

EVALUASI STRUKTUR KOLOM KUAT BALOK LEMAH PADA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN METODE DESAIN KAPASITAS (STUDI KASUS : BANGUNAN SEKOLAH SMA DONBOSCO MANADO)

Regen Loudewik Kahiking

J. D. Pangouw, R. E. Pandaleke

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

email: regenkahiking@yahoo.com

ABSTRAK

Struktur Gedung Sekolah SMA DONBOSCO Manado yang terdiri dari 3 lantai dievaluasi terhadap Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan mengacu pada SNI beton yang berlaku (SNI 03 – 2847 – 2002), Struktur beton bertulang dievaluasi dengan mengaplikasikan konsep desain kapasitas (capacity design). Penerapan dari konsep desain kapasitas ini adalah demi terciptanya struktur yang berfilosofi kolom kuat balok lemah (strong column weak beam).

Dalam evaluasi, struktur diperhitungkan terhadap kapasitas lentur dua arah (biaxial bending) dengan mengambil tinjauan satu kolom dengan pembebanan terbesar, adanya bahaya pembesaran momen yang terjadi akibat dari kelangsingan penampang juga diperhitungkan sehingga didapat secara pasti apakah struktur masih memenuhi konsep kolom kuat balok lemah dengan menerapkan syarat sistem rangka pemikul momen khusus.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kapasitas lentur kolom masih lebih besar dari kebutuhan momen lentur kolom sehingga struktur memenuhi kriteria kolom kuat balok lemah, namun lewat konfigurasi tulangan sengkang yang terpasang didapati bahwa kekuatan kolom untuk menerima geser tidak memenuhi syarat yang dibutuhkan berdasarkan ketentuan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus yang mensyaratkan penggunaan gaya geser rencana yang bukan berdasarkan gaya geser struktur portal namun berdasarkan pada momen–momen kapasitas ujung yang dibagi dengan tinggi bersih kolom sehingga menghasilkan gaya geser rencana yang lebih besar. Pada kasus ini, kolom yang ditinjau hanya memenuhi kriteria kolom kuat balok lemah secara lentur. Didapati juga bahwa kolom yang ditinjau mampu menahan keruntuhan akibat tekan. Hasil–hasil kapasitas momen kolom dituangkan dalam bentuk diagram interaksi kolom.

Kata kunci: capacity design, strong column weak beam, biaxial bending

PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan bertingkat semakin banyak dibangun akibat dari semakin kurangnya ketersediaan lahan. Dalam mendesain bangunan gedung bertingkat sangat penting untuk memperhatikan kekuatan dari elemen struktur kolom yang menopang keseluruhan bangunan. Sederhananya, kolom dalam suatu struktur bangunan portal/frame bertingkat adalah elemen struktur menopang balok, seluruh beban lantai, dan beban–beban lain di atasnya, sedangkan balok hanya elemen struktur yang menopang dan mendistribusi-

kan beban–beban dilantai tersebut menuju ke kolom–kolom. Sehingga jika kolom runtuh, maka semua sistem struktur yang ada di atasnya ikut runtuh juga. Tapi jika balok yang mengalami keruntuhan lebih dulu maka kerusakan hanya terjadi pada bagian balok itu kemudian menjalar ke elemen balok yang lainnya sampai struktur benar–benar runtuh total saat beban yang bekerja tidak lagi mampu ditahan keseluruhan struktur.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlulah sebuah bangunan didesain berdasarkan konsep kolom kuat balok lemah “strong column weak beam” sehingga jika pada suatu saat terjadi guncangan yang besar

akibat pembebanan, kolom bangunan didesain akan tetap bertahan, sehingga manusia yang berada didalam bangunan gedung masih mempunyai waktu untuk menyelamatkan diri sebelum jika nantinya bangunan akan runtuh total.

Perumusan Masalah

Penelitian ini akan mengecek serta menguraikan suatu perencanaan struktur bangunan dengan menerapkan metode Desain Kapasitas (*Capacity Design*) yang akan menghasilkan suatu struktur bangunan yang berkonsep kolom kuat balok lemah yang tidak hanya didesain seekonomis mungkin namun juga dapat memberikan kepastian keamanan pada struktur bangunan ini.

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka dapat diambil rumusan masalah yaitu:

- Apakah bangunan sekolah DON BOSCO Manado yang sudah ada sekarang sudah memenuhi konsep *strong column weak beam* atau sebaliknya?
- Letak titik runtuh harus dikendalikan, dimana titik runtuh tersebut diharapkan terjadi di balok dengan cara meningkatkan kekuatan unsur yang berbatasan pada kolom, sehingga konsep *strong column weak beam* adalah prinsip dasar perencanaan.
- Bagaimana penulangan struktur yang jika didapati bangunan yang ditinjau tidak memenuhi *strong column weak beam*?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Mengecek serta merencanakan sebuah bangunan dengan cara desain kapasitas sehingga mendapatkan sebuah bangunan yang memenuhi konsep kolom kuat balok lemah.
- Menghasilkan pemahaman tentang perlakuan khusus terhadap kolom bila diinginkan kolom tersebut kuat terhadap balok (kolom kuat balok lemah).

Pembatasan Masalah

Permasalahan dibatasi sebagai berikut:

- Menggunakan metode desain kapasitas
- Elemen struktur kolom dan balok terbuat dari beton bertulang
- Perhitungan pembebanan dan analisa struktur sudah tidak lagi dilakukan karena

sudah tersedia dari rancangan desain bangunan yang sudah ada

- Hanya meninjau balok dan kolom bangunan
- Ditinjau berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus yang dituangkan dalam SNI 03-2847-2002.
- Memperhitungkan pengaruh *biaxial bending* pada kolom bangunan
- Memperhitungkan pengaruh Pembesaran Momen akibat kelangsingan penampang
- Struktur dianalogikan sebagai komponen struktur non-prategang.

DESAIN KAPASITAS

Dalam perencanaan struktur, perencanaan *limit states design*nya disebut *Capacity Design* atau desain kapasitas yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat pembebanan yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen-elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhannya dapat memancarkan energi yang sebesar-besarnya.

Agar elemen-elemen kritis dapat dijamin pembentukannya secara sempurna maka elemen-elemen lainnya harus direncanakan khusus, agar lebih kuat dibandingkan elemen-elemen kritis. Salah satu filsafat yang dikenal dalam perencanaan *capacity design* disebut *Kolom Kuat-Balok Lemah*.

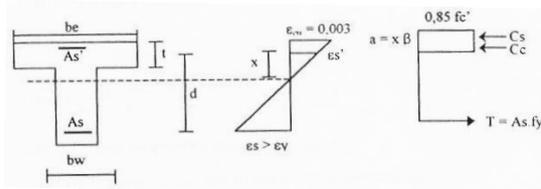
ANALISIS PENAMPANG BALOK

Perhitungan Mkap Lapangan (+)

Untuk perhitungan ini, besarnya tulangan yang terpasang dianggap sama dengan tulangan yang diperlukan, maka nilai momen leleh negatif diperoleh dari momen nominal balok, sehingga harus dihitung berdasarkan jumlah tulangan terpakai. Asumsi perhitungan momen nominal lapangan dihitung dengan menganggap balok sebagai balok T (Dipohusodo, 1994).

Untuk perhitungan kuat momen nominal M_n dari balok T, maka harus diperiksa dahulu apakah balok T tersebut berperilaku sebagai balok T asli atau tidak. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- Bila tinggi a lebih besar dari t , maka penampang dihitung secara balok T murni dengan ketentuan sebagai berikut :

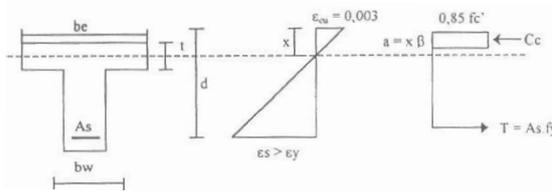


Gambar 1. Tegangan penampang balok T Murni

$$M_n = M_{nf} + M_{nw}$$

$$= A_{sf} f_y (d - h_f/2) + A_{sw} f_y (d - a/2) \quad (1)$$

2. Bila tinggi a dari balok tegangan persegi adalah sama atau lebih kecil dari t, maka balok T dihitung dihitug sama dengan balok empat persegi panjang dengan lebar be.



Gambar 2 Tegangan penampang balok T palsu

$$M_n = M_{nf} + M_{nw}$$

$$= (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \quad (2)$$

Dimana:

- M_n = Kapasitas momen nominal Penampang
- A_{sf} = Luas tulangan bibagian flens Penampang
- A_{sw} = Luas tulangan dibagian web penampang
- f_y = Tegangan leleh baja yang diisyaratkan
- d = jarak dari sisi terluar ke pusat tulangan tarik
- a = Tinggi penampang tegangan persegi ekuivalen
- h_f = Tebal fles/plat

Perhitungan Mkap Tumpuan (-)

Karena dianggap besarnya tulangan yang terpasang sama dengan tulangan yang diperlukan maka nilai momen leleh negatif diperoleh dari momen nominal balok dimana harus dihitung berdasarkan jumlah tulangan terpakai. Momen nominal negatif dihitung dengan menganggap balok sebagai balok empat persegi.

Kondisi I ($\epsilon_s > \epsilon_y$)

Tulangan baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat dimana regangannya mencapai luluh (ϵ_y). Dengan kata lain, apabila regangan baja tekan (ϵ_s') sama atau lebih besar dari regangan luluhnya maka tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' E_s$, dimana E_s adalah modulus elastisitas baja. Tercapainya kondisi tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang (Dipohusodo, 1994).

$$M_n = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \quad (3)$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} \quad (4)$$

Kondisi II ($\epsilon_s < \epsilon_y$)

Seperti pembahasan terdahulu, umumnya tulangan baja tekan (A_s') mencapai tegangan luluh sebelum beton mencapai regangan tekan 0,003. Tetapi hal demikian tidak akan berlangsung pada balok rendah dengan penulangan baja kuat tinggi. Dengan mengacu pada gambar (2) apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan $\epsilon_s' < \epsilon_y$ (belum mencapai luluh).

$$M_n = (0,85 f_c') a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s (d - d') \quad (5)$$

$$(0,85 f_c' b \beta) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - (600 d' A_s') = 0 \quad (6)$$

$$f_s' = \left[\frac{0,003(c-d')}{c} \right] 2000000 \quad (7)$$

Dimana :

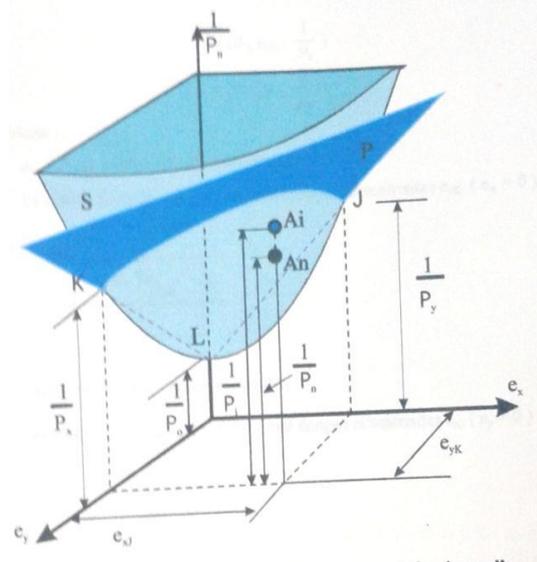
- A_s = Luas tulangan tarik, mm²
- A_s' = Luas tulangan tekan, mm²
- f_y = Tegangan leleh baja yang disyaratkan, MPa
- f_s = Tegangan dalam tulangan pada beban kerja, MPa
- d = Jarak dari sisi terluar ke pusat tulangan tarik, mm
- a = Tinggi penampang tegangan persegi ekuivalen, mm
- d' = Jarak dari sisi terluar ke pusat tulangan tekan, mm

ANALISIS PENAMPANG KOLOM

Dalam segala hal, kuat lentur rencana kolom portal berdasarkan tulangan longitudinal yang terpasang harus dapat menampung kombinasi beban terfaktor oleh pembebanan dalam 2 arah yang saling tegak lurus

Sedangkan beban aksial rencana nominal yang bekerja pada kolom dengan dihitung dengan:

$$\phi P_{n(max)} = 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (8)$$



Gambar 3. Interaksi beban aksial dan biaxial bending

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}} \quad (9)$$

Eksentrisitas awal kolom :

$$e_0 = \frac{M}{P} \quad (10)$$

Eksentrisitas tambahan untuk memperhitungkan tekuk :

$$e_1 = C \left(\frac{l_k}{100h_t} \right)^2 h_t \quad (11)$$

Eksentrisitas tambahan untuk memperhitungkan kemungkinan ketidak tepatan dari sumbu kolom harus diambil sebesar :

$$e'_0 = \frac{1}{30} h_t \quad (12)$$

Eksentrisitas tambahan untuk memperoleh peningkatan keamanan :

$$e_2 = 0,15h_t \quad (13)$$

Jika disimpulkan, maka kolom – kolom harus diperhitungkan terhadap eksentrisitas gaya normal total sebesar :

$$e_{tot} = e_0 + e'_0 + e_1 + e_2 \quad (14)$$

dimana:

- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- P_n = beban aksial nominal, kN
- f'_c = kuat tekan beton, MPa
- A_s = luas penampang bruto, mm²
- A_{st} = luas total tulangan longitudinal, mm²
- f_y = tegangan leleh baja yang diisyaratkan, MPa
- P_0 = Kapasitas nominal aksial pada eksentrisitas sama dengan nol, kN

- P_u = beban aksial terfaktor, kN
- P_x = Kapasitas nominal aksial penampang dengan eksentrisitas arah x, kN
- P_y = Kapasitas nominal aksial penampang dengan eksentrisitas arah y, kN
- e_{tot} = Eksentrisitas yang diperhitungkan, mm

PEMBESARAN MOMEN

SNI 03–2847-2002 menetapkan bahwa perencanaan komponen struktur tekan beton bertulang dilakukan dengan menggunakan beban aksial rencana P_u yang didapat dari analisis rangka elastik dan momen rencana yang sudah dibesarkan M_c yang didefinisikan sebagai:

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \quad (15)$$

faktor δ_{ns} adalah pembesar momen yang secara empiris dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} \geq 1 \quad (16)$$

Dimana P_c adalah beban tekuk Euler,

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \quad (17)$$

Untuk komponen struktur ditopang tertahan ke arah samping (berpengaku) dan tanpa beban transversal pada dukungan,

$$Cm = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \quad (18)$$

Di dalam ungkapan P_c peraturan SNI 03–2847-2002 memberikan ketentuan untuk memperhitungkan EI sebagai berikut:

Apabila memperhitungkan dampak sifat nonelastik beton, retak, dan rangkai untuk pembebanan jangka panjang, maka nilai EI diperhitungkan sama dengan balok terlentur tanpa beban aksial:

$$EI = \frac{0,2E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_d} \quad (19)$$

Atau secara konservatif:

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d} \quad (20)$$

dimana:

- E_c = modulus elastisitas beton,
- E_s = modulus elastisitas baja tulangan,
- I_g = momen inersia beton kotor (penulangan diabaikan) terhadap sumbu berat penampang,
- I_{se} = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur,
- β_d = bagian dari momen rencana yang dianggap memberikan kontribusi tetap

terhadap deformasi, biasanya ditentukan sebagai nilai banding dari momen beban mati terfaktor maksimum terhadap momen beban total terfaktor maksimum, nilainya positif.

P_c = beban kritis, kN

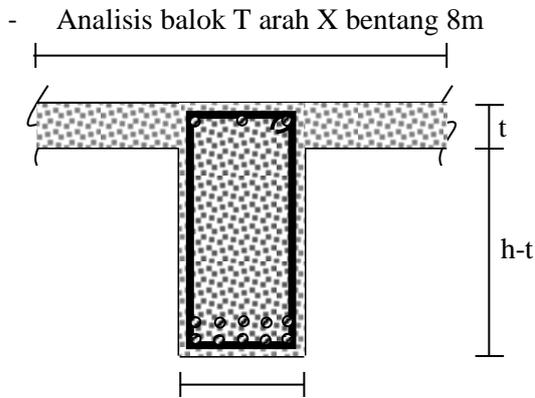
C_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penampang balok

a. Perhitungan M_{kap} Lapangan (+)

Untuk perhitungan ini, besarnya tulangan yang terpasang dianggap sama dengan tulangan yang diperlukan, maka nilai momen leleh negatif diperoleh dari momen nominal balok, sehingga harus dihitung berdasarkan jumlah tulangan terpakai. Asumsi perhitungan momen nominal lapangan dihitung dengan menganggap balok sebagai balok T.



Gambar 4. Penampang balok T arah X bentang 8m

$$b_e = 800/4 = 200\text{cm} \leftarrow \text{menentukan}$$

$$= 30 + 16 \times 12 = 222\text{cm}$$

$$= 400 - 30 = 370\text{cm}$$

$$b_w = 30\text{cm}$$

$$A_{s1} = 10\phi 22 = 3802,857\text{mm}^2$$

$$A_{s2} = 5\phi 22 = 1901,429\text{mm}^2$$

$$f_y = U24 = 240\text{ MPa}$$

$$f_{c'} = K225 = 19,3\text{ MPa}$$

$$d = 55\text{cm}$$

$$d' = 5\text{cm}$$

$$a = \frac{(A_s - A_{s'})f_y}{0,85f_{c'}x_{be}} = \frac{19,0142 \times 2400}{0,85 \times 225 \times 200} = 1,1930\text{cm}$$

Karena nilai $a < t$ ($2,38\text{cm} < 12\text{cm}$), maka balok T dianalisis sebagai balok empat persegi dengan $b = b_e$

$$m_{n1} = A_{s1}f_y \left(d - \frac{hf}{2} \right)$$

$$m_{n1} = 19,01 \times 2400 \left(55 - \frac{12}{2} \right) = 2235576\text{ kg.cm}$$

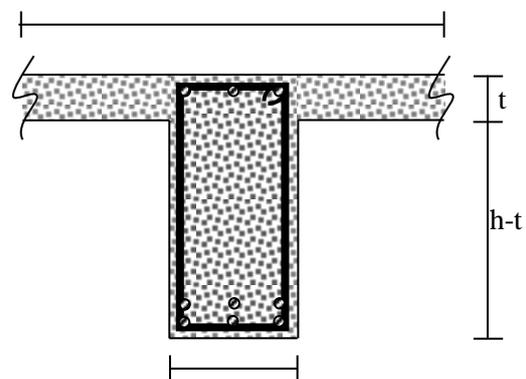
$$m_{n2} = (A_s f_y - A_{s1} f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$m_{n2} = (38,02 \times 2400 - 19,01 \times 2400) \left(55 - \frac{1,193}{2} \right) = 2482105,28\text{kg.cm}$$

$$m_n = m_{n1} + m_{n2}$$

$$\phi m_n = (22355,76 + 24821,05)\phi = 37741,44\text{kg.m}$$

- Analisis balok T arah Y Bentang 4m



Gambar 5. Penampang balok T arah Y bentang 4m

$$b_e = 400/4 = 100\text{cm} \leftarrow \text{menentukan}$$

$$= 30 + 16 \times 10 = 225\text{cm}$$

$$= 400 - 30 = 370\text{cm}$$

$$b_w = 25\text{cm}$$

$$A_{s1} = 6\phi 19 = 1701,857\text{mm}^2$$

$$A_{s2} = 3\phi 19 = 850,928\text{mm}^2$$

$$F_y = U24 = 240\text{ MPa}$$

$$f_c' = K225 = 19,3 \text{ MPa}$$

$$d = 36 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0,85f_c'x b e} = \frac{8,509 \times 2400}{0,85 \times 225 \times 100} = 1,067 \text{ cm}$$

$$m_{n1} = A_s f_y \left(d - \frac{hf}{2} \right)$$

$$m_{n1} = 8,50 \times 2400 \left(36 - \frac{12}{2} \right) = 612648 \text{ kg.cm}$$

$$m_{n2} = (A_s f_y - A_s' f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$m_{n2} = (17,01 \times 2400 - 8,50 \times 2400) \left(36 - \frac{1,067}{2} \right) = 724282,38 \text{ kg.cm}$$

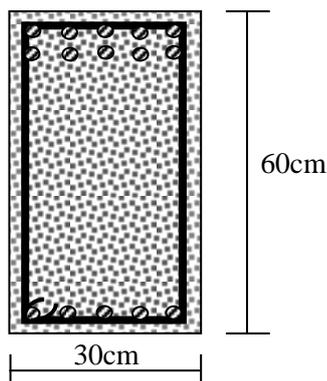
$$m_n = m_{n1} + m_{n2}$$

$$\phi m_n = (6126,48 + 7242,82) \phi = 10695 \text{ kg.m}$$

b. Perhitungan Mkap Tumpuan (-)

Momen nominal negatif dihitung dengan menganggap balok sebagai balok empat persegi.

- Analisis balok persegi arah X bentang 8m



Gambar 6. Penampang balok empat persegi arah X bentang 8m

Data tulangan :

$$A_{s1} = 10\phi 22 = 3802,857 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 5\phi 22 = 1901,429 \text{ mm}^2$$

$$\rho - \rho' = \frac{0,85 \times \beta \times f_c' \times d'}{f_y \times d} \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$\frac{A_s}{b \times d} - \frac{A_s'}{b \times d} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 19,3 \times 5}{240 \times 55} \left(\frac{600}{600 - 240} \right) = \frac{38,0285}{30 \times 55} - \frac{19,01429}{30 \times 55} = 0,0088$$

0,01152 > 0,0088...tulangan sudah leleh sebelum beton mencapai regangan maksimum, maka momen nominal balok dapat langsung dihitung menggunakan rumus:

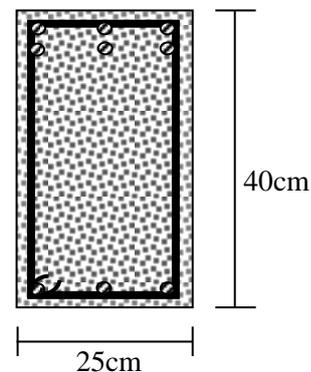
$$M_n = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d')$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f_c' \times b} = \frac{19,01429 \times 2400}{0,85 \times 225 \times 30} = 7,95368 \text{ cm}$$

$$M_n = (38,0285 - 19,0142) 2400 \left(55 - \frac{7,9536}{2} \right) + 19,0142 \times 2400 (55 - 5)$$

$$\phi M_n = 36880,904 \text{ kg.m}$$

- Analisis balok persegi arah Y bentang 4m



Gambar 7. Penampang balok empat persegi arah Y bentang 4m

Data tulangan :

$$A_{s1} = 6\phi 19 = 1701,857 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 3\phi 19 = 850,928 \text{ mm}^2$$

$$\rho - \rho' = \frac{0,85 \times \beta \times f_c' \times d'}{f_y \times d} \left(\frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$\frac{A_s}{b \times d} - \frac{A_s'}{b \times d} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 19,3 \times 4}{240 \times 36} \left(\frac{600}{600 - 240} \right) = \frac{17,018}{25 \times 36} - \frac{8,509}{25 \times 36} = 0,0031358$$

0,00945 > 0,0107.... tulangan belum leleh namun beton sudah mencapai regangan maksimumnya, maka dengan kita perlu mencari f_s untuk mendapatkan besar momen nominal balok, dengan mengacu pada persamaan (2.35) maka nilai c bisa diperoleh,

$$(0,85 \times 225 \times 25 \times 0,85)c^2 + (600 \times 8,5 - 17,01 \times 2400)c - (600 \times 4 \times 8,5) = 0$$

$$4064,06c^2 - 35724c - 20400 = 0$$

Dengan menyelesaikan persamaan kuadrat diatas, maka nilai c diperoleh:

$$c = 9,328$$

$$a = \beta \times c$$

$$a = 0,85 \times 9,328 = 7,9288 \text{ cm}$$

maka nilai f_s dapat dihitung :

$$f_s = \frac{0,003(9,328 - 4)}{9,328} \times 2000000 = 3427,10$$

Sehingga :

$$Mn = 0,85 \times 225 \times 7,92 \times 25 \left(36 - \frac{7,93}{2} \right) + 8,509 \times 3427,1(36 - 4)$$

$$\phi Mn = 17163,5 \text{ kg.m}$$

Analisis Penampang Kolom

Pada analisis kolom, kolom bangunan pertama-tama dianalisis tanpa memperhitungkan pengaruh eksentrisitas atau dengan kata lain bahwa penampang kolom dianggap hanya menahan beban sentris, namun setelah itu dihitung kolom berdasarkan eksentrisitas yang terjadi dengan menjadikan perhitungan beban sentris sebagai tolak ukur awal. Pada kondisi inilah kapasitas kolom diperhitungkan dengan biaxial bending.

Rumus Bresler:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}}$$

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{263250} + \frac{1}{263250} - \frac{1}{298431,68}$$

$$P_n = 228068,32 \text{ kg}$$

Mencari e_x :

$$e_{01} = \frac{M_{ux}}{Nu} = \frac{34795,672 \text{ kg.m}}{248866,186 \text{ kg}} = 0,1398 \text{ m}$$

$$e_{02} = \frac{ht}{30} = \frac{0,55}{30} = 0,0183$$

$$\frac{e_0}{ht} = \frac{0,1398 + 0,0183}{0,55} = 0,287$$

$$e_1 = C \left(\frac{L_k}{100h_t} \right)^2 ht$$

$$e_1 = 6,77 \left(\frac{0,7 \times 4}{100 \times 0,55} \right)^2 \times 0,55 = 0,00965$$

$$e_2 = 0,15xht = 0,15 \times 0,55 = 0,0825$$

$$e_{ux} = 0,00965 + 0,0825 + 0,1398 + 0,0183 = 0,25025 \text{ m}$$

Mencari e_y :

$$e_{01} = \frac{M_{uy}}{Nu} = \frac{15573,216 \text{ kg.m}}{248866,186 \text{ kg}} = 0,0625 \text{ m}$$

$$e_{02} = \frac{ht}{30} = \frac{0,25}{30} = 0,0083$$

$$\frac{e_0}{ht} = \frac{0,0625 + 0,0083}{0,25} = 0,0708$$

$$e_1 = C \left(\frac{L_k}{100h_t} \right)^2 ht$$

$$e_1 = 6,04 \left(\frac{0,7 \times 4}{100 \times 0,25} \right)^2 \times 0,25 = 0,0189$$

$$e_2 = 0,15xht = 0,15 \times 0,25 = 0,0375$$

$$e_{uy} = 0,0625 + 0,083 + 0,0189 + 0,0375 = 0,1272 \text{ m}$$

sehingga :

$$\phi M_{ux} = 228068,32 \times 0,25025 \times 0,8 = 45659,27 \text{ kg.m}$$

$$\phi M_{uy} = 228068,32 \times 0,1272 \times 0,8 = 23208,23 \text{ kg.m}$$

Analisis Kolom Keadaan Seimbang

Terjadinya keadaan seimbang adalah pada saat regangan tekan beton diserat tepi terdesak mencapai 0,003 dan bersamaan pula tegangan pada batang tulangan baja tarik mencapai tegangan luluhnya. Didefinisikan P_b adalah kuat beban aksial nominal atau teoritis pada keadaan seimbang, e_b adalah eksentrisitas beban aksial P_b dan C_b adalah

jarak dari serat tepi terdesak ke garis netral keadaan seimbang.

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d = \frac{600}{600 + 240} \times 550 = 357,1428 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_c} = \frac{240}{200000} = 0,0012$$

$$\epsilon'_s = \frac{307,1428 \times 0,003}{357,1428} = 0,00257$$

Dengan didapatnya nilai $\epsilon'_s > \epsilon_y$, disimpulkan bahwa tulangan baja tekan sudah meluluh, dengan demikian maka

$$f_s = f_y$$

$$N_{D1} = 0,85 \times 19,3 \times 0,85 \times 357,1428 \times 300 \times 10^{-3} = 1494,026 \text{ kN}$$

$$N_{D2} = [240 - 0,85 \times 19,3] \times 2660,92 \times 10^{-3} = 594,968 \text{ kN}$$

$$N_T = 240 \times 1900 \times 10^{-3} = 456 \text{ kN}$$

$$P_b = N_{D1} + N_{D2} - N_T = 1632,994 \text{ kN}$$

Nilai e_b didapat dengan cara menjumlahkan seluruh momen terhadap garis kerja gaya tarik N_T (keseimbangan momen terhadap N_T), sebagai berikut:

$$P_b(e_b + 250) = N_{D1} \left[d - \frac{1}{2}(0,85 \times c_b) \right] + N_{D2} \times 500$$

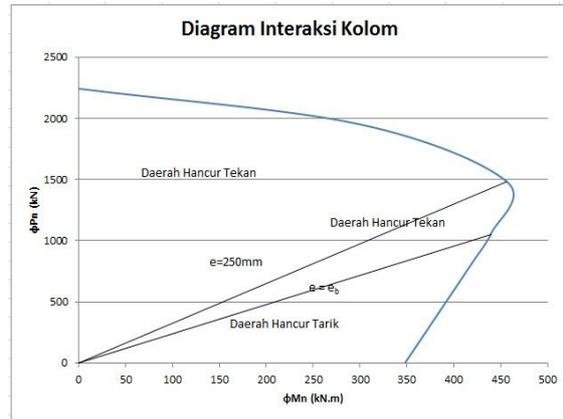
$$1873,473(e_b + 250) = 1494,026 \left[550 - \frac{1}{2} \times 0,85 \times 357,1428 \right] + (594,968 \times \left(\frac{5}{7} \times 250 + 250 \right))$$

$$1632,994(e_b + 250) = 849928,81$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas, didapat nilai $e_b = 270,47 \text{ mm}$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa $e_b > e$ yaitu dengan $270,47 > 250 \text{ mm}$ sehingga disimpulkan bahwa pada kolom yang ditinjau terjadi keruntuhan tekan.

Selanjutnya dari hasil perhitungan diatas dan perhitungan sebelumnya, kemudian diwujudkan dalam bentuk daftar dan digambarkan sebagai diagram yang dinamakan *Diagram Interaksi Kolom*.



Gambar 8. Diagram Interaksi Kolom

ANALISIS BEBAN LENTUR PERLU

Kuat lentur kolom portal harus dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur titik runtuh pada kedua ujung balok yang bertemu pada kolom yang ditinjau. dalam SNI 2002 ditetapkan:

$$\sum M_{u,k} = 1,2 \sum M_{kap,b}$$

Momen bekerja arah X

$$Mu_{k(x)} = 1,2(36880,904 + 36880,904)$$

$$Mu_{k(x)} = 88514,169 \text{ kg.m}$$

Momen bekerja arah Y

$$Mu_{k(y)} = 1,2(10695 + 10695)$$

$$Mu_{k(y)} = 25668 \text{ kg.m}$$

Tabel 1. Rekapitulasi momen dan gaya aksial akibat pembebanan

	Momen Lentur Perlu Terfaktor	Lentur Biaxial Aktual Terfaktor
Momen Arah X	88514,169 kg.m	91318,54 kg.m
Momen Arah Y	25668 kg.m	46416,46 kg.m
	Gaya Aksial Perlu Terfaktor	Aksial Biaxial Aktual Terfaktor
Aksial Arah X	40500 kg	148244,408 kg
Aksial Arah Y	40500 kg	148244,408 kg

Akibat Pembesaran Momen

Untuk kasus dalam tugas akhir ini, pertama – tama dicaari apakah kelangsingan komponen harus dipertimbangkan,

- Kelangsingan arah X
 $r = 0,30h = 0,3 \times 60 = 18 \text{ cm}$

$$\frac{kl_u}{r} = \frac{1 \times 340}{18} = 18,88 < 22$$

→ kelangsingan kolom dapat diabaikan

- Kelangsingan arah Y
 $r = 0,30xh = 0,30 \times 30 = 9 \text{ cm}$

$$\frac{kl_u}{r} = \frac{1 \times 340}{9} = 37,77 > 22$$

→ kelangsingan kolom diperhitungkan

Maka :

$$I_c = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{60 \times 30^3}{12} = 135000 \text{ cm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{22,5} = 22294 \text{ MPa}$$

$$EI = \frac{0,4E_c I_c}{1 + \beta_d} = \frac{0,4 \times 222940 \times 135000}{1 + 0,25} = 963100,8 \text{ kg.m}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k l_u)^2} = \frac{\pi^2 \times 963100,8}{(1 \times 3,4)^2} = 822268,5 \text{ kg}$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{0,65 \times 228068,18}{0,75 \times 822268,5}} = 1,5868$$

Sehingga :

$$M_{\text{permbesaran}} = \delta_{ns} \times M_{\text{perlu}} = 1,5868 \times 25668 = 40729,98 \text{ kg.m}$$

Tabel 2. Rekapitulasi momen akibat pembesaran momen

	Momen Lentur Perlu Akibat Pembesaran	Kapasitas Lentur Aktual Terfaktor
Momen Arah X	88514,169 kg.m	91318,54 kg.m
Momen Arah Y	40729,98 kg.m	46416,46 kg.m

Analisis Beban Geser Perlu

Gaya geser V_u harus dihitung berdasarkan persamaan yang diisyaratkan oleh SNI yaitu:

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_u}$$

Batasan ini merefleksikan filosofi kolom kuat-balok lemah, yang membuat titik-titik runtuh akan tercipta di daerah balok. M_{pr} adalah penjumlahan momen dari balok untuk disalurkan kepada kolom. Gaya geser pada kolom juga dihitung dengan mengasumsikan titik runtuh terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai $1,25f_y$ dan $\phi=1$

- Tinjau arah X

$$M_{pr} = 1,25 \times 368,809 = 461,011 \text{ kN.m}$$

$$V_{ux} = \frac{461,011 + 461,011}{3,4} = 271,183 \text{ kN}$$

$$V_{sx} = \frac{271,183}{0,65} = 417,204 \text{ kN}$$

- Tinjau arah Y

$$M_{pr} = 1,25 \times 106,95 = 133,68 \text{ kN.m}$$

$$V_{uy} = \frac{133,68 + 133,68}{3,4} = 78,639 \text{ kN}$$

$$V_{sy} = \frac{78,639}{0,65} = 120,984 \text{ kN}$$

- o Untuk daerah plastis

$$s_x = \frac{2 \times 78,639 \times 240 \times 550}{417204} = 49,6$$

< 100mm tidak memenuhi

$$s_y = \frac{2 \times 78,639 \times 240 \times 270}{120984} = 84,13$$

< 100mm tidak memenuhi

- o Untuk luar daerah plastis

$$V_c = \left(1 + \frac{1482444,08}{14(600 \times 300)}\right) \left(\frac{\sqrt{19,3}}{6}\right) 300 \times 550 = 174,438 \text{ kN}$$

$$V_{sx} = 417,204 - 174,438 = 242,765 \text{ kN}$$

$$s_x = \frac{2 \times 78,639 \times 240 \times 550}{242765} = 85,408$$

< 200mm tidak memenuhi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi pada struktur yang dijadikan tinjauan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara struktural, komponen struktur pada bangunan ini baik balok dan kolom termasuk dalam sistem rangka pemikul momen khusus yang disyaratkan SNI-03-2847-2002 yang bertujuan untuk mencapai sistem kolom kuat balok lemah.
2. Kapasitas lentur kolom pada kasus ini masih memenuhi syarat sistem rangka pemikul momen khusus yang dimulai dari analisis kolom terhadap biaxial bending yang dibandingkan dengan kuat lentur minimum kolom pada SRPMK dan kemudian ditinjau terhadap kemungkinan pembesaran momen yang terjadi, walau sebenarnya struktur bangunan didesain berdasarkan peraturan lama bukan berdasarkan SRPMK.
3. Tulangan geser terpasang pada kolom tidak masuk dalam syarat SRPMK akibat dari penggunaan gaya geser rencana yang bukan berdasarkan gaya geser struktur portal namun berdasarkan pada momen-momen ujung yang dibagi dengan bentang bersih sehingga menghasilkan gaya geser rencana yang lebih besar. Tulangan geser yang sesuai dengan ketentuan SRPMK adalah sebagai berikut:
 - dipasang $\phi 12-70\text{mm}$ didaerah plastis, yaitu sepanjang 600mm dari permukaan hubungan balok kolom.
 - dipasang $\phi 12-120\text{mm}$ didaerah luar plastis, yaitu sepanjang $> 600\text{mm}$ dari permukaan hubungan balok kolom.
4. Dari hasil perhitungan didapati bahwa kolom yang ditinjau memenuhi terhadap keruntuhan akibat tekan.

SARAN

1. Dalam menganalisis atau desain penampang sebaiknya *biaxial bending* diperhitungkan karena akan memberikan kapasitas atau daya pikul penampang yang lebih besar sehingga lebih stabil.
2. Dalam pendistribusian momen balok ke kolom, sebaiknya dipakai kapasitas penampang yang terpasang agar dapat dipastikan struktur *strong column weak beam*, dan untuk menghindari adanya *overdesign* maupun *underdesign* pada balok yang nantinya akan berpengaruh pada kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI T-15-1991-03)*. Bandung.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta.
- HAKI, 2008. *Seismic Design For Columns in a Special Moment Resisting Frame*. Jakarta.
- Wight, James K., dan MacGregor James G., 2009. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey.
- Taranath, Bungale S., 2010. *Reinforced Concrete Design Of Tall Building*. New York.