

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pengertian Kolom

Kolom merupakan bagian dari suatu kerangka bangunan yang menempati posisi terpenting dalam sistem struktur bangunan. Bila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan (Istimawan D., 1999).

Kolom meneruskan beban – beban dari elevasi atas ke elevasi di bawahnya hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Didalam analisa maupun perencanaan kolom, dasar-dasar teori yang digunakan dalam analisis balok dapat diterapkan dalam analisis kolom, tetapi ada tambahan faktor baru (selain momen lentur) yaitu gaya-gaya normal tekan yang diikutkan dalam perhitungan. Karena itu perlu adanya penyesuaian dalam menyusun persamaan keseimbangan dengan meninjau kombinasi momen lentur dan gaya normal tekan.

Pada lentur balok, banyaknya tulangan yang terpasang dapat direncanakan agar balok berperilaku daktail, tetapi pada kolom biasanya gaya normal tekan adalah dominan sehingga keruntuhan yang bersifat tekan sulit untuk dihindari.

Prinsip-prinsip dasar yang dipakai untuk analisa kolom pada dasarnya sama dengan balok yaitu :

1. Distribusi tegangan adalah linier diseluruh tinggi penampang kolom

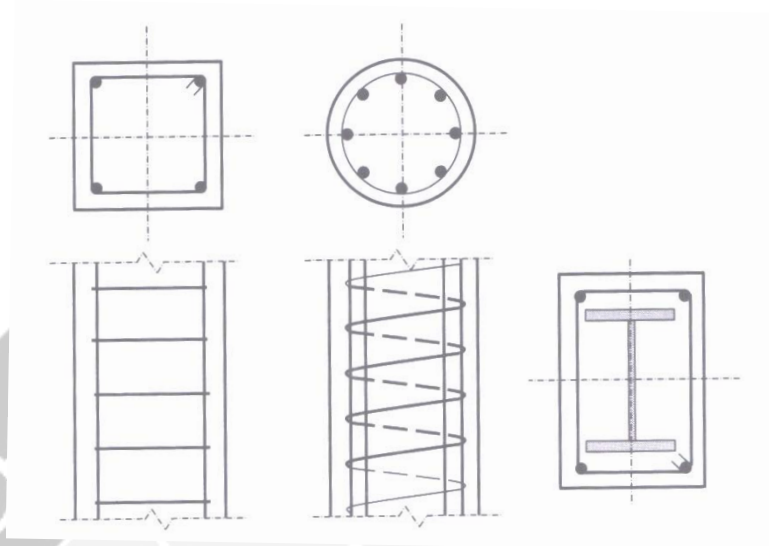
2. Regangan pada baja sama dengan regangan beton yang menyelimutinya.
3. Regangan tekan beton dalam kondisi batas adalah 0,003 mm/mm
4. Kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan kekuatan

3.2. Jenis Kolom Berdasarkan Bentuk dan Susunan Tulangan

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya, posisi beban yang bekerja pada penampang, dan panjang kolom yang berkaitan dengan dimensi penampangnya.

Jenis kolom berdasarkan bentuk dan macam penulangannya dapat dibagi menjadi tiga kategori yang diperlihatkan pada gambar 3.1 yaitu :

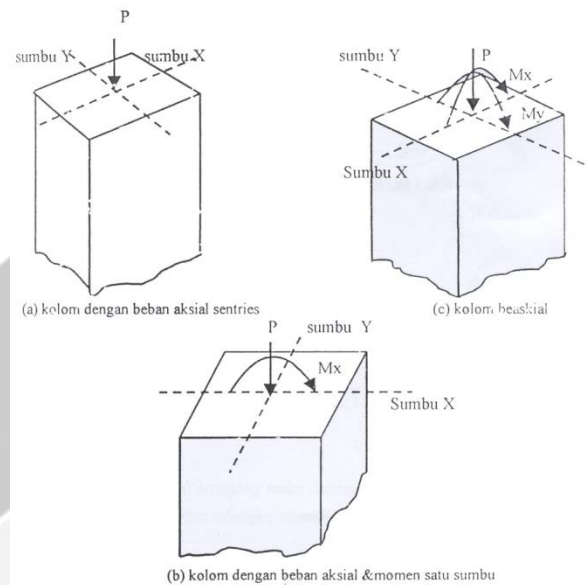
- a. Kolom segi empat atau bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang
- b. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan sengkang berbentuk spiral
- c. Kolom komposit yaitu gabungan antara beton dan profil baja sebagai pengganti tulangan didalamnya.



Gambar 3.1. Macam Kolom dan Penulangannya
(Sumber : Buku Perancangan Struktur Beton Bertulang, 2016)

Kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena pengerjaan yang mudah dan murah dalam pembuatannya. Walaupun demikian kolom segi empat maupun kolom bundar dengan penulangan spiral kadang-kadang digunakan juga, terutama untuk kolom yang memerlukan daktilitas cukup tinggi untuk daerah rawan gempa.

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang, dapat dibedakan menjadi tiga jenis kolom yaitu (a) Kolom dengan beban sentries, (b) Kolom dengan beban aksial dan momen satu bumbu dan (c) Kolom biaxial (momen bekerja pada sumbu x dan sumbu y).



Gambar 3.2 Gaya-gaya pada Kolom

3.3. Perilaku Kolom dengan Beban Aksial

Apabila beban tekan aksial tekan dibiarkan pada suatu kolom pendek beton bertulang, beton akan berperilaku elastis hingga batas tegangan mencapai sekitar $1/3f'_c$. Apabila beban pada kolom ditingkatkan hingga mencapai batas ultimit, beton akan mencapai kekuatan maksimumnya dan tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya, f_y . Kapasitas beban nominal, P_o dapat dituliskan dalam persamaan :

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad (3.1)$$

Dengan A_g adalah luas total penampang kolom dan A_{st} adalah tulangan baja.

Kolom dengan sengkang persegi dan sengkang spiral menunjukkan perilaku yang sedikit berbeda pada saat keruntuhan. Pada kolom dengan sengkang persegi, pada saat beban ultimit tercapai selimut beton akan pecah dan mengelupas. Peristiwa ini akan segera diikuti dengan tertekuknya tulangan

memanjang ke arah luar dari penampang kolom, apabila tidak disediakan tulangan sengkang dalam jarak yang cukup rapat. Saat terjadi keruntuhan pada kolom dengan sengkang persegi, bagian pada inti beton hancur setelah beban ultimit tercapai. Keruntuhan ini bersifat getas dan terjadi secara tiba-tiba, dan lebih sering terjadi pada struktur yang menerima beban gempa, tanpa *detailing* yang memadai.

Perilaku daktail akan ditunjukkan oleh kolom yang diberi tulangan sengkang spiral. Pada saat beban ultimit tercapai, maka selimut beton pun akan terkelupas dan pecah, namun inti beton akan tetap berdiri. Apabila jarak lilitan dibuat cukup rapat, maka kolom ini masih akan mampu memikul beban tambahan yang cukup besar di atas beban yang menimbulkan pecah pada selimut beton. Tulangan spiral dengan jarak yang cukup rapat, bersama dengan tulangan memanjang akan membentuk semacam sangkar yang cukup efektif membungkus isi beton. Pecahnya selimut beton pada kolom dengan sengkang spiral ini dapat menjadi tanda awal bahwa keruntuhan akan terjadi bila beban terus ditingkatkan.

3.4. Persyaratan Peraturan SNI 2847:2013 untuk Kolom

Peraturan SNI 2847:2013 memberikan banyak batasan untuk dimensi, tulangan, kekangan lateral dan beberapa hal lain yang berhubungan dengan kolom beton. Beberapa persyaratan tersebut dapat dirangkum sebagai berikut :

1. Pasal 9.3.2.2, memberikan batasan untuk faktor reduksi kekuatan, ϕ , yaitu sebesar 0,65 untuk sengkang persegi dan $\phi = 0,75$ untuk sengkang spiral.
2. Pasal 10.9.1, mensyaratkan bahwa persentase minimum tulangan memanjang adalah 1%, dengan nilai maksimum 8%, terhadap luas total penampang

kolom. Biasanya dalam perencanaan aktual, sangat jarang tulangan kolom diambil melebihi 4% dari luas penampang.

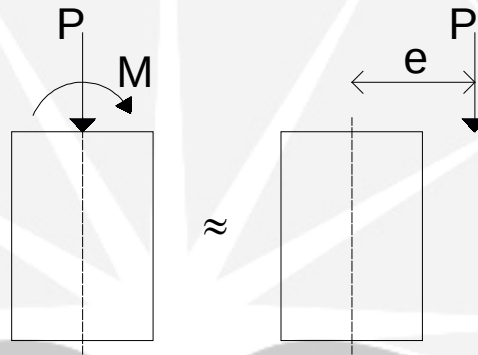
3. Pasal 10.9.2, menyatakan bahwa minimal harus dipasang empat buah tulangan memanjang untuk kolom dengan sengkang persegi atau lingkaran, minimal tiga buah untuk kolom berbentuk segitiga, serta minimal enam buah untuk kolom dengan sengkang spiral.
4. Pasal 7.10.4, sengkang spiral harus memiliki diameter minimum 10mm dan jarak bersihnya tidak lebih dari 75mm, namun tidak kurang dari 25 mm.
5. Pasal 7.10.5.1, tulangan sengkang harus memiliki diameter minimum 10 mm untuk mengikat tulangan memanjang dengan diameter 32 mm atau kurang, sedangkan untuk tulangan memanjang dengan diameter di atas 32 mm harus diikat dengan sengkang berdiameter minimum 13 mm.
6. Pasal 7.10.5.2, jarak vertikal sengkang atau sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan memanjang, 48 kali diameter sengkang/sengkang ikat, atau dimensi terkecil dari penampang kolom.

3.5. Kombinasi Beban Aksial dan Momen Lentur

Kolom dengan beban aksial murni sangat jarang dijumpai pada struktur bangunan gedung beton bertulang. Pada umumnya selain beban aksial tekan, kolom pada saat yang bersamaan juga memikul momen lentur. Momen lentur dapat timbul pada elemen kolom yang merupakan bagian dari portal gedung, karena harus memikul momen lentur yang berasal dari balok, atau juga momen lentur yang timbul akibat gaya-gaya lateral seperti angin atau gempa bumi. Di

samping itu ketidaksempurnaan pelaksanaan pada masa konstruksi juga akan menimbulkan eksentrisitas pada kolom, yang akhirnya akan menimbulkan momen lentur juga. Karena alasan-alasan inilah maka dalam proses desain elemen kolom, harus diperhitungkan beban aksial dan momen lentur.

Ketika sebuah elemen kolom diberi beban aksial, P , dan momen lentur, M , seperti pada Gambar 3.3, maka dapat diekuivalenkan dengan beban P yang bekerja pada eksentrisitas, $e = \frac{M}{P}$.



Gambar 3.3 Kolom dengan Beban Aksial dan Lentur

3.6. Asumsi Desain dan Faktor Reduksi Kekuatan

Dalam perencanaan elemen kolom, ada beberapa asumsi desain yang disyaratkan dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.2, diantaranya adalah:

- Regangan pada beton dan baja dianggap proporsional terhadap jarak ke sumbu netral.
- Keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan harus dipenuhi.
- Regangan tekan maksimum pada beton dibatasi sebesar 0,003.
- Kekuatan beton di daerah tarik dapat diabaikan.
- Tegangan pada tulangan baja adalah $f_s = \varepsilon E_s < f_y$.

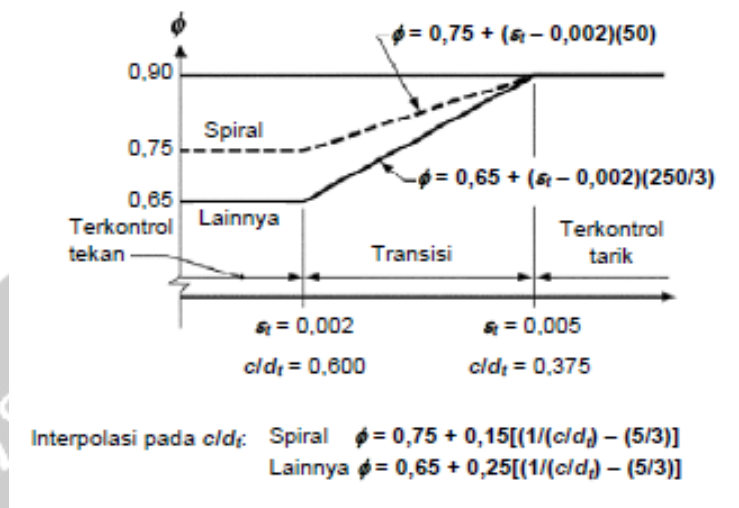
- f. Blok tegangan beton dianggap berbentuk persegi sebesar $0,85f'_c$ yang terdistribusi merata dari serat tekan terluar hingga setinggi $a = \beta_1 c$, dengan c adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral penampang. Nilai β_1 adalah 0,85, jika $f'_c < 28$ MPa. Nilai β_1 akan berkurang 0,05 setiap kenaikan 7 MPa, namun tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Faktor reduksi kekuatan, ϕ , dapat bervariasi tergantung beberapa kondisi berikut :

- a. Apabila $P_u = \phi P_n \geq 0,1f'_c A_g$, maka $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan sengkang persegi, dan $\phi = 0,75$ untuk kolom dengan sengkang spiral. Kondisi ini terjadi apabila keruntuhan yang direncanakan adalah berupa keruntuhan tekan.
- b. Penampang dengan regangan tarik tulangan baja terluar, ε_t , berada antara 0,002 dan 0,005 (daerah transisi). Nilai ϕ akan bervariasi antara 0,90 dan 0,65 (atau 0,75).

$$\phi = 0,75 + (\varepsilon_t - 0,002)(50) \quad \text{(untuk tulangan spiral)} \quad (3.2)$$

$$\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - 0,002) \left(\frac{250}{3} \right) \quad \text{(untuk tulangan non-spiral)} \quad (3.3)$$



Gambar 3.4 Variasi nilai ϕ terhadap nilai regangan tarik tulangan baja.
(Sumber : SNI 2847:2013)

- c. Jika $P_u = 0$ atau kasus lentur murni, maka $\phi = 0,90$ untuk penampang terkendali tarik, dan bervariasi antara 0,90 dan 0,65 (atau 0,75) untuk penampang pada daerah transisi.

3.7. Kondisi Penampang Kolom

Penampang kolom dapat dibagi menjadi beberapa kondisi yaitu :

1. Penampang kolom dengan regangan seimbang, kondisi seimbang terjadi ketika beban P_b yang bekerja pada penampang, yang akan menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton, dan pada saat yang bersamaan tulangan baja mengalami luluh, atau regangannya mencapai $\varepsilon_y = f_y/E_s$. Analisis penampang kolom pada keruntuhan seimbang dilakukan sebagai berikut :

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}} \text{ untuk nilai } E_s = 200.000 \text{ MPa, maka}$$

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad (3.4)$$

Tinggi blok tegangan ekuivalen adalah :

$$a_b = \beta_1 c_b \quad (3.5)$$

Dengan $\beta_1 = 0,85$ untuk $f'_c \leq 28$ MPa, dan berkurang 0,05 setiap kenaikan f'_c sebesar 7 MPa.

$$C_c = 0,85 f'_c a_b b \quad (3.6)$$

$$C_s = A'_s f'_s \quad (3.7)$$

Bila $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$ berarti tulangan tekan sudah luluh, maka:

$$f'_s = f_y \quad (3.8)$$

Bila $\epsilon'_s < \epsilon_y$ berarti tulangan tekan belum luluh, maka:

$$f'_s = E_s \epsilon'_s = E_s \left(\frac{c_b - d'_s}{c_b} \right) 0,003 \quad (3.9)$$

$$f'_s = \frac{c_b - d'_s}{c_b} 600 \quad (3.10)$$

$$T = A_s f_y \quad (3.11)$$

$$P_{n,b} = C_c + C_s - T \quad (3.12)$$

$$M_{n,b} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d'_s \right) + T \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (3.13)$$

$$e_b = M_b / P_b \quad (3.14)$$

2. Penampang terkendali tekan, adalah kondisi ketika regangan pada tepi terluar daerah beton tekan mencapai regangan maksimum $\varepsilon_{cu} = 0,003$, regangan tulangan tarik baja terluar masih lebih kecil dari regangan luluh baja ($\varepsilon_y = f_y/E_s$). Ditinjau kondisi terkendali tekan dimana :

- $c > c_b$
- $e < e_b$
- $P_n > P_b$

Pada kondisi ini tulangan tarik pasti belum luluh, sehingga :

$$T = A_s f_s = A_s E_s \varepsilon_t \quad (3.15)$$

$$T = A_s 2.10^5 \frac{d - c}{c} 0,003 \quad (3.16)$$

$$T = A_s 600 \frac{d - c}{c} \quad (3.17)$$

3. Penampang kondisi transisi dan terkendali tarik, adalah kondisi ketika regangan pada tepi terluar daerah beton tekan mencapai regangan maksimum $\varepsilon_{cu} = 0,003$, regangan tulangan tarik baja terluar sudah melampaui regangan luluh baja ($\varepsilon_y = f_y/E_s$). Ditinjau kondisi transisi dan terkendali tarik terjadi bila :

- $c < c_b$
- $e > e_b$
- $P_n < P_b$

Pada kondisi ini tulangan tarik pasti sudah luluh, sehingga sama seperti persamaan 3.11.

Untuk mendapatkan kombinasi P dan M pada diagram interaksi tersebut, maka solusi yang mudah adalah dengan mengadopsi algoritma numerik, meskipun algoritma manual juga dapat dibuat tetapi akan cukup kompleks.

Untuk menentukan P dan M tersebut perlu mempelajari terlebih dahulu sifat diagram interaksi yang ada, karena titik-titik pada diagram tersebut tidak semuanya harus dihitung dengan cara *trial-error* (iterasi). Adapun titik-titik tersebut adalah:

1. Beban aksial tekan maksimum (teori), sehingga sama seperti persamaan 3.1.
2. Beban aksial tekan maksimum yang diizinkan,

$$P_{nmaks} = 0,8 P_0 \quad (3.18)$$

$$M_n = P_{nmaks} e_{min} \quad (3.19)$$

3. Beban lentur dan aksial pada kondisi seimbang, nilainya ditentukan dengan mengetahui kondisi regangan beton $\varepsilon_{cu} = 0,003$ dan baja $\varepsilon_s = \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$.
4. Beban lentur pada kondisi beban aksial nol, kondisi seperti balok.
5. Beban aksial tarik maksimum,

$$P_{n-T} = \sum_{i=1}^n -A_{st} f_y \quad (3.20)$$

3.9. Metode Iterasi Setengah Interval

Metoda setengah interval atau disebut juga metoda interval tengah adalah salah satu cara yang sering digunakan untuk mencari suatu akar. Dalam pembuatan program ini digunakan metode iterasi setengah interval untuk mencari nilai c.

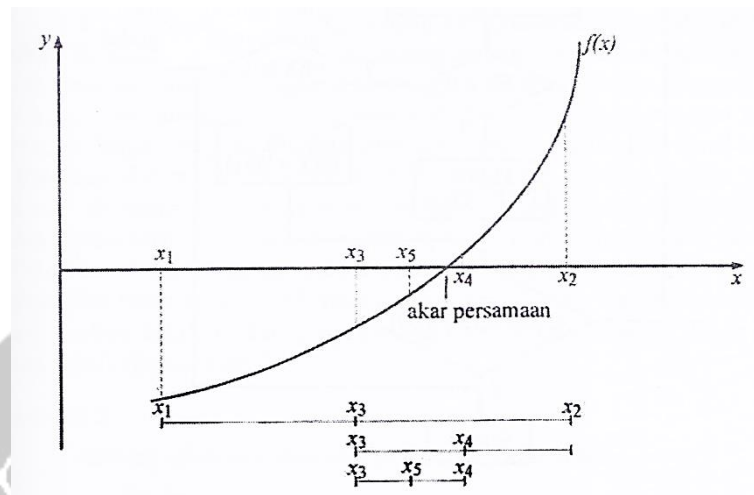
Langkah-langkah yang dilakukan pada penyelesaian dengan metode setengah interval adalah sebagai berikut :

1. Hitung fungsi pada interval yang sama dari x sampai pada perubahan tanda dari fungsi $f(x_i)$ dan $f(x_{i+1})$, yaitu apabila $f(x_i) \times f(x_{i+1}) < 0$.
2. Perkiraan pertama dari akar x_t dihitung dari rerata nilai x_i dan x_{i+1} :

$$x_t = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$

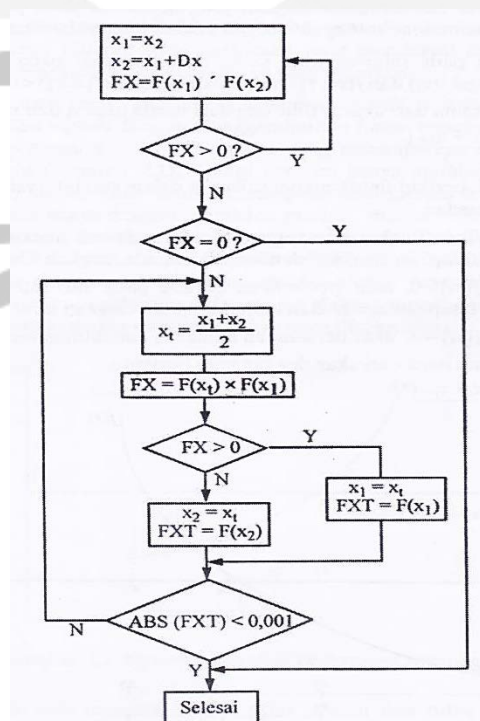
3. Buat evaluasi berikut untuk menentukan di dalam sub interval mana akar persamaan berada :
 - a. Jika $f(x_i) \times f(x_t) < 0$, akar persamaan berada pada sub interval pertama, kemudian tetapkan $x_{i+1} = x_t$ dan lanjutkan pada langkah ke 4.
 - b. Jika $f(x_i) \times f(x_t) > 0$, akar persamaan berada pada sub interval kedua, kemudian tetapkan $x_i = x_t$ dan lanjutkan pada langkah ke 4.
 - c. Jika $f(x_i) \times f(x_t) = 0$, akar persamaan adalah x_t dan hitungan selesai.
4. Hitung perkiraan baru dari akar dengan cara berikut :

$$x_t = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$



Gambar 3.6 Prosedur Hitungan Metode Setengah Interval
(Sumber : Buku Metode Numerik, 2002)

5. Apabila perkiraan baru sudah cukup kecil (sesuai dengan batasan yang ditentukan), maka hitungan selesai, dan x_t adalah akar persamaan yang dicari. Jika belum, maka hitungan kembali ke langkah 3.



Gambar 3.7 Bagan Alir Metode Setengah Interval
(Sumber : Buku Metode Numerik, 2002)