

SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) STRUKTUR BETON BERTULANG PADA GEDUNG GRAHA SIANTAR TOP SURABAYA

Betania Mahendrayu, Wahyu Kartini
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim
e-mail: wahyukartini@yahoo.com

ABSTRAK

Struktur gedung Graha Siantar Top yang letaknya pada daerah gempa menengah (zona gempa 3) dimodifikasi menjadi daerah dengan resiko gempa kuat (zona gempa 5) maka perhitungan yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sedangkan modifikasi terhadap gedung, antara lain atap struktur baja dimodifikasi menggunakan pelat atap beton, sehingga semua struktur gedung beton bertulang. SRPMK adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial untuk daerah resiko gempa tinggi (wilayah gempa 5 dan 6). Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), beban lateral dan beban gravitasi dipencarkan terhadap setiap tingkat lantai yang didistribusikan kepada semua balok dan kolom dengan pendetailan yang khusus di wilayah gempa tinggi. Analisis untuk struktur gedung simetris adalah analisis gempa *statik ekuivalen*. Metode perencanaan meliputi struktur utama yaitu pendimensian dan penulangan balok induk, kolom, dan hubungan balok kolom. Dalam perencanaan struktur gedung Graha Siantar Top ini telah memenuhi konsep kolom kuat balok lemah sesuai SNI 2847 pasal 23.4.2.2. Pendimensian dan penulangan balok antara lain : lantai atap dimensi 35/70 dengan jarak 10 m digunakan tulangan longitudinal D22 dan sengkang Ø10, pada dimensi 30/40 dengan jarak 4 m dan 30/50 dengan jarak 6 m digunakan tulangan longitudinal D16 dan sengkang Ø10, sedangkan pada lantai 2-7 dimensi 35/70 dengan jarak 10 m digunakan tulangan longitudinal D25 dan sengkang Ø10, pada dimensi 30/40 dengan jarak 4 m dan 30/50 dengan jarak 6 m digunakan tulangan longitudinal D22 dan sengkang Ø10. Perencanaan kolom dengan dimensi 70/70 digunakan tulangan longitudinal 16D25 dan sengkang Ø12. Pada hubungan balok kolom tepi dan tengah, tulangan transversal 4Ø12 setinggi 400 mm.

Kata kunci : gempa statik ekuivalen, hubungan balok kolom, SRPMK

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan gedung Graha Siantar Top yang letaknya pada daerah gempa menengah (zona gempa 3) dimodifikasi menjadi daerah dengan resiko gempa kuat (zona gempa 5) maka perhitungan yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sedangkan modifikasi terhadap gedung, antara lain atap struktur baja dimodifikasi menggunakan pelat atap beton, sehingga semua struktur gedung beton bertulang.

Perencanaan pada gedung ini adalah untuk mendimensi penulangan struktur gedung dan hubungan balok-kolom akibat beban gravitasi dan beban lateral dengan sistem rangka pemikul momen khusus pada kasus daerah rawan gempa sesuai dengan

peraturan SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Pengertian dari Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah suatu sistem rangka ruang dalam dimana komponen – komponen struktur dan join – joinnya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dipakai untuk daerah dengan resiko gempa tinggi (wilayah gempa 5 dan 6).

Peraturan yang Digunakan

Perencanaan penelitian ini akan menggunakan peraturan-peraturan yang berlaku:

- SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung,
- SNI 03-1726-2002 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung,
- SNI 03-1727-1989 mengenai Tata Cara Perhitungan Pembebanan untuk Bangunan Rumah dan Gedung.

Pembebanan Struktur Utama Kombinasi Pembebanan

Dimana kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 11.2 :

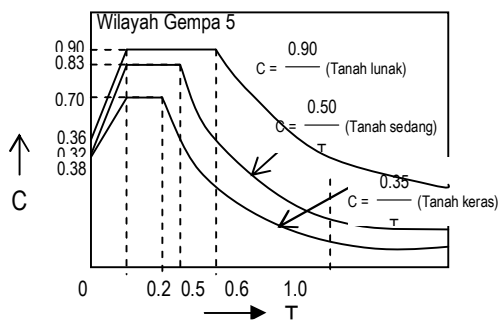
$$U = 1.4 D$$

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

$$U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.0 E$$

Konsep Desain Mutu Bahan

Kuat tekan beton (f_c') = 30 Mpa. Dengan wilayah gempa WG 5 yang kegempaanannya termasuk paling tinggi.



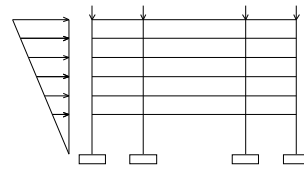
Gambar 1. Grafik Respons Spektrum Gempa Rencana

Perencanaan gedung Graha Siantar Top menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sehingga nilai faktor daktilitas maksimum (μ_m) = 5.2, faktor reduksi gempa maksimum (R_m) = 8.5, faktor tahanan lebih total (f) = 2.8. Jenis Tanah Setempat diasumsikan menggunakan tanah lunak dan gedung Graha Siantar Top termasuk kategori gedung umum yang mempunyai Faktor Keutamaan (I) = 1,0.

Pengaruh gempa rencana untuk struktur gedung beraturan dengan tinggi tidak lebih dari 40 m, sehingga analisis

gempa yang digunakan yaitu analisis statik equivalen.

Sistem Struktur



Gambar 2. Pemodelan Struktur SRPM

Analisa struktur untuk distribusi beban, pengaruh retak-retak pada komponen-komponen struktur akibat beban gempa juga harus diperhitungkan, pada perhitungan Kinerja Batas Layan (Δ_s) Gedung Graha Siantar Top ini bertingkat 8 lantai dengan tinggi 31,5 m sehingga pengaruh P - Δ tidak diperhitungkan.

Waktu Getar Alami Fundamental (T_1)

- Pasal 6.2.2 menyebut T_1 empiris :
$$T_1 = 0,06 \cdot h^{3/4}$$
- Pasal 5.6 mensyaratkan T_1 harus lebih kecil dari $\xi \cdot n$ ($T_1 < \xi \cdot n$)
- Nilai T_1 dari hasil empiris tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari hasil T yang dihitung rumus Rayleigh.

$$T_{ray} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \dots \dots \dots (1)$$

Distribusi dari V

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_i \dots \dots \dots (2)$$

Pembatasan Penyimpangan Lateral pada SNI 03-1726-2002 pasal 8, simpangan antara tingkat akibat pengaruh gempa nominal dibedakan dua macam :

- Kinerja Batas Layan (KBL)
$$KBL \leq \frac{0,03}{R} \cdot h_1 \leq 30 \text{ mm}$$
- Kinerja Batas Ultimit (KBU)
$$KBU \leq 0,7 R \times (KBL) \text{ atau } \leq 0,02 h_1$$

Ketentuan khusus untuk perencanaan gempa dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)
Dimensi balok dan kolom

1. Merencanakan panjang balok.

$$h = \frac{1}{16} \cdot L \cdot \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

2. Merencanakan dimensi kolom

$$\frac{l_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{l_{balok}}{L_{balok}}$$

Penulangan Balok dan Kolom

$$A_s \text{perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

Komponen Struktur Lentur

1. Komponen-komponen struktur pada system rangka pemikul momen khusus (SRPMK) harus dapat:

- a. Memikul gaya akibat beban gempa
- b. Direncanakan untuk memikul lentur

2. Komponen struktur harus memenuhi syarat :

- a. Gaya aksial tekan terfaktor tidak boleh melebihi $0,1 \cdot A_g \cdot f_c$.
- b. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
- c. Lebarnya tidak boleh kurang dari 250 mm.

Tulangan Transversal

- Pada komponen struktur penahan Struktur Pemikul Beban Lateral (SPBL) pada perhitungan gaya geser harus kontrol dengan SNI 2847 pasal 23.3.4.2 yang menyatakan $V_c = 0$:

1. Gaya geser akibat $M_{pr} > 0,5 \cdot (M_{pr} + B \cdot \text{Gravitasi})$
2. Gaya aksial tekan $< \frac{A_g \cdot f_c'}{20}$

- Jarak spasi tulangan (S)

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot b}{V_s}$$

$$\rho_g \geq 0,01 \text{ dan } \rho_g \leq 0,06$$

Luas sengkang tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} = 0,3 \left(s \cdot h_c \cdot f_c' / f_{yh} \right) \left[(A_g / A_{ch}) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \left(s \cdot h_c \cdot f_c' / f_{yh} \right)$$

Persyaratan Kuat Geser

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{H}, \text{ dan}$$

komponen struktur tekan $\sum M_e \geq \frac{6}{5} \sum M_g$

Panjang penyaluran

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{9f_y}{10\sqrt{f_c'}} \cdot \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+k_{tr}}{d_b} \right)}$$

Hubungan Balok Kolom

- a. Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya $V_c \leq 1,7 \sqrt{f_c A_j}$
- b. Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan:
 $V_c \leq 1,25$, dan untuk hubungan lainnya:
 $V_c \leq 1,0 \sqrt{f_c A_j}$

Tulangan Longitudinal:

As yang ada tidak boleh kurang dari:

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w \cdot d, \text{ dan tidak lebih}$$

$$\text{kecil dari } A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

METODE

Data perencanaan menggunakan mutu beton (f_c') = 30 Mpa dan mutu baja (f_y) = 320 Mpa. Gedung Graha Siantar Top merupakan struktur gedung beraturan jumlah lantai 8 lantai dan tinggi bangunan = 31,5 m, yang direncanakan terhadap pengaruh beban gempa statik ekuivalen. Langkah – langkah perhitungan:

- 1) Hitung dimensi balok dan kolom, beban mati dan beban hidup bangunan, berat total bangunan dan waktu getar bangunan.
- 2) Menentukan koefisien gempa dasar C_1 dari gambar 1. dengan zone gempa gempa 5 serta jenis tanah sedang, dan nilai faktor keutamaan I
- 3) Hitung gaya geser dasar nominal horizontal gempa
- 4) Distribusikan V_{total} akibat gempa sepanjang tinggi gedung (titik lantai) menjadi beban-beban horizontal terpusat pada masing-masing taraf lantai tingkat
- 5) Kontrol batas layan dan batas ultimit

Rencana Pembebanan

- a. Beban lateral : beban gempa
- b. Beban grafitasi : beban terfaktor beban hidup dan beban mati

Analisa Statika Struktur menggunakan program bantu:

- SAP : a. pemodelan
b. input pembebanan
c. output
- PCACOL
- AUTO CAD

Analisa Elemen Struktur

1. Analisa Balok :
 - Penulangan balok
 - Desain tulangan geser balok
2. Analisa Kolom
 - Penulangan kolom
 - Desain tulangan geser kolom
3. Analisa hubungan balok kolom
 - Perencanaan hubungan balok kolom
 - Panjang penyaluran

PERHITUNGAN

Perencanaan Dimensi Balok

Dimensi balok memanjang

- Balok induk dengan $L_b = 600$ cm, dimensi balok induk digunakan : $\frac{30}{50}$
- Balok anak dengan $L_b = 600$ cm, dimensi balok anak digunakan : $\frac{30}{50}$

Dimensi balok melintang

- Balok induk dengan $L_b = 450$ cm, dimensi balok digunakan : $\frac{30}{40}$
- Balok induk dengan $L_b = 1000$ cm, dimensi balok digunakan : $\frac{35}{70}$

Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom direncanakan persegi, $b = h$, dimensi kolom digunakan adalah (70×70) cm²

Perhitungan Pembebanan Pelat Pelat Atap

- a) Beban mati
 - Berat sendiri pelat = $0,10 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,4 \text{ kN/m}^2$
 - Plafon + penggantung = $(0,11 + 0,068) = 0,178 \text{ kN/m}^2$
 - Aspal (1cm) = $0,01 \text{ m} \times 0,14 \text{ kN/m}^3 = 0,0014 \text{ kN/m}^2$
 - Pipa + ducting $A_c = 0,4 \text{ kN/m}^2$

$$DL = \overline{2,98 \text{ kN/m}^2}$$

b) Beban hidup

- Lantai atap (LL) = 1 kN/m^2

Pelat Lantai

a) Beban mati

- Berat sendiri pelat = $0,12 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,88 \text{ kN/m}^2$
 - Plafon + penggantung = $(0,11 + 0,068) = 0,178 \text{ kN/m}^2$
 - Pipa + ducting AC = $0,4 \text{ kN/m}^2$
 - Spesi (2cm) = $0,02 \text{ m} \times 0,21 \text{ kN/m}^3 = 0,0042 \text{ kN/m}^2$
 - Tegel = $0,008 \text{ m} \times 0,11 \text{ kN/m}^3 = 0,0008 \text{ kN/m}^2$
- $$DL = \overline{3,46 \text{ kN/m}^2} +$$

b) Beban hidup

- Beban hidup lantai perkantoran (LL) = $2,40 \text{ kN/m}^2$

Perhitung Beban P Balok Anak Portal Melintang

P = berat sendiri pelat x luas

$$P_{D, \text{Atap}} = 2,98 \text{ kN/m}^2 \times 8,75 \text{ m}^2 = 26,08 \text{ kN}$$

$$P_{L, \text{Atap}} = 1 \text{ kN/m}^2 \times 8,75 \text{ m}^2 = 8,75 \text{ kN}$$

$$P_{D, \text{lantai}} = 3,46 \text{ kN/m}^2 \times 8,75 \text{ m}^2 = 30,28 \text{ kN}$$

$$P_{L, \text{lantai}} = 2,4 \text{ kN/m}^2 \times 8,75 \text{ m}^2 = 21 \text{ kN}$$

Berat Tiap Lantai

Berat Lantai Atap

a. Beban mati (Wm) : $5427,54 \text{ kN}$

b. Beban hidup (Wh) : $qh = 1 \text{ kN/m}^2$, koefisien faktor reduksi 30%.

$$Wh = 0,30 \times (36 \times 19) \text{ m}^2 \times 1 \text{ kN/m}^2 = 205,2 \text{ kN}$$

Berat Lantai

Berat bangunan tiap lantai $55986,94 \text{ kN}$

Analisa Beban Gempa

Waktu Getar Alami (T)

$$T_x = T_y = 0,798 \text{ detik.}$$

Perhitungan Beban Geser Dasar Nominal (V)

$$V_x = V_y = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_1 = 3359,22 \text{ kN}$$

Daktalitas Struktur Bangunan

$$1,6 \leq R = \mu \cdot f_1 \leq R_m$$

$$1,6 \leq R = 5,2 \times 1,6 \leq 8,5$$

$$1,6 \leq R = 8,32 \leq 8,5 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Distribusi Beban Gempa Nominal (F)

Tabel 1. Gaya Gempa Tiap Lantai dengan $T_1 = 0,798$

Lantai ke-	Hx (m)	Δs (mm)	Drift Δs antar tingkat (mm)	Syarat Drift Δs (mm)	Ket.
8	31.5	11.1	0.8	15.88	OK
7	27	10.3	1.21	15.88	OK
6	22.5	9.09	1.65	15.88	OK
5	18	7.44	2	15.88	OK
4	13.5	5.44	2.18	15.88	OK
3	9	3.26	2.03	15.88	OK
2	4.5	1.23	1.23	15.88	OK
1	0	0	0	0	OK

Sumber: hasil perhitungan

Memeriksa T_1 dengan $T_{rayleigh}$

Menghitung T_{ray} arah X

$$= 2\pi \sqrt{\frac{0.99}{9.81 * 16.28}} = 0.49 \text{ detik}$$

Menghitung T_{ray} arah Y

$$= 2\pi \sqrt{\frac{0.77}{9.81 * 12.99}} = 0.48 \text{ detik}$$

Waktu getar alami fundamental (T_1) struktur yang diperoleh dari rumusan empiris (0.51 detik) nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai yang dihitung menurut rumusan Rayleigh (T_{ray}).

- Arah x

$$T_1 < 20\% T_{x-ray}$$

$$0,798 \text{ detik} > 20\% \cdot 0,49 = 0,098 \text{ detik}$$

- Arah y

$$T_1 < 20\% T_{y-ray}$$

$$0,798 \text{ detik} > 20\% \cdot 0,48 = 0,096 \text{ detik}$$

Ternyata penyimpangan antara T_1 dan $T_{rayleigh}$ lebih dari 20%. Dengan demikian perhitungan beban geser dasar nominal statik ekuivalen V harus diulang kembali. Ternyata dengan menggunakan $T_{rayleigh}$ yang baru, didapatkan nilai C_1 yang sama dengan C_1 saat dihitung dengan $T = 0.972$ detik. Dengan demikian perhitungan V tidak perlu diulang kembali.

Pembatasan Penyimpangan Lateral

Kontrol Batas Layan Δs

Tabel 2. Analisa Δs Akibat Gempa

Lantai ke-	z_i (m)	W_i (kN)	$W_i \times z_i$ (kNm)	F_i x-y (kN)	Untuk tiap portal	
					1/7 Fix (kN)	1/4 Fiy (kN)
Atap	31.5	5632.74	177431.31	660.73	94.39	165.18
7	27	7792.35	210393.45	783.48	111.93	195.87
6	22.5	7905.36	177870.6	662.37	94.62	165.59
5	18	8128.61	146314.98	544.86	77.84	136.21
4	13.5	7461.6	100731.6	375.11	53.59	93.78
3	9	6620.95	59588.55	221.9	31.7	55.48
2	4.5	6609.92	29744.64	110.77	15.82	27.69
1	0	5835.41	0	0	0	0
$\Sigma =$		55986.94	902075.13	3359.22	479.89	839.8

Sumber: hasil perhitungan

Kontrol Batas Ultimit Δm

$$\Delta m \leq 0,7 R \times \Delta s \text{ atau } \leq 0,02 h$$

Tabel 3. Analisa Δm Akibat Gempa

Lantai ke-	H_x (m)	Δm (mm)	Drift Δm antar tingkat (mm)	Syarat Drift Δm (mm)		Ket
				$0,7R \times \Delta s$	$0,02 \times h$	
8	31.5	15.096	1.088	66.045	90	OK
7	27	14.008	1.646	61.285	90	OK

6	22.5	12.362	2.244	54.0855	90	OK
5	18	10.118	2.720	44.268	90	OK
4	13.5	7.398	2.965	32.368	90	OK
3	9	4.434	2.761	19.397	90	OK
2	4.5	1.673	1.673	7.3185	90	OK
1	0	0	0	0	90	OK

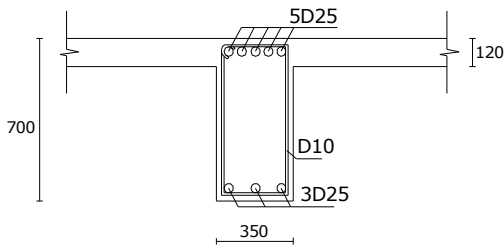
Sumber: hasil perhitungan

Perhitungan Balok Induk

Momen tumpuan kiri frame **BB39** ($M_u = 356.0701 \text{ kNm}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= 0.009956 \\ A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.009956 \times 350 \times 652.5 \\ &= 2273.7015 \text{ mm}^2 \text{ dipakai } \mathbf{5D25} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= 50\% A_s \\ &= 0,5 \times 2454 \text{ mm}^2 \\ &= 1227 \text{ mm}^2 \text{ dipakai } \mathbf{3D25} \end{aligned}$$

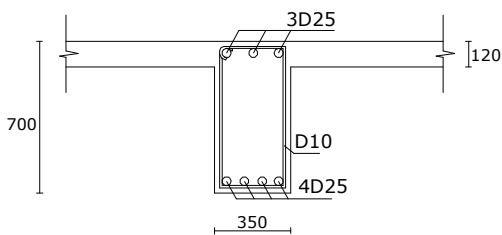


Gambar 3. Penampang Balok 35/70 Tengah Bentang

Momen lapangan frame **BB6** ($M_u = 244.0155 \text{ kNm}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= 0.006676 \\ A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.006676 \times 350 \times 652.5 \\ &= 1524.69 \text{ mm}^2 \text{ dipakai } \mathbf{4D25} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= 50\% A_s \\ &= 0,5 \times 1963 \text{ mm}^2 \\ &= 981.5 \text{ mm}^2 \text{ dipakai } \mathbf{3D25} \end{aligned}$$



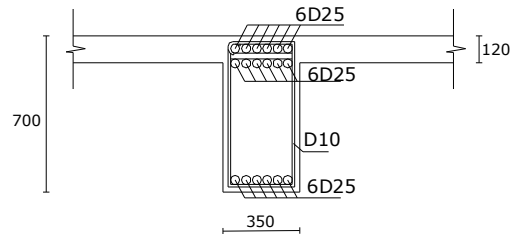
Gambar 4. Penampang Balok 35/70 Tumpuan Kiri Bentang

Momen tumpuan kanan frame **BB13** ($M_u = 792.1469 \text{ kNm}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= 0.02455 \\ A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.02455 \times 350 \times 652.5 \\ &= 5605.58 \text{ mm}^2 \text{ dipakai } \mathbf{12D25} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= 50\% A_s \\ &= 0,5 \times 5887.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

= 2943.75 mm² dipakai **6D25**



Gambar 5. Penampang Balok 35/70 Tumpuan Kanan Bentang

Kontrol Torsi

$$T_u = \frac{\phi \sqrt{f_c'} A_{cp}^2}{12} < T_u = 0,073578 \text{ kN}$$

= 9,78 kN m > $T_u = 0,073578 \text{ kN m}$
Maka pengaruh torsi diabaikan

Penulangan Geser Balok

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{270,82}{0,55} = 492,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dengan memakai tulangan 2 kaki Ø10 mm ($A_v = 2 \times 78,5 = 157 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot b}{V_s} \\ &= \frac{157 \times 320 \times 350}{492,4 \times 10^3} \\ &= 35,71 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak $S = 50 \text{ mm}$, *hoop* pertama Ø 10 mm dipasang 50 mm dimuka kolom dikedua ujung balok.

$$\frac{2h - 50}{s} + 1 = \frac{2 \times 700 - 50}{50} + 1 = 28 \text{ buah}$$

hoop dipasang sepanjang $2h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$.

Pemasangan begel diluar sendi plastis ($2h = 2 \times 700$)

$$\begin{aligned} V_s &= V_u / \phi \\ &= 34,69 / 0,55 = 63,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jika dipakai sengkang 2 kaki Ø10 mm ($A_v = 2 \times 78,5 = 157 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot b}{V_s}$$

$$= \frac{157 \times 320 \times 350}{63,07 \times 10^3}$$

$$= 278,80 \approx 280 \text{ mm} < d/2 = 352,5 / 2$$

$$280 \text{ mm} < 326,25 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Kontrol Retak

$$\omega = (11 \times 10^{-6}) \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt{d \cdot c \cdot A}$$

$$= (11 \times 10^{-6}) \times 1,08 \times 192 \times$$

$$\sqrt[3]{47,5 \times 11875}$$

$$= 0,188 \text{ mm} < 0,4 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Perhitungan Kolom

Menentukan jenis kolom apakah bergoyang atau tidak bergoyang menggunakan persamaan dibawah ini)

$$Q = \frac{P_u \cdot \Delta o}{V_u \cdot L_c} > 0,05 \text{ (kolom bergoyang)}$$

$$Q = \frac{3545,83 \times 1,23}{240,53 \times (4500 - 700)}$$

$$= 0,0048 < 0,05 \text{ (kolom tak bergoyang)}$$

Perhitungan Kekakuan lentur komponen Kolom

a. Tinjauan Kolom (Frame KB5) :

$$EI = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta d}$$

$$EI \text{ kolom Atas} = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 1,4 \times 10^{10}}{1 + 0,52}$$

$$= 9,48 \times 10^{13} \text{ Mpa}$$

b. Tinjauan Balok Kanan

$$EI \text{ balok} = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3,5 \times 10^9}{1 + 0,52}$$

$$= 2,37 \times 10^{13} \text{ Mpa}$$

c. Tinjauan Balok Kiri

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 5,6 \times 10^8}{1 + 0,52}$$

$$= 3,79 \times 10^{12} \text{ Mpa}$$

Panjang Tekuk Kolom (Ψ)

$$\Psi_A = \frac{\sum EI_{\text{kolom}} / L_c}{\sum EI_{\text{balok}} / L_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left(\frac{9,48 \times 10^{13}}{3800} \right)}{\left(\frac{3,79 \times 10^{12}}{3800} \right) + \left(\frac{2,37 \times 10^{13}}{9300} \right)} = 7$$

$$\Psi_B = 0 \text{ (jepit)}$$

Untuk mendapatkan K menggunakan diagram nomogram, SNI 03-2847-2002, pasal 12.11.6 dan didapat K = 0,68

Cek Persyaratan “Strong Column Weak Beam”

$$\sum M_e \geq (6/5) \sum M_g$$

- Balok 35/70 sebelah kanan kolom.

Besar M_g^+ adalah :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{1472 \times 320}{0,85 \times 30 \times 350} = 52,78$$

$$M_g^+ = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \left(1472 \cdot 320 \cdot \left(652,5 - \frac{52,78}{2} \right) \right) \times 10^{-6}$$

$$= 294,92 \text{ kNm}$$

Besar M_g^- adalah :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{3131,24 \times 320}{0,85 \times 30 \times 350} = 87,95$$

$$M_g^- = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \left(3131,24 \cdot 320 \cdot \left(647,34 - \frac{87,95}{2} \right) \right) \times 10^{-6}$$

$$= 604,57 \text{ kNm}$$

$$\sum M_g = M_g^+ + M_g^- = (294,92 + 604,57)$$

$$= 899,49 \text{ kNm}$$

$$\sum M_e = (6/5) \sum M_g = \left(\frac{6}{5} \right) \cdot 899,49 \text{ kNm}$$

$$= 1079,39 \text{ kNm} > M_u = 571,77 \text{ kNm}$$

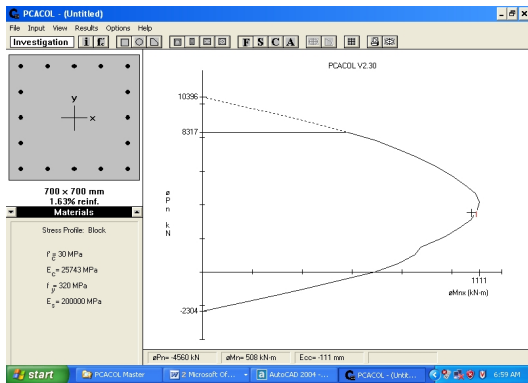
maka yang dipakai $\left(\frac{6}{5} \right) \sum M_g = 1079,39 \text{ kNm}$

Kontrol Kelangsingan Kolom

$$\frac{K.Lu}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M1}{M2} \right)$$

$$\frac{0.68 \times 3800}{210} \leq 34 - 12 \left(\frac{62,64}{1079,39} \right)$$

$$12,30 \leq 33,30 \text{ (kelangsingan diabaikan)}$$



Gambar 6. Diagram Interaksi Kolom

- Tulangan yang dibutuhkan **16 D 25** (As pakai = 7854 mm²)

Daerah Sendi Plastis

Daerah sendi plastis ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2002, pasal 23.4.4.4 yang menyatakan : “ panjang Lo tidak kurang dari:

- h = 700 mm
- 1/6 λn = 1/6 (4500-700) = 633,33 mm
- 500 mm

Digunakan daerah sendi plastis Lo sepanjang 700 mm.

Nilai Sx tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100mm, maka digunakan jarak begel (s) = 100 mm.

Perencanaan Pengekangan Kolom

Ash min sesuai dengan SNI 03-2847-2002, pasal 23.4.4.1

$$hc = 700 - 2 (40 + 12/2) = 608 \text{ mm}$$

$$Ash = 0,09 (s.h_c.f_c/f_{yh})$$

$$= 0,09 (100 \times 608 \times 30/320)$$

$$= 513 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{Ash}{\text{luas dp12}} = \frac{513}{1/4 \cdot \pi \cdot 12^2} = 4,5 \approx 5 \text{ buah}$$

Jadi dipakai 5Ø12 – 100 Ash = 565,5 mm²

> Ash = 513 mm² ... OK

Penulangan Transversal

Gaya geser yang bekerja di sepanjang bentang kolom (Vu) ditentukan dari Mpr⁻ dan Mpr⁺ balok yang menyatu dengan kolom tersebut.

- Balok 35/70 sebelah kanan kolom.

$$V_u = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n}$$

$$= \frac{364,77 + 586,30}{(4,5 - 0,7)}$$

$$= 250,28 \text{ kN}$$

Maka Vc diambil sesuai dengan SNI 03-2847-2002, pasal 13.3.1.2

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} b.d$$

$$= \left(1 + \frac{3545,83 \times 10^3}{14 \times 700^2} \right) \cdot \frac{\sqrt{30}}{6} 700 \times 635,5 \times 10^{-3}$$

$$= 615,99 \text{ kN}$$

Nilai Vs diambil sesuai dengan SNI 03-2847-2002, pasal 13.5.6.2

$$V_s = \frac{A_v.f_y.d}{s}$$

$$= \frac{565,5 \times 320 \times 635,5}{100} \times 10^{-3}$$

$$= 1150,0008 \text{ kN}$$

Maka :

$$V_e = V_c + V_s = (615,99 + 1150,0008) \text{ kN}$$

$$= 1765,99 \text{ kN}$$

φVe > Vu

$$0,80 \times 1765,99 \text{ kN} > 250,28 \text{ kN}$$

$$1412,79 \text{ kN} > 250,28 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Sisa panjang kolom di luar sendi plastis, dipasang sengkang sesuai ketentuan pasal 23.4.4.6 : ≤ 6 x tulangan longitudinal kolom = 6 x 25 = 150 mm atau ≤ 150 mm
Jadi sengkang di luar sendi plastis digunakan 5 Ø 12 – 150 mm.

Panjang Sambungan Tulangan Kolom

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9.f_y}{10 \cdot \sqrt{f_c'}} \cdot \frac{\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

$$l_d = \frac{9 \times 320}{25} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{10 \times \sqrt{30}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{2,5}$$

$$l_d = 21,0325 \times 25 = 525,81 \text{ mm}$$

Sambungan lewatan sesuai dengan SNI 2847-02, pasal 14.15.2 sambungan lewatan termasuk kelas B yang mana panjangnya : $1,3 \times l_d = 1,3 \times 525,81 \text{ mm} = 683,56 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$

Desain Hubungan Balok Kolom Hubungan Balok Kolom Tengah

Pada hubungan balok kolom sesuai SNI 03-2847-2002, pasal 23.5.2.2 dimana :

- Balok

Balok dengan lebar $\leq \frac{3}{4}$ lebar kolom

$$= \frac{3}{4} \times 700 \text{ mm} = 525 \text{ mm}$$

Balok sebelah kanan HBK dengan lebar 350 mm < 525 mmOK

Balok sebelah kiri HBK dengan lebar 300 mm < 525 mmOK

- Tulangan transversal dipasang $\geq \frac{1}{2}$ dari

jumlah tulangan transversal kolom.

Tulangan transversal kolom = 5 Ø 12

Tulangan transversal pada HBK

$$\geq \frac{1}{2} \times 5 = 2,5$$

Maka tulangan transversal pada HBK

4 Ø 12 dipasang setinggi balok terendah yang merangka ke HBK.

Balok sebelah kanan kolom dengan dimensi 35/70

Menghitung Vh :

- Mpr⁺ balok :

$$a = \frac{As(1,25fy)}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1472(1,25 \cdot 320)}{0,85 \cdot 30 \cdot 350} = 65,97 \text{ mm}$$

$$d = 700 - 25 - 10 - 25/2 = 652,5 \text{ mm}$$

$$Mpr^+ = As(1,25fy) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1472(1,25 \cdot 320) \left(652,5 - \frac{65,97}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 364,77 \text{ kNm}$$

- Mpr⁻ balok :

$$a = \frac{As(1,25fy)}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{2453(1,25 \cdot 320)}{0,85 \cdot 30 \cdot 350} = 109,94 \text{ mm}$$

$$d = 700 - 25 - 10 - 25/2 = 652,5 \text{ mm}$$

$$Mpr^- = As(1,25fy) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2453(1,25 \cdot 320) \left(652,5 - \frac{109,94}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 586,30 \text{ kNm}$$

$$Mu = \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{2} = \frac{364,77 + 586,30}{2}$$

$$= 475,53 \text{ kNm}$$

$$Vh = \frac{2 \cdot Mu}{ln/2} = \frac{2 \times 475,53}{(4,5 - 0,7)/2} = 500,56 \text{ kN}$$

$$\text{Jadi } V_{x-x} = T1 + T2 - Vh = (981,2 + 588,8 - 500,56) \text{ kN} = 1069,44 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal HBK sesuai SNI 03-2847-2002, pasal 23.5.3 :

$$\phi Vc = \phi(1,7\sqrt{fc'} \cdot Aj)$$

$$= 0,75 (1,7\sqrt{30} \cdot 700 \times 700) \times 10^{-3}$$

$$= 3421,89 \text{ kN} > 1069,44 \text{ kN} \dots\dots \text{OK}$$

Hubungan Balok Kolom Tepi

Balok sebelah kanan kolom dengan dimensi 30/40

- Mpr⁻ balok :

$$a = \frac{As(1,25fy)}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{2280(1,25 \cdot 320)}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 119,22 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 25 - 10 - 22/2 = 354 \text{ mm}$$

$$Mpr^- = As(1,25fy) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) =$$

$$2280(1,25 \cdot 320) \left(354 - \frac{119,22}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 268,48 \text{ kNm}$$

$$Mu = \frac{Mpr^-}{2} = \frac{268,48}{2} = 134,24 \text{ kNm}$$

$$Vh = \frac{2 \cdot Mu}{ln/2} = \frac{2 \times 134,24}{(4,5 - 0,7)/2} = 141,31 \text{ kN}$$

$$\text{Jadi } V_{x-x} = T1 - Vh = (912 - 141,31) \text{ kN}$$

$$= 770,69 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal HBK sesuai SNI 03-2847-2002, pasal 23.5.3 :

$$\phi Vc = \phi(1,25\sqrt{fc'} \cdot Aj)$$

$$= 0,75(1,25\sqrt{30} \cdot 700 \times 700) \times 10^{-3}$$

$$= 2516,10 \text{ kN} > 770,69 \text{ kN} \dots\text{OK}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam perencanaan ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pendimensian dan penulangan struktur gedung Graha Siantar Top akibat beban gravitasi dan beban lateral ini sebagai berikut :
 - Dimensi balok melintang dengan jarak 10 m = 35/70,
 - Dimensi balok melintang dengan jarak 4,5 m = 30/40,
 - Dimensi balok memanjang dengan jarak 6 m = 30/50,
 - Dimensi kolom = 70/70 dengan tulangan longitudinal 16D25, sengkang Ø12,
 - Pada lantai atap :
 - a. Dimensi 35/70 dengan tulangan longitudinal D22, sengkang Ø10.
 - b. Dimensi 30/40 dan 30/50 dengan tulangan longitudinal D16, sengkang Ø10.
 - Pada lantai 2-7 :
 - a. Dimensi 35/70 dengan tulangan longitudinal D25, sengkang Ø10.
 - b. Dimensi 30/40 dan 30/50 dengan tulangan longitudinal D22, sengkang Ø10.
2. Perilaku respon struktur saat beban gravitasi dan beban lateral bekerja :
 Pada gedung Graha Siantar Top ini telah mampu memikul beban gravitasi dan beban lateral yang direncanakan dan memenuhi konsep "kolom kuat balok

lemah" sehingga gedung mencapai daktilitas penuh dengan $R = 8,32$.

3. Pada hubungan balok kolom tepi dan tengah, tulangan transversal 4Ø12 setinggi 400 mm (setinggi balok terendah yang merangka pada hubungan balok kolom).

DAFTAR PUSTAKA

- Erdward G, Nawy, 2001, *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar*, Diterjemahkan oleh Bambang Suryoatmono, Erlangga Jakarta.
- International Conference of Building Officials, 1997, *Uniform Building Code*, Whittier, California.
- Purwono Rachmat, 2005, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*, ITS Press, Surabaya.
- R. Park, T. Pauly, 1975, *Reinforced Concrete Structures*, A Wiley Interscience Publication, New Zealand.
- Standar Nasional Indonesia, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, SNI-03-1726-2002, Bandung.
- Standar Nasional Indonesia, *Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung*, SNI-03-2847-2002, Bandung.
- Standar Nasional Indonesia, *Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung*, SNI-03-1727-1989, Bandung.
- T. Pauly, M.J. N. Priestly, 1975, *Seismic Design of einforced Concrete and Masonry Building*, A Wiley Interscience Publication, New Zealand.