

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Keruntuhan kolom struktural merupakan hal sangat berarti ditinjau dari segi ekonomis maupun segi manusiawi. Oleh karena itu, dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi dari pada yang dilakukan pada balok dan elemen struktural horisontal lainnya, terlebih lagi karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas (Edward G. Nawy, 1990).

Pipa-pipa listrik dan pipa-pipa lain serta bagian-bagiannya dari bahan apapun yang tidak merusak beton dengan pembatasan-pembatasan yang ditetapkan dalam pasal ini dapat ditanam di dalam beton dengan persetujuan pengawas ahli. Pipa-pipa dan bagian-bagiannya yang terbuat dari alumunium tidak boleh ditanam dalam beton, kecuali apabila ditutup dengan lapis yang efektif dapat mencegah proses elektrolisa antara alumunium dengan baja. Kecuali apabila pengaruh pemipaan ditinjau oleh perencana dalam perhitungan kekuatan konstruksi, maka pada umumnya pipa-pipa tidak boleh mempunyai diameter luar yang lebih besar daripada

sepertiga tebal pelat, dinding atau balok, di dalam mana pipa tersebut ditanam dan tidak boleh dipasang dengan jarak antara dari pusat ke pusat yang kurang dari 3 kali diameternya. Dalam perhitungan kekuatan konstruksi tersebut, pengurangan penampang beton yang efektif oleh penampang-penampang pipa serta bagian-bagiannya, hanya perlu diperhitungkan apabila pengurangan itu adalah lebih dari 4%. Pipa-pipa serta bagian-bagiannya yang menembus lantai, dinding atau balok harus mempunyai ukuran serta letak yang sedemikian rupa hingga tidak banyak mengurangi kekuatan konstruksi (PBI 1971 Bab 5.7.1).

Kolom-kolom di dalam sebuah konstruksi meneruskan beban dari balok-balok dan pelat-pelat ke bawah sampai ke pondasi, dan karenanya kolom-kolom terutama merupakan bagian konstruksi tekan, meskipun kolom mungkin juga harus menahan gaya-gaya lentur akibat kontinuitas konstruksi. Mode keruntuhan suatu kolom dapat seperti salah satu dari berikut :

- a. Keruntuhan bahan dengan suatu lendutan ke samping yang tidak berarti, yang biasanya terjadi pada kolom-kolom pendek, tetapi dapat pula terjadi pada suatu kolom dengan suatu rasio kelangsingan sedang, apabila terdapat momen momen ujung yang besar.
- b. Keruntuhan bahan diperhebat oleh lendutan ke samping dan momen tambahan. Tipe keruntuhan ini biasanya terjadi pada kolom-kolom sedang.
- c. Keruntuhan goyang yang terjadi pada kolom-kolom langsing dan mungkin didahului oleh lendutan yang berlebihan (W.H. Mosley dan J.H. Bungay, 1987).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pendahuluan

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (“frame”) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh batas total (“ultimate total collapse”) seluruh strukturnya.

Apabila beban pada kolom bertambah, maka retak akan banyak terjadi diseluruh tinggi kolom pada lokasi tulangan sengkang. Dalam keadaan batas keruntuhan (“limit state of failure”), selimut beton di luar sengkang pada kolom bersengkang atau di luar spiral pada kolom spiral akan terlepas sehingga tulangan memanjangnya mulai kelihatan. Apabila bebannya mulai bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal (“lokal buckling”) tulangan pada panjang tak tertumpu sengkang atau spiral. Dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton lepas dahulu sebelum lekatan baja dan beton hilang.

Seperti halnya balok, kekuatan kolom dievaluasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar sebagai berikut :

- a. Distribusi regangan linier diseluruh tebal beton.
- b. Tidak ada tegangan gelincir antara beton dengan tulangan baja, ini berarti regangan pada baja sama dengan regangan pada beton yang mengelilinginya.

- c. Regangan beton maksimum yang diijinkan pada keadaan gagal untuk perhitungan kekuatan adalah 0,003.
- d. Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam perhitungan.
- e. Kekuatan pipa didalam kolom diabaikan.

2.2.2 Jenis Kolom

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya.

Bentuk dan susunan tulangan pada kolom dapat dibagi menjadi tiga kategori :

- a. Kolom segi empat dan bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
- b. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
- c. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural didalamnya.

Kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena murah harga pembuatannya. Sekalipun demikian, kolom segi empat maupun bundar dengan tulangan berbentuk spiral kadang-kadang digunakan juga, terutama apabila diperlukan daktilitas kolom yang cukup tinggi seperti pada daerah-daerah gempa. Kemampuan kolom spiral untuk menahan beban maksimum pada deformasi besar mencegah terjadinya keruntuhan ("collapse") pada struktur secara keseluruhan sebelum terjadinya redistribusi total momen dan tegangan selesai.

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang melintang, kolom dapat diklasifikasikan atas kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Kolom yang mengalami beban sentris berarti tidak mengalami momen lentur. akan tetapi dalam prakteknya semua kolom hendaknya direncanakan terhadap eksentrisitas yang di akibatkan oleh hal-hal tak terduga, seperti tidak tepatnya pembuatan acuan beton dan sebagainya.

Kolom dengan beban eksentris mengalami momen lentur selain juga gaya aksial. Momen ini dapat dikonversikan menjadi suatu beban P dengan eksentrisitas e . Momen lentur ini dapat bersumbu tunggal ("uniaksial") seperti dalam hal kolom eksterior bangunan bertingkat banyak. Kolom dianggap bersumbu banyak ("biaksial") apabila lenturnya terjadi terhadap sumbu x dan y seperti pada kolom pojok.

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadinya tekuk.

Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek ("short column"). Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek (runtuh karena material) ke kolom panjang (runtuh karena tekuk) yang terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif kl_u dengan jari-jari girasi r . Tinggi l_u adalah panjang tak tertumpu ("unsupported length") kolom, dan k adalah faktor yang tergantung pada kondisi ujung kolom, dalam kondisi ada penahan deformasi atau

tidak. Sebagai contoh, kolom yang tidak ada penahan lateral (“unbraced coloumn”), apabila angka $kl_u/r \leq 22$, maka kolom demikian diklasifikasikan sebagai kolom pendek. Apabila tidak demikian, kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom panjang atau lazim disebut kolom langsing. Angka kl_u/r disebut angka kelangsingan.

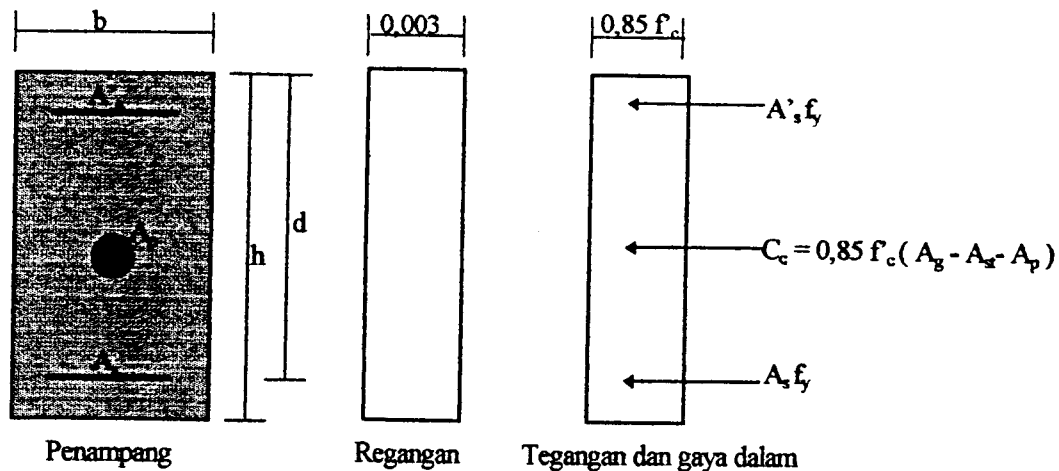
2.2.3 Kekuatan Kolom Pendek Berongga dengan Beban Sentris

Ditinjau suatu kolom yang luas penampang brutonya A_g dengan lebar b dan tinggi total h , bertulangan baja dengan luas total A_{st} (terbagi pada semua sisi kolom) dan luas pipa/rongga A_p . Luas bersih penampang beton adalah $A_g - A_{st} - A_p$.

Kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st} - A_p)$ dan kontribusi baja, $A_{st} \cdot f_y$ dimana A_g adalah luas bruto total penampang beton, A_{st} adalah luas total tulangan baja $= A_s + A'_s$, dan A_p adalah luas penampang pipa. Beton yang digunakan dalam perhitungan disini adalah $0,85 f'_c$. Hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai :

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st} - A_p) + A_{st} f_y \dots\dots\dots (2.1)$$

Perlu ditekankan disini bahwa beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang ini berarti bahwa pada saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan merata di seluruh bagian penampang seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1
Geometri, Regangan dan Tegangan Kolom Beban Sentris

Membuat eksentrisitas sebesar nol merupakan hal yang amat mustahil di dalam struktur aktual. Beberapa contoh yang dapat menyebabkan eksentrisitas sangat mudah terjadi adalah misalnya ketidak-tepatan letak dan ukuran kolom, beban yang tidak simetris akibat perbedaan tebal pelat di sekitar kolom, atau adanya ketidak-sempurnaan lainnya. Dengan demikian perlu adanya eksentrisitas minimum yang dapat diterima dalam arah tegak lurus sumbu lentur, yaitu 10% dari tebal kolom untuk kolom bersengkang dan 5% untuk kolom berspiral.

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain, peraturan SK SNI T-15-1991-03 mensyaratkan suatu reduksi beban aksial sebesar 20% untuk kolom bersengkang dan 15% untuk kolom spiral. Dengan demikian kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar dari pada :

$$P_{n(maks)} = 0,8 [0,85 f_c (A_g - A_{st} - A_p)] + A_s f_y \dots \dots \dots (2.2)$$

untuk kolom bersengkang, dan

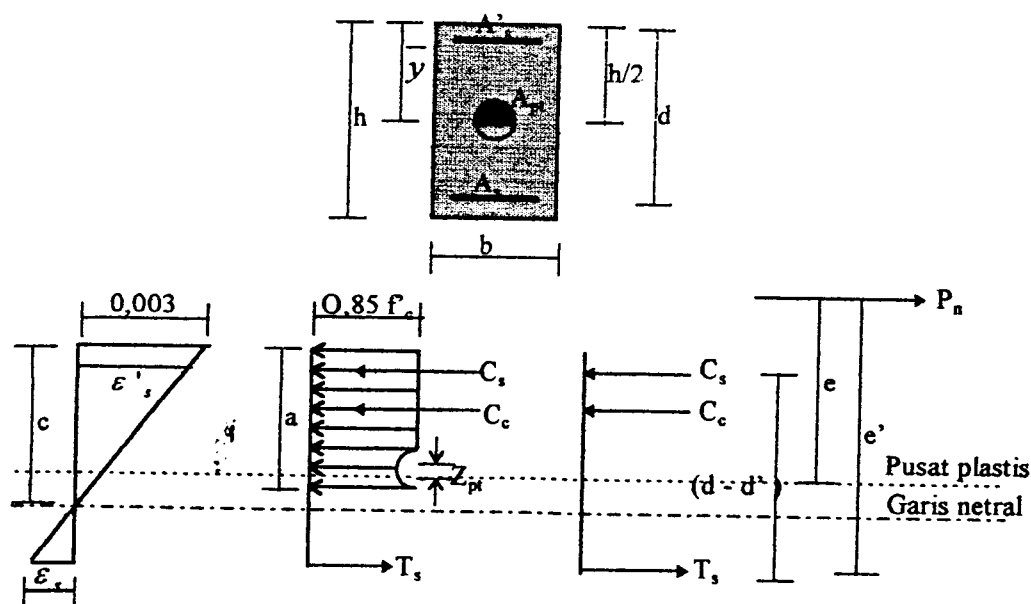
$$P_{n(\text{maks})} = 0,85 [0,85 f_c (A_g - A_{st} - A_p)] + A_s f_y \dots \dots \dots (2.3)$$

untuk kolom spiral.

2.2.4 Kekuatan Kolom Pendek Berongga dengan Beban Eksentris

a. Perilaku Kolom Pendek Berongga dengan Beban Eksentris

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan dan balok tegangan segiempat ekuivalennya dapat diterapkan juga pada kolom. Gambar 2.2 memperlihatkan penampang melintang suatu kolom berongga dengan diagram distribusi tegangan, regangan dan gaya padanya . Pada diagram ini terdapat gaya nominal P_n yang bekerja pada keadaan runtuh dan mempunyai eksentrisitas e dari pusat plastis (atau bisa saja pusat geometri) penampang . Tinggi sumbu netral ini sangat menentukan kekuatan kolom.



Gambar 2.2
Regangan, Tegangan dan Gaya-Gaya pada Kolom Eksentris

c = jarak sumbu netral

$\bar{y}$ = jarak pusat plastis

e = eksentrisitas beban ke pusat plastis

e' = eksentrisitas beban ke tulangan tarik

d' = selimut efektif

A_{pt} = luas bagian pipa yang tertekan

Z_{pt} = jarak titik berat A_{pt} terhadap pusat plastis

Persamaan keseimbangan gaya momen dari gambar 2.2 untuk kolom pendek berongga dapat dinyatakan sebagai :

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots\dots\dots (2.4)$$

Momen tahanan nominal M_n , yaitu sebesar $P_n e$, dapat diperoleh dengan menuliskan keseimbangan momen terhadap pusat plastis penampang. Untuk kolom yang penulangannya simetris dan letak pipa/rongga di tengah, pusat plastisnya sama dengan pusat geometrisnya.

$$M_n = P_n e = C_c \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y}) \dots\dots\dots (2.5)$$

karena : $C_c = 0,85 f'_c (b.a - A_{pt})$

$$C_s = A'_s f'_s$$

$$T_s = A_s f_s$$

Persamaan 2.4 dan 2.5 dapat pula ditulis sebagai :

$$P_n = 0,85 f'_c (b.a - A_{pt}) + A'_s f'_s - A_s f_s \dots\dots\dots (2.6)$$

$$M_n = P_n e = 0,85 f'_c b.a \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) - 0,85 f'_c A_{pt} (\bar{y} - Z_{pt}) + A'_s f'_s (\bar{y} - d') + A_s f_s (d - \bar{y}) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dalam persamaan 2.6 dan 2.7, tinggi sumbu netral c dianggap kurang dari tinggi efektif penampang, dan pada sisi yang tertarik memang mengalami tarik, serta pipa terletak di tengah penampang (ada luasan pipa tertekan dan luasan pipa tertarik). Kondisi ini dapat berubah apabila eksentrisitas e beban P_n sangat kecil. Untuk eksentrisitas yang kecil ini yang seluruh bagian penampangnya mengalami tekan kontribusi tulangan yang tertarik harus ditambahkan kepada kontribusi baja dan beton tertekan. Suku $A_s f_s$ dalam persamaan 2.6 dan 2.7 mempunyai tanda positif karena semua tulangan baja mengalami tekan. Dalam persamaan ini juga diasumsikan bahwa $(b.a - A'_s) \approx b.a$, yaitu volume beton yang hilang akibat adanya tulangan diabaikan.

Perlu ditekankan disini bahwa gaya aksial P_n tidak dapat melebihi kekuatan gaya aksial maksimum $P_{n(maks)}$ yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2. Tulangan tekan A'_s dan tulangan tarik A_s akan mencapai kekuatan lelehnya f_y apabila keruntuhan yang terjadi berupa lelehnya tulangan baja. Besaran f_s harus disubstitusikan dengan f_y . Apabila f'_s atau f_s lebih kecil daripada f_y maka yang disubstitusikan adalah tegangan aktualnya, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diperoleh dari segitiga yang sebangun dengan distribusi regangan di seluruh tinggi penampang (gambar 2.2), yaitu persamaan:

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = E_s \frac{0,003(c-d')}{c} \leq f_y \dots\dots\dots (2.8)$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s = E_s \frac{0.003(d-c)}{c} \leq f_y \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{dimana : regangan} \Rightarrow \varepsilon_s = 0,003 \frac{d-c}{c} ; \varepsilon'_s = 0,003 \frac{c-d'}{c}$$

$$\text{tegangan} \Rightarrow f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y ; f'_s = E_s \varepsilon'_s \leq f_y$$

$$\text{Gaya dalam} \Rightarrow C_c = 0,85 f'_c (b.a - A_{st}) ; C_s = A'_s f'_s ; T_s = A_s f_s$$

b. Ragam Kegagalan Material pada Kolom

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik (gambar 2.2), penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu :

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan tarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.

Kondisi balanced terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan.

Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial pada kondisi balanced, maka :

$$P_n < P_{nb} \Rightarrow \text{keruntuhan tarik}$$

$$P_n = P_{nb} \Rightarrow \text{keruntuhan balanced}$$

$$P_n > P_{nb} \Rightarrow \text{keruntuhan tekan}$$

c. Keruntuhan Balanced pada Penampang Kolom Segiempat Berongga

Jika eksentrisitas semakin kecil, maka akan ada suatu transisi dari keruntuhan tarik utama ke keruntuhan tekan utama. Kondisi keruntuhan balanced tercapai

apabila tulangan tarik mengalami regangan lelehnya F_y dan pada saat itu pula beton mengalami regangan batasnya (0,003in/in) dan mulai hancur.

Dari segitiga yang sebangun dapat diperoleh persamaan tinggi sumbu netral pada kondisi balanced, c_b (gambar 2.2):

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + f_y / E_s} \dots\dots\dots (2. 10)$$

$$a_b = \beta_1 c_b = \beta_1 d \frac{0,003}{0,003 + f_y / E_s} \dots\dots\dots (2. 11)$$

Beban aksial nominal pada kondisi balanced P_{nb} dan eksentrisitasnya e_b dapat ditentukan dengan menggunakan a_b pada persamaan 2.6 dan 2.7.

$$P_{nb} = 0,85 f'_c (b a_b - A_{pt}) + A'_s f'_s - A_s f_y \dots\dots\dots (2.12)$$

$$M_{nb} = P_{nb} e_b = 0,85 f'_c b a_b (\bar{y} - a/2) + a'_s f'_s (\bar{y} - d') + A_s f_y (d - \bar{y}) - 0,85 f'_c A_{pt} (Z_{pt}) \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$$f'_s = 0,003 E_s \frac{c_b - d'}{c_b} \leq f_y \dots\dots\dots (2. 14)$$

$$A_{pt} = R^2 \left[\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{180} \arcsin \left(\frac{0,5h - a_b}{R} \right) - 0,5 \sin 2 \left(\arcsin \left(\frac{0,5h - a_b}{R} \right) \right) \right] \dots\dots (2.15)$$

$$Z_{pt} = \frac{2 / 3 R^3 \cos^3 \left(\arcsin \left(\frac{h/2 - a_b}{R} \right) \right)}{A_{pt}} \dots\dots\dots (2.16)$$

dan $\bar{y}$ adalah jarak tepi tertekan ke pusat plastis atau pusat geometris. Perlu dicatat bahwa karena a_b, f'_s , dan R (jari-jari rongga /pipa) diketahui, maka baik P_n maupun e_b dapat dihitung tanpa memerlukan coba-coba. Apabila $A'_s = A_s$ dari pusat rongga pada pusat plastis, maka $\bar{y} = 0,5 h$.

d. Keruntuhan Tarik pada Penampang Kolom Segiempat Berongga

Awal keadaan runtuh dalam hal eksentrisitas yang besar dapat terjadi dengan lelehnya tulangan baja yang tertarik. Peralihan dari keruntuhan tekan ke keruntuhan tarik terjadi pada $e = e_b$. Jika e lebih besar daripada e_b atau $P_n < P_{nb}$, maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang diawali oleh lelehnya tulangan tarik. Persamaan 2.6 dan 2.7 dapat digunakan untuk analisis dan desain dengan mensubstitusikan tegangan leleh f_y sebagai tegangan pada tulangan tarik. tegangan f_s pada tulangan tekan dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan leleh baja, dan tegangan aktual f_s ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8.

Dalam praktek biasanya digunakan penulangan yang simetris, yaitu $A_s = A'_s$, dengan maksud mencegah kekeliruan dalam penempatan tulangan tarik dan tulangan desak. Penulangan yang simetris juga diperlukan apabila ada kemungkinan tegangan berbalik tanda, misalnya karena arah angin atau gempa yang berbalik.

e. Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat Berongga

Agar dapat terjadi keruntuhan yang diawali dengan hancurnya beton, eksentrisitas (e) harus lebih kecil daripada eksentrisitas balanced (e_b) dan tegangan pada tulangan tariknya lebih kecil daripada tegangan leleh yaitu $f_s < F_y$.

Dalam proses analisa maupun desain diperlukan persamaan dasar keseimbangan, yaitu persamaan 2.6 dan 2.7. Selain itu diperlukan pula prosedur coba-coba dan penyesuaian dan adanya keserasian regangan di seluruh bagian penampang.

f. Pengaruh Panjang Tekuk pada Penampang Kolom Segiempat Berongga

Apabila angka kelangsingan kolom melebihi batas untuk kolom pendek, maka kolom tersebut akan mengalami tekuk sebelum mencapai keadaan limit kegagalan material. Regangan pada muka yang tertekan pada beton untuk beton tekuk akan lebih kecil dari 0,003 in/in. Batang yang demikian biasanya adalah kolom langsing yang mengalami kombinasi momen lentur dan gaya aksial, berdeformasi melintang dan mengalami momen tambahan akibat $P \Delta$ dimana P adalah gaya aksial dan Δ adalah defleksi kolom tertekuk pada penampang yang ditinjau. Menurut SKSNI T-15-1991-03, analisis stabilitas dapat diabaikan apabila angka kelangsingan lebih kecil dari batas:

$$kl_u/r < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \Rightarrow \text{untuk rangka dengan pengaku lateral.}$$

$klu / r < 22 \Rightarrow \text{untuk rangka tanpa pangaku lateral. Dimana } k \text{ adalah faktor panjang kolom, } M_1 \text{ dan } M_2 \text{ adalah momen pada ujung-ujung yang berlawanan pada batang tekan (kolom) } l_u \text{ panjang kolom, dan } r \text{ adalah jari-jari girasi penampang kolom.}$

$$r^2 = (I_g/A_g) = \frac{\frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{64}\pi D^4}{bh - 1/4\pi D^2} \Rightarrow \text{untuk kolom berongga dimana } b \text{ dan } h$$

adalah dimensi kolom, dan D adalah diameter pipa/rongga.

2.3 Kerangka Pikir

Berdasarkan beban yang didukung, kolom terdiri dari kolom dengan beban eksentris dan kolom dengan beban sentris. Pada kolom yang mendapat beban sentris seluruh penampang kolom baik beton maupun tulangan akan mengalami gaya tekan. Apabila dalam penampang kolom tersebut terdapat rongga, maka kekuatan kolom akan berkurang. Untuk mengantisipasi berkurangnya kekuatan kolom yang diakibatkan oleh adanya rongga tersebut maka ada kekuatan cadangan. Sedangkan pada kolom yang mendapat beban eksentris, sebagian dari luas penampang kolom akan mengalami gaya tekan dan sebagian yang lain akan mengalami gaya tarik. Pada perencanaan beton bertulang biasanya kuat tarik beton diabaikan. Agar rongga/pipa tersebut pengaruhnya kecil terhadap kekuatan kolom, maka pipa/rongga tersebut harus ditempatkan pada bagian penampang kolom yang mengalami gaya tarik.

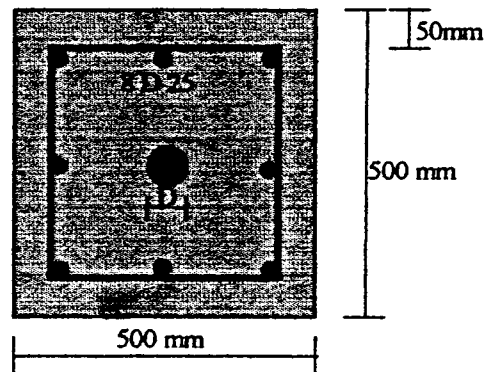
2.4 Metodologi

Di dalam tugas akhir ini akan dicari pengaruh adanya rongga terhadap kekuatan kolom beton bertulang dan pengaruh penempatan rongga/pipa di dalam kolom beton bertulang. Metode yang digunakan adalah analisa dan perhitungannya. Adapun rumus-rumus yang digunakan, diambil dari buku-buku referensi yang ada,

sedangkan untuk perhitungan kekuatan kolom digunakan alat bantu kalkulator casio

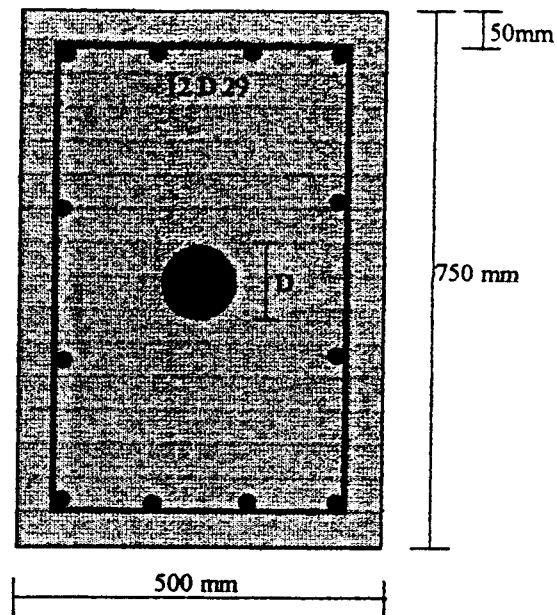
FX 5000 F. Penampang kolom yang akan dianalisa adalah :

- a. Kolom bujur sangkar $500 \times 500 \text{ mm}^2$ tulangan 8 D 25 mm tersebar merata pada sisi-sisi penampang kolom. Dengan diameter rongga/pipa 0 mm; 25 mm; 50 mm; 75 mm; 100 mm; 125 mm; 150 mm; terletak di tengah penampang kolom.



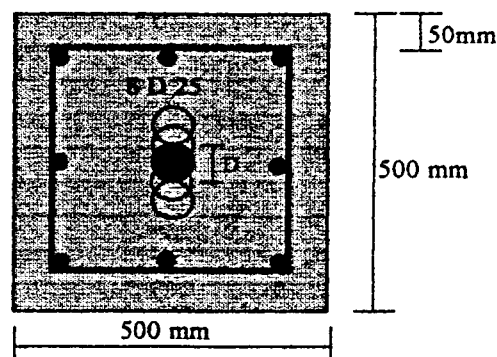
Gambar 2.3
Penampang Kolom Bujur Sangkar dengan
Variabel Diameter Rongga/Pipa

- b. Penampang kolom persegi panjang $500 \times 750 \text{ mm}^2$ dengan tulangan 12 D 29⁴mm tersebar merata pada sisi-sisi penampang kolom, dengan diameter rongga/pipa 0 mm; 50 mm; 75 mm; 100 mm; 125 mm; 150 mm terletak di tengah-tengah penampang kolom.



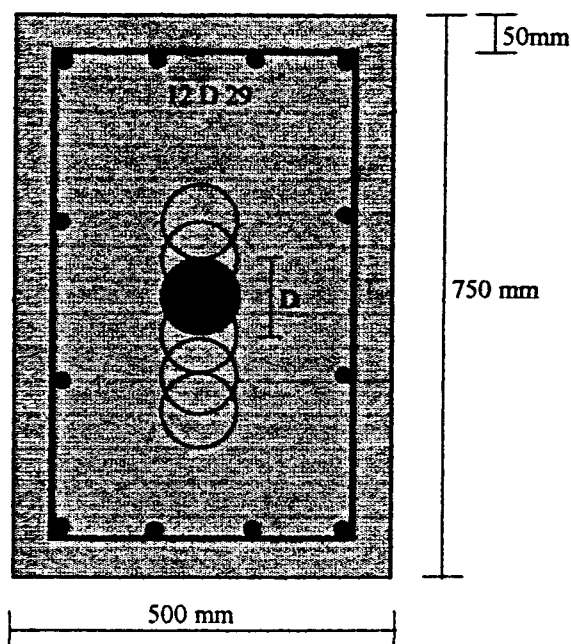
Gambar 2.4
Penampang Kolom Persegi Panjang dengan
Variabel Diameter Rongga/Pipa

- c. Penampang kolom bujur sangkar $500 \times 500 \text{ mm}^2$ tulangan 8 D 25 mm tersebar merata pada sisi penampang kolom, dengan diameter rongga/pipa 50 mm, 100 mm, 150 mm dan pusat rongga/pipa terletak bervariasi dari -100 mm; -75 mm; -50 mm; -25 mm; 0 mm; +25 mm; +50 mm; +75 mm; +100 mm terhadap pusat penampang kolom.



Gambar 2.5
Penampang Kolom Bujur Sangkar dengan
Variabel Letak Rongga/Pipa

- d. Penampang kolom persegi panjang $500 \times 750 \text{ mm}^2$ dengan tulangan 12 D 29 mm tersebar merata pada sisi kolom. Diameter rongga/pipa 50 mm, 100 mm, 150 mm dengan pusat pipa terletak bervariasi dari -250 mm; -200 mm; -150 mm; -100 mm; -50 mm; 0 mm; +50 mm; +100 mm; +150 mm; +200 mm; +250 mm terhadap pusat penampang kolom.



Gambar 2.6
Penampang Kolom Persegi Panjang dengan
Variabel Letak Rongga/Pipa

Masing-masing jenis penampang kolom tersebut diatas akan dianalisa untuk kolom sentris dan kolom eksentris. Sedangkan mutu beton dan tulangan yang akan dipergunakan dalam perhitungan adalah $f'_c = 24 \text{ MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$. Dari hasil perhitungan yang diperoleh, maka akan dibuat grafik hubungan antara diameter

rongga/pipa terhadap kekuatan kolom. Dengan sampel penampang kolom seperti tersebut di atas diharapkan dapat mewakili kasus yang ada di lapangan.