

STUDI PENGARUH LEVEL BEBAN AKSIAL PADA KOLOM PERSEGI BANGUNAN TINGGI TERHADAP KEBUTUHAN LUAS TULANGAN PENGEKANG

Anang Kristianto¹, Yoseph Navrandinata P.²

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Soeria Sumantri, MPH, No. 65, Bandung, 40164
e-mail: anang.kristianto@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu persyaratan penting yang diperlukan dalam desain bangunan tahan gempa yang berhubungan dengan detailing tulangan adalah penggunaan tulangan pengeang pada kolom sistem rangka pemikul momen. Sesuai Standar Nasional Indonesia(SNI) jumlah luas tulangan pengeang yang diperlukan hanya tergantung dari luas penampang kolom, mutu tulangan pengeang dan material beton. Berdasarkan perkembangan penelitian dewasa ini memperlihatkan bahwa jumlah luas tulangan pengeang yang digunakan sudah seharusnya memperhitungkan level beban aksial yang bekerja pada kolom. Hal ini sesuai dengan beberapa laporan penelitian terakhir yang menyebutkan pengaruh yang signifikan beban aksial yang bekerja pada specimen kolom terhadap kemampuan kolom dalam menahan beban gempa. Pada makalah ini dipaparkan hasil dari desain gedung perkantoran 15 lantai yang dibangun di daerah dengan resiko gempa sedang. Tulangan pengeang eksisting dibandingkan dengan menggunakan peraturan ACI/SNI Beton Indonesia dengan CSA A_{23.3-04} pada kolom bujursangkar dan persegi pada ketinggian tertentu. CSA adalah salah satu standar yang memperhitungkan pengaruh level beban aksial. Berdasarkan studi kasus dalam makalah ini untuk kolom bujursangkar nilai luas tulangan pengeang eksisting dibawah kebutuhan standar CSA pada seluruh level lantai sehingga diperlukan penambahan tulangan. Pada kolom persegi panjang, luas tulangan pengeang eksisting arah-x memerlukan lebih banyak tulangan pengeang pada lantai dibawah elevasi 20 m agar memenuhi standar CSA, pada tulangan pengeang eksisting arah-y memerlukan lebih banyak tulangan pengeang pada kolom di dibawah level 45 m. Persamaan kebutuhan luas tulangan pengeang pada kolom bujur sangkar dan persegi perlu memperhitungkan level beban aksial, hal ini dimaksudkan agar kolom tidak mengalami kegagalan akibat beban aksial yang tinggi.

Kata kunci: tulangan pengeang, kolom, beton bertulang, beban lateral.

ABSTRACT

One of the important requirements for earthquake resistant buildings associated with reinforcement detailing is the use of confinement reinforcement in moment resisting frame. Based on Indonesian Standard Code (SNI) amount of confinement area depend only on column cross sectional area, yield strength of confinement reinforcement and concrete strength material. Based on some recent research the total area used in confinement reinforcement should consider the level of axial load on the column. This is consistent with some recent research report that axial load give significant influence on specimens column ability to withstand earthquake loads. This paper present the results of a 15-story office building designed for a moderate seismic area. The existing trasverse reinforcement area for confining reinforcement are compared with the current SNI/ACI and CSA A_{23.3-04} requirements for rectilinear and rectangular column at a certain height level. CSA is one of many codes that account for the influence of the level of axial load. Based on this case studies in this paper, existing confinement reinforcement area for rectilinear column bellow the requirements of CSA code, so that is necessary addition of reinforcement over the height of building. For existing confinement x direction rectangular column require more confining reinforcement at elevation bellow of 20 m to meet the CSA code, in existing rectangular column y direction require more confining reinforcement at elevation bellow of 45 m. Confinement design equation for rectilinear and rectangular column need to take into account the level of axial load, it is intended that column is not failure due to high axial load.

Keywords : *confinement, column, reinforced concrete, lateral load.*

1. PENDAHULUAN

Kolom adalah elemen vertikal suatu struktur yang berfungsi menahan beban aksial dan momen sebagai akibat dari beban gravitasi dan beban lateral yang bekerja pada struktur. Untuk meningkatkan perilaku mekanik kolom beton yang lebih baik dan berfungsi sebagai suatu elemen struktur yang daktail maka selain tulangan longitudinal diperlukan juga tulangan transversal. Pada dasarnya tulangan transversal pada struktur kolom memiliki fungsi penting yang berhubungan dengan memperkuat kemampuan kolom saat terjadi beban lateral. Fungsi tulangan transversal adalah :

1. Menahan gaya geser. Setelah terjadi retak diagonal maka tulangan sengkang atau spiral mengembangkan kemampuan tariknya sebagai bagian dari mekanisme rangka.
2. Mengikat sambungan lewatan. Setelah terjadi retak pada daerah yang paralel dengan sambungan, maka sengkang atau spiral menahan terjadinya slip antara sambungan.
3. Menahan terjadinya tekuk pada tulangan longitudinal. Setelah selimut beton terkelupas dan secara khusus ketika tulangan longitudinal mengalami leleh akibat siklus tarik dan tekan maka sengkang berfungsi sebagai penahan lateral tulangan longitudinal.
4. Mengekang inti beton, setelah selimut beton terkelupas maka terjadi aksi kekangan yang bekerja pada sengkang sehingga menahan inti beton tetap pada tempatnya.

Pengekangan inti beton dapat meningkatkan deformability material beton secara signifikan, sehingga dalam hal ini material beton dapat lebih bersinergi dengan material baja tulangan untuk menghasilkan elemen struktur beton bertulang yang daktail.

Penggunaan luas tulangan pengekan pada kolom memerlukan perhatian khusus terutama untuk kolom yang dibangun di daerah dengan resiko gempa tinggi. Meskipun SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung telah mengatur penggunaan luas tulangan pengekan untuk kolom persegi maupun lingkaran, namun penentuan luas tulangan pengekan tidak bergantung kepada level beban aksial yang bekerja. Kondisi ini memerlukan pengujian lebih lanjut mengingat kolom menerima beban aksial yang cukup tinggi pada saat mengalami beban gempa, selain itu beberapa peraturan dari negara lain seperti Canadian Standards Association (CSA) telah memasukkan parameter level beban aksial dalam menentukan luas tulangan pengekan yang harus digunakan. Penelitian ini mencoba mengkaji pengaruh level beban aksial

terhadap kebutuhan luas tulangan pengekan kolom beton persegi untuk studi kasus pada bangunan tinggi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman sekaligus bahan diskusi untuk penyempurnaan lebih lanjut peraturan SNI.

2. TINJAUAN LITERATUR

Kolom merupakan elemen vertikal dari rangka struktural yang memikul beban dari balok dan merupakan elemen struktur dengan gaya dominan aksial tekan. Keruntuhan satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan lantai yang bersangkutan dan bahkan juga seluruh struktur, maka dalam hal ini keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat dihindari sehingga dalam perencanaannya harus lebih diperhatikan dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi dari pada balok ataupun elemen struktur horizontal lainnya. (*Strong column weak beam*)

Dalam hal kolom, beban aksial biasanya dominan sehingga terjadinya keruntuhan tekan sulit dihindari. Apabila beban bertambah pada kolom, maka retak akan banyak yang terjadi di seluruh tinggi kolom pada lokasi tulangan sengkang. Jika beban terus bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal tulangan memanjang pada panjang tak tertumpu sengkang ataupun spiral. Dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton terkelupas dahulu sebelum lekatan baja beton hilang.

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya. Bentuk dan susunan tulangan pada kolom dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Kolom segiempat atau bujursangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
2. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya.

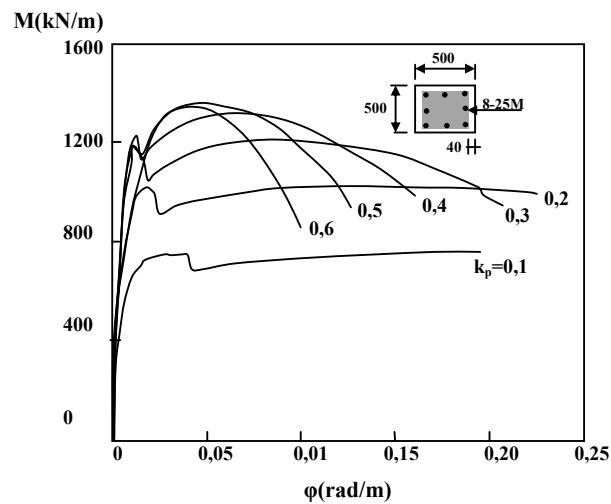
Pada penelitian ini akan ditinjau kolom bujursangkar dan persegi dengan menggunakan pengikat lateral sengkang.

Kolom dapat juga diklasifikasikan juga sesuai dengan level beban aksial yang bekerja seperti bawah ini:

1. $P / P_0 < 0,3$ (Level beban aksial rendah)
2. $0,3 < P/P_0 < 0,5$ (Lebel beban aksial sedang)
3. $P/P_0 > 0,5$ (Level beban aksial tinggi)

Dimana P adalah kuat beban aksial nominal kolom atau teoretis dengan eksentrisitas tertentu, sedangkan P_0 adalah kuat nominal kolom atau teoretis tanpa eksentrisitas

Beberapa peneliti melaporkan bahwa daktilitas kolom menurun akibat meningkatnya beban aksial tekan yang bekerja pada kolom. (Sheikh dan Yeh (1990), Razvi dan Saatcioglu (1994)). Paultre dan Legeron (2008) dalam hasil penelitiannya seperti terlihat pada Gambar 1 memperlihatkan daktilitas kurvatur yang semakin menurun pada level beban aksial ($k_p = P/(A_g f_c')$) yang semakin meningkat. Pengaruh beban aksial tarik terhadap perilaku beton terkekang dilakukan oleh Watanabe et al.(1987) yang menyebutkan bahwa benda uji yang diberikan beban aksial tarik menunjukkan terjadinya penurunan kekuatan meskipun terjadi peningkatan daktilitas bila dibandingkan dengan kolom yang sama tetapi dibebani gaya aksial tekan. Observasi yang sama juga dilakukan oleh Saatcioglu dan Ozcebe (1989) untuk benda uji kolom beton normal yang dibebani berbagai level beban aksial tekan dan tarik.



Gambar 1. Pengaruh beban aksial terhadap daktilitas. (Paultre dan Legeron 2008)

Bae dan Bayrak (2008) dalam pengujian skala penuh kolom persegi yang didesain sesuai standar ACI diberikan beban aksial $0,5P_0$ dan lateral siklis menyebutkan bahwa kolom mengalami kegagalan karena tertekuknya tulangan longitudinal sebagai akibat beban aksial yang terlalu besar.

Perhitungan Luas Tulangan Pengekang Berdasarkan ACI/SNI

Tulangan pengekang dipasang dengan maksud agar pada saat terjadi *spalling* pada selimut beton, kolom tidak akan kehilangan kekuatan aksialnya. Sehingga prinsip yang digunakan dalam SNI adalah luas tulangan sengkang tertutup atau spiral yang terpasang harus mampu meningkatkan kuat tekan inti kolom sedemikian hingga peningkatan tersebut dapat mengkompensasi berkurangnya daya dukung kolom dengan lepasnya selimut beton. Bila kekuatan kolom sebelum selimut terkelupas adalah :

$$P_0 = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (1)$$

dan kekuatan kolom setelah selimut terkelupas adalah :

$$P_1 = f_1 \cdot (A_{ch} - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (2)$$

Dimana A_g = luas penampang total, A_{st} = luas total tulangan longitudinal, A_{ch} = luas penampang setelah selimut terkelupas, f_1 = kuat tekan setelah kekangan bekerja, f_y = mutu tulangan longitudinal. Sesuai dengan konsep bahwa diharapkan kekuatan kolom minimum sama sebelum dan sesudah selimut lepas maka $P_0 = P_1$. Apabila luas tulangan baja A_{st} diabaikan karena terlalu kecil dibandingkan dengan luas penampang kolom maka persamaan (1) dan (2) menjadi :

$$f_1 = \frac{A_g \cdot 0,85 \cdot f_c'}{A_{ch}} \quad (3)$$

Berdasarkan penelitian (Richart et al. 1928) dengan adanya kekangan maka kekuatan tekan inti beton pada kolom akan menjadi sebesar :

$$f_1 = 0,85 \cdot f_c' + 4,1 \cdot f_2 \quad (4)$$

Tegangan lateral kekangan (f_2) dihitung dengan asumsi bahwa tulangan pengekang telah mencapai tegangan lelehnya (f_{yh}) pada saat kolom mengalami kegagalan. Sesuai dengan keseimbangan freebody (Gambar 2) untuk mendapatkan besarnya tegangan kekang lateral pada inti beton yang dihasilkan oleh pengekangan tulangan, maka jumlah aljabar gaya-gaya tersebut menjadi :

$$f_2 \cdot s \cdot D_c = 2 \cdot A_{sp} \cdot f_{yh} \quad (5)$$

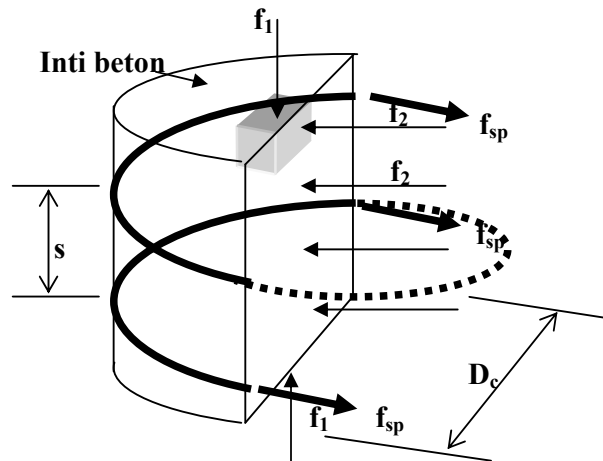
$$f_2 = \frac{2 A_{sp} \cdot f_{yh}}{D_c \cdot s} \quad (6)$$

Jika rasio volumetrik tulangan pengekang (ρ_s) yang didefinisikan sebagai perbandingan volume tulangan pengekang terhadap volume inti beton dan A_{sp} adalah luas penampang tulangan spiral, maka untuk tulangan spiral :

$$\rho_s = \frac{A_{sp} \cdot s}{A_{ch} \cdot D_c} = \frac{A_{sp} \cdot \pi \cdot D_c}{4 \cdot (\pi \cdot D_c^2 / 4) \cdot s} = \frac{4 A_{sp}}{s \cdot D_c} \quad (7)$$

Sehingga bila pers.(7) disubstitusikan ke pers.(6) maka didapatkan,

$$f_2 = \frac{f_{yh} \cdot \rho_s}{2} \quad (8)$$



Gambar 2. Gaya pada beton terkekang (James G.M, James K.Wight ,2005)

Substitusi persamaan (3) dan (9) ke persamaan (4) sehingga menjadi :

$$\frac{d_2 \cdot 0.99 f'_c}{d_{ch}} = 0.85 f'_c + 4.1 \frac{f_{sp} s}{d_{ch}} \quad (9)$$

$$\rho_s = 0.414 \left(\frac{d_2}{d_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{sp}} \quad (10)$$

Sehingga dengan memberikan faktor keamanan sebesar 1.08 maka ACI maupun SNI menetapkan rasio volumetrik minimum tulangan transversal untuk kolom lingkaran sebesar :

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{d_2}{d_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{sp}} \text{ atau} \quad (11)$$

Untuk kasus kolom yang berdiameter besar, rasio A_g/A_c nilainya mendekati 1 sehingga rasio volumetrik minimum diberikan sebesar :

$$\rho_s = 0.12 \frac{f'_c}{f_{sp}} \quad (12)$$

Pada kolom persegi untuk mendapatkan tingkat pengekanan yang sama maka sesuai dengan konsep diatas persamaan menjadi :

$$\frac{d_{ch}}{s h_g} = 0.3 \left[\frac{d_2}{d_{ch}} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_{sp}} \text{ atau} \quad (13)$$

$$\frac{d_{ch}}{s h_g} = 0.09 \frac{f'_c}{f_{sp}} \quad (14)$$

Konsep yang dikembangkan dalam peraturan SNI dan ACI hingga saat ini benar-benar hanya berdasarkan peningkatan kekuatan akibat kekangan, sementara faktor daktilitas yang dipengaruhi oleh level beban aksial belum masuk dalam persyaratan.

Perhitungan Luas Tulangan Pengekang Berdasarkan CSA A_{23.3-04}

Berdasarkan peraturan CSA A_{23.3-04} (Canadian Standards Association) perhitungan luas tulangan pengekang memperhitungkan beban aksial yang bekerja pada struktur bangunan, berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan luas tulangan pengekang :

$$\frac{A_{sh}}{sh_c} = 0,2 \cdot k_n \cdot k_p \cdot \frac{A_g n_l}{A_{gn} f_{yt}} \quad (15)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} k_n &= n_l / (n_l - 2) & k_p &= P / P_0 \\ f_{yt} &\leq 500 \text{ MPa} & A_{sh} / sh_c &\geq 0,09 f_c' / f_{yt} \end{aligned}$$

- n_l = jumlah tulangan longitudinal yang digunakan.
- P = kuat beban aksial nominal kolom atau teoretis dengan eksentrisitas tertentu.
- P_0 = kuat nominal kolom atau teoretis tanpa eksentrisitas

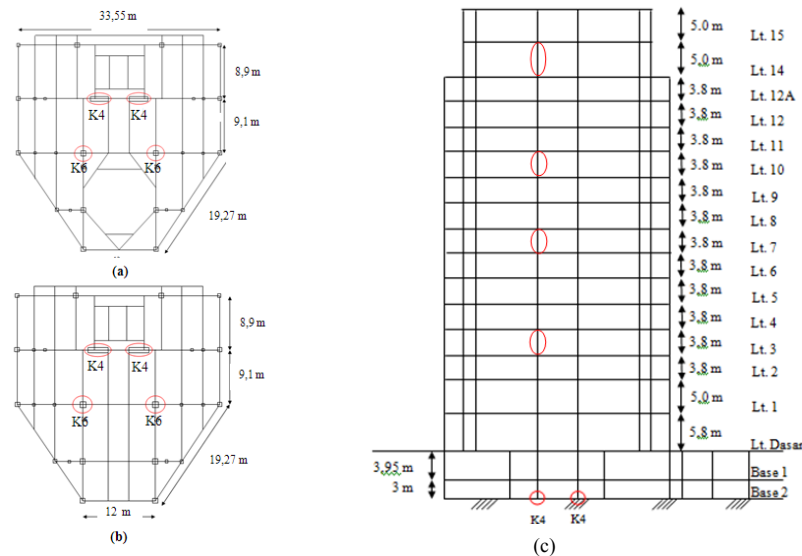
Peraturan CSA A_{23.3-04}; pasal 8.5.1, memberikan persyaratan secara umum bahwa baja tulangan utama harus mempunyai tegangan leleh tidak boleh melampaui $f_y = 500$ MPa. Sedangkan pasal 21.2.7.1 dan 21.4.4.2 mengatur persyaratan khususnya untuk perencanaan struktur pemikul beban gempa dan baja tulangan yang dipakai untuk tulangan geser atau sengkang supaya tidak boleh melampaui $f_y = 500$ MPa. Untuk perencanaan elemen struktur utama pemikul beban gempa penggunaan mutu baja tulangan lebih besar dari $f_y = 400$ MPa harus memperhatikan terjadinya regangan baja yang lebih besar.

3. STUDI KASUS

Untuk keperluan studi kasus digunakan sebuah gedung perkantoran 17 lantai yang berlokasi di zona gempa wilayah 4, tipe gedung adalah tidak beraturan dan berdiri diatas tanah dengan kategori lunak. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 27.5$ MPa, mutu baja tulangan longitudinal $f_y = 400$ MPa, tulangan transversal $f_{ys} = 400$ MPa, seluruh data yang digunakan adalah berdasarkan kondisi eksisting gedung ini. Pada studi kasus ini akan diperlihatkan pengaruh level beban aksial terhadap kebutuhan luas tulangan pengekang pada kolom. Kolom yang akan dievaluasi adalah kolom bujur sangkar dan kolom persegi, kolom persegi merepresentasikan jumlah luas tulangan pengekang yang berbeda pada dua arah sumbu.

Model Gedung

Gambar 3 memperlihatkan denah dan potongan gedung yang akan dianalisis. Gambar 3(a) adalah denah lantai 1, Gambar 3(b) memperlihatkan denah lantai 2 – 14 bersifat tipikal atau memiliki bentuk yang sama. Kolom yang akan ditinjau adalah kolom K4 (kolom persegi panjang) dan K6 (kolom bujursangkar) seperti yang dilingkari pada gambar tersebut. Kolom-kolom tersebut dipilih karena memiliki dimensi yang paling besar pada level paling bawah dan menerima beban aksial yang paling besar dari komponen-komponen yang ada di atasnya (seperti pelat dan balok).



Gambar 3. (a) Denah Lantai 1 ; (b) Denah Lantai 2 – 14; (c) Potongan Gedung

Peninjauan akan dilakukan pada lantai basement 2, lantai 3, lantai 7, lantai 10, dan lantai 14. Pengambilan jumlah lantai ini merepresentasikan tingkat level beban aksial dari yang paling rendah dan yang tinggi yang bekerja pada struktur bangunan tersebut.

Model gedung dianalisis dengan menggunakan *software*, analisis untuk perencanaan gedung mengikuti Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002. Perencanaan luas tulangan pengekang untuk kolom terpilih pada level tertentu menggunakan standar SNI dan CSA. Hasil perencanaan luas tulangan pengekang akan dibandingkan juga dengan luas tulangan pengekang eksisting yang digunakan pada kolom tersebut.

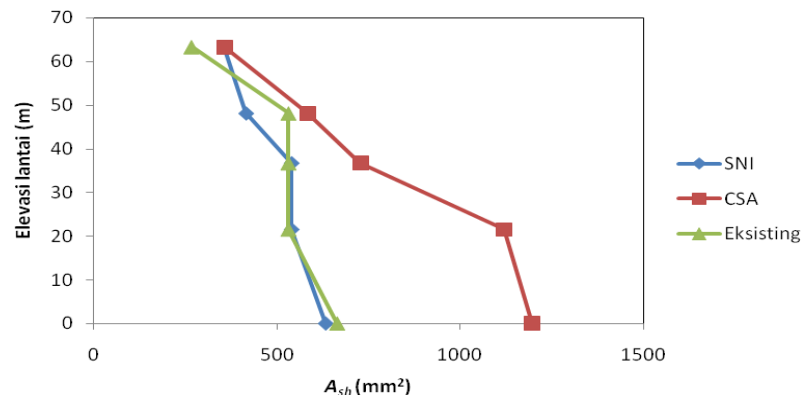
4. HASIL ANALISIS

Tabel 1 dibawah memperlihatkan hasil perhitungan luas tulangan pengekuat yang direncanakan sesuai standar SNI/ACI, CSA dan luas tulangan terpasang (eksisting) pada kolom bujursangkar.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Desain Tulangan Pengekuat Kolom Bujursangkar

No	Lantai	Elevasi (m)	Dimensi Kolom (mm)	Jumlah Tulangan Pengekuat eksisting	$A_{sh} (mm^2)$		
					Eksisting	ACI/SNI	CSA $A_{23.3-04}$
1	Base 2	0	1100x1100	5D13	664	632	1194
2	3	21,55	950x950	4D13	531	539	1117
3	7	36,75	950x950	4D13	531	539	727
4	10	48,15	750x750	4D13	531	415	582
5	14	63,35	600x600	2D13	266	356	356

Kolom ke-2 pada tabel menunjukkan data lantai elemen kolom yang didesain luas tulangan pengekuatnya, untuk kolom bujur sangkar level basement 2 merepresentasikan level beban aksial yang tinggi dimana $P/P_o > 0,5$ sementara dari lantai 13 – 15 level beban aksial yang rendah. Pada kolom ke-3 dari tabel memperlihatkan data perubahan dimensi kolom dari 1100 mm x 1100 mm pada lantai paling rendah hingga lantai 14 yang memiliki dimensi 600mm x 600mm. Kolom ke-4 dari tabel memperlihatkan jumlah tulangan transversal eksisting gedung sesuai data gambar struktur yang didapatkan. Perbandingan luas tulangan pengekuat berdasarkan perencanaan dengan standar SNI dan CSA dapat dilihat juga pada grafik Gambar 4 berikut.

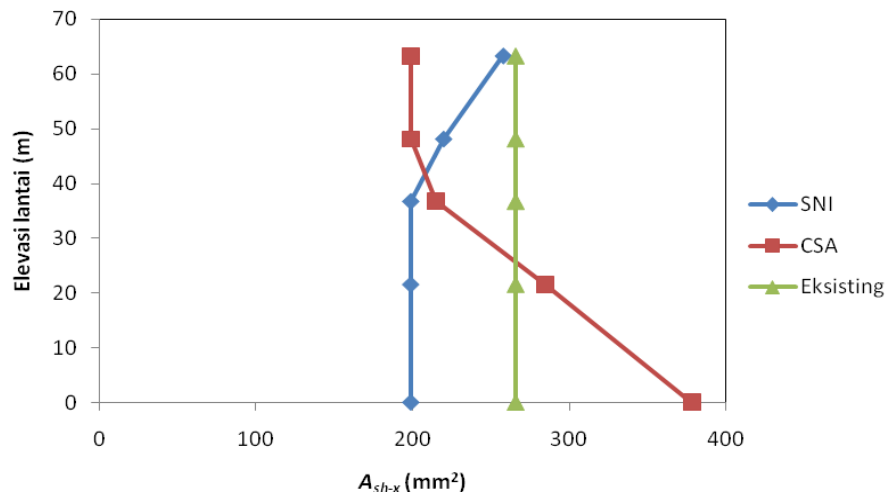


Gambar 4. Grafik Hubungan Nilai A_{sh} dan Elevasi Kolom K6 (kolom bujursangkar)

Gambar 4 memperlihatkan bahwa kebutuhan luas tulangan pengekuat akan semakin menurun seiring bertambahnya elevasi lantai. Kebutuhan tulangan pengekuat dengan standar SNI semakin berkurang karena dimensi kolom yang semakin mengecil sehingga mempengaruhi luas tulangan pengekuat yang diperlukan. Sementara itu kebutuhan tulangan pengekuat dengan standar CSA terlihat lebih besar terutama pada kolom dengan elevasi rendah, hal ini terjadi karena besarnya gaya aksial yang bekerja mempengaruhi luas tulangan pengekuat yang harus digunakan. Tulangan eksisting memenuhi persyaratan SNI pada seluruh lantai kecuali lantai 14.

Apabila dibandingkan dengan CSA maka pada level beban aksial paling tinggi yaitu di elevasi paling bawah luas tulangan pengekuat berdasarkan standar SNI harus ditambahkan hingga 89% nya. Meskipun tulangan pengekuat terpasang (eksisting) memiliki luas yang telah melampaui standar SNI tetapi bila dibandingkan dengan CSA masih memerlukan tambahan tulangan pengekuat lagi agar memenuhi persyaratan CSA.

Pada Tabel 2, diperlihatkan hasil perhitungan luas tulangan pengekuat yang dibutuhkan sesuai peraturan SNI, CSI pada kolom persegi. Dimensi kolom yang bervariasi dari yang paling besar di lantai basement hingga paling kecil di lantai 14 diperlihatkan pada kolom ke-3 tabel tersebut. Pada kolom persegi kebutuhan tulangan pengekuat dibedakan pada arah x dan y, hal ini dikarenakan perbedaan dimensi kolom yang mempengaruhi jumlah tulangan pengekuat pada kedua arah yang ditinjau.



Gambar 5. Grafik Hubungan Nilai A_{sh-x} dan Elevasi Kolom K4 (kolom persegi)

Tabel 2. Hasil Perhitungan Desain Tulangan Pengekang Kolom Persegi arah X

No	Lantai	Elevasi (m)	Dimensi Kolom (mm)	Jumlah Tulangan Pengekang Eksisting	Nilai A_{sh}		
					Eksisting (mm^2)	ACI/SNI (mm^2)	CSA $A_{23.3-04}$ (mm^2)
1	Base 2	0	400x3000	2D13	266	199	379
2	3	21,55	400x3000	2D13	266	199	285
3	7	36,75	400x2100	2D13	266	199	215
4	10	48,15	400x1300	2D13	266	220	199
5	14	63,35	400x800	2D13	266	258	199

Pada Gambar 5 terlihat bahwa pada kolom paling bawah (elevasi rendah) standar CSA memerlukan luas tulangan pengekang yang lebih banyak daripada SNI. Pada elevasi yang semakin tinggi pengaruh beban aksial membuat kebutuhan luas tulangan pengekang semakin mengecil pada standar CSA, sementara standar SNI memperlihatkan kecenderungan yang membesar. Kondisi ini kontradiksi dengan kolom bujur sangkar sebelumnya, hal ini terjadi karena untuk kolom-kolom dengan dimensi yang besar sesuai dengan peraturan nilai minimum luas tulangan pengekang bukan lagi merupakan fungsi dimensi tetapi hanya fungsi mutu beton dan baja tulangan yang digunakan. Pembatasan ini dimaksudkan agar luas tulangan pengekang yang digunakan untuk kolom dengan dimensi yang relatif besar tidak semakin mengecil.

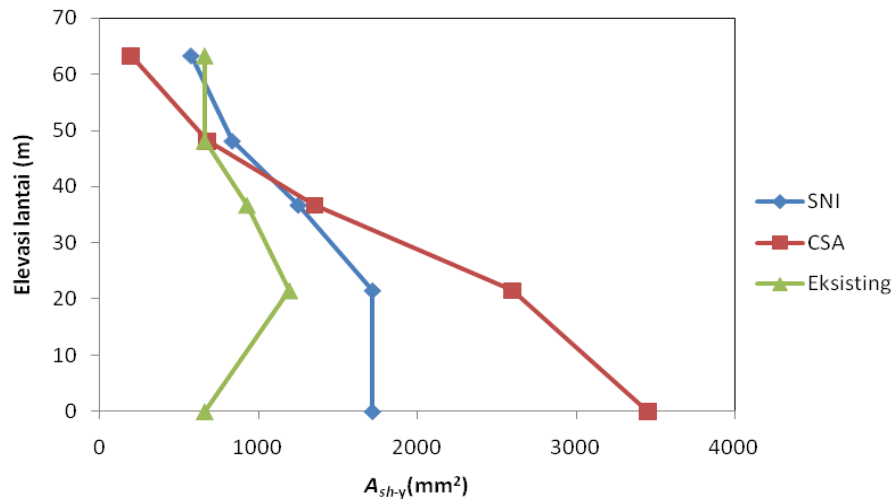
Untuk tulangan eksisting yang terpasang pada gedung ini terlihat sudah diatas kebutuhan minimum yang disyaratkan oleh SNI sehingga dapat dinyatakan telah memenuhi persyaratan minimum. Bila dibandingkan dengan standar CSA maka jumlah luas tulangan pengekang eksisting hanya memenuhi untuk kolom dengan level beban aksial ringan yang terjadi pada kolom yang terdapat pada lantai di elevasi 20m ke atas. Pada kolom dari lantai 7 ke atas jumlah luas tulangan pengekang dapat dikurangi hingga 25% dari kondisi yang ada apabila didesain dengan standar CSA. Kolom pada lantai dengan elevasi dibawah 20 m memiliki beban aksial yang cukup tinggi sehingga sesuai standar CSA membutuhkan jumlah luas tulangan pengekang yang lebih banyak dari kondisi eksisting. Luas tulangan pengekang tambahan yang dibutuhkan dapat mencapai 42% dari luas tulangan eksisting pada kolom paling bawah.

Tabel 3 memperlihatkan desain luas tulangan pengekang untuk arah y pada kolom persegi.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Desain Tulangan Pengekang Kolom Persegi arah Y

No	Lantai	Elevasi (m)	Dimensi Kolom (mm)	Jumlah Tulangan Pengekang	Nilai A_{sh}		
					Eksisting (mm^2)	ACI/SNI (mm^2)	CSA $A_{23.3-04}$ (mm^2)
1	Base 2	0	400x3000	5D13	664	1717	3454
2	3	21,55	400x3000	9D13	1195	1717	2598
3	7	36,75	400x2100	7D13	929	1251	1356
4	10	48,15	400x1300	5D13	664	837	678
5	14	63,35	400x800	5D13	664	579	198

Gambar 6 memperlihatkan grafik perubahan jumlah luas tulangan pengekang arah y pada setiap elevasi kolom persegi. Secara umum luas tulangan pengekang berkurang pada posisi kolom yang semakin tinggi, sementara itu luas tulangan pengekang tulangan eksisting tidak memenuhi persyaratan minimum yang diberikan oleh SNI maupun CSA pada kolom lantai 10 ke bawah. Pada kolom paling bawah dibutuhkan tambahan luas tulangan pengekang sebesar 420% dari yang ada agar tulangan eksisting memenuhi persyatan CSA, sementara pada kolom paling atas tulangan eksisting dapat dikurangi hingga 70% dari kondisi eksisting.



Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai A_{sh-y} dan Elevasi Kolom K4 (kolom persegi)

Desaian minimum luas tulangan pengekuat dengan menggunakan standar SNI terlihat belum memenuhi standar CSA pada kolom lantai 7 ke bawah, dibutuhkan penambahan luas tulangan sebesar 101% pada kolom paling bawah. Hal sebaliknya pada kolom 10 ke atas syarat minimum standar SNI masih dapat dikurangi apabila dibandingkan dengan standar CSA, pada kolom paling atas luas tulangan minimum dengan standar SNI masih dapat dikurangi hingga 65%nya.

Secara umum penggunaan standar CSA memerlukan luas tulangan pengekuat minimum yang lebih banyak daripada menggunakan standar SNI terutama untuk kolom pada level beban aksial yang tinggi. Kondisi ini sesuai dengan beberapa penelitian yang melaporkan kegagalan tulangan pengekuat dalam mengekuat inti kolom pada level beban aksial yang tinggi. Pada SNI perhitungan luas tulangan pengekuat belum memperhitungkan pengaruh beban aksial yang bekerja, sehingga untuk kondisi beban aksial yang tinggi perlu diusulkan untuk melihat standar dari CSA.

Selain memperhitungkan pengaruh level beban aksial, standar CSA juga memperhitungkan jumlah tulangan longitudinal yang ada pada kolom tersebut, pada prinsipnya tulangan longitudinal dapat mempengaruhi besarnya kekangan inti kolom pada saat beban aksial bekerja. Secara tidak langsung tulangan longitudinal memberikan efek untuk memperbesar daerah terkekang efektif sesuai dengan teori dari Sheikh dan Uzumeri (1980).

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis luas tulangan pengekuat dengan menggunakan peraturan ACI/SNI dan CSA A_{23.3-04} pada berbagai kondisi level beban aksial pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada kolom bujursangkar nilai luas tulangan pengekuat eksisting relatif sudah memenuhi peraturan ACI/SNI, sedangkan jika menggunakan peraturan CSA A_{23.3-04} belum memenuhi sehingga diperlukan penambahan tulangan agar sesuai standar CSA.
2. Pada kolom persegi panjang, luas tulangan pengekuat eksisting arah-x telah memenuhi standar SNI pada seluruh level lantai, sementara bila dibandingkan dengan standar CSA tulangan eksisting hanya memenuhi pada lantai diatas elevasi 20 m. Pada elevasi dibawah 20 m agar memenuhi standar CSA perlu ditambah luas tulangan pengekuatnya.
3. Pada kolom persegi panjang, luas tulangan pengekuat eksisting arah-y relatif tidak memenuhi persyaratan yang diberikan oleh SNI. Sementara itu apabila dibandingkan

dengan standar CSA luas tulangan pengekan hanya memenuhi pada kolom di level 45 m keatas.

4. Pengaruh beban aksial yang bekerja pada sebuah bangunan sangat mempengaruhi besarnya nilai luas tulangan pengekan yang dibutuhkan seperti yang dilaporkan pada beberapa penelitian dan diterapkan pada standar CSA.
5. Persamaan kebutuhan luas tulangan pengekan pada kolom bujur sangkar dan persegi perlu memperhitungkan level beban aksial yang bekerja sehingga diharapkan kolom tidak mengalami kegagalan pengekan pada saat terjadi beban aksial yang tinggi.

6. SARAN

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap mengenai pengaruh level beban aksial terhadap luas tulangan pengekan perlu dianalisis studi kasus untuk untuk kolom berbentuk lingkaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bae, S. and Bayrak, O.(2008),” Seismic Performance of Full Scale Reinforced Concrete Column”, ACI Structural Journal, V. 105, No. 2, March-Apr., pp. 123-133.
2. Canadian Standards Association (2004) ,”Design of Concrete Structures,” CSA A23.3-04, Mississauga, ON, Canada, pp 258
3. James G.M, James K.Wight (2005).” Reinforced Concrete Mechanics and Design, Fourth Edition”, Prentice Hall.
4. Navrandinata, Y.P. (2013). "Pengaruh Gaya Aksial terhadap Luas Tulangan Pengekan Kolom Beton Bertulang", Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
5. Paultre P.; Legeron F.,(2008). ” Confinement Reinforcement Design for Reinforced Concrete Columns”, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol 134. No5 May 2008.pp738-749
6. Purwono, R., Tavio, Imran, I., Raka, I.G.P, 2006, *Indonesian Concrete Code for Buildings (SNI 03-2847-2002) with Commentary* , ITS Press, Surabaya, Indonesia.
7. Sheikh, S.A and Uzumeri, S.M.(1980).”Strength and Ductility of Tied Concrete Column”, Proceedings, ASCE, V.106, ST5, May 1980, pp 1079-1102.

8. Sheikh, S. A., and Yeh, C.,(1990). "Tied Concrete Columns under Axial Load and Flexure," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 116, No. 10, Oct. 1990, pp. 2780-2800.
9. Razvi S.R and Saatcioglu M.(1994) "Strength and Deformability of confined High-Strength Concrete Columns ",ACI Structural Journal, V. 91, No. 6, Nov-Dec. 1994, pp. 1-10.
10. Watanabe, F.; Muguruma, H.; Matsutani, T.; and Sanda, D.(1987)."Utilization of High Strength Concrete for Reinforced Concrete High Rise Buildings in Seismic Area," Utilization of High Strength Concrete Proceeding, Stavanger, Norway, Tapir Publishers, pp 655-666.