

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan pesatnya suatu ilmu pengetahuan dan teknologi di berbagai bidang termasuk dalam bidang konstruksi, memacu negara-negara berkembang termasuk Indonesia untuk mengadakan pembangunan sarana dan prasarana yang dibutuhkan masyarakat. Hal ini juga mendorong para perencana untuk mendesain bangunan yang lebih ekonomis dan aman.

Beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton polos, yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tariknya rendah, dan batangan baja yang ditanamkan di dalam beton yang dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan.

Pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat lantai, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Beban dari balok dan pelat lantai ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur. Oleh karena itu dapat didefinisikan, kolom adalah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan atau tanpa momen lentur.

Struktur bangunan gedung terdiri atas dua bangunan utama, yaitu struktur bangunan bawah dan struktur bangunan atas. Struktur bangunan bawah, yaitu struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah yang lazim disebut pondasi. Pondasi berfungsi sebagai pendukung struktur bangunan di atasnya untuk diteruskan ke tanah dasar. Sedangkan struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah, yaitu meliputi: struktur atap, pelat lantai, kolom, balok, dan dinding. Selanjutnya, balok dan kolom ini menjadi satu kesatuan yang kokoh dan sering disebut sebagai kerangka (portal) dari suatu gedung.

Pada struktur bangunan atas, kolom merupakan komponen struktur yang paling penting untuk diperhatikan, karena apabila kolom ini mengalami kegagalan, maka dapat berakibat keruntuhan struktur bangunan atas dari gedung secara keseluruhan.

1.2. Rumusan Masalah

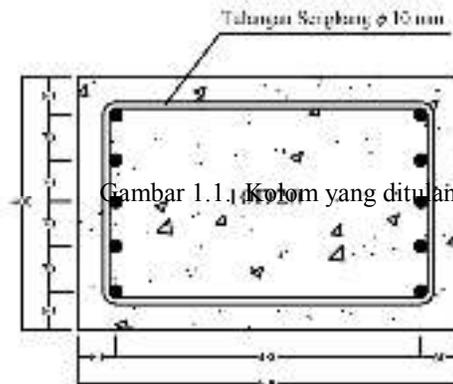
Rumusan dalam permasalahan ini adalah bagaimana menganalisa kedua kolom persegi tersebut dan menentukan desain kolom mana yang layak dipakai dalam konstruksi dalam data analisa keruntuhan dan diagram interaksi kolom. Jika ditinjau bentuk sisi yang ditulangi yang

berbeda, tetapi mutu beton, dimensi kolom persegi, serta baja tulangan yang digunakan sama melalui perhitungan nilai beban aksial dan momen lentur disetiap kondisi keruntuhan pada kolom.

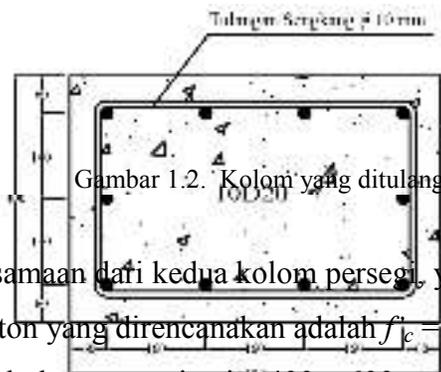
1.3. Batasan Masalah

Dalam analisa ini, penulis membatasi permasalahan untuk penyederhanaan sehingga tujuan dari penulisan tugas akhir ini dapat dicapai, adapun pembatasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam studi literatur ini, penulis membuat dua model kolom persegi beton bertulang, yaitu kolom yang ditulangi dua sisi (Gambar 1.1) dan kolom yang ditulangi empat sisi (Gambar 1.2).



Gambar 1.1. Kolom yang ditulangi dua sisi



Gambar 1.2. Kolom yang ditulangi empat sisi

2. Data-data persamaan dari kedua kolom persegi, yaitu:
 - a. Mutu beton yang direncanakan adalah $f'_c = 25$ MPa;
 - b. Dimensi kolom persegi yaitu 400 x 600 mm;
 - c. Kuat tarik baja, $f_y = 350$ MPa;

- d. Jarak pusat tulangan ke serat luar beton (d') = 60 mm;
 - e. Baja tulangan yang digunakan adalah 10D20;
 - f. Diameter sengkang (f) = 10 mm.
3. Analisa perhitungan seluruh kondisi keruntuhan kolom dihitung manual dengan mencari nilai P_n , dan M_n ;
 4. Gambar diagram interaksi kolom hanya meliputi kuat nominal dan kuat rencana.

1.4. Tujuan Masalah

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan memahami perhitungan struktur kolom melalui analisa keruntuhan kolom dan diagram interaksi kolom, serta dapat menganalisa perbandingan kedua kolom mana yang layak dengan mendapatkan kapasitas momen nominal yang optimum.

1.5. Manfaat Masalah

Manfaat dari penelitian tersebut adalah dapat menambah wawasan dan pengetahuan penulis melalui teori ilmu struktur kolom dari perkuliahan dalam menganalisa baik perencanaan maupun pelaksanaan pekerjaan kolom di lapangan melalui data analisa keruntuhan dan diagram interaksi kolom persegi.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini meliputi:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah, manfaat masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori-teori umum mengenai penjelasan kolom beton bertulang, jenis-jenis kolom beton bertulang, asumsi dasar perencanaan kolom, ketentuan perencanaan kolom, kombinasi beban aksial dan momen lentur, dan perbandingan studi literatur dengan ketiga jurnal penelitian yang diambil penulis sebelumnya.

BAB III LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai hal umum mengenai macam-macam cara analisa perhitungan kondisi kolom beton bertulang dan diagram interaksi kolom.

BAB IV ANALISA dan PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang hasil analisa data baik perhitungan tiap-tiap keruntuhan kolom sesuai kondisi kolom dan diagram interaksi kedua kolom serta pembahasan dari data tersebut.

BAB IV PENUTUP

Pada bab ini ditarik kesimpulan dari proses analisa dan saran yang merekomendasikan dalam analisa perhitungan terhadap kolom.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Kolom

Pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat lantai, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Beban dari balok dan pelat lantai ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur yang diakibatkan oleh kontinuitas konstruksi. Oleh karena itu dapat didefinisikan, kolom adalah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan atau tanpa momen lentur (Ali Asroni, 2010).

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 analisa 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.

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 Dipohusodo, 1999).

Elemen struktur yang terkena beban tekan, tanpa memperhatikan apakah momen lentur juga bekerja, secara harfiah disebut sebagai batang tekan (*compression member*), misalnya pada struktur rangka batang, struktur portal, rasuk pelengkung, dan sebagainya. Kolom beton bertulang mempunyai tulangan longitudinal, yang paralel dengan arah kerja beban, dan disusun menurut pola segiempat, bujur sangkar, atau lingkaran. (L. Wahyudi, 1997)

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 linear 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;
4. Kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan kekuatan.

Tulangan ini umumnya diikat oleh tulangan melintang yang ditempatkan dalam interval tertentu, yang disebut tulangan sengkang. Sengkang berfungsi untuk mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton yang dapat mempengaruhi daktilitas kolom beton bertulang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penampang yang diberi tulangan melintang atau transversal, dalam bentuk sengkang atau spiral, akan meningkat kekuatan dan daktilitas betonnya. Lilitan melingkar atau spiral memberikan tekanan kekang (*confine*) di sekeliling penampang. Sedangkan sengkang biasa hanya memberikan gaya kekang (*confine*) di daerah sudut karena tekanan pada sisi sengkang ini akan cenderung membengkokkan bagian sisi sengkang ke arah luar. Meskipun tidak sebaik lilitan spiral, sengkang biasa dapat pula memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas beton.

Penempatan sengkang yang relatif rapat dapat memperbaiki sifat beton, karena dapat memberikan pengekangan yang lebih baik pada beton. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa pengekangan oleh sengkang segiempat hanya terjadi pada bagian sudut, sedangkan sengkang spiral dapat lebih efektif memberikan pengekangan pada semua bagian. Pengekangan yang diberikan oleh sengkang segiempat dapat diperbaiki dengan menggunakan ikatan silang ataupun sengkang *overlap*.

2.2. Jenis-Jenis Kolom

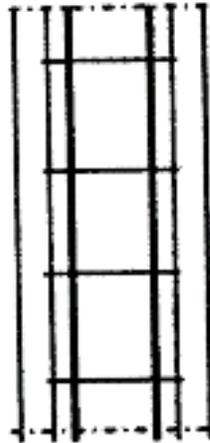
Kolom dibedakan beberapa jenis menurut bentuk dan susunan tulangan, serta letak atau posisi beban aksial pada penampang kolom. Disamping itu juga dapat dibedakan menurut ukuran panjang-pendeknya kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateral.

2.2.1. Berdasarkan Bentuk dan Susunan Tulangan

Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dibedakan menjadi tiga (3) macam, yaitu sebagai berikut:

1. Kolom Segi Empat

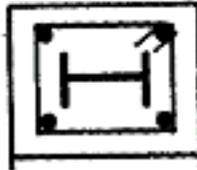
Kolom ini terbentuk oleh empat sisi yang berbentuk empat persegi panjang maupun bujur sangkar atau persegi, dengan tulangan memanjang dan sengkang.



Gambar 2.1. Kolom segi empat

2. Kolom Bulat

Kolom ini terbentuk sengkang berbentuk



bundar dengan tulangan memanjang dan spiral

Gambar 2.2. Kolom bulat

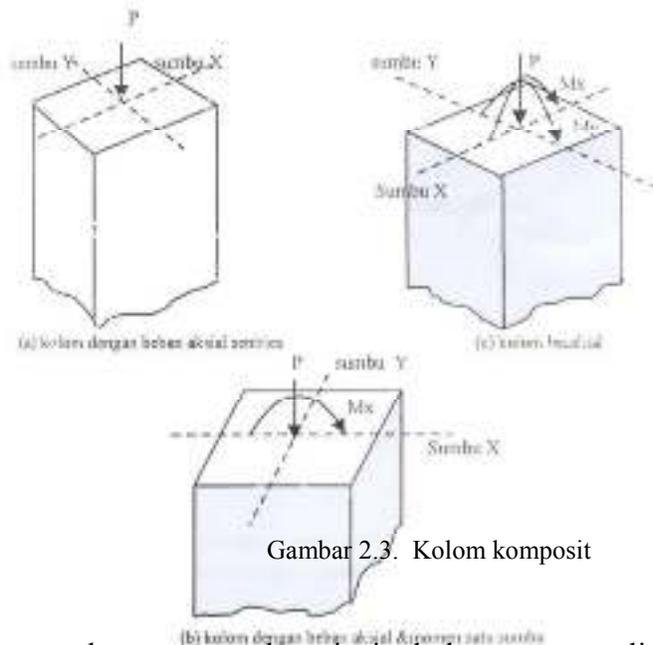


3. Kolom Komposit

Kolom ini adalah sebagai pengganti



gabungan antara beton dan profil baja tulangan didalamnya



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

2.2.2. Berdasarkan Letak atau Posisi Beban Aksial

Berdasarkan letak posisi beban aksial terhadap penampang, dapat dibedakan menjadi tiga jenis kolom yaitu:

- (a) Kolom dengan beban sentris;
- (b) Kolom dengan beban aksial dan momen satu bambu, dan;
- (c) kolom biaxial dimana momen bekerja pada sumbu-x dan sumbu-y.

Bentuk kolom berdasarkan letak atau posisi beban aksial dapat dilihat melalui Gambar 2.4.

Gambar 2.4. Kolom berdasarkan letak posisi beban aksial

2.2.3. Berdasarkan Panjang Kolom

Berdasarkan ukuran panjang dan pendeknya, kolom dibedakan atas dua macam, yaitu:

1. Kolom Panjang

Kolom ini sering disebut kolom langsing atau kolom kurus, beban yang bekerja pada kolom panjang dapat menyebabkan terjadi kegagalan atau keruntuhan kolom akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahayanya tekuk.

2. Kolom Pendek

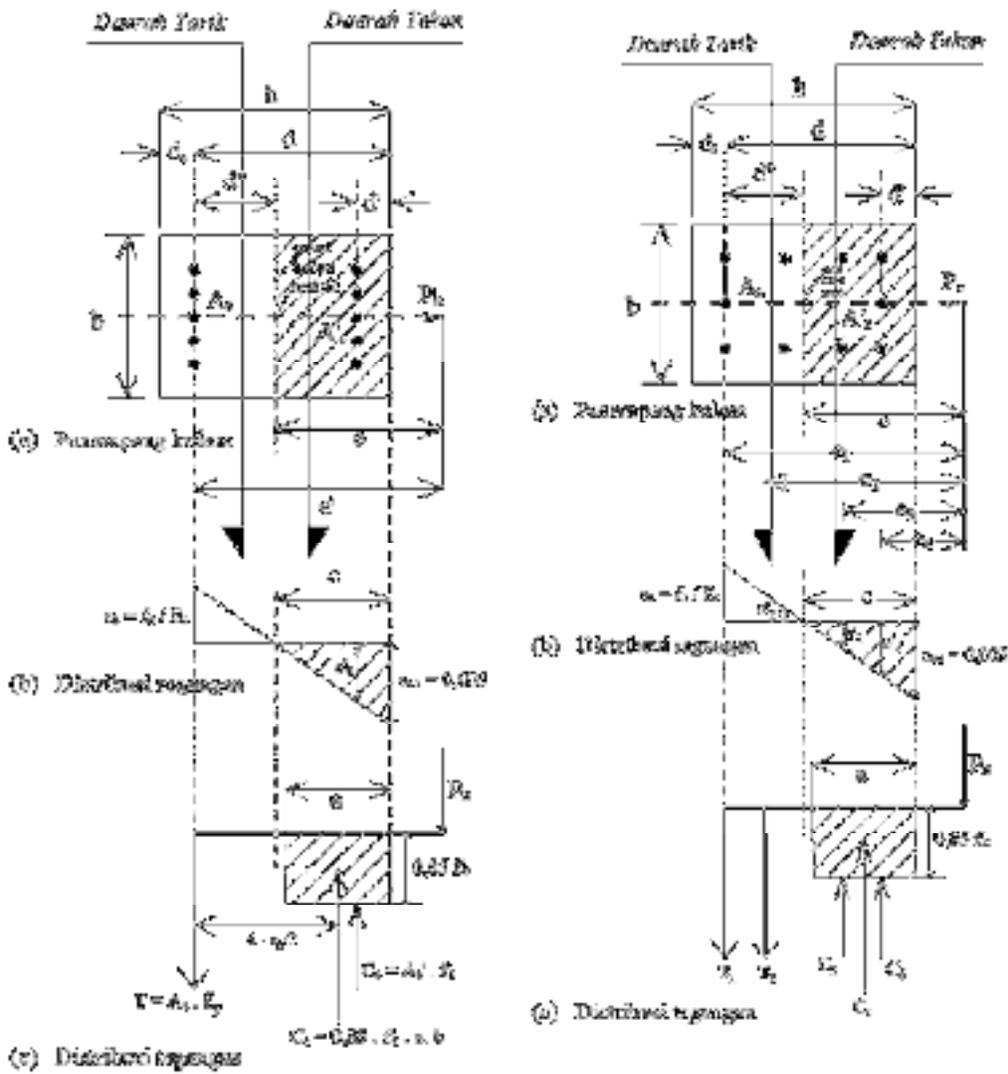
Kolom ini sering disebut kolom tidak langsing atau kolom gemuk, pada kolom tersebut tidak pernah menyebabkan terjadi kehilangan stabilitas lateral karena tekuk. Jadi kegagalan atau keruntuhan pada kolom pendek sering disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan atau hancurnya beton).

2.3. Asumsi Dasar Perencanaan Kolom (SNI 2847:2013)

Peraturan SNI 2847:2013 memberikan banyak batasan untuk dimensi tulangan, kekangan lateral, dan beberapa hal lain yang berhubungan dengan kolom beton. Beberapa asumsi dasar perencanaan kolom 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 10.2.2., mensyaratkan distribusi regangan di sepanjang tebal kolom dianggap berupa garis lurus (linear), seperti pada gambar 2.5(b);

3. Pasal 10.2.3., regangan tekan maksimum beton dibatasi pada kondisi $\varepsilon_{cu}' = 0,003$, seperti pada gambar 2.5(b);
4. Pasal 10.2.4., tegangan baja tulangan tarik maupun tekan (f_s maupun f'_s) yang belum mencapai leleh ($< f_y$) dihitung sebesar modulus elastisitas baja tulangan (E_s) dikalikan dengan regangannya (ε_s maupun ε'_s). Jadi, $f_s = E_s \cdot \varepsilon_s$, dan $f'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s$. Untuk regangan yang nilainya melampaui regangan leleh (ε_s maupun $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$), maka f_s maupun f'_s diambil sama dengan f_y ;
5. Pasal 10.2.5., kekuatan tarik beton diabaikan;
6. Pasal 10.2.6., hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapesium, parabola, atau bentuk lainnya;
7. Pasal 10.2.7.1., apabila hubungan antara distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, maka dipakai nilai tegangan beton sebesar $0,85f'_c$ yang terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen (seperti gambar 2.5(c)) yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar garis netral sejarak $a = \beta_1 \cdot c$ dari serat tekan maksimum;
8. Pasal 10.2.7.3., nilai faktor β_1 diambil sebagai berikut:
 - a. Untuk $f'_c = (17 \sim 28)$ MPa, maka nilai $\beta_1 = 0,85$; (2.1a)
 - b. Untuk $f'_c > 28$ MPa, maka nilai $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right)$ (2.1b)
tetapi $\beta_1 \geq 0,65$.



Gambar 2.5. Penampang kolom, diagram regangan, dan diagram tegangan

2.4. Ketentuan Perencanaan Kolom

Beberapa ketentuan yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan kolom meliputi hal-hal berikut:

1. Luas Tulangan Total (A_{st})

Luas total (A_{st}) tulangan longitudinal (tulangan memanjang) kolom harus memenuhi syarat berikut:

$$0,01 \cdot A_g < A_{st} < 0,08 \cdot A_g \quad (2.1)$$

dengan: A_{st} = luas total tulangan memanjang, mm^2 .

A_g = luas bruto penampang kolom, mm^2 .

2. Diameter Tulangan Geser (begel atau sengkang)

Diameter begel kolom (ϕ_{begel}) disyaratkan:

$$10 \text{ mm} < \phi_{\text{begel}} < 16 \text{ mm} \quad (2.2)$$

3. Gaya Tarik dan Gaya Tekan pada Penampang Kolom

Kolom yang sering dijumpai atau digunakan pada bangunan gedung yaitu kolom dengan penampang segi empat seperti telah dituliskan pada gambar 2.1. Jika kolom menahan beban eksentris P_n , maka pada penampang kolom sebelah kiri menahan beban tarik yang akan ditahan oleh baja tulangan, sedangkan sebelah kanan menahan beban tekan yang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan.

Gaya tarik bagian kiri ditahan oleh tulangan, sebesar:

$$T_s = A_s \cdot f_s \quad (2.3)$$

Gaya tekan yang ditahan beton bagian kanan, sebesar:

$$C_C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (2.4)$$

Sedangkan gaya tekan yang ditahan oleh tulangan kanan (C_S), yaitu:

a. Jika luas beton tekan diperhitungkan, maka:

$$C_S = A_s' (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad (2.5a)$$

b. Jika luas beton tekan diabaikan, maka:

$$C_S = A_s' \cdot f'_s \quad (2.5b)$$

Persamaan (2.5b) merupakan persamaan yang paling mudah dan paling banyak dipakai dalam perencanaan kolom. Selanjutnya dengan memperhatikan keseimbangan gaya vertikal, diperoleh gaya aksial P_n berikut:

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (2.6)$$

4. Nilai Regangan dan Tegangan Baja Tulangan

Besar regangan baja tulangan dapat ditentukan berdasarkan perbandingan dua segitiga yang sebangun pada Gambar 2.5(b).

Untuk regangan tarik baja tulangan sebelah kiri, dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\varepsilon_s}{d-c} = \frac{\varepsilon'_c}{c} \text{ sehingga diperoleh } \varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot \varepsilon'_c \quad (2.7a)$$

Untuk regangan tekan baja tulangan sebelah kanan, dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\varepsilon'_s}{c - d'_s} = \frac{\varepsilon'_c}{c} \text{ sehingga diperoleh } \varepsilon'_s = \frac{c - d'_s}{c} \cdot \varepsilon'_c \quad (2.7b)$$

Untuk baja tulangan (tarik maupun tekan) yang sudah leleh, maka nilai regangannya diberi notasi dengan ε_y dan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \text{ dengan } E_s = 200.000 \text{ MPa} \quad (2.7c)$$

Selanjutnya tegangan baja tulangan tarik dan tekan dihitung berikut:

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \text{ dan } f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s \quad (2.7d)$$

Jika ε_s (atau ε'_s) $\geq \varepsilon_y$, maka tulangan sudah leleh, dipakai:

$$f_s \text{ (atau } f'_s) = f_y \quad (2.7e)$$

5. Kolom dengan Beban Aksial Tekan Kecil

Pasal 9.3.2.2. SNI 2847:2013 mensinyalir, bahwa untuk komponen struktur yang memakai $f_y \leq 420$ MPa dengan tulangan yang simetris dan juga dengan $\frac{(d - d'_s)}{h} \geq 0,7$ nilai ϕ boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,90 apabila nilai $\phi.P_n$

kurang dari $0,10 \cdot f'_c \cdot A_g$; sedangkan untuk kolom yang lain ($f_y > 420$ MPa, $\frac{(d - d'_s)}{h} < 0,7$), boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,90 apabila nilai $\phi.P_n$ kurang dari nilai terkecil dari nilai $0,10 \cdot f'_c \cdot A_g$ dan $\phi.P_{n,b}$ (dengan $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan sengkang, dan $\phi = 0,75$ untuk kolom dengan tulangan spiral).

Jadi menurut pasal tersebut dapat dikatakan, bahwa untuk semua kolom dengan beban kurang dari “ $\phi.P_n$, kecil” (kurang dari nilai terkecil antara nilai $0,10 \cdot f'_c \cdot A_g$ dan $\phi.P_{n,b}$), nilai ϕ dapat ditingkatkan secara linear menjadi $\phi = 0,90$ (hanya menahan momen lentur saja).

Jadi diambil nilai “ $\phi.P_n$, kecil” = $P_{u\phi}$, maka :

$$P_{u\phi} \text{ diambil nilai terkecil dari nilai } 0,10 \cdot f'_c \cdot A_g \text{ atau } \phi.P_n \quad (2.8a)$$

Untuk kolom dengan tulangan sengkang berlaku ketentuan berikut:

a. Jika beban P_u , $(P_u = \phi \cdot P_n) > P_{u\phi}$, maka nilai $\phi = 0,65$ (2.8b)

b. Jika beban P_u , $(P_u = \phi \cdot P_n) > P_{u\phi}$, maka nilai

$$\phi = 0,90 - \frac{0,25 \cdot P_u}{P_{u\phi}} \quad (2.8c)$$

Untuk kolom dengan tulangan spiral berlaku ketentuan berikut:

a. Jika beban P_u , $(P_u = \phi \cdot P_n) > P_{u\phi}$, maka nilai $\phi = 0,75$ (2.8d)

b. Jika beban P_u , $(P_u = \phi \cdot P_n) > P_{u\phi}$, maka nilai

$$\phi = 0,85 - \frac{0,25 \cdot P_u}{P_{u\phi}} \quad (2.8e)$$

dengan:

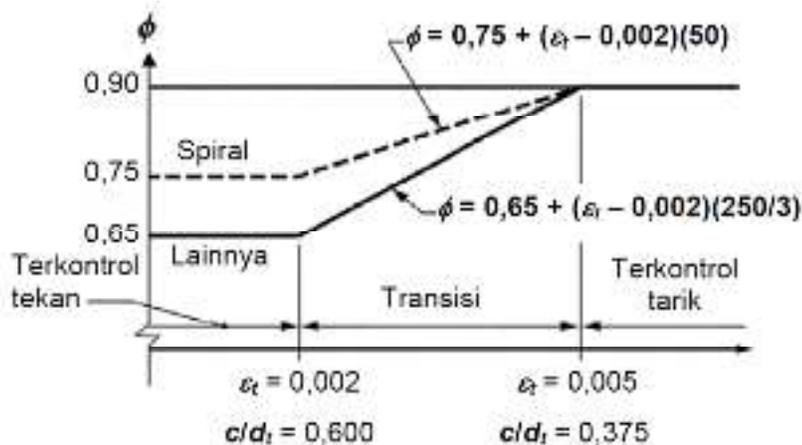
P_u = gaya aksial tekan perlu atau gaya aksial tekan terfaktor, kN;

$P_{u\phi}$ = gaya aksial tekan terfaktor pada batas nilai ϕ yang sesuai, kN;

$P_{n,b}$ = gaya aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (*balance*), kN;

ϕ = faktor reduksi kekuatan struktur;

A_g = luas bruto penampang kolom, mm².

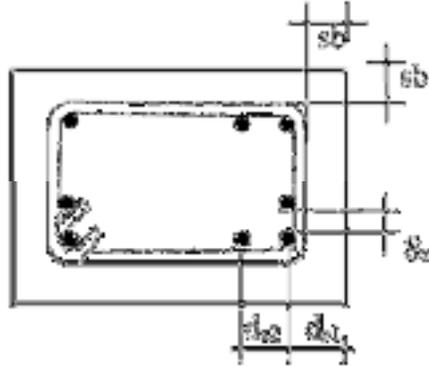


Interpolasi pada c/d_t :
 Spiral $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3))]$
 Lainnya $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3))]$

Gambar 2.6. Variasi nilai f terhadap nilai regangan tarik tulangan baja.
 (Sumber: SNI 2847:2013)

6. Penempatan Tulangan Kolom

Tulangan kolom ditempatkan atau diatur seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7. Penempatan tulangan kolom

dengan:

sb = selimut atau lapis lindung beton (Pasal 7.7.1)
= 50 mm, jika berhubungan dengan tanah atau cuaca dan $D \geq 19$ mm.
= 40 mm, jika tidak berhubungan dengan tanah atau cuaca dan $D < 19$ mm.

S_n = jarak bersih antar tulangan (Pasal 7.6.3)
 $\geq 1,5 \times D$ (D = diameter tulangan)
 ≥ 40 mm.

$$d_{s1} = sb + f_{begel} + \frac{D}{2}$$

$$d_{s2} = S_n + D$$

7. Jumlah Tulangan Longitudinal dalam Satu Baris

Jumlah tulangan longitudinal maksimum per baris dirumuskan sebagai berikut:

$$m = \frac{b - 2 \cdot d_{s1}}{D + S_n} + 1 \quad (2.9)$$

dengan:

m = jumlah tulangan longitudinal per-baris (dibulatkan ke bawah, jika angka desimal $\geq 0,86$ dapat dibulatkan ke atas);

b = lebar penampang kolom, mm;

d_{s1} = jarak *decking* pertama, sebesar tebal lapis lindung beton + f_{begel}
+ $\frac{D}{2}$, mm;

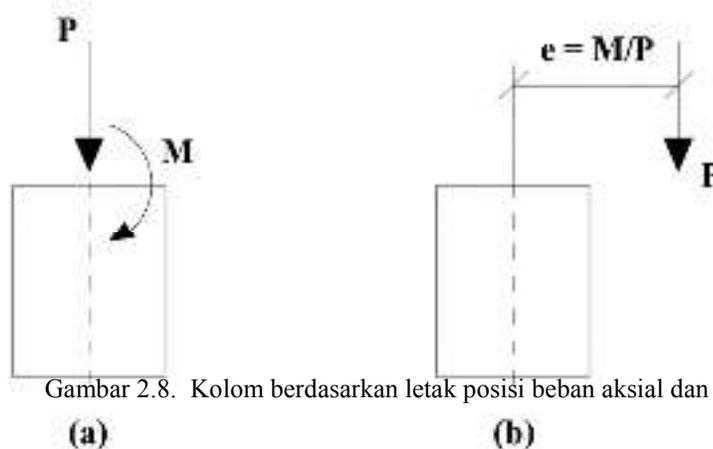
S_n = jarak bersih antar tulangan menurut Gambar 2.7., mm;

D = diameter tulangan longitudinal (tulangan memanjang), mm.

2.5. 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 adalah 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 2.8a, maka biasanya dapat diekuivalenkan dengan beban P yang bekerja pada eksentrisitas, $e = \frac{M}{P}$. Pada Gambar 2.8b.



Gambar 2.8. Kolom berdasarkan letak posisi beban aksial dan momen lentur

Eksentrisitas, e , mempresentasikan jarak dari titik berat plastis penampang ke lokasi beban bekerja. Titik berat plastis dapat diperoleh dengan menentukan lokasi gaya resultan yang dihasilkan oleh tulangan baja dan beton yang keduanya mengalami tegangan tekan sebesar f_y dan

$0,85 f'_c$. Untuk penampang yang simetris, pusat berat plastis berimpit dengan pusat berat penampang. Sedangkan untuk penampang yang tidak simetris, pusat berat simetris dapat ditentukan dengan mengambil jumlahan momen terhadap sumbu tertentu. Gambar 2.8. memberikan ilustrasi penentuan pusat berat plastis suatu penampang kolom.

2.6. Perbandingan Studi Literatur dengan Jurnal Penelitian Lainnya

Didalam topik Tugas Akhir ini, penulis menilai dan melakukan perbandingan antara Studi Literatur yang dibuat penulis dengan ketiga data penelitian jurnal yang didapat penulis melalui internet.

Didalam jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang berjudul *Diagram Interaksi Perancangan Kolom dengan Tulangan Pada Empat Sisi Berdasarkan SNI 2847:2013 dan ACI 318M-11 (Volume 13, No. 4, April 2016, 268 – 290)* oleh Yoyong Arfiandi dijelaskan bahwa kolom dengan tulangan pada keempat sisi didekati sebagian baja dengan ketebalan yang merata pada tiap sisinya. Hasil perhitungan dan diagram interaksi perancangan kolom melalui SNI 2847:2013 merupakan pendekatan dari cara yang sesungguhnya melalui ACI 318M-11. Namun demikian, hasil yang diperoleh akan mendekati hasil dari keadaan sesungguhnya.

Didalam jurnal Teknik Sipil Universitas Bengkulu yang berjudul *Analisis Penampang Kolom Beton Bertulang Berlubang (Volume 10, No. 2, Oktober 2018, 1 – 12)* oleh Marzon, Mukhlis Islam, Elhusna dijelaskan metode analisis kolom persegi tersebut dikembangkan menggunakan aplikasi *spreadsheet* dengan menggunakan tulangan longitudinal dua muka. Hasil penelitian dari jurnal tersebut adalah semakin besar luas lubang (A_{st}) dan rasio tulangan (r) maka persentase selisih P_n dan M_n kolom persegi panjang semakin kecil, sedangkan semakin besar mutu beton (f'_c) dan selisih lebar (b) dan panjang (h) kolom maka persentase selisih P_n dan M_n kolom persegi panjang semakin besar.

Didalam jurnal Teknik Sipil Universitas Bengkulu yang berjudul *Analisis Kolom Beton Bertulang pada Penampang Persegi Berlubang (Volume 11, No. 1, September 2019, 19 – 26)* oleh Amrun Nasution dan Mukhlis Islam dijelaskan metode analisis kolom persegi tersebut dikembangkan menggunakan hubungan tegangan-regangan ($\sigma - \epsilon$) *Hognestad* dan aplikasi *spreadsheet*, dimana topik beserta hasil penelitian jurnal tersebut mirip dengan jurnal penelitian sebelumnya.

Dari ketiga jurnal penelitian yang diambil oleh penulis dapat disimpulkan bahwa metode analisa kolom beserta pola-pola perhitungannya tidak jauh berbeda dengan sumber-sumber referensi dan buku mengenai Perhitungan Perencanaan Kolom. Studi literatur mengenai perbandingan kolom yang ditulangi dua sisi dan empat sisi dengan mutu beton (f'_c), mutu baja (f_y), luas penampang (A_g), luas tulangan (A_{st}) yang sama akan merujuk pada sumber-sumber tersebut baik jurnal penelitian, buku-buku referensi struktur beton, buku-buku referensi teknik sipil, maupun media internet.

BAB III LANDASAN TEORI

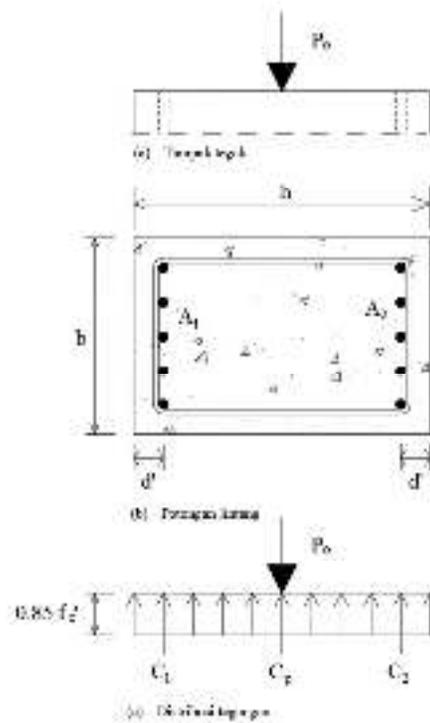
3.1. Analisa Kondisi Pembebanan Kolom

Beban aksial yang bekerja pada penampang kolom dibedakan atas dua macam yaitu beban sentris dan beban eksentris, Untuk penampang kolom dengan beban eksentris masih dibedakan lagi menjadi empat macam yaitu:

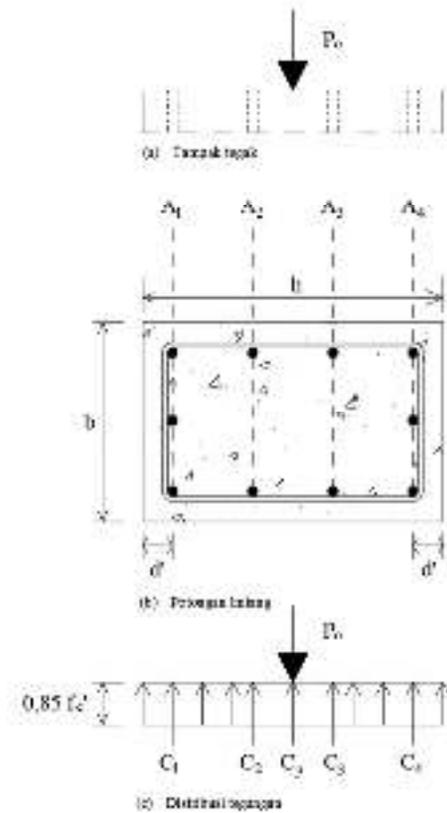
1. Penampang kolom dengan keruntuhan tekan;
2. Penampang kolom dengan keruntuhan seimbang (*balance*);
3. Penampang kolom dengan keruntuhan tarik, dan;
4. Penampang kolom dengan kondisi beban $P_n = 0$.

3.1.1. Penampang Kolom pada Kondisi Beban Sentris

Penampang kolom dengan kondisi beban sentris, berarti beban tersebut tepat bekerja pada sumbu longitudinal kolom, sehingga beton maupun baja tulangan (semuanya) menahan beban tekan.



Gambar 3.1 Kolom dua sisi dengan beban sentris



Gambar 3.2 Kolom empat sisi dengan beban sentris

Kekuatan penampang kolom dengan beban sentris ditentukan dengan menganggap bahwa semua baja tulangan sudah mencapai leleh, jadi tulangan baja tulangan $f_s = f_s' = f_y$. Di samping itu, regangan tekan beton sudah mencapai batas maksimal, yaitu $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0,003$. Analisa perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung luas bruto penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h \quad (3.1)$$

2. Menghitung luas total baja tulangan (A_{st})

$$A_{st} = A_1 + A_2 \quad (\text{untuk kolom dua sisi}) \quad (3.2a)$$

$$A_{st} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (\text{untuk kolom empat sisi}) \quad (3.2b)$$

3. Menghitung luas total baja tulangan (A_n)

$$A_n = A_g - A_{st} \quad (3.3)$$

4. Menghitung kapasitas beban nominal (P_o)

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (3.4)$$

5. Menghitung batasan kuat tekan nominal maksimal sebesar 80% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan sengkang (Persamaan 2.1)

$$P_{n, maks} = 0,80 \cdot P_o \quad (3.5)$$

6. Kuat rencana dihitung dengan memasukkan faktor reduksi kekuatan ϕ pada kuat nominalnya.

$$\phi P_{n, maks} = \phi \cdot 0,80 \cdot P_o \quad (3.6)$$

Dengan:

$$\phi = 0,65 \text{ (untuk sengkang persegi)}$$

3.1.2. Penampang Kolom dengan Keruntuhan Tekan

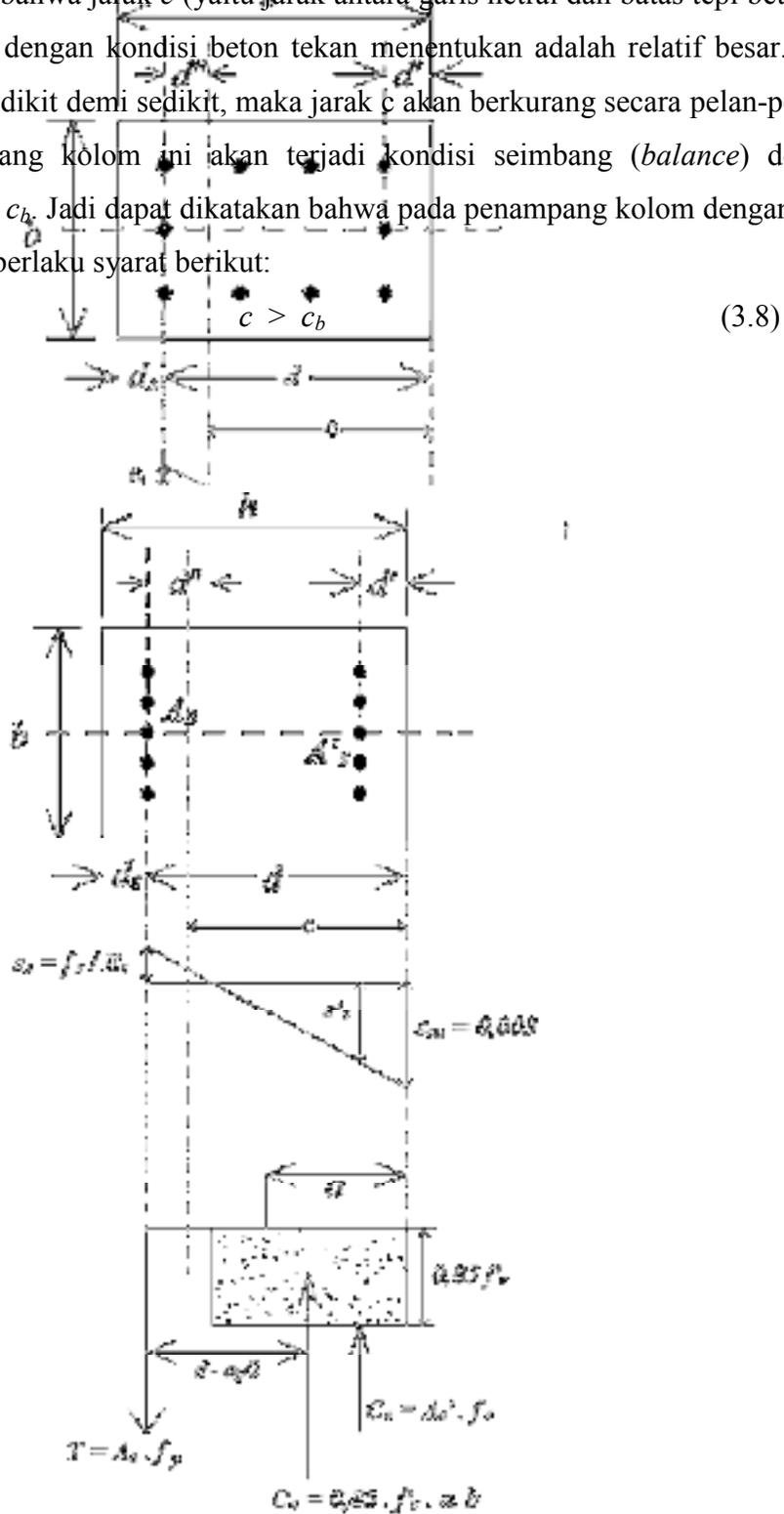
Apabila gaya tekan, P_n , melebihi gaya tekan dalam kondisi seimbang, P_b , atau apabila eksentrisitas, $e = \frac{M_n}{P_n}$, lebih kecil daripada eksentrisitas pada kondisi seimbang, e_b . Maka penampang kolom akan mengalami keruntuhan tekan. Pada penampang kolom dengan kondisi beton menentukan, regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit ($\epsilon_{cu}' = 0,003$), tulangan tekan A_s' telah mencapai leleh ($f_s' = f_y$), tetapi tulangan tarik A_s belum leleh ($\epsilon_s < \epsilon_y$ atau $f_s' < f_y$).

Sebagian besar penampang beton akan berada dalam keadaan tekan. Sumbu netral akan bergerak ke atas mendekati tulangan tarik, menambah luas daerah tekan beton, sehingga jarak sumbu netral dari serat tekan beton akan melebihi jaraknya pada kondisi seimbang.

Rumus untuk mencari nilai c_b adalah:

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \quad (3.7)$$

Perlu dicatat, bahwa jarak c (yaitu jarak antara garis netral dan batas tepi beton tekan) pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan adalah relatif besar. Jika besar P_n digeser ke kanan sedikit demi sedikit, maka jarak c akan berkurang secara pelan-pelan, dan suatu saat pada penampang kolom ini akan terjadi kondisi seimbang (*balance*) dengan jarak c dinotasikan dengan c_b . Jadi dapat dikatakan bahwa pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan berlaku syarat berikut:



Gambar 3.3 Kondisi keruntuhan tekan penampang kolom persegi dua sisi

Gambar 3.4 Kondisi keruntuhan tekan penampang kolom persegi empat sisi

3.1.3. Penampang Kolom dengan Keruntuhan Seimbang (*Balance*)

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 $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$. Analisa penampang kolom pada keruntuhan seimbang dilakukan sebagai berikut:

1. Misalkan c adalah jarak dari serat tekan beton terluar ke sumbu netral, maka dari diagram regangan diperoleh hubungan:

$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}$ untuk nilai $E_s = 200.000$ MPa, maka nilai c_b (Persamaan 3.7):

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

Tinggi blok tegangan ekuivalen:

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \quad (3.12)$$

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

2. Dari kesetimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh:

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (3.7)$$

dengan:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.13a)$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s \quad (3.13b)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (3.13c)$$

Nilai $f'_s = f_y$, apabila tulangan tekan sudah luluh:

$$f'_s = 600 \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) < f_y \quad (3.14)$$

Sehingga persamaan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal dapat ditulis kembali menjadi berbentuk:

$$P_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b + A_s' \cdot f_s - A_s \cdot f_y \quad (3.15)$$

3. Nilai eksentrisitas, e_b , ditentukan dengan mengambil jumlahan momen terhadap pusat berat plastis, sedangkan e' diukur dari pusat tulangan tarik ($e' = e + d''$), dengan d'' adalah jarak dari pusat berat plastis ke pusat tulangan tarik. Maka:

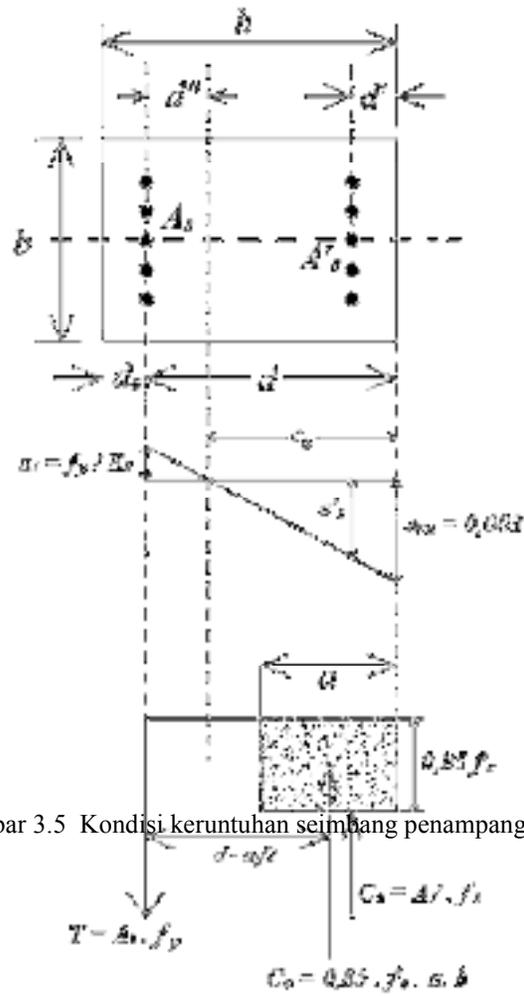
$$P_b \cdot e_b = C_c \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + C_s (d - d' - d'') + T \cdot d'' \quad (3.16)$$

atau:

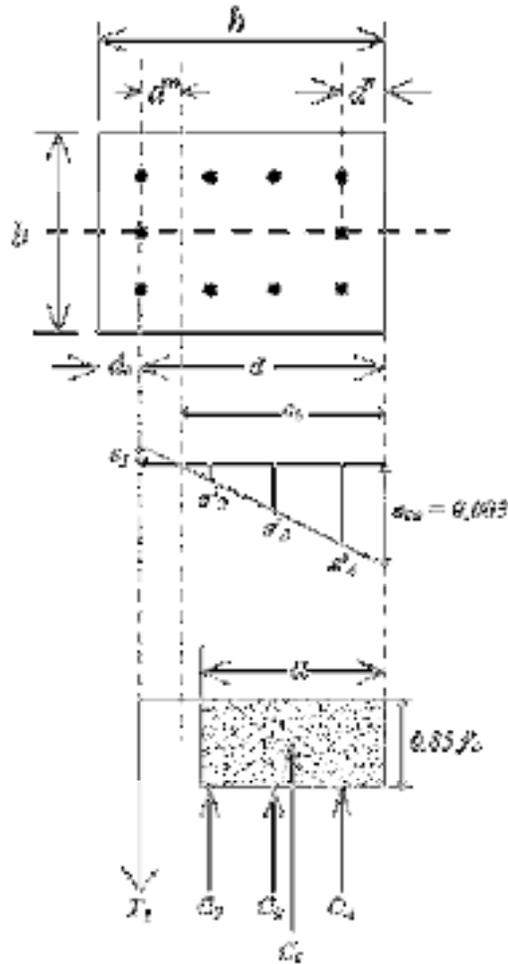
$$P_b \cdot e_b = M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + A_s' f_s (d - d' - d'') + A_s \cdot f_y \cdot d'' \quad (3.17)$$

Nilai eksentrisitas pada kondisi seimbang diperoleh dari:

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} \quad (3.18)$$



Gambar 3.5 Kondisi keruntuhan seimbang penampang kolom persegi dua sisi



Gambar 3.6 Kondisi keruntuhan seimbang penampang kolom persegi empat sisi

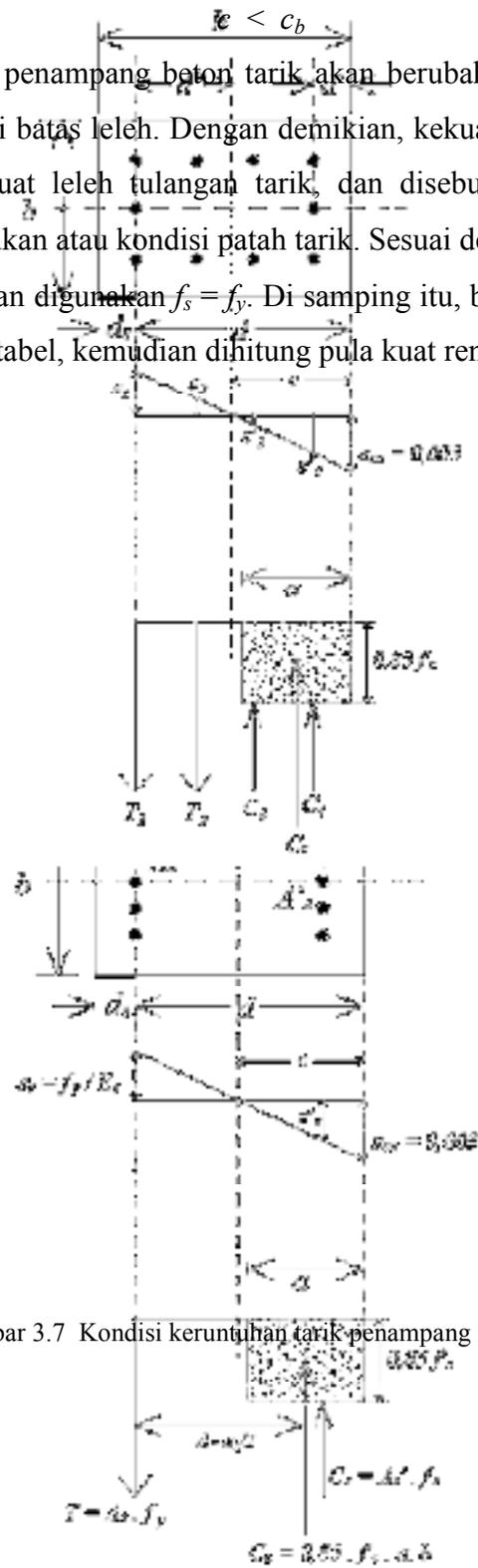
3.1.4. Penampang Kolom dengan Keruntuhan Tarik

Keruntuhan tarik terjadi apabila penampang kolom diberi beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar. Kolom akan mengalami keruntuhan akibat luluhnya tulangan baja dan hancurnya beton pada saat regangan tulangan baja melampaui $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$. Dalam kasus ini, kuat tekan nominal penampang, P_n , akan lebih kecil dari P_b , atau eksentrisitas, $e = \frac{M_n}{P_n}$ lebih besar dari eksentrisitas pada kondisi seimbang, e_b . Bila terjadi keruntuhan tarik, maka tulangan tarik luluh, dan tegangannya $f_s = f_y$. Asumsikan bahwa tegangan pada tulangan tekan adalah $f_s' = f_y$.

Jika beban aksial P_n telah berada pada kondisi penampang seimbang, kemudian beban tersebut digeser lagi ke kanan, maka luas penampang beton tekan semakin kecil, sehingga regangan tekan beton juga semakin kecil ($\epsilon_{cu}' < 0,003$) dan nilai c ikut semakin kecil pula, yaitu:

$$(3.19)$$

Sebaliknya, luas penampang beton tarik akan berubah semakin besar, sehingga regangan tulangan tarik melebihi batas leleh. Dengan demikian, kekuatan penampang kolom pada kondisi ini ditentukan oleh kuat leleh tulangan tarik, dan disebut: penampang kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan atau kondisi patah tarik. Sesuai dengan Persamaan 2.7e, karena $\epsilon_s > \epsilon_y$, maka dalam perhitungan digunakan $f_s = f_y$. Di samping itu, besar beban aksial dan momen lentur dengan menggunakan tabel, kemudian dihitung pula kuat rencananya.



Gambar 3.7 Kondisi keruntuhan tarik penampang kolom persegi dua sisi

Gambar 3.8 Kondisi keruntuhan tarik penampang kolom persegi empat sisi

3.1.5. Penampang Kolom pada Kondisi Beban $P_n = 0$

Apabila suatu penampang kolom dengan beban aksial $P_n = 0$, berarti kolom hanya menahan momen lentur saja. Karena hanya menahan momen lentur, maka kolom tersebut dianalisa atau dihitung seperti balok biasa. Momen nominal dan momen rencana kolom dihitung dengan menggunakan rumus-rumus seperti pada hitungan momen nominal serta momen rencana balok, dan dengan faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,80$. Proses hitungan dilaksanakan dengan rumus-rumus berikut:

1. Dihitung nilai a , $a_{min,leleh}$, dan $a_{maks,leleh}$:

$$a = \frac{(A_s - A'_s) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.20a)$$

$$a_{min\ leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d'_s}{600 - f_y} \quad (3.20b)$$

$$a_{maks\ leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 + f_y} \quad (3.20c)$$

2. Dikontrol kondisi tulangan tekan, untuk menetapkan nilai a yang benar:

- a. Jika $a \geq a_{min,leleh}$ maka tulangan tekan sudah leleh, dan nilai a pada Persamaan (3.20a) sudah benar;
- b. Jika $a \geq a_{maks,leleh}$ maka tulangan tekan belum leleh, nilai a dihitung lagi sebagai berikut:

$$\bullet p = \frac{600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.21a)$$

$$\bullet q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d'_s \cdot A'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.21b)$$

$$\bullet a = (\sqrt{p^2 + q}) - p \quad (3.21c)$$

$$\bullet f'_s = \frac{a - \beta_1 \cdot d'_s}{a} \times 600 \quad (3.21d)$$

3. Dikontrol kondisi tulangan tarik dengan syarat: semua tulangan tarik sudah leleh, yaitu nilai $a \leq a_{maks \text{ leleh}}$. (3.22)

4. Dikontrol momen nominal, M_n , dan momen rencana, M_r .

$$M_{nc} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.23a)$$

$$M_{ns} = A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d'_s) \quad (3.23b)$$

Maka,

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \quad (3.23c)$$

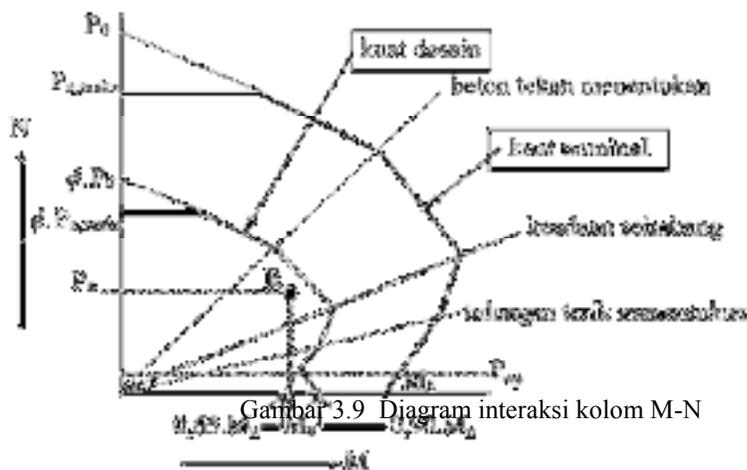
$$M_{ns} = \phi \cdot M_n \quad (3.23d)$$

Untuk kondisi tulangan tekan sudah leleh, maka nilai f'_s pada Persamaan (3.23b) di atas diambil sebesar f_y .

3.2. Diagram Interaksi Kolom

Beban yang bekerja pada kolom, biasanya berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang mampu ditahan oleh kolom bergantung pada ukuran atau dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang ada atau terpasang pada kolom tersebut. Hubungan antara beban aksial dan momen lentur digambarkan dalam suatu diagram yang disebut Diagram Interaksi Kolom. Manfaat dari diagram interaksi kolom, yaitu dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Prosedur pembuatan diagram interaksi kolom dilaksanakan dengan memperhitungkan kekuatan kolom berdasarkan lima macam kondisi beban pada suatu penampang kolom, seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 3.1.1 sampai dengan Subbab 3.1.5. Hasil hitungan kelima macam kondisi beban tersebut kemudian dilukiskan diagramnya seperti tampak Gambar 3.9.



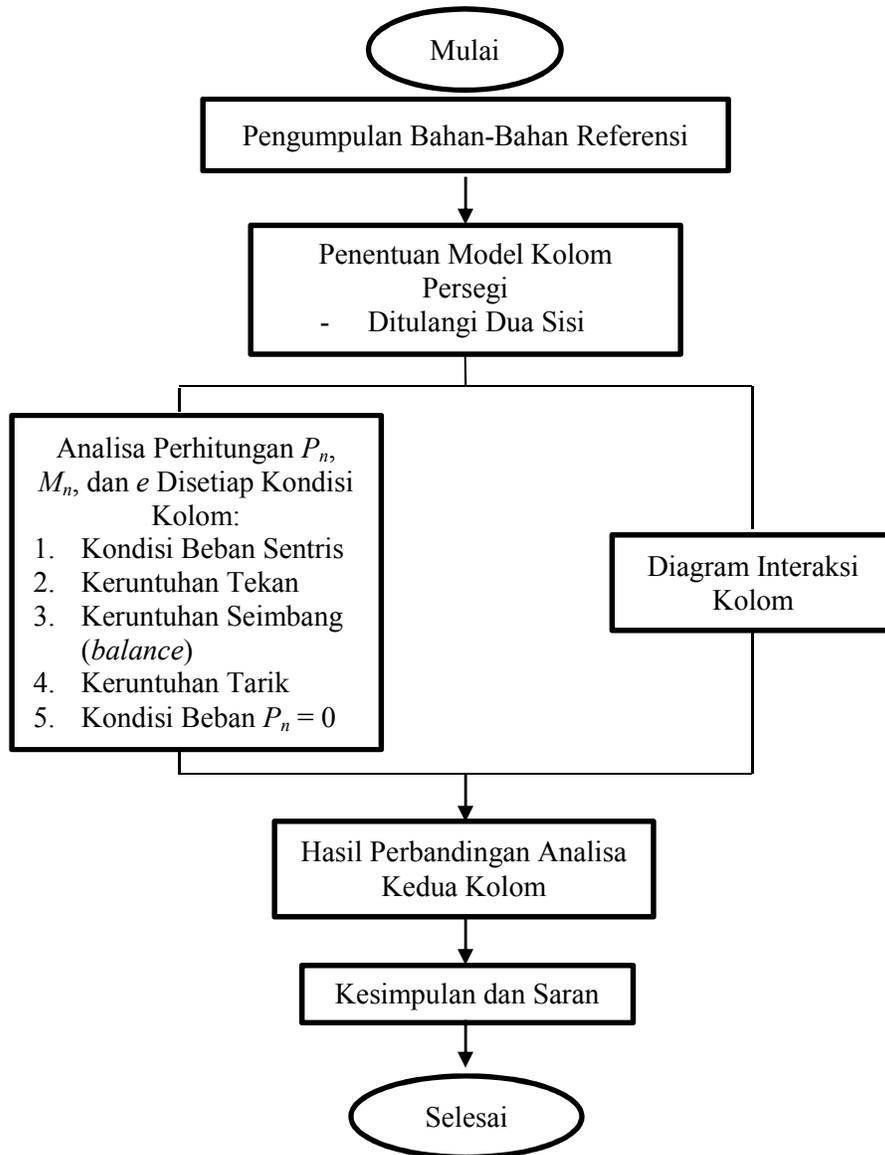
Gambar 3.9 Diagram interaksi kolom M-N

Diagram interaksi kolom memiliki dua buah sumbu utama yang berdimensi (memiliki satuan) tertentu, yaitu:

1. Sumbu vertikal, merupakan sumbu yang menyatakan besar beban aksial P_u pada kolom, sehingga mempunyai satuan gaya (misalnya : kN).
2. Sumbu horizontal, merupakan sumbu yang menyatakan besar beban momen lentur M_u , sehingga mempunyai satuan momen (misalnya : kN.m).

3.3. Diagram Alir

Metode penyelesaian studi literatur ini tergambar dalam diagram alir dibawah ini:



Gambar 3.10 Diagram alir

