

ANALISIS PENGARUH PERGESERAN LUBANG PENAMPANG KOLOM BETON BERTULANG PERSEGI BERLUBANG

Rendi Nopradego¹⁾, Mukhlis Islam²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, FT UNIB, Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp. (0736) 344087, e-mail : t_sipil_unib@yahoo.co.id

²⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, FT UNIB, Bengkulu

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kesulitan memastikan bahwa pemasangan lubang di tengah kolom tetap sentris pada pembangunan elemen kolom sebuah bangunan. Lubang yang tidak sentris di tengah kolom mengakibatkan adanya pergeseran lubang yang berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas kolom, khususnya ketika lubang tergeser ke arah beton yang mengalami tekan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh pergeseran lubang kolom persegi berlubang terhadap kekuatan struktur kolom berlubang sentris. Perhitungan ini terdiri dari 144 sampel dengan membedakan mutu beton (f_c'), luas tulangan, luas lubang dan dimensi kolom pada setiap sampel. Analisis didasarkan pada asumsi distribusi tegangan-regangan linier pada penampang dengan persamaan Hognestaads. Elemen kolom beton bertulang dianalisis dengan asumsi hanya mengalami kombinasi momen lentur uniaksial. Hasil analisis memperlihatkan bahwa pergeseran lubang terhadap kolom berlubang mengakibatkan penurunan kapasitas kolom. Penurunan kapasitas kolom terbesar (10,38%) terjadi pada pergeseran lubang 100% dari posisi lubang sentris pada dimensi (600x600) mm dengan f_c' 30 MPa, mutu tulangan (f_y) 400 MPa, luas tulangan 1%, dan luas lubang 7% dengan gaya Aksial (P_n) dan 9,06% Momen Nominal (M_n). Hal ini berarti pergeseran lubang ke arah tekan cukup mempengaruhi kapasitas tekan beton dari kolom berlubang sentris.

Kata kunci : kolom berlubang, pergeseran lubang, hubungan tegangan-regangan, rasio tulangan, kapasitas kolom.

Abstract

This Research is based on the difficulty of implementation of the hole installation centered in the middle column. The influence of shifting the hole to column capacity reduction occurs when the hole is shifted towards to the compression area. This study analyzes the effect of shifting the hole in rectangular reinforced concrete column against capacity of the column structure decrease. This calculation consists of 144 samples with different compression strength (f_c'), reinforcements area, hole area, and dimensions of the column. The analysis is based on the assumption of linear strain distribution in cross section with appropriate stress-strain correlation using Hognestaad equation. Reinforced concrete structural element were analyzed only experiencing a combination of uniaxial bending moment. The results of the analysis effect of shifting the hollow in rectangular reinforced concrete column decreased capacity of the column. The largest decline of the column capacity occurred on 100% the shift column holes from the hole centered in the middle column on dimension of 600 mm x 600 mm with f_c' 30 MPa, reinforcement quality (f_y) 400 MPa, reinforcement extensive of 1%, and holes extensive of 7% is 10.38% of axial forces (P_n) and 9.06% of Nominal Moment (M_n). The effect of shifting the hole towards to the compression area is affecting the capacity of hollow in rectangular reinforced concrete column centric decreasing.

Keywords : *hollow column, shifting the hole, stress-strain relation, reinforcement ratio, column capacity.*

PENDAHULUAN

Kolom sering digunakan sebagai tempat penyaluran pipa drainase ataupun instalasi mekanikal elektrik. Pipa ini dipasang di dalam kolom agar tetap menjaga keindahan arsitekturnya. Pemasangan pipa ini dapat menyebabkan berkurangnya luas penampang kolom dan dapat berakibat pengurangan kapasitas kekuatan dari kolom tersebut.

Pasal 8.3.4 SNI 03-2847-2002 telah membatasi luasan lubang maksimal sebesar 4% dari luas penampang untuk perkuatan dan atau untuk perlindungan terhadap kebakaran. Renjani (2011) menyatakan penurunan kapasitas gaya aksial kolom (P_n) terbesar 10,42% terjadi pada luas lubang sebesar 7% dari luas penampang yang terletak sentris ditengah pusat berat penampang.

Pelaksanaan pemasangan lubang tetap sentris di tengah kolom di lapangan cukup sulit untuk dikontrol. Penulis menggunakan aplikasi *software* komputer (*spreadsheet*) untuk menghasilkan ketepatan dan kecepatan dalam analisa. Aplikasi ini mampu memperhitungkan berulang-ulang secara singkat.

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain :

1. Berapa besar pengaruh pergeseran lubang kolom berlubang terhadap kolom berlubang sentris?
2. Bagaimana pengaruh dari penambahan luas lubang dan luas tulangan terhadap persentase pengurangan gaya aksial (P_n) dan momen nominal (M_n)?
3. Apakah pergeseran lubang penampang kolom beton bertulang persegi berlubang masih dapat ditoleransi pemakaiannya pada perencanaan kolom?

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini antara lain :

1. Menghasilkan grafik-grafik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pergeseran lubang terhadap pengurangan kekuatan kolom ke arah kolom tertekan dari kolom berpenampang persegi berlubang sentris.
2. Menghasilkan diagram interaksi P_n - M_n kolom berlubang sentris dan pergeseran lubangnya sehingga nantinya dapat diketahui keamanan dari perencanaan yang dilakukan.
3. Mendapatkan persentase pengurangan kekuatan pada kolom berpenampang persegi berlubang dengan pergeseran lubangnya sebagai kontrol apabila lubang tergeser ke arah tekan di lapangan.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain :

1. Kolom beton bertulang berpenampang persegi dengan tulangan longitudinal dua muka.
2. Elemen struktur beton bertulang yang hanya mengalami kombinasi momen lentur uniaksial.
3. Rasio tulangan longitudinal pada kolom berpenampang persegi dengan menggunakan hubungan antara tegangan-regangan hognestaads.
4. Menggunakan aplikasi *spreadsheet*.
5. Batasan parameter-parameter perhitungan, antara lain :
 - a. Mutu beton (f_c') yang di ambil adalah mutu beton yang sering dipakai yaitu (25-30) MPa dengan kenaikan (*increment*) 2,5 MPa.
 - b. Luas tulangan (1-5)% dari luas penampang kolom dengan *increment* 2% (berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 12.9.1. dengan luas tulangan (1-8)%).

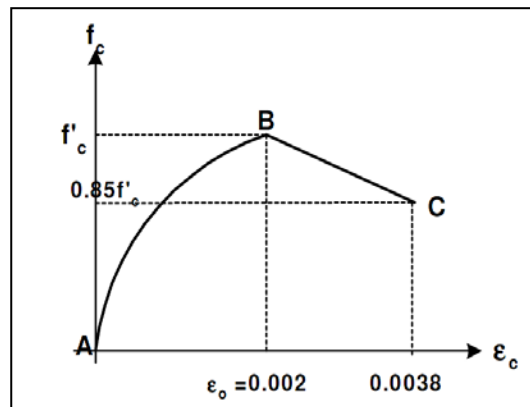
- c. Dimensi kolom persegi simetris dari (30-60) cm dengan kenaikan (*increment*) 10 cm.
- d. Mutu tulangan (f_y) adalah 400 MPa.
- e. Luas lubang dari (3-7)% dengan kenaikan (*increment*) 1% (berdasarkan SNI 03-2847 pasal 8.3.4. luas lubang maks 4%)
- f. Batasan pergeseran lubang ke arah tekan $\left(\frac{h}{2} - 2d' - \frac{1}{2}\phi_{\text{lubang}}\right)$ dengan kenaikan (*increment*) 20%.

Adapun manfaat dalam penelitian ini, antara lain :

1. Alat bantu dalam bentuk grafik interaksi P_n - M_n , grafik pengurangan P_n , dan grafik pengurangan M_n yang dihasilkan dalam tugas akhir ini diharapkan menambah kemudahan bagi para *engineer* yang ingin mengetahui pengaruh dari pergeseran lubang penampang kolom beton bertulang persegi berlubang.
2. Alat bantu dalam bentuk grafik ini juga dapat menentukan keamanan kolom persegi berlubang baik sentris maupun tergeser dalam perencanaan.
3. Para *engineer* dapat mengetahui seberapa besar pengurangan kekuatan kolom dari pengaruh pergeseran lubang penampang kolom beton bertulang persegi berlubang dengan grafik-grafik yang disediakan.
4. Alat bantu dalam bentuk grafik ini juga nantinya dapat mempermudah para *engineer* dalam mengontrol pengurangan kekuatan kolom apabila dilapangan terjadi kesalahan pemasangan sehingga lubang kolom tergeser.
5. Tugas akhir ini dapat menjadi referensi untuk mengembangkan penelitian kolom berlubang lain (kolom biaksial) yang lebih kompleks dimasa akan datang sehingga dapat menambah wacana baru dalam bidang struktur.

Asumsi Hubungan Tegangan-regangan (σ - ϵ) Hognestaads

Diagram tegangan-regangan (σ - ϵ) beton biasanya diperoleh dari hasil uji tekan uniaxial silinder beton. Namun, untuk tujuan analisis perlu suatu model matematis yang dapat menggambarkan hubungan antara tegangan-regangan (σ - ϵ) beton tersebut. Model ini sudah diketahui dengan baik dan menunjukkan prediksi tegangan-regangan (σ - ϵ) beton normal yang cukup akurat (Park dan Pauly, 1975). Diagram tegangan-regangan (σ - ϵ) beton normal menurut hognestaads seperti yang dijelaskan pada Gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Kurva tegangan-regangan beton menurut Hognestaads (Sudarsana, 2010)

Diagram tegangan-regangan Hognestaads terbagi menjadi dua bagian kurva yaitu *ascending branch* dan *descending branch*.

a. *Ascending Branch*

Merupakan kurva kenaikan tegangan beton dari titik A ke titik B. Sehingga akan didapat persamaan untuk menentukan tegangan awal sebelum beton mencapai tegangan 0,002.

$$f_c = f'_c \left\{ \frac{2\epsilon_c}{\epsilon_o} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

b. *Descending Branch*

Merupakan kurva penurunan tegangan dari titik B ke titik C. Sehingga akan didapat persamaan untuk menentukan

tegangan awal setelah beton mencapai tegangan 0,002.

$$f_c = f_c' \{1 - 100(\varepsilon_c - \varepsilon_o)\} \quad (2)$$

dimana :

f_c = tegangan beton pada serat tekan terluar pada kondisi beban kerja.

f_c' = kekuatan tekan beton

ε_c = regangan dalam beton pada kondisi perpias

ε_o = regangan beton menurut hognestaads

1. Analisis Perhitungan

Perhitungan dapat dilakukan dengan menurunkan beberapa rumus umum dari tegangan-regangan penampang beton, sebagai berikut:

$$P_{no} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a + A_s \cdot f_y + A_s' \cdot f_y \quad (3)$$

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_y} = \frac{c_b}{(d - c_b)}$$

$$c_b \cdot \varepsilon_y = \varepsilon_{cu} (d - c_b)$$

$$c_b \cdot \varepsilon_y = \varepsilon_{cu} \cdot d - c_b \cdot \varepsilon_{cu}$$

$$c_b (\varepsilon_y + \varepsilon_{cu}) = d \cdot \varepsilon_{cu}$$

$$c_b = \frac{d \cdot \varepsilon_{cu}}{(\varepsilon_y + \varepsilon_{cu})} \quad (4)$$

Dimana:

P_{n0} = gaya aksial murni (kN)

c_b = gaya tekan beton (ε seimbang) (mm)

ε_y = regangan tarik baja tulangan pada saat leleh (mm)

ε_c = regangan tekan beton (mm)

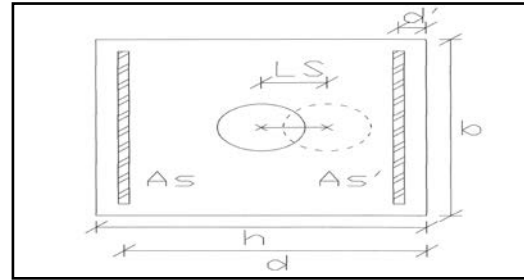
f_y = kuat tarik atau kuat leleh baja tulangan tarik (MPa)

A_s = luas tulangan (mm²)

Tentukan posisi lubang untuk menentukan batasan pengurangan nilai b penampang kolom.

Analisa pergeseran kolom :

$$L_s = \left(\frac{h}{2} - 2d' - \frac{1}{2} \phi_{\text{lubang}} \right)$$



Menentukan posisi sentuhan lubang :

Sentuhan lubang kiri (Si) = $h/2 - RO$

Sentuhan lubang kanan (Sa) = $h/2 + RO$

Dimana:

RO = Jari-jari lubang ($1/2\phi$ lubang)

c_b merupakan jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan pada kondisi regangan penampang seimbang (*balanced*) (mm). Selanjutnya dari nilai c_b kita menghitung regangan disetiap jaraknya. Semakin rapat jarak perhitungan regangannya semakin baik didapat grafik interaksi tegangan dan regangan.

$$(x) = \frac{c}{i}$$

$$(xi) = x(i - 1) + x \quad (5)$$

Dimana:

x = Lebar c perpias

i = Jumlah Pias

xi = Jarak perpias

Selanjutnya dihitung regangan beton perpias dengan persamaan segitiga

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{ci}} = \frac{c}{(c - xi)}$$

$$\varepsilon_{ci} = \frac{\varepsilon_{cu} (c - xi)}{c} \quad (6)$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s$$

$$(7)$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

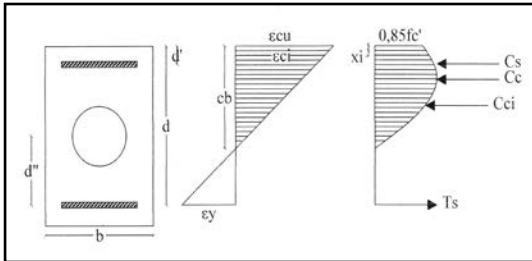
$$(8)$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$(9)$$

Dari nilai f_c 'i di ambil dari persamaan hognestaads, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Bila nilai $\epsilon_{ci} \leq 0,002$ mm, maka digunakan persamaan 1. untuk menentukan tegangan awal sebelum beton mencapai tegangan 0,002 mm.
2. Bila nilai $\epsilon_{ci} > 0,002$ mm, maka digunakan persamaan 2 untuk menentukan tegangan awal setelah beton mencapai tegangan 0,002 mm.



Nilai f_c' didapat, selanjutnya kita dapat menghitung C_{ci} .

$$A_{ci} = x \cdot b_i$$

$$C_{ci} = \frac{f_{ci} + f_{ci}(i-1)}{2} A_{ci} \quad (10)$$

Nilai b_i didapat dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Bila tegangan kolom tidak menyentuh batasan kolom berlubang maka digunakan persamaan.

$$b_i = b$$

2. Bila tegangan kolom menyentuh lubang maka digunakan persamaan.

$$b_i = b - 2\sqrt{\{2 \cdot (x_i - s_i) \cdot R_o(x_i - s_i)^2\}}$$

Setelah nilai C_{ci} didapat, Selanjutnya akan didapat nilai P_n dan M_n dengan cara :

$$P_n = \sum C_{ci} + C_s - T_s$$

$$M_n = \sum C_{ci} (d - d'' - ((i-1) x + x/2)) + C_s \cdot (d - d'' - d') + T_s \cdot (d'')$$

(11)

Dimana :

- d = tinggi efektif/jarak dari muka tekan sampai ke titik berat tulangan tarik (mm).
- d'' = jarak dari serat beton terluar ke titik berat tulangan (mm)

d'' = jarak dari titik berat tulangan ke titik berat kolom (mm).

C_{ci} = gaya tekan beton perpias (kN).

C_s = gaya tekan akibat tulangan tekan (kN).

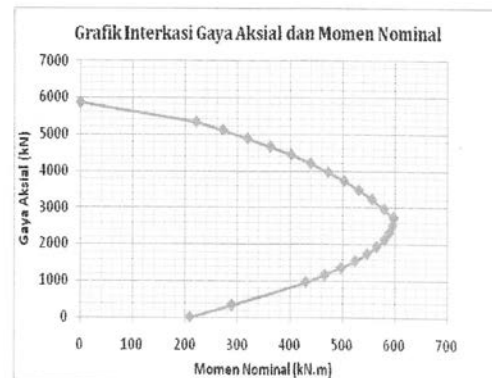
T_s = gaya tarik akibat tulangan tarik (kN).

f_s = tegangan baja (kN).

P_n = beban kuat nominal aksial kolom (kN).

M_n = kekuatan momen nominal kolom (kN.m).

Selanjutnya dicoba untuk nilai c yang berbeda dengan melakukan langkah-langkah yang sama sampai menghasilkan nilai P_n dan M_n dengan c yang berbeda. Jika telah di dapatkan nilai P_n dan M_n pada setiap c , maka kita akan mendapatkan grafik interaksi P_n dan M_n seperti gambar di bawah ini (Gambar 2).



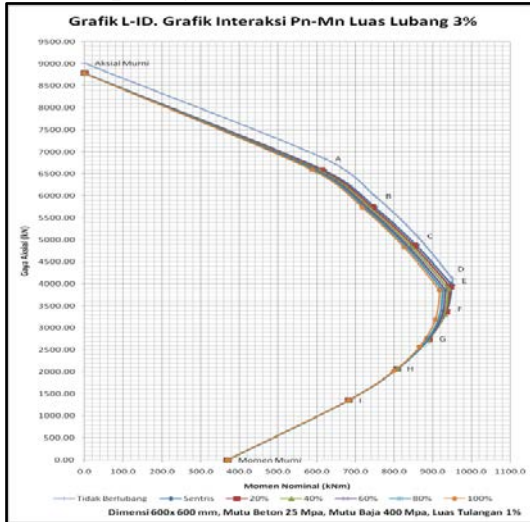
Gambar 2. Grafik Interaksi $P_n - M_n$

HASIL DAN PEMBAHASAN

(3.9)
 Analisis pengaruh kolom persegi berlubang maupun pergeseran lubangnya dalam menahan gaya-gaya yang bekerja nantinya. Analisa kolom persegi berlubang terdiri dari 144 sampel untuk masing-masing pada setiap dimensi kolom, luas tulangan, luas lubang, dan mutu beton yang digunakan. Sampel masing-masing penelitian ini dibuat dalam grafik P_n - M_n . Hasil dari penelitian ini juga menghasilkan grafik persentase pengurangan Gaya Aksial (P_n) dan Momen

Nominal (M_n) dari masing-masing sampel kolom persegi berlubang maupun pergeseran lubangnya.

Contoh Grafik P_n - M_n Kolom Berlubang Terhadap Pergeseran Lubangnya



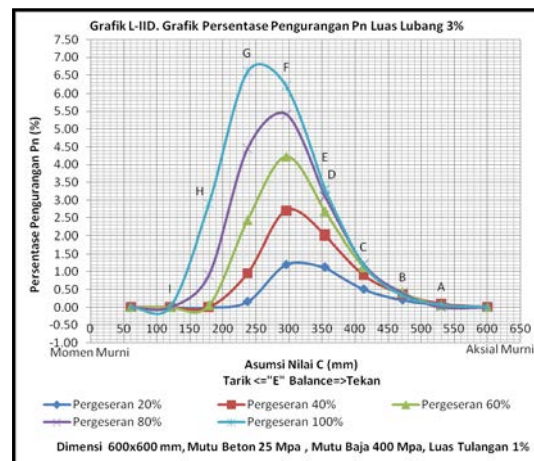
Gambar 3. Grafik Interaksi P_n dan M_n

Grafik Interaksi P_n - M_n yang didapat menunjukkan adanya pengurangan kapasitas beton tersebut. Garis grafik yang berwarna biru merupakan kondisi kolom tidak berlubang dan warna garis lainnya menyatakan kondisi kolom berlubang dan persentase pergeseran lubangnya mulai dari sentris (pergeseran 0%), 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Pada kondisi kolom tidak berlubang terhadap kolom berlubang terjadi selisih. Selisih yang cukup terlihat pada grafik yang merupakan pengaruh lubang itu sendiri terhadap pengurangan kekuatan kolom. Pengaruh lubang juga mempengaruhi pengurangan gaya aksial murninya. Sedangkan pengaruh pergeseran lubang itu sendiri cukup signifikan terjadi pada kondisi *balance* dan mulai berkurang pada saat beton mengalami gaya aksial murni maupun momen murni. Tetapi pada pergeseran lubang terhadap kolom berlubang sentris tidak mempengaruhi pengurangan kekuatan pada gaya aksial murni kolom maupun momen nominal murninya.

Aksial murni yang terjadi pada grafik interaksi P_n - M_n (Gambar 3.) sebesar 8784

kN merupakan kondisi dimana kolom hanya dibebani beban aksial saja sedangkan momen yang terjadi ialah nol. Pada kondisi A, B, C, dan D merupakan kondisi dimana kolom mengalami keruntuhan tekan. Titik E dimana kolom pada kondisi *balance* sehingga hancurnya beton (runtuh tekan) bersamaan dengan meluluhnya tulangan tarik kolom (runtuh tarik). Pada titik F, G, H, dan I menunjukkan kolom pada kondisi keruntuhan tarik. Momen murni yang terjadi pada grafik interaksi P_n - M_n terjadi sebesar 369,455 kNm merupakan kondisi dimana kolom hanya menahan momen dengan gaya aksial yang sangat kecil sehingga disebut momen nominal murni.

Contoh Grafik Persentase Pengurangan P_n

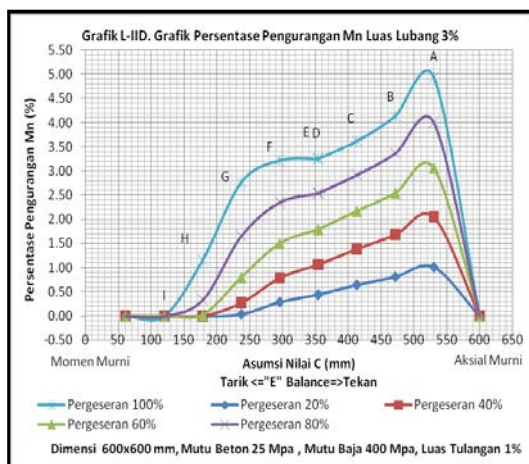


Gambar 4. Grafik Persentase Pengurangan P_n

Gambar 4 grafik persentase pengurangan gaya aksial (P_n) terhadap pergeseran lubangnya memperlihatkan penurunan gaya aksial untuk masing-masing pergeseran lubang. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa gaya aksial pada kondisi aksial murni belum mengalami pengaruh pengurangan kekuatan. Pada kondisi ini seluruh penampang kolom mengalami tekan sehingga dimanapun posisi lubang tidak akan mempengaruhi pengurangan kekuatan. Kondisi dimana adanya peningkatan nilai C ke arah tarik, pergeseran lubang menunjukkan adanya

pengaruh pengurangan kapasitas kolom berlubang terhadap pergeseran lubangnya (titik A sampai dengan F). Hal ini dikarenakan lubang akan mengurangi luas penampang tekan kolom sampai dengan pengurangan terbesar sebesar 7,04% pada nilai C asumsi 34 dengan nilai C sebesar 256,67 mm. Pada kondisi dimana grafik menunjukkan penurunan persentase pengurangan P_n titik G, H, dan I ini dikarenakan selain luas penampang tekan yang berkurang karena semakin bertambahnya eksentrisitas luas lubang juga akan sedikit mempengaruhi pengurangan luas penampang tekan beton bahkan luas lubang tidak menyentuh luas penampang tekan beton (titik H pergeseran 20%). Sehingga luas lubang tidak lagi mempengaruhi blok tekan beton.

Contoh Grafik Persentase Pengurangan M_n



Gambar 5. Grafik Persentase Pengurangan M_n

Gambar 5 grafik persentase pengurangan momen nominal (M_n) terhadap pergeseran lubangnya memperlihatkan penurunan momen nominal untuk masing-masing pergeseran lubang. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa momen nominal pada kondisi aksial murni belum mengalami pengaruh pengurangan kekuatan. Pada kondisi ini seluruh penampang kolom mengalami tekan sehingga dimanapun posisi lubang tidak akan mempengaruhi pengurangan kekuatan.

Pengaruh pengurangan terjadi disaat adanya eksentrisitas kolom dimana adanya persentase pengurangan terbesar sebesar 4,95% pergeseran lubang 100% dan akan terus menurun. Pengaruh pengurangan ini terjadi karena seluruh lubang kolom masih berada pada blok tekan beton sehingga mengurangi kapasitas sampai dengan kondisi keruntuhan tarik. Kondisi dimana pergeseran kolom sebesar 20% pada titik H didapat pengurangan kapasitas kolom sebesar 0% dikarenakan lubang sudah tidak lagi menyentuh luas penampang tekan beton karena adanya eksentrisitas yang besar. Kondisi dimana kolom mengalami kondisi momen murni dengan gaya aksial yang kecil pengaruh lubang maupun pergeseran lubangnya sudah tidak lagi mempengaruhi kapasitas tekan kolom dikarenakan lubang hanya mempengaruhi kapasitas tekan beton.

Analisis Persentase Pengurangan Kapasitas Kolom Persegi Berlubang Terhadap Pergeseran Lubangnya

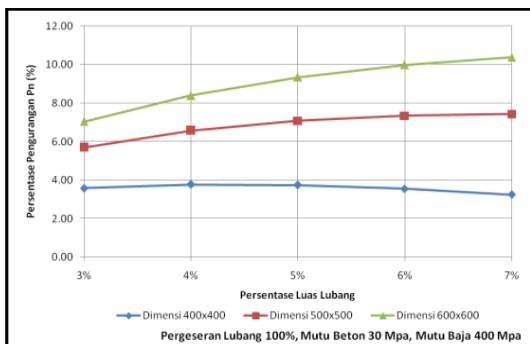
Grafik interaksi P_n - M_n yang dihasilkan dapat dilihat bahwa adanya pengurangan kapasitas kolom untuk setiap persentase pergeserannya mulai dari pergeseran 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Berikut ini disampaikan berapa besar pengaruh pergeseran lubang tersebut setelah penulis melakukan penelitian.

Pengaruh pengurangan kapasitas kolom juga dipengaruhi oleh kenaikan mutu beton (f_c') dan luas lubang. Pengaruh pergeseran lubang terbesar terletak pada pergeseran lubang sebesar 100% terhadap lubang sentris. Sehingga digunakan pengaruh pengurangan terbesar pada mutu beton 30 Mpa dengan pergeseran lubang 100%. Tetapi pengaruh pergeseran lubang untuk dimensi 300x300 hanya dibatasi pada luas lubang 3% karena apabila luas lubang diperbesar dan tergeser maka jarak pergeseran lubang (LS) tidak dapat memenuhi karena adanya pembatasan jarak terdekat sentuhan lubang dengan tulangan

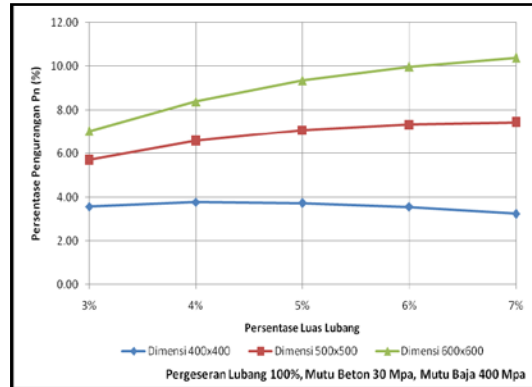
kolom. Oleh karena pengaruh pengurangan baik P_n dan M_n pada kolom 300x300 sangat kecil yaitu kurang dari 1% maka hanya disampaikan grafik interaksi P_n - M_n -nya saja tanpa disertai grafik pengurangan P_n dan grafik pengurangan M_n .

Analisis Persentase Pengurangan P_n

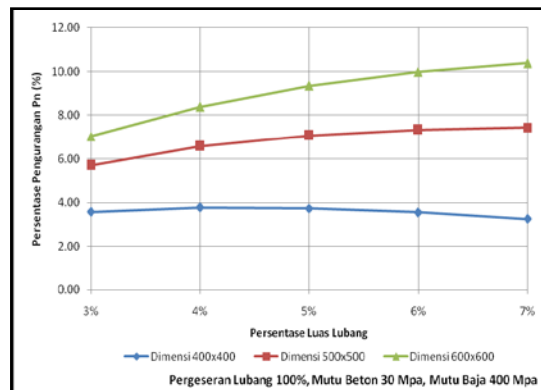
Pengaruh terhadap kapasitas aksial kolom (P_n) dari pergeseran lubang kolom persegi berlubang berpengaruh karena adanya perbesaran dimensi kolom, luas lubang, dan kenaikan mutu beton. Adanya kenaikan kekuatan atau pengurangan persentase pengurangan P_n terhadap kenaikan luas tulangan pada kondisi keruntuhan tekan beton yang disebabkan adanya penambahan kapasitas aksial kolom (P_n) oleh kapasitas tulangan tekan kolom (C_s). Sehingga pada perhitungan P_n pengaruh dari pengurangan C_s dengan T_s ialah memperbesar kapasitas aksial kolom (P_n). Pada saat kolom kondisi *balance* dimana tulangan tekan dan tulangan tarik luluh, titik dimana pengaruh tulangan tarik mulai mempengaruhi maka pengaruh pengurangan P_n terhadap kenaikan luas lubang akan tetap konstan apabila adanya penambahan luas penulangan kolom. Kondisi ini akan sama sampai dengan kolom mendekati momen murni yang menyebabkan adanya pengaruh terbesar pengurangan P_n terhadap kenaikan luas lubang karena adanya kenaikan luas tulangan. *Trend* dari pengaruh pergeseran lubang terhadap kenaikan lubang akan tetap konstan apabila adanya penambahan luas penulangan kolom dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 6. Grafik Persentase Pengurangan P_n terhadap Kenaikan Luas Lubang dengan Luas Tulangan 1%



Gambar 7. Grafik Persentase Pengurangan P_n terhadap Kenaikan Luas Lubang dengan Luas Tulangan 3%



Gambar 8. Grafik Persentase Pengurangan P_n terhadap Kenaikan Luas Lubang dengan Luas Tulangan 5%

Besarnya pengaruh dari pergeseran lubang ini terhadap kenaikan luas lubang juga dapat dilihat pada tabel berikut :

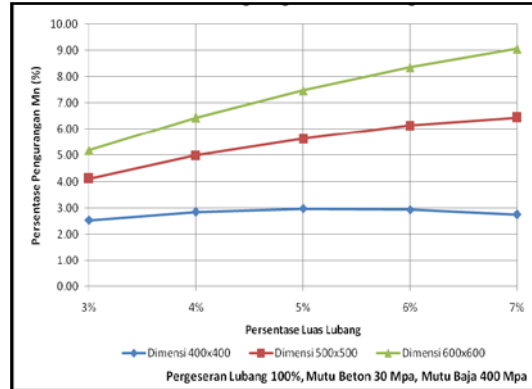
Tabel 1. Pengurangan P_n terhadap Kenaikan Luas Penulangan

Luas Tulangan 1%					
Dimensi Kolom	Luas Lubang				
	3%	4%	5%	6%	7%
300x300	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
400x400	3,58	3,78	3,74	3,55	3,25
500x500	5,70	6,57	7,08	7,34	7,44
600x600	7,04	8,39	9,35	9,99	10,38
Luas Tulangan 3%					
Dimensi Kolom	Luas Tulangan				
	3%	4%	5%	6%	7%
300x300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400x400	3,58	3,78	3,74	3,55	3,25
500x500	5,70	6,57	7,08	7,34	7,44
600x600	7,04	8,39	9,35	9,99	10,38
Luas Tulangan 5%					
Dimensi Kolom	Luas Tulangan				
	3%	4%	5%	6%	7%
300x300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400x400	3,58	3,78	3,74	3,55	3,25
500x500	5,70	6,57	7,08	7,34	7,44
600x600	7,04	8,39	9,35	9,99	10,38

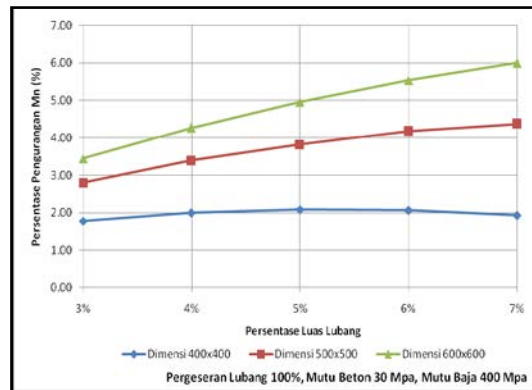
Trend grafik persentase pengurangan P_n terlihat bahwa adanya peningkatan pengurangan kapasitas tekan kolom terhadap penambahan luas lubang. Grafik juga menunjukkan pengurangan terbesar terjadi pada dimensi (600x600) mm, pergeseran lubang 100%, dan mutu beton 30 MPa dengan pengurangan kapasitas sebesar 10,38%.

Analisis Persentase Pengurangan M_n

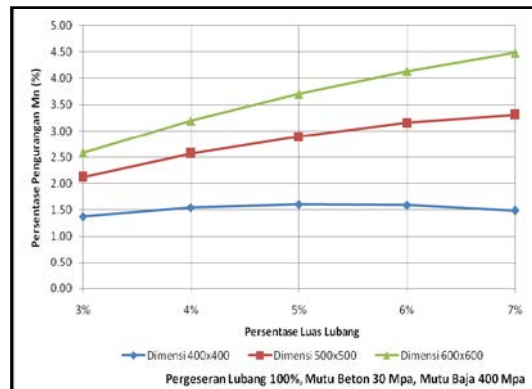
Pengaruh terhadap momen nominal kolom (M_n) dari pergeseran lubang kolom persegi berlubang hanya berpengaruh pada perbesaran dimensi lubang dan kenaikan mutu beton tetapi akan berbanding terbalik ketika adanya peningkatan rasio dari penulangan kolom. *Trend* dari pengaruh pergeseran lubang terhadap kenaikan luas lubang dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 9. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Lubang dengan Luas Tulangan 1%



Gambar 10. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Lubang dengan Luas Tulangan 3%



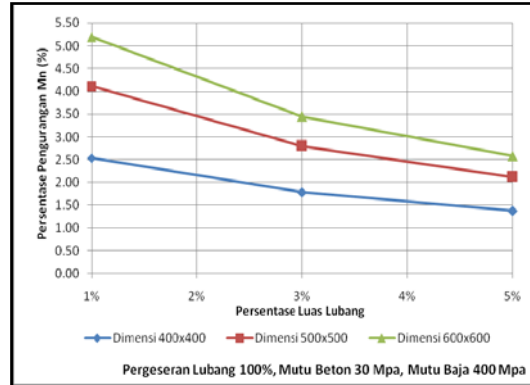
Gambar 11. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Lubang dengan Luas Tulangan 5%

Besarnya pengaruh dari pergeseran lubang ini terhadap kenaikan luas lubang juga dapat dilihat pada tabel berikut :

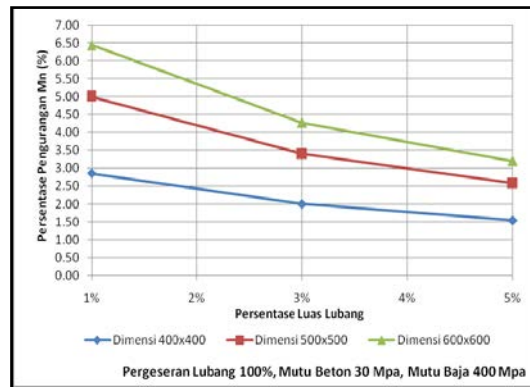
Tabel 2. Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Penulangan

Luas Tulangan 1%					
Dimensi Kolom	Luas Lubang				
	3%	4%	5%	6%	7%
300x300	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
400x400	2,53	2,85	2,97	2,94	2,75
500x500	4,12	5,00	5,63	6,15	6,45
600x600	5,20	6,44	7,48	8,36	9,06
Luas Tulangan 3%					
Dimensi Kolom	Luas Tulangan				
	3%	4%	5%	6%	7%
300x300	0	0	0	0	0
400x400	1,78	2,00	2,09	2,06	1,93
500x500	2,80	3,40	3,82	4,18	4,38
600x600	3,45	4,27	4,96	5,54	6,00
Luas Tulangan 5%					
Dimensi Kolom	Luas Tulangan				
	3%	4%	5%	6%	7%
300x300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400x400	1,37	1,54	1,61	1,59	1,49
500x500	2,12	2,57	2,90	3,16	3,31
600x600	2,58	3,20	3,71	4,14	4,48

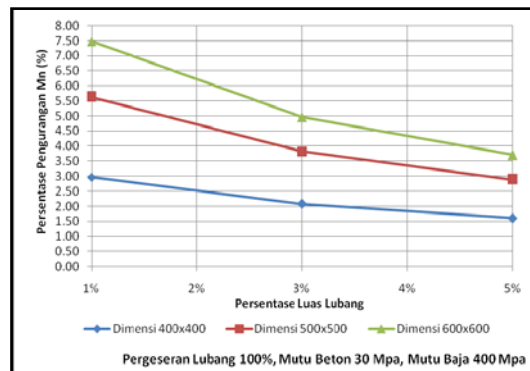
Pengaruh dari kenaikan luas lubang juga akan mempengaruhi pengurangan momen nominal kolom. Adanya perbedaan antara pengurangan gaya aksial dan momen nominal kolom terhadap kenaikan luas tulangan ini. Pada gaya aksial pengaruh dari kenaikan luas tulangan tidak berdampak pada pengurangan terbesar kapasitas gaya aksial kolom atau tetap konstan. Akan tetapi pada momen nominal adanya penguatan momen nominal karena adanya penambahan luas tulangan. Pengaruh berbanding terbalik ini dapat dilihat *trend*-nya pada grafik sebagai berikut.



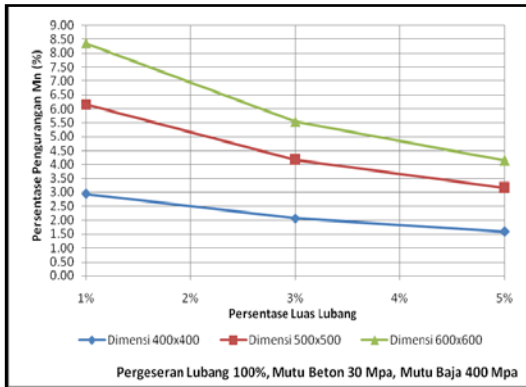
Gambar 12. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Tulangan dengan Luas Lubang 3%



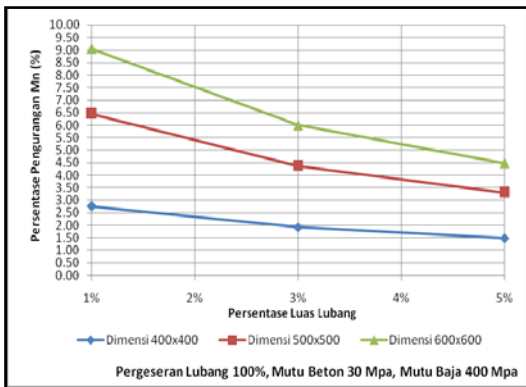
Gambar 13. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Tulangan dengan Luas Lubang 4%



Gambar 14. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Tulangan dengan Luas Lubang 5%



Gambar 15. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Tulangan dengan Luas Lubang 6%



Gambar 16. Grafik Persentase Pengurangan M_n terhadap Kenaikan Luas Tulangan dengan Luas Lubang 7%

Hasil Analisis Kolom Persegi Berlubang Terhadap Pergeseran Lubangnya

Pengaruh penurunan kekuatan kolom juga terjadi pada kekuatan mutu beton (f_c'). Semakin besar mutu beton (f_c') maka semakin besar pengaruh dari pengurangan kapasitas tekan beton tersebut terhadap pergeseran lubangnya. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya gaya tekan dalam beton (C_c) seiring dengan bertambahnya mutu beton (f_c'). Selain pengaruh pertambahan mutu beton, semakin besar dimensi juga akan mempengaruhi persentase pengurangan kekuatan kolom berlubang. Hal ini juga dikarenakan akan semakin bertambahnya juga luasan lubang yang digunakan. Sehingga apabila penggunaan luasan lubang juga akan mengikuti pembesaran dimensi yang digunakan. Untuk dimensi (300x300)mm pengaruh pergeseran lubang hanya dibatasi pada luas lubang 3%, apabila luasan lubang bertambah maka akan mempengaruhi jarak pergeseran lubangnya. Sehingga persentase pengurangan pergeseran kolom persegi berlubang terhadap pergeseran lubangnya ialah sebesar 0,09% P_n dan 0,06% M_n pada pergeseran lubang 100%.

Persentase pengurangan kapasitas kolom pengaruh pergeseran lubangnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Pergeseran Lubang Kolom Persegi Berlubang terhadap Pengurangan Kapasitas Kolom

Dimensi	Mutu Beton (MPa)	Mutu Baja (MPa)	Luas Lubang (%)	Nilai C_b (mm)	Nilai C (mm)	Gaya Aksial (%)	Momen Nominal (%)
300x300	30	400	3	157,24	162,92	0,09	0,06
400x400	30	400	4	222,76	205,42	3,78	2,75
500x500	30	400	7	288,28	243,33	7,44	6,45
600x600	30	400	7	353,79	282,29	10,38	9,06

Pengaruh dari pergeseran lubang terbesar terjadi pada kolom dengan dimensi (600x600)mm pada nilai C 353,79 mm sebesar 10,38% P_n dan 9,06% M_n . Sehingga terlihat adanya pengaruh pengurangan

kapasitas kolom berlubang terhadap pergeseran lubangnya karena adanya penambahan dimensi, mutu beton, dan luas lubang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat disampaikan penulis dari penelitian analisis pengaruh pergeseran lubang penampang kolom beton persegi berlubang ini adalah:

1. Semakin besar dimensi, luasan lubang, dan mutu beton maka persentase selisih P_n dan M_n kolom berlubang terhadap pergeseran lubangnya semakin besar.
2. Semakin besar rasio tulangan maka selisih persentase selisih P_n dan M_n kolom untuk tiap luasan lubang akan semakin kecil.
3. Semakin besar f_c' maka semakin besar persentase selisih P_n dan M_n kolom untuk tiap luasan lubang.
4. Persentase pengurangan P_n maksimal sebesar 10,38% pada luasan lubang 7% dengan pergeseran lubang 100% di nilai C sebesar 282,3 mm (c_b 353,8 mm).
5. Persentase pengurangan M_n maksimal sebesar 9,06% pada luasan lubang 7% dengan pergeseran lubang 100% di nilai C sebesar 530 mm (c_b 353,8 mm).
6. Luas lubang pada penampang kolom berdimensi (300x300) mm dibatasi pada luas lubang sebesar max 3%.
7. Pengurangan kekuatan kapasitas kolom berlubang terhadap pergeseran lubangnya terjadi pada kondisi keruntuhan tarik.

Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis menyarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperhatikan pengaruh kombinasi gaya biaksial dan pengaruh pergeseran lubangnya.

1. Perencanaan kolom berlubang hendaknya juga memperhatikan posisi lubang agar tetap sentris, karena

pengaruh dari pergeseran lubang juga dapat mempengaruhi pengurangan kekuatan kolom sehingga dalam pemasangan lubang pada kolom agar dapat diawasi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- DPU. 2002. *SK SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum Yayasan Badan Penerbit PU, Bandung.
- Park, R. and Paulay, T. 1974, *Reinforced Concrete Structures*. Departement of Civil Engineering, University of Canterbury, Cristchurch, New Zealand.
- Renaningsih. 2006. *Analisis penampang kolom beton bertulang persegi berlubang menggunakan PCA-COL*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.
- Renjani, M. S. 2011. *Analisis Penampang Kolom Beton Bertulang Persegi Berlubang*. Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Sudarsana. 2010. *Analisis Pengaruh Konfigurasi Tulangan Terhadap Kekuatan dan Daktailitas Kolom Beton Bertulang*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.