137.60	495.36	220.16	792.58						
SUBTOTAL (kN)						92.16										372.48										192.48			240.00				
	Ground	59.00	3.65	0.80	0.80	24.00	56.06	Beban sendiri slab Beban finishing slab Beban plafon dan rangka Beban instalasi ME	0.20 0.05	24.00 22.00	4.80 1.10 0.40 0.25	283.20 105.60 38.40 24.00	0.25 0.25 0.35 0.35	0.50 0.65 0.60 0.70	6.75 8.00 3.38 12.00	24.00 24.00 24.00 24.00	20.25 31.20 17.01 70.56	657.12	2,353.21	788.54	2,823.85	4.00	236.00	240.00	735.36	384.00	1,176.58						
SUBTOTAL (kN)						56.06										451.20										139.02			236.00				
	Basement																																
GRAND TOTAL (kN)																	2,999.49		3,599.39				971.36			1,554.18							

TOTAL BEBAN KOLOM
 $P_n = P_n DL + P_n LL$ 3,970.85 kN
 $P_u = P_u DL + P_u LL$ 5,153.56 kN

Tabel 5.2 Tabel Analisa Pembebanan Struktur

5.3.2.2 Analisis Struktur Kolom Beton Bertulang

Kelangsingan kolom K-3 dihitung dengan kolom tertinggi di antara tiap lantainya yaitu 6,000 mm, dengan sendi jepit-jepit dimana $k= 0.5$,

Rumus:

$$\lambda = \frac{k l}{r}$$

$$\lambda = \frac{(0.5) (6,000 \text{ mm})}{200 \text{ mm}}$$

$$\lambda = 15$$

Dengan parameter kontrol desain:

$$\lambda < 22 = \textit{kolom pendek}$$

$$\lambda > 22 = \textit{kolom panjang}$$

$$\lambda = 15 < 22 \text{ (Kolom K-3 adalah kolom pendek)}$$

Dimana,

$$r = 0.25 h$$

$$r = 0.25 (800 \text{ mm})$$

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

Dengan keterangan sebagai berikut:

λ = rasio kelangsingan kolom

k = konstanta jenis sendi pada ujung kolom

r = jari-jari girasi

Kolom K3 terletak di kolom tengah sehingga $e = 0$ atau e yang ada sangat minim.

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

$$e = \frac{0 \text{ kN}}{5,153.56 \text{ kN}}$$

$$e = 0$$

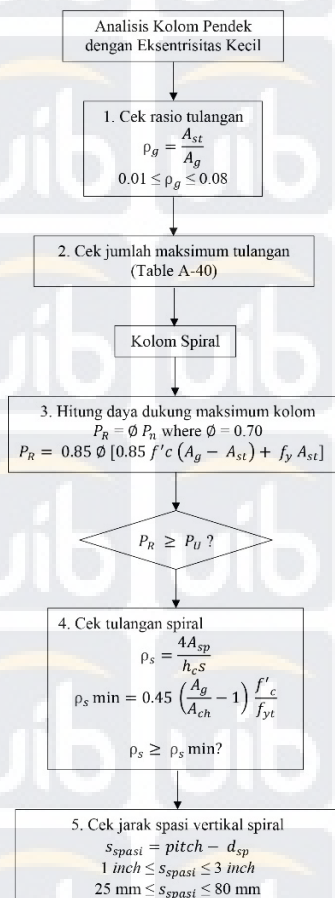
Dengan keterangan sebagai berikut:

e = eksentrisitas kolom

M_u = momen kolom ultimate

P_u = beban axial kolom ultimate (didapat dari analisis pembebanan struktur).

Berdasarkan hasil dari perhitungan diatas mengenai λ dan e , maka kolom K-3 adalah kolom pendek dengan eksentrisitas kecil. Struktur kolom beton bertulang dapat dianalisis dengan diagram alir dibawah ini:



Gambar 5.2 Diagram Alir Analisis Struktur Kolom Beton Bertulang

Langkah 1 : Cek rasio tulangan (ρ_g)

Rumus:

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 \& ACI 319-05})$$

$$\rho_g = \frac{6,082 \text{ mm}^2}{502,655 \text{ mm}^2}$$

$$\rho_g = 0.012 = 1.2 \%$$

Dengan parameter kontrol desain:

$$1\% \leq \rho_g \leq 8\% \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 \& ACI 319-05})$$

$$1\% \leq \rho_g = 1.2\% \leq 8\% \quad (\text{OK, memenuhi parameter kontrol desain})$$

Dimana,

$$A_{st} = \frac{1}{4} \pi d^2 n_{qty}$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \pi 22^2 16$$

$$A_{st} = 6,082.12 \text{ mm}^2 \approx 6,082 \text{ mm}^2$$

$$A_g = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_g = \frac{1}{4} \pi 800^2$$

$$A_g = 502,654.82 \text{ mm}^2 \approx 502,655 \text{ mm}^2$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

ρ_g = Rasio tulangan

A_{st} = Luas penampang besi tulangan kolom

A_g = Luas penampang kotor dari kolom

π = radian (3.14 atau $\frac{22}{7}$)

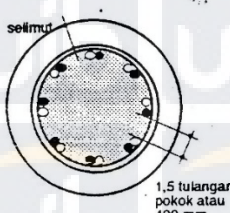
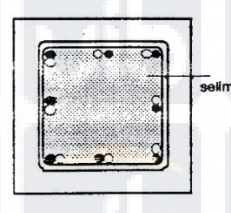
d = diameter besi tulangan kolom (pada rumus A_{st})

n_{qty} = jumlah besi tulangan kolom

d = diameter kolom (pada rumus A_g)

Langkah 2: Cek jumlah maksimum tulangan

TABEL A-40
JUMLAH MAKSIMUM BATANG TULANGAN DALAM SATU BARIS
PENULANGAN KOLOM

DIAMETER TULANGAN SPIRAL / SENGKANG	LEBAR INTI = KOLOM - 2 x (SELIMUT)	LUAS PENAMPANG INTI (LINGKARAN) (mm ²)													LUAS PENAMPANG INTI (PERSEGI) (mm ²)												
			JUMLAH BATANG													JUMLAH BATANG											
			Diameter Tulangan Pokok													Diameter Tulangan Pokok											
			16	18	19	20	22	25	28	29	32	36		16	18	19	20	22	25	28	29	32	36				
D10	220	38013	8	8	7	7	7	6	6	-	-	-	48400	8	8	8	8	8	8	4	4	4	4				
	240	45239	9	8	8	8	7	7	6	6	6	-	57600	8	8	8	8	8	8	8	8	4	4				
	260	53093	10	9	9	9	8	7	7	7	6	6	67600	12	12	8	8	8	8	8	8	8	4				
	280	61575	11	10	10	9	9	8	8	7	7	6	78400	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8				
	300	70686	12	11	11	10	10	9	8	8	7	7	90000	12	12	12	12	12	8	8	8	8	8				
	320	80425	12	12	11	11	10	10	9	9	8	7	102400	16	12	12	12	12	12	8	8	8	8				
	340	90792	13	13	12	12	11	10	9	9	9	8	115600	16	16	12	12	12	12	12	12	8	8				
	360	101788	14	13	13	13	12	11	10	10	9	8	129600	16	16	16	12	12	12	12	12	8	8				
	380	113411	15	14	14	13	13	12	11	11	10	9	144400	16	16	16	12	12	12	12	12	8	8				
D12	400	125664	16	15	14	14	13	12	11	11	10	9	160000	20	16	16	16	16	16	12	12	12	12				
	420	138544	17	16	15	15	14	13	12	12	11	10	176400	20	20	16	16	16	16	12	12	12	12				
	440	152053	18	16	16	16	15	14	13	12	11	11	193600	20	20	20	20	16	16	16	16	12	12				
	460	166190	18	17	17	16	15	14	13	13	12	11	211600	20	20	20	20	20	16	16	16	16	12	12			
	480	180956	19	18	18	17	16	15	14	14	13	12	230400	24	20	20	20	20	16	16	16	16	16	12			
	500	196350	20	19	18	18	17	16	15	14	13	12	250000	24	24	20	20	20	20	16	16	16	16	16			
	520	212372	21	20	19	19	18	16	15	15	14	13	270400	24	24	24	24	20	20	16	16	16	16	16			
	540	229022	22	21	20	19	18	17	16	16	15	13	291600	28	24	24	24	24	20	20	20	16	16	16			
	560	246300	23	21	21	20	19	18	17	16	15	14	313600	28	24	24	24	24	20	20	20	16	16	16			
D13	580	264208	24	22	22	21	20	18	17	17	16	14	336400	28	28	24	24	24	20	20	20	20	16	16			
	600	282743	24	23	23	22	21	19	18	17	16	15	360000	28	28	28	24	24	20	20	20	16	16				
	620	301907	25	24	23	23	21	20	18	18	17	16	384400	32	28	28	28	24	24	24	20	20	16				
	640	321699	26	25	24	23	22	21	19	19	17	16	409600	32	28	28	28	28	24	24	24	20	20	16			
	660	342119	27	25	25	24	23	21	20	19	18	17	435600	32	32	32	28	28	24	24	24	20	20	16			
	680	363168	28	26	26	25	24	22	20	20	19	17	462400	36	32	32	32	28	28	28	24	24	20	16			
	700	384845	29	27	27	26	24	23	21	21	19	18	490000	36	32	32	32	28	28	28	24	24	20	16			

Tabel 5.3 Tabel Jumlah Maksimum Tulangan, sumber: SNI T-15-1991-03

Berdasarkan tabel jumlah maksimum tulangan diatas, direkomendasikan dengan spiral #5 dengan jumlah maksimum tulangan 24 buah (Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9 dan ACI 319-05). Dengan ini, maka dapat disimpulkan bahwa kolom K-3 pada koordinat M39, MQ dengan jumlah tulangan 16 buah memenuhi parameter kontrol desain.

Langkah 3 : Hitung daya dukung maksimum kolom (P_R)

Kolom K3 pada koordinat M39, MQ adalah kolom dengan penulangan spiral maka:

Rumus:

$$P_R = \phi P_n, \phi = 0.70 \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.3-1 dan ACI 319-05})$$

$$P_R = 0.85 \phi [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

$$P_R = 0.85 \cdot 0.70 [0.85 \cdot 30 \text{ Mpa} (502,655 \text{ mm}^2 - 6,082 \text{ mm}^2) + 500 \text{ Mpa} \cdot 6,082 \text{ mm}^2]$$

$$P_R = 9,343,648.84 \text{ N} = 9,343.65 \text{ kN} \approx 9,343 \text{ kN}$$

Dengan parameter kontrol desain:

$$P_R \geq P_U \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.3-1 dan ACI 319-05})$$

$$P_R = 9,344 \text{ kN} \geq P_U = 5,153.56 \text{ kN} \text{ (OK, memenuhi parameter kontrol desain)}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

P_R = Daya dukung maksimum kolom

ϕ = Faktor keamanan

$f'c$ = Mutu beton

A_g = Luas penampang kotor dari kolom

A_{st} = Luas penampang besi tulangan kolom

f_y = Mutu tulangan besi

P_U = Total beban axial struktur kolom beton bertulang

Langkah 4 : Cek tulangan spiral (ρ_s)

Rumus:

Dikarenakan perbedaan kecil antara D_c dan D_s , maka

$$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{D_c (s)} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 4 dan}$$

ACI 319-05)

$$\rho_s = \frac{4 (79 \text{ mm})}{720 \text{ mm} (100 \text{ mm})}$$

$$\rho_s = 0.00438 \approx 0.004$$

$$\rho_s \text{ min} = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9.3 dan ACI 319-05})$$

$$\rho_s \text{ min} = 0.45 \left(\frac{502,655 \text{ mm}^2}{407,150 \text{ mm}^2} - 1 \right) \frac{30 \text{ Mpa}}{500 \text{ Mpa}}$$

$$\rho_s \text{ min} = 0.00633 \approx 0.006$$

Dengan parameter kontrol desain:

$$\rho_s \geq \rho_s \text{ min} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 4 dan ACI 319-05})$$

$$\rho_s = 0.004 \leq \rho_s \text{ min} = 0.006 \quad (\text{TDK, memenuhi parameter kontrol desain})$$

Dimana,

$$A_{sp} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_{sp} = \frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2$$

$$A_{sp} = 78.54 \text{ mm}^2 \approx 79 \text{ mm}^2$$

$$D_c = h - 2 d_c$$

$$D_c = 800 \text{ mm} - (2 (40 \text{ mm}))$$

$$D_c = 720 \text{ mm}$$

$$D_s = D_c - d_{sp}$$

$$D_s = 720 \text{ mm} - 10 \text{ mm}$$

$$D_s = 710 \text{ mm}$$

$$A_c = \frac{1}{4} \pi d_c^2$$

$$A_c = \frac{1}{4} \pi (720 \text{ mm})^2$$

$$A_c = 407,150.41 \text{ mm}^2 \approx 407,150 \text{ mm}^2$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

A_{sp} = Luas penampang tulangan spiral

π = radian (3.14 atau $\frac{22}{7}$)

D_s = Diameter spiral dari pusat ke pusat

D_c = Diameter inti kolom (dari tepi ke tepi terluar spiral)

s = jarak spasi tulangan spiral pusat ke pusat (pitch)

A_g = Luas penampang kotor dari kolom

A_g = Luas penampang kotor dari kolom

A_c = Luas penampang lintang inti kolom (tepi luar ke tepi luar spiral)

f'_c = Mutu beton

f_y = Mutu (tegangan leleh) tulangan besi

Langkah 5: Cek jarak spasi vertikal spiral

Rumus:

$$s_{spasi} = pitch - d_{sp} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 dan ACI 319-05})$$

$$s_{spasi} = 100mm - 10mm$$

$$s_{spasi} = 90mm$$

Dengan parameter kontrol desain:

$$1 \text{ inch} \leq s_{spasi} \leq 3 \text{ inch} \quad (\text{Ref. ACI 319-05})$$

$$25 \text{ mm} \leq s_{spasi} \leq 80 \text{ mm} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03})$$

$$25 \text{ mm} \leq s_{spasi} \leq 80 \text{ mm} \quad (\text{Ref. SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 4})$$

$$25 \text{ mm} \leq s_{spasi} = 90 \text{ mm} \geq 80 \text{ mm} \quad (\text{TDK, memenuhi parameter kontrol desain})$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

$pitch$ = jarak sengkang spiral

d_{sp} = diameter tulangan spiral

5.3.2.3 Analisis Struktur Kolom dengan Pendekatan Empiris Persamaan Whitney

Perhitungan ekuivalensi kolom lingkaran menjadi penampang segi-empat.

Tebal penampang segi-empat ekuivalen:

$$h = 0.8 (h \text{ kolom})$$

$$h = 0.8 (800 \text{ mm})$$

$$h = 640 \text{ mm}$$

Tebal penampang segi-empat ekuivalen:

$$b = \frac{A_g}{0.8 (h \text{ kolom})}$$

$$b = \frac{502,655 \text{ mm}^2}{0.8 (800 \text{ mm})}$$

$$b = 785.40 \text{ mm} \approx 785 \text{ mm}$$

Luas tulangan ekuivalen:

$$A_s = A_{s'} = \frac{1}{2} A_{st}$$

$$A_s = A_{s'} = \frac{1}{2} 6,082 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s'} = 3,041 \text{ mm}^2$$

Dimana jarak antara lapisannya adalah

$$s_{d-d'} = \frac{2D_s}{3}$$

$$s_{d-d'} = \frac{2 (710 \text{ mm})}{3}$$

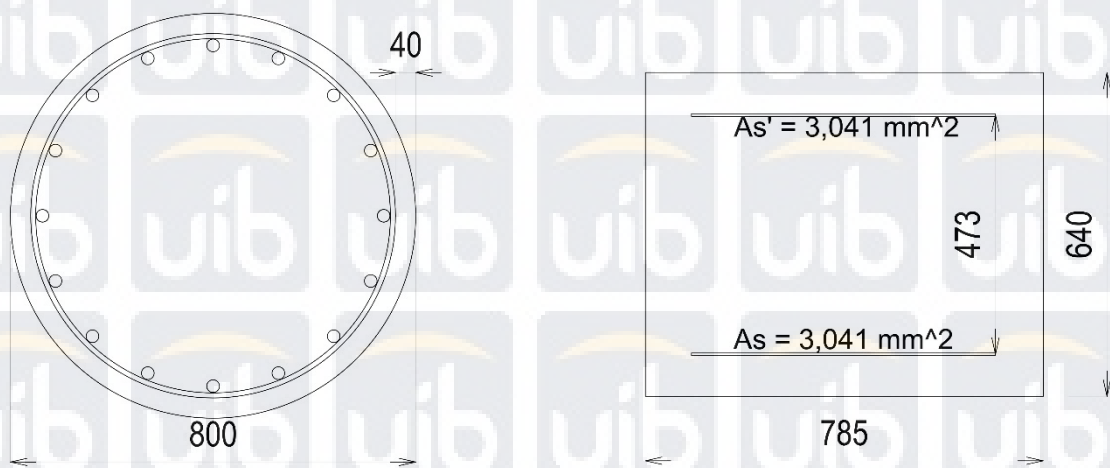
$$s_{d-d'} = 473.33 \text{ mm} \approx 473 \text{ mm}$$

Tebal selimut beton equivalen adalah

$$d_c = \frac{h - s_d - d'}{2}$$

$$d_c = \frac{640 \text{ mm} - 473 \text{ mm}}{2}$$

$$d_c = 83.5 \text{ mm} \approx 83 \text{ mm}$$



Gambar 5.3 Ekuivalensi Kolom Lingkaran Menjadi Penampang Segi-Empat

Untuk mengetahui keruntuhan tarik dan tekan pada kolom adalah sebagai berikut:

Rumus untuk keruntuhan tarik:

$$P_n = 0.85 f'_c h^2 \left[\sqrt{\left(\frac{0.85 e}{h} - 0.38\right)^2 + \frac{\rho_g m D_s}{2.5 h}} + \left(\frac{0.85 e}{h} - 0.38\right) \right]$$

$$P_n = 0.85(30 \text{ Mpa})(800 \text{ mm})^2 \left[\sqrt{\left(\frac{0.85(0)}{800} - 0.38\right)^2 + \frac{(0.012)(19.61)(710 \text{ mm})}{2.5(800 \text{ mm})}} \right]$$

$$+ \left(\frac{0.85(0)}{800} - 0.38\right) \right]$$

$$P_n = 1,590,043.84 \text{ N} = 1,590.04 \text{ kN} \approx 1,590 \text{ kN}$$

Rumus untuk keruntuhan tekan:

$$P_n = \frac{A_{st} f_y}{\left(\frac{3e}{D_s}\right) + 1} + \frac{A_g f'_c}{\left[\frac{9.6 h e}{(90.8 h + 0.67 D_s)^2}\right] + 1.18}$$

$$P_n = \frac{6,082 \text{ mm}^2 \cdot 500 \text{ Mpa}}{\left(\frac{3(0)}{710 \text{ mm}}\right) + 1} + \frac{502,655 \text{ mm}^2 \cdot 30 \text{ Mpa}}{\left[\frac{9.6(800 \text{ mm})(0)}{(90.8(800 \text{ mm}) + 0.67(710 \text{ mm}))^2}\right] + 1.18}$$

$$P_n = 15,820,364.41 \text{ N} = 15,820.36 \text{ kN} \approx 15,820 \text{ kN}$$

Dimana,

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$m = \frac{500 \text{ Mpa}}{0.85 (30 \text{ Mpa})}$$

$$m = 19.61$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

P_n = Daya dukung maksimum kolom

f'_c = Mutu beton

h = diameter kolom

e = eksentrisitas kolom

ρ_g = Rasio tulangan

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

D_s = Diameter spiral dari pusat ke pusat

A_{st} = Luas penampang besi tulangan kolom

f_y = Mutu (tegangan leleh) tulangan besi

A_g = Luas penampang kotor dari kolom

5.3.2.4 Analisis Struktur Kolom dengan Diagram Interaksi

a. Perhitungan untuk keruntuhan seimbang ($f_s = f_y$)

Gaya internal (netral) pada beton tekan

$$C_b = d \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_y}$$

$$C_b = 557 \text{ mm} \frac{0.003}{0.003 + 0.0025}$$

$$C_b = 303.81 \text{ mm} \approx 303 \text{ mm}$$

Memberikan tinggi blok tegangan tekan balok sebesar:

$$a = \beta \cdot C_b$$

$$a = 0.85 (303 \text{ mm})$$

$$a = 257.55 \text{ mm} \approx 257 \text{ mm}$$

Kondisi keruntuhan seimbang, $f_s = f_y$

Gaya tekan pada tulangan baja :

$$f'_s = \epsilon_u E_s \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y$$

$$f'_s = 0.003 (200,000 \text{ Mpa}) \frac{303 \text{ mm} - 83 \text{ mm}}{303 \text{ mm}} \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f'_s = 435.64 \text{ Mpa} \approx 435 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa}$$

Gaya tekan pada beton:

$$C = 0.85 f'_c a b$$

$$C = 0.85 (30 \text{ Mpa})(257 \text{ mm})(640 \text{ mm})$$

$$C = 4,194,240 \text{ N} = 4,194.24 \text{ kN} \approx 4,194 \text{ kN}$$

Sehingga, dapat diperhitungkan

Beban seimbang (P_b)

$$P_b = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s$$

$$P_b = 0.85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 257 \text{ mm} \cdot 640 \text{ mm} + 3,041 \text{ mm}^2 \cdot 500 \text{ Mpa} \\ - 3,041 \text{ mm}^2 \cdot 500 \text{ Mpa}$$

$$P_b = 4,194,240 \text{ N} = 4,194.24 \text{ kN} \approx 4,194 \text{ kN}$$

Momen seimbang (M_b)

$$M_b = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \cdot f_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_b = 0.85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 257 \text{ mm} \cdot 640 \text{ mm} \left(\frac{785 \text{ mm}}{2} - \frac{257 \text{ mm}}{2} \right) +$$

$$3,041 \text{ mm}^2 \cdot 500 \text{ Mpa} \left(\frac{785 \text{ mm}}{2} - 83 \text{ mm} \right)$$

$$+ 3,041 \text{ mm}^2 \cdot 500 \text{ Mpa} \left(557 \text{ mm} - \frac{785 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_b = 1,827,996,360 \text{ Nmm} = 1,828 \text{ kNm}$$

Eksentrisitas Seimbang (e_b)

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$$e_b = \frac{1,828 \text{ KNm}}{4,194 \text{ kN}}$$

$$e_b = 435.86 \approx 435 \text{ mm}$$

Dimana,

$$d = h - d'$$

$$d = 640 \text{ mm} - 83 \text{ mm}$$

$$d = 557 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_u = 0.003$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$\varepsilon_y = 500 \text{ Mpa} / 200,000 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_y = 0.0025$$

b. Keruntuhan Tarik ($f_s = f_y$) memilih ($c < c_b$), $c = 200 \text{ mm}$

Gaya tekan pada penampang baja

$$f'_s = \varepsilon_u \times E_s \times \frac{c - d'}{c}$$

$$f'_s = 0.003 \times 200,000 \text{ Mpa} \times \frac{200 \text{ mm} - 83 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$f'_s = 351 \text{ Mpa}$$

Memberikan tinggi blok tegangan tekan balok sebesar:

$$a = \beta \cdot c$$

$$a = 0.85 (200 \text{ mm})$$

$$a = 170 \text{ mm}$$

Gaya tekan pada beton:

$$C = 0.85 f'_c a b$$

$$C = 0.85 (30 \text{ Mpa})(170 \text{ mm})(785 \text{ mm})$$

$$C = 3,402,975 \text{ N} = 3,402.97 \text{ kN} \approx 3,402 \text{ kN}$$

Kapasitas Gaya Aksial

$$P_n = C + A'_s f'_s - A_s f_s$$

$$P_n = 3,402 \text{ kN} + 3,041 \text{ mm}^2 351 \text{ Mpa} - 3,041 \text{ mm}^2 500 \text{ Mpa}$$

$$P_n = 2,948,89 \text{ kN} \approx 2,948 \text{ kN}$$

Kapasitas Momen

$$M_n = C \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_n = 3,402 \text{ kN} \left(\frac{785 \text{ mm}}{2} - \frac{170 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$+ 3,041 \text{ mm}^2 351 \text{ Mpa} \left(\frac{785 \text{ mm}}{2} - 83 \text{ mm} \right)$$

$$+ 3,041 \text{ mm}^2 500 \text{ Mpa} \left(557 \text{ mm} - \frac{785 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_n = 1,626,594.76 \text{ kNmm} = 1,626.59 \text{ kNm} \approx 1,626 \text{ kNm}$$

Eksentrisitas

$$e = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e = \frac{1,626 \text{ kNm}}{2,948 \text{ kN}}$$

$$e = 0.55 \text{ m} = 551.56 \text{ mm} \approx 551 \text{ mm} \quad (\text{OK, diatas nilai seimbang})$$

c. Keruntuhan tekan, memilih ($c > c_b$), $c = 500 \text{ mm}$

Memberikan tinggi blok tegangan tekan balok sebesar:

$$a = \beta c$$

$$a = 0.85 (500 \text{ mm}) = 425 \text{ mm}$$

Gaya tekan pada beton:

$$C = 0.85 f'_c a b$$

$$C = 0.85 (30 \text{ Mpa}) (425 \text{ mm}) (640 \text{ mm})$$

$$C = 6,936,000 \text{ N} = 6,936 \text{ kN}$$

Gaya tarik penampang baja pada sisi kiri kolom

$$f_s = \epsilon_u E_s \frac{d - c}{c}$$

$$f_s = 0.003 (200,000 \text{ Mpa}) \frac{557 \text{ mm} - 500 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}$$

$$f_s = 92.4 \approx 92 \text{ Mpa}$$

Gaya tekan pada penampang baja

$$f_{s'} = \epsilon_u E_s \frac{c - d'}{c}$$

$$f_{s'} = 0.003 (200,000 \text{ Mpa}) \frac{500 \text{ mm} - 83 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}$$

$$f_{s'} = 500.4 \text{ Mpa} \approx 500 \text{ Mpa} \text{ tetapi } \leq 500 \text{ Mpa}$$

Kapasitas Gaya aksial

$$P_n = C + A'_s f'_s + A_s f_s$$

$$P_n = 6,936 \text{ kN} + 3,041 \text{ mm}^2 (500 \text{ Mpa}) + 3,041 \text{ mm}^2 (92 \text{ Mpa})$$

$$P_n = 8,736.27 \text{ kN} \approx 8,736 \text{ kN}$$

Kapasitas Momen

$$M_n = C \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_n = 6,936 \text{ kN} \left(\frac{785 \text{ mm}}{2} - \frac{420 \text{ mm}}{2} \right) + 3,041 \text{ mm}^2 (500 \text{ Mpa}) \left(\frac{785 \text{ mm}}{2} - 83 \text{ mm} \right) - 3,041 \text{ mm}^2 (92 \text{ Mpa}) \left(557 \text{ mm} - \frac{785 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_n = 1,690,392.26 \text{ kNmm} = 1,690.39 \text{ kNm} \approx 1,690 \text{ kNm}$$

Eksentrisitas

$$e = \frac{M_n}{P_n}$$

$$e = \frac{1,690 \text{ kNm}}{8,736 \text{ kN}}$$

$$e = 0.19 \text{ m} = 193.45 \text{ mm} \approx 193 \text{ mm} \text{ (OK, dibawah nilai seimbang)}$$

d. Kekuatan axial kolom, jika beban konsentris pda $c = \sim$ dan $e = 0$

$$P_n = 0.85 f'_c b h + A_{st} f_y$$

$$P_n = 0.85 (30 \text{ Mpa})(640 \text{ mm})(785 \text{ mm}) + (6,082 \text{ mm}^2) (500 \text{ Mpa})$$

$$P_n = 15,852,200 \text{ N} = 15,852.2 \text{ kN} \approx 15,852 \text{ kN}$$

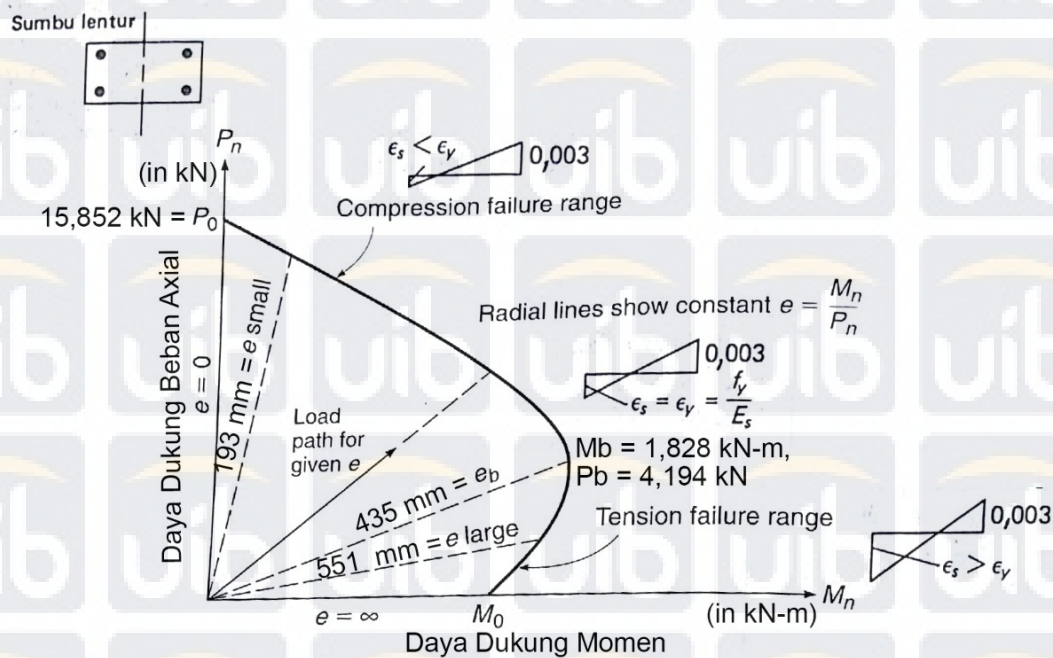
Reduksi terhadap luas penampang baja dihiraukan pada perhitungan di atas, berikut adalah perhitungan dimana reduksi luas penampang baja diperhitungkan.

$$P_n = 0.85 f'_c (b h - A_{st}) + A_{st} f_y$$

$$P_n = 0.85 (30 \text{ Mpa})((640 \text{ mm})(785 \text{ mm}) - 6,082 \text{ mm}^2)$$

$$+ (6,082 \text{ mm}^2) (500 \text{ Mpa})$$

$$P_n = 15,697,109 \text{ N} = 15,697.11 \text{ kN} \approx 15,697 \text{ kN}$$



Gambar 5.4 Diagram interaksi kolom

5.3.3 Kendala Implementasi

Keluaran / hasil dari pembahasan analisis struktur kolom beton bertulang di atas dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pemilik proyek untuk keputusan pengembangan kedepannya. Khususnya dengan mengetahui daya dukung maksimum kolom, pemilik proyek dapat mempertimbangkan untuk pengembangan kedepannya secara parallel ke atas dengan menambah jumlah lantai. Namun perlu diperhitungkan juga total beban axial struktur kolom beton bertulang yang akan direncanakan, daya dukung maksimum tanah dan pondasi serta beban angin (tergantung dengan tinggi gedung yang akan direncanakan) dan beban gempa (sesuai dengan aturan SNI yang berlaku).