

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton (*concrete*) telah menjadi material komposit yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi modern (Harrer dkk, 2017, hlm. 29). Penggunaan beton sebagai material konstruksi mulai meningkat setelah beton bertulang (*reinforced concrete*) dikembangkan pada abad ke-19. Seiring dengan penggunaan beton yang semakin luas, teknik konstruksi dan variasi beton terus berkembang. Selain beton bertulang, terdapat lebih dari dua puluh variasi beton seperti beton prategang (*prestressed concrete*), beton pracetak (*precast concrete*), beton ringan (*light-weight concrete*), beton siap cetak (*ready mix concrete*), beton polymer (polymer concrete) dan lainnya. Beton dan berbagai variasinya yang ada sekarang digunakan di hampir semua jenis konstruksi dari rumah sederhana, gedung bertingkat, jalan layang, jembatan, menara air, lapangan udara, dinding penahan tanah, terowongan, bendungan, kanal, tiang pancang, bantalan kereta api, pemecah gelombang, bahkan dalam pemugaran candi sebagai perkuatan struktur (van Romondt, 2009, hlm. 242-243).

Dalam era pembangunan nasional yang berkembang cepat saat ini, penggunaan beton sebagai bahan konstruksi sangat banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena beton mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan, baik dari segi pemeliharaan, segi struktur ataupun pelaksanaannya di lapangan. Selain itu beton merupakan elemen struktur yang dapat dibuat sesuai dengan bentuk dan dimensi suatu struktur.

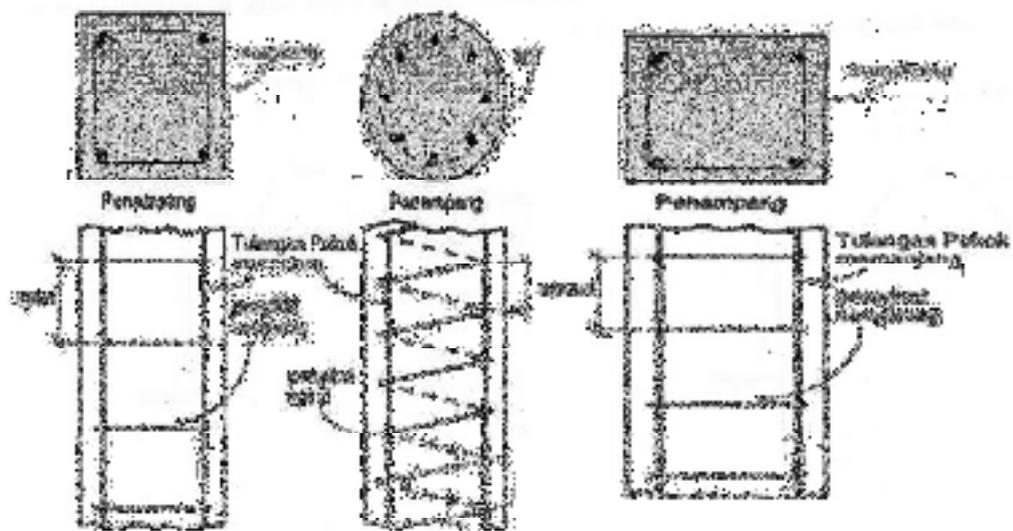
Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Sementara itu beton bertulang (*reinforced concrete*) adalah beton yang dikombinasikan dengan tulangan baja dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa batang-batang baja yang di tanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan.

Setiap bangunan terdiri dari berbagai bagian-bagian yang memiliki fungsi tertentu. Salah satunya adalah kolom. Menurut Sudarmoko (1996), kolom merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai dan runtuhnya bangunan secara total. Pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui fondasi. Beban dari balok dan pelat ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi). Oleh karena itu dapat didefinisikan, kolom ialah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan/tanpa momen lentur.

Struktur dalam kolom terbuat dari besi dan beton. Kedua bahan ini memiliki sifat gabungan yang cukup baik di mana besi merupakan material yang tahan terhadap tarikan, sedangkan beton merupakan material yang tahan tekanan. Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain seperti sloof dan balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan.

Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dibedakan menjadi 3 macam yaitu kolom segi empat, kolom bulat dan kolom komposit. Dari ketiga jenis kolom tersebut, kolom bersengkang (segi empat dan bujur sangkar) merupakan jenis yang paling banyak dijumpai karena pelaksanaan pengerjaannya mudah dan harga pembuatannya murah.

Adanya perbedaan yang mendasar dari desain kolom persegi dan kolom bulat/lingkaran dimana kolom bulat yang berpenampang spiral lebih efektif dibandingkan dengan sengkang persegi dalam hal meningkatkan kekuatan kolom (Jack C McCormac, 2003, hlm. 278). Selain itu kolom bulat berpenampang spiral mempunyai jarak sengkang yang berdekatan dibandingkan kolom persegi yang mempunyai bentuk sengkang tunggal dengan jarak antara yang relatif besar, sehingga adanya spiral ini mempengaruhi baik beban batas maupun keruntuhan dibandingkan dengan kolom yang sama tetapi memakai sengkang (George Winter dan Arthur H Nielson, 1993, hlm. 313).



Gambar 1. 1 Jenis-jenis kolom

*Sumber: Dipohusudo (1994)*

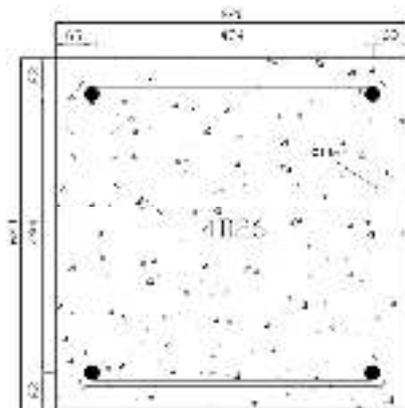
## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah menganalisis perbandingan desain kolom persegi dan kolom bulat mana yang layak digunakan dalam konstruksi dalam data analisa keruntuhan dan diagram interaksi kolom. Jika ditinjau bentuk kolom yang berbeda, tetapi mutu beton, dimensi kolom persegi dan kolom bulat, serta baja tulangan yang digunakan sama melalui perhitungan nilai beban aksial dan momen lentur di setiap kondisi keruntuhan pada kolom.

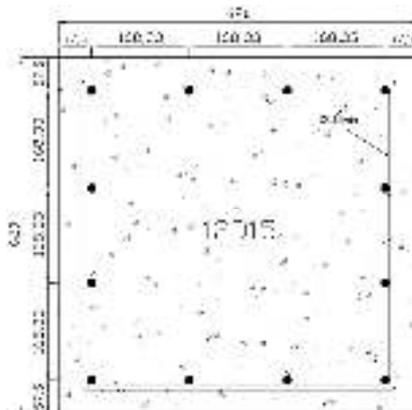
## 1.3 Batasan Masalah

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

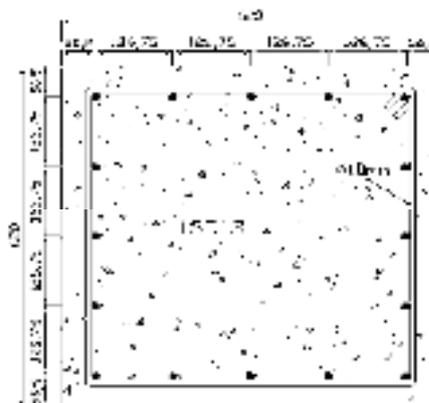
1. Dalam studi literatur ini, penulis membuat dua model kolom bertulang, yaitu kolom persegi dan kolom bulat .



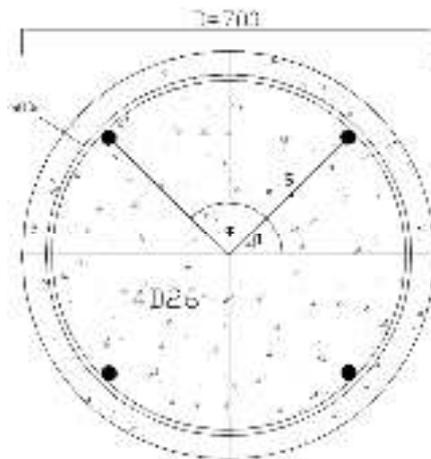
Gambar 1. 2 Kolom persegi ditulangi 4D26



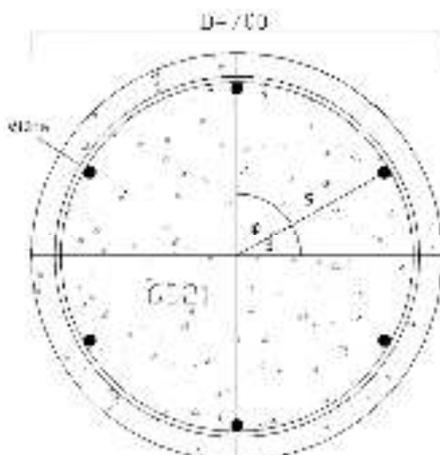
Gambar 1. 3 Kolom persegi yang ditulangi 12D15



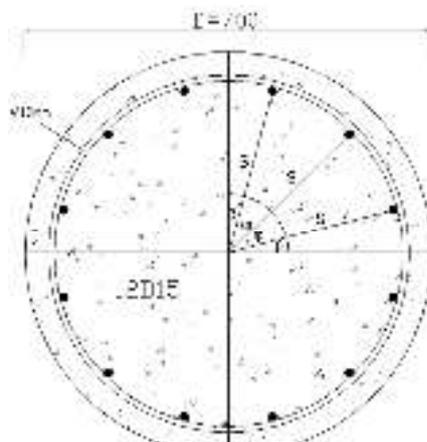
Gambar 1. 4 Kolom persegi ditulangi 16D13



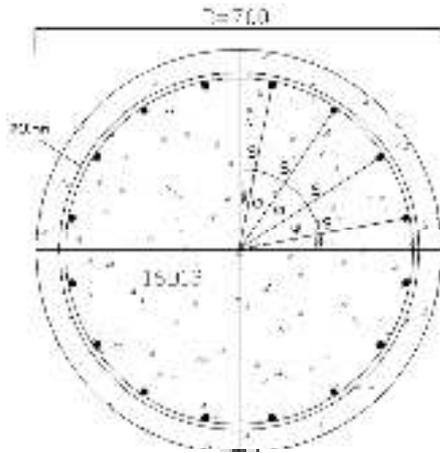
Gambar 1. 5 Kolom bulat ditulangi 4D26



Gambar 1. 6 Kolom bulat ditulangi 6D21



Gambar 1. 7 Kolom bulat ditulangi 12D15



Gambar 1. 8 Kolom bulat ditulangi 12D15

2. Data-data persamaan dari kedua kolom persegi, yaitu:
  - a. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f'c = 25$  MPa;
  - b. Dimensi kolom persegi yaitu  $620 \times 620$  mm dan kolom bulat  $\text{Ø}700$  mm;
  - c. Kuat tarik baja,  $f_y = 350$  MPa;
  - d. Jarak pusat tulangan ke serat luar beton ( $d'$ ) =  $40 + \text{Ø}_s + \frac{D}{2}$  mm;
  - e. Baja tulangan yang digunakan adalah 4D26, 6D21, 12D15, 16D13;
  - f. Diameter sengkang  $\text{Ø} 10$  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 Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui dan memahami perhitungan struktur beton melalui analisa keruntuhan kolom dan diagram interaksi kolom, serta dapat menganalisa perbandingan kedua kolom yaitu kolom persegi dan kolom bulat yang layak dengan mendapatkan momen nominal yang optimum.

#### 1.5 Maksud Penelitian

Maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk 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 dan kolom bulat.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, maksud penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas tentang teori dasar dari beberapa referensi yang mendukung serta mempunyai relevansi dengan penelitian ini.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisikan metoda penelitian.

### **BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Berisikan uraian analisis dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang di lakukan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Beton Bertulang**

Pengertian struktur beton bertulang Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 3.13 mendefinisikan beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Beton bertulang terbuat dari gabungan antara beton dan tulangan baja. Oleh karena itu, beton bertulang memiliki sifat yang sama seperti bahan-bahan penyusunnya yaitu sangat kuat terhadap beban tekan dan beban tarik.

Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton. Beton juga tahan terhadap kebakaran dan melindungi baja supaya awet.

##### **2.1.1. Pengertian Beton**

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Menurut Asroni (2010:2), “secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang-kadang ditambah kan pula campuran bahan lain (admixture) untuk memperbaiki kualitas beton”.

Dalam Mulyono (2006), “beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah”.

Menurut Tjokrodimuljo (2004:I-I), “beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air, agregat. Adapun untuk beton khusus (selain beton normal) ditambahkan bahan tambah, misalnya pozolan, bahan kimia pembantu, serta dan sebagainya”.

Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Singkatnya dapat dikatakan pasta bahwa semen mengikat pasir dan bahan-bahan agregat lain (batu, kerikil, basalt dan sebagainya)(Sagel, Kole dan Kusuma, 1993:143).

Berdasarkan beberapa uraian yang telah di sampikan para ahli, dapat disimpulkan bahwa pengertian beton adalah campuran dari semen, air, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah atau kerikil), dan untuk mencapai sifat beton tertentu, maka campuran beton diberi bahan tambahan semacam lainnya (*admixture atau additive*).

### **2.1.2. Jenis-Jenis Beton**

Beton sering kali digunakan sebagai salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lainnya. Terdapat beberapa jenis beton yang dapat dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu (Mulyono, 2005 dalam Alim, 2014) :

- a. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
- b. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luasan tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
- c. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tuangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.
- d. Beton prestress (pratekan) adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

- e. Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.
- f. Beton ringan total atau beton ringan berpasir adalah beton yang seluruh agregat halus dengan berat normal.

### **2.1.3. Baja Tulangan**

Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada baja tulangan dan kawat baja saja. Belum ada peraturan yang mengatur penggunaan tulangan lain, selain dari baja tulangan atau kawat baja tersebut.

Baja tulangan untuk konstruksi beton bertulang ada bermacam-macam jenis dan mutu tergantung dari pabrik yang membuatnya. Ada dua jenis baja tulangan, tulangan polos (*Plain bar*) dan tulangan ulir (*Deformed bar*). Sebagian besar baja tulangan yang ada di Indonesia berupa tulangan polos untuk baja lunak dan tulangan ulir untuk baja keras.

Penulangan beton menggunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis yang kuat menahan gaya tarik. Baja beton yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran atau kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang-batang baja yang dianyam dengan teknik pengelasan. Untuk penulangan beton prategang digunakan kawat yang disebut standar SNI menggunakan simbol BJTP (baja tulangan polos) dan BJTD (baja tulangan ulir).

Agar dapat berlangsung lekatan erat antara baja tulangan dengan beton digunakan batang deformasi (BJTD) yaitu batang tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip teratur dengan pola tertentu, atau batang tulangan yang dipilin pada proses produksinya. Pola permukaan yang dikasarkan atau pola sirip sangat beragam tergantung dari mesin giling atau cetak yang dimiliki oleh produsen, asal masih dalam batas-batas spesifikasi teknik yang diperkenankan oleh standar. Baja tulangan polos (BJTP)

hanya digunakan untuk tulangan pengikat sengkang atau spiral, umumnya diberi kait pada ujungnya.

Yang umum dipakai sifat-sifat fisik baja beton dapat ditentukan melalui pengujian tarik. Sifat fisik tersebut adalah: kuat tarik ( $f_y$ ), batas luluh/leleh, regangan pada beban maksimal, modulus elastisitas (konstanta material), ( $E_s$ ) Tegangan luluh (titik luluh) baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar dengan ketentuan bahwa tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan. Dalam sebuah gambar kerja ada dua notasi utama dalam menjelaskan jenis besi dan besar diameternya yang digunakan dalam sebuah beton bertulang notasi berupa tanda  $\emptyset$  digunakan untuk besi jenis besi polos, sedangkan notasi D (huruf D kapital) digunakan untuk penggunaan besi ulir. Contoh penulisan didalam sebuah gambar kerja semisal  $6\emptyset 12$  berarti memiliki arti bahwa gambar tersebut berupa beton bertulang dengan tulangan besi polos berjumlah 6 dengan diameter 12 mm. Notasi  $12D20$  berarti beton bertulang dengan 12 batang besi ulir berdiameter 20 mm. Notasi lain adalah  $\emptyset 12 - 100$  yang memiliki arti beton bertulang dengan batang besi polos berjarak 100 mm.

Tabel 2. 1 Sifat mekanik baja tulangan.

<b>Simbol mutu</b>	<b>Tegangan leleh Minimum (<math>\text{kN/cm}^2</math>)</b>	<b>Kekuatan tarik Minimum (<math>\text{kN/cm}^2</math>)</b>	<b>Perpanjangan Minimum (%)</b>
BJTP – 24	24	39	18
BJTP – 30	30	49	14
BJTD – 30	30	49	14
BJTD – 35	35	50	18
BJTD – 40	40	57	16

Sumber : struktur bertulang. L wahyudi hal 32 tabel 2.4

**Besi/baja terdiri dari beberapa jenis, diantaranya :**

**1. Tulangan polos**

Baja tulangan ini tersedia dalam beberapa diameter, tetapi karena ketentuan SNI hanya memperkenankan pemakaiannya untuk sengkang dan tulangan spiral, maka pemakaiannya terbatas. Saat ini tulangan polos yang mudah dijumpai adalah hingga diameter 16 mm, dengan panjang 12 m.

Tabel 2. 2 Dimensi nominal tulangan polos.

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Luas penampang (cm <sup>2</sup> )
6	0,222	0,28
8	0,395	0,50
10	0,617	0,79
12	0,888	1,13
16	1,578	2,01

Sumber : struktur bertulang. L wahyudi hal 33 tabel 2.5

**2. Tulangan ulir (deform)**

Berdasarkan SNI, digunakan simbol D untuk menyatakan diameter tulangan ulir. Sebagai contoh, D-10 dan D-19 menunjukkan tulangan ulir berdiameter 10 mm dan 19 mm. Tulangan ini tersedia mulai dari diameter 10 hingga 32 mm, meskipun ada juga yang lebih besar, umumnya diperoleh melalui pesanan khusus. Dalam Tabel 2.3 disajikan dimensi efektif dari tulangan ulir.

Tabel 2. 3 Dimensi efektif tulangan ulir (deform).

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas penampang(cm2)
10	0,617	3,14	0,785
13	1,04	4,08	1,33
16	1,58	5,02	2,01
19	2,23	5,96	2,84
22	2,98	6,91	3,80
25	3,85	7,85	4,91
32	6,31	10,05	8,04
36	7,99	11,30	10,20
40	9,87	12,56	12,60

Sumber : struktur bertulang. L wahyudi hal 33 tabel 2.6

#### **2.1.4. Fungsi Utama Beton dan Tulangan**

Beton maupun baja-tulangan pada struktur beton bertulang tersebut mempunyai fungsi atau tugas pokok yang berbeda, sesuai dengan sifat bahan yang bersangkutan.

Fungsi utama dari beton, yaitu untuk :

1. Menahan beban gaya tekan
2. Menutup baja tulangan agar tidak berkarat

Sedangkan fungsi utama dari baja tulangan, yaitu untuk :

1. Menahan gaya tarik meskipun juga kuat terhadap gaya tekan
2. Mencegah retak beton agar tidak melebar

#### **2.2. 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 (akibat kontinuitas konstruksi). Oleh karena itu dapat didefinisikan, kolom adalah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan atau tanpa momen lentur” (Ali Asroni, 2010).

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. Di dalam 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.

“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.

Empat 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.

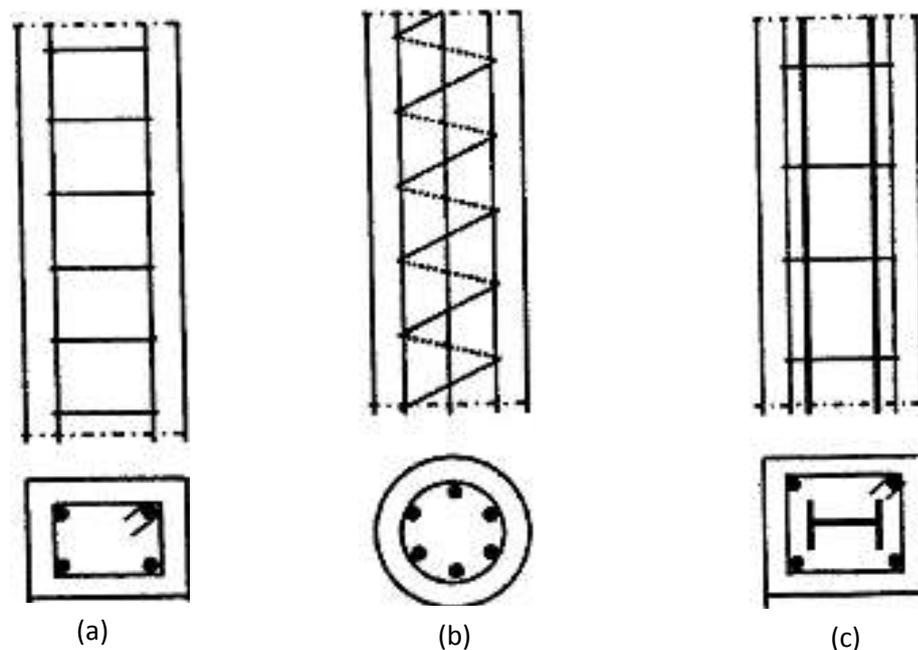
### 2.3. Jenis-jenis Kolom

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.

#### 2.3.1. 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.
2. Kolom Bulat  
Kolom ini terbentuk bundar dengan tulangan memanjang dan sengkang berbentuk spiral.
3. Kolom Komposit  
Kolom ini adalah gabungan antara beton dan profil baja struktural yang berada di dalam beton.

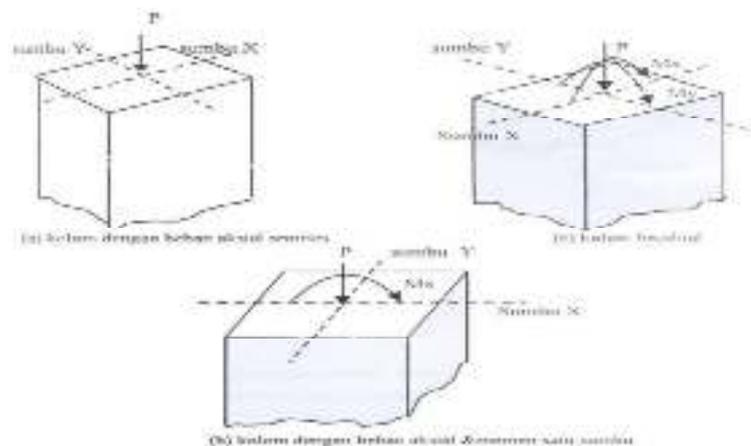


Gambar 2. 1 Kolom Persegi (a), Kolom Bulat (b), Kolom Komposit (c)

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.

### 2.3.2. Berdasarkan Letak atau Posisi Beban Aksial

Berdasarkan letak beban aksial yang bekerja pada penampang kolom, kolom dibedakan menjadi 3 macam, yaitu (a) kolom dengan posisi beban sentris, (b) kolom dengan posisi beban eksentris, dan (c) Kolom biaxial (momen bekerja pada sumbu x dan sumbu y).



Gambar 2. 2 Penampang Kolom Berdasarkan Posisi Beban Aksial

### 2.3.3. 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

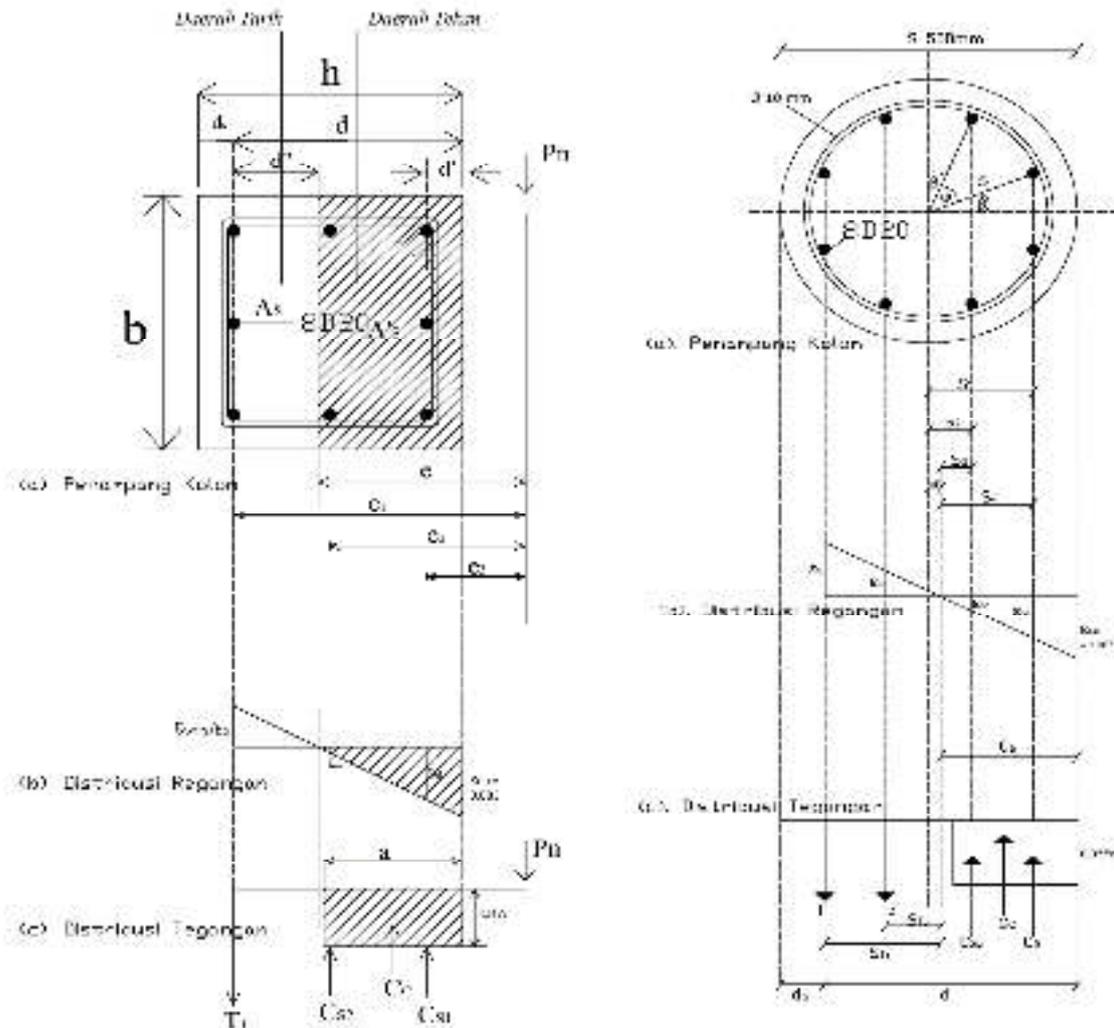
kolom tersebut tidak pernah menyebabkan terjadi kehilangan stabilitas lateral karena tekuk. Jadi kegagalan atau keruntuhan pada kolom pendek sering disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan atau hancurnya beton).

#### 2.4. 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,  $\phi$ , 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  $\epsilon_{cu}' = 0,003$ , 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 ( $\epsilon_s$  maupun  $\epsilon_s'$ ). Jadi,  $f_s = E_s \cdot \epsilon_s$ , dan  $f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$ . Untuk regangan yang nilainya melampaui regangan leleh ( $\epsilon_s$  maupun  $\epsilon_s' > \epsilon_y$ ), 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  $0,85 \cdot f_c'$  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  $\beta_1$  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  $\beta_1 = 0,85 - 0,05 ( f_c' - 28 / 7 )$  (2.1b)

tetapi  $\beta_1 > 0,65$ .



Gambar 2. 3 Penampang kolom, diagram regangan, dan diagram tegangan

## 2.5. 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,  $\text{mm}^2$ .

$A_g$  = luas bruto penampang kolom,  $\text{mm}^2$ .

2. Diameter Tulangan Geser (begel atau sengkang)

Diameter begel kolom ( $\emptyset$  begel) disyaratkan:

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

3. Gaya Tarik dan Gaya Tekan pada Penampang Kolom

Kolom yang sering dijumpai/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 2 segitiga yang sebangun pada Gambar 2.

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:  $\varepsilon_y$ , dan dihitung dengan persamaan

$$\varepsilon_y = f_y / E_s \text{ dengan } E_s = 200000 \text{ MPa} \quad (2.7c)$$

Selanjutnya tegangan baja tulangan tarik dan tekan dihitung berikut:

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

Jika  $\varepsilon_s$  (atau  $\varepsilon_s'$ )  $\geq \varepsilon_y$ , 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  $f_y < 420$  MPa dengan tulangan yang simetris dan juga dengan  $(d - d_s') / \phi > 0,7$  nilai  $\phi$  boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,90 apabila nilai  $\phi \cdot P_n$  kurang dari  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$ ; sedangkan untuk kolom yang lain ( $f_y > 420$  MPa,  $(d - d_s') / \phi < 0,7$ ), boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,90 apabila nilai  $\phi \cdot P_n$  kurang dari nilai terkecil dari nilai  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$  dan  $\phi \cdot P_{n,b}$  (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 " $\phi \cdot P_n$ , kecil" (kurang dari nilai terkecil antara nilai  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$  dan  $\phi \cdot P_{n,b}$ ), nilai  $\phi$  dapat ditingkatkan secara linear menjadi  $\phi = 0,90$  (hanya menahan momen lentur saja).

Jadi diambil nilai " $\phi \cdot P_n$ , kecil" =  $P_u \phi$ , maka :

$$P_{u\phi} \text{ diambil nilai terkecil dari nilai } 0,10 \cdot f_c' \cdot A_g \text{ atau } \phi \cdot P_{n,b} \quad (2.8)$$

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  $\phi = 0,90 - \frac{0,25 \cdot P_u}{P_{u\phi}}$  (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  $\phi = 0,85 - \frac{0,25 \cdot P_u}{P_{u\phi}}$  (2.8e)

dengan:

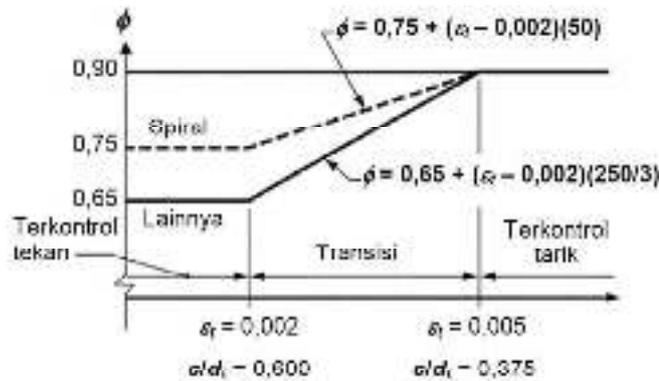
$P_u$  = Gaya aksial tekan perlu atau gaya aksial tekan terfaktor, kN.

$P_{u\phi}$  = Gaya aksial tekan terfaktor pada batas nilai  $\phi$  yang sesuai, kN.

$P_{n,b}$  = Gaya aksial nominal pada kondisi regangan penampang seimbang (balance), kN.

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan.

$A_g$  = luas bruto penampang kolom, mm<sup>2</sup>.



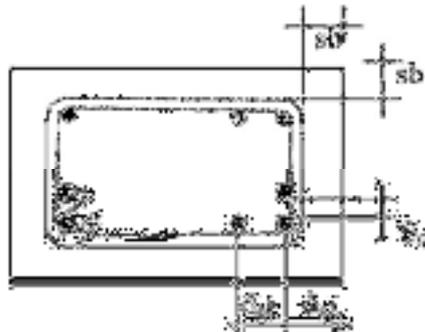
Interpolasi pada  $\epsilon_t/d_t$ :  
 Spiral  $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(\epsilon_t/d_t) - (5/3))]$   
 Lainnya  $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(\epsilon_t/d_t) - (5/3))]$

Gambar 2. 4 Variasi nilai  $\phi$  terhadap nilai regangan tarik tulangan baja.

(Sumber: SNI 2847:2013)

## 6. Penempatan tulangan kolom

Tulangan kolom ditempatkan/diatur seperti pada Gambar 2.5.



$s_b$  = 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.

Gambar 2. 5 Penempatan tulangan kolom

$$\begin{aligned} S_n &= \text{jarak bersih antar tulangan (7.6.3)} \\ &\geq 1,5.D \text{ (D = diameter tulangan)} \\ &\geq 40 \text{ mm.} \end{aligned}$$

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

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

#### 7. Jumlah Tulangan Longitudinal dalam satu baris

Jumlah tulangan longitudinal maksimum per baris dirumuskan sebagai berikut:

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

dengan:

$m$  = Jumlah tulangan longitudinal per baris (dibulatkan ke bawah, jika angka desimal  $\geq 0,86$  dapat dibulatkan keatas).

$b$  = Lebar penampang kolom, mm.

$d_{s1}$  = Jarak decking pertama, sebesar tebal lapis lindung beton +  $\emptyset_{\text{begele}} + \frac{D}{2}$ , mm.

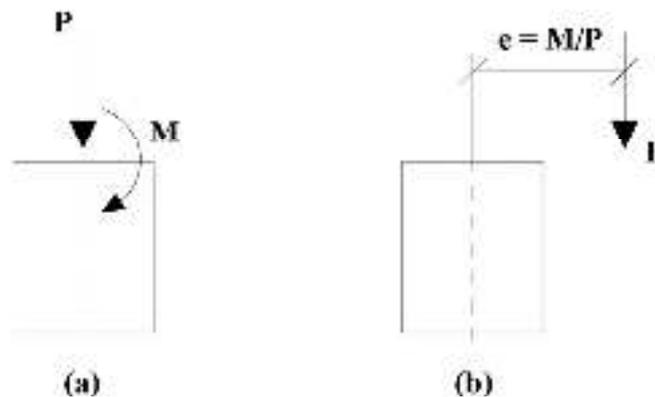
$S_n$  = Jarak bersih antar tulangan menurut Gambar 2.7., mm.

$D$  = Diameter tulangan longitudinal (tulangan memanjang), mm.

### 2.6. 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.



Gambar 2. 6 Kolom berdasarkan letak posisi beban aksial dan momen lentur

Ketika sebuah elemen kolom diberi beban aksial,  $P$ , dan momen lentur,  $M$ , seperti pada Gambar 2.6a, maka biasanya dapat diekuivalenkan dengan beban  $P$  yang bekerja pada eksentrisitas,  $e = \frac{M}{P}$ . Pada Gambar 2.6b.

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 2.6. memberikan ilustrasi penentuan pusat berat plastis suatu penampang kolom.

## 2.7. Keaslian Penelitian

Sejauh pengetahuan peneliti terdapat beberapa penelitian yang berhubungan dengan peneliti, yaitu :

1. Farisi, M. lukman. (2012), Perbandingan Efisiensi Bahan Kolom Bulat Dan Persegi Pada Struktur Gedung Empat Lantai.
2. Agus, Yudha Pranata. (2018), Analisis Perbandingan Kolom Berbentuk Bulat Dan Persegi Terhadap Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang

Akibat Beban Gempa ( Studi Kasus : Gedung BKPSDM Kota Padang Panjang).

3. Sari, Furry Agnestya. (2016), Studi Perbandingan Pemakaian Kolom Persegi dan Kolom Bulat Pada Struktur Gedung Kuliah Bersama Universitas Brawijaya Malang.

Berdasarkan penelitian yang telah saya lakukan, terdapat perbedaan pengerjaan perhitungan dimana dari ketiga peneliti diatas menggunakan aplikasi struktur untuk mendapatkan hasilnya. Sedangkan penelitian saya menggunakan perhitungan manual untuk mendapatkan hasil perhitungan analisa keruntuhan kolom dan menggambarkannya pada grafik diagram interaksi kolom.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

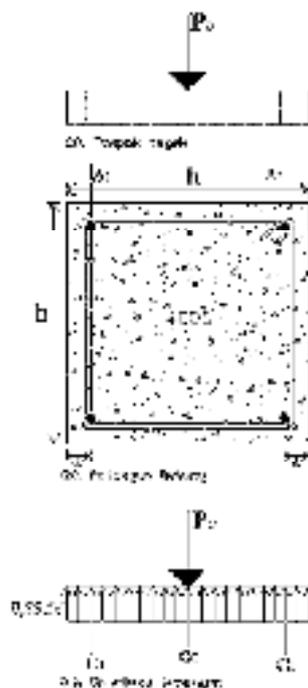
#### 3.1. Analisa Kondisi Pembebanan Kolom

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:

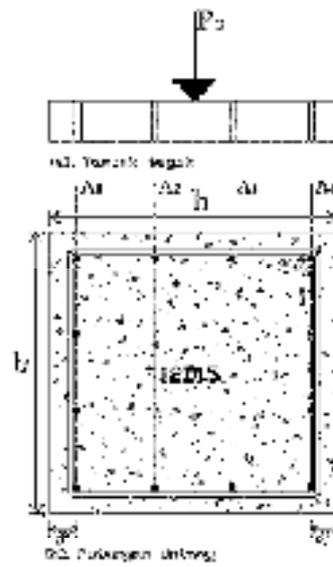
1. Penampang kolom dengan beban sentris.
2. Penampang kolom dengan keruntuhan tekan.
3. Penampang kolom dengan keruntuhan seimbang (*balance*).
4. Penampang kolom dengan keruntuhan tarik, dan.
5. Penampang kolom dengan kondisi beban  $P_n = 0$ .

##### 3.1.1. Penampang Kolom pada Kondisi Beban Sentris

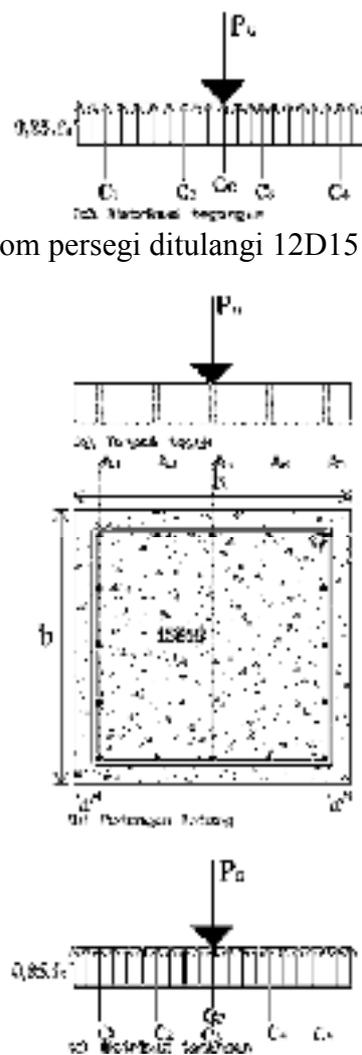
Penampang kolom dengan beban sentris, berarti beban tersebut tepat bekerja pada sumbu (*as*) longitudinal kolom, sehingga beton maupun baja tulangan (semuanya) menahan beban tekan.



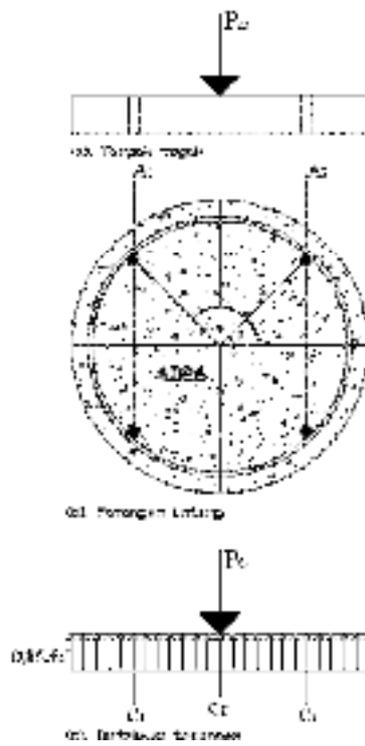
Gambar 3. 1 Kolom persegi ditulangi 4D26 kondisi beban sentris



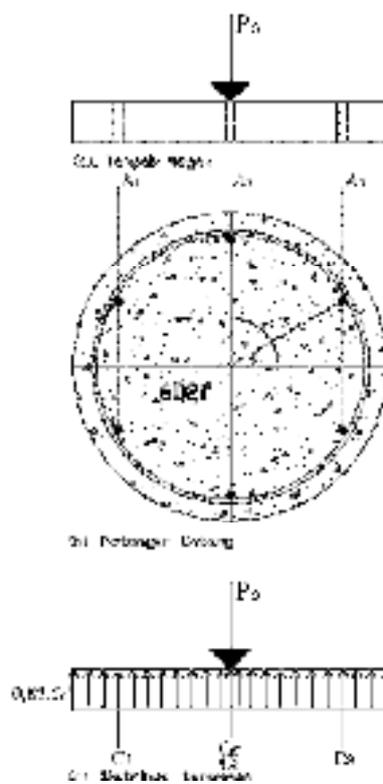
Gambar 3. 2 Kolom persegi ditulangi 12D15 kondisi beban sentris



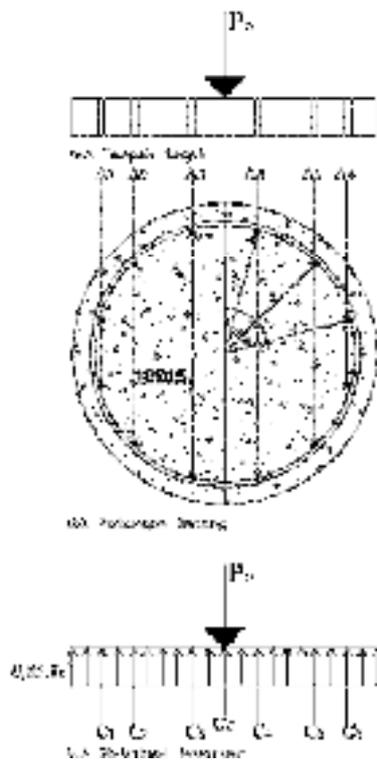
Gambar 3. 3 Kolom persegi ditulangi 16D13 kondisi beban sentris



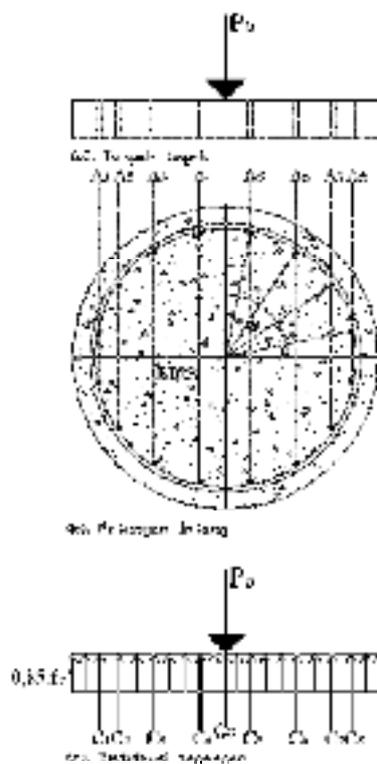
Gambar 3. 4 Kolom bulat ditulangi 4D26 kondisi beban sentris



Gambar 3. 5 Kolom bulat ditulangi 6D21 kondisi beban sentris



Gambar 3. 6 Kolom bulat ditulangi 12D15 kondisi beban sentris



Gambar 3. 7 Kolom bulat ditulangi 16D13 kondisi beban sentris

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

1. Menghitung luas bruto penampang kolom ( $A_g$ )

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

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

$$A_{st} = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (3.2)$$

3. Menghitung luas bersih (*netto*) beton ( $A_n$ )

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

4. Menghitung kapasitas beban nominal ( $P_0$ )

$$P_0 = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad (3.4)$$

5. Menghitung batasan kuat tekan nominal maksimal

$$P_{n,maks} = 0,80 \cdot P_0 \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)}$$

$$P_{n,maks} = 0,85 \cdot P_0 \text{ (kolom dengan tulangan spiral)}$$

6. Menghitung kuat rencana dengan memasukan factor reduksi kekuatan  $\phi$  pada kuat nominalnya.

$$\phi P_{n,maks} = \phi \cdot 0,80 \cdot P_0 \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)}$$

$$\phi P_{n,maks} = \phi \cdot 0,85 \cdot P_0 \text{ (kolom dengan tulangan spiral)}$$

Dengan :

$$\phi = 0,65 \text{ untuk kolom dengan tulangan sengkang}$$

$$\phi = 0,75 \text{ untuk kolom dengan tulangan spiral}$$

### 3.1.2. Penampang Kolom dengan Kondisi Keruntuhan Tekan

Pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan, regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit  $\varepsilon_{cu}' = 0,003$ , tulangan tekan  $A_s'$  telah mencapai leleh ( $f_s' = f_y$ ), tetapi tulangan tarik  $A_s$  belum leleh ( $\varepsilon_s < \varepsilon_y$  atau  $f_s < f_y$ ).

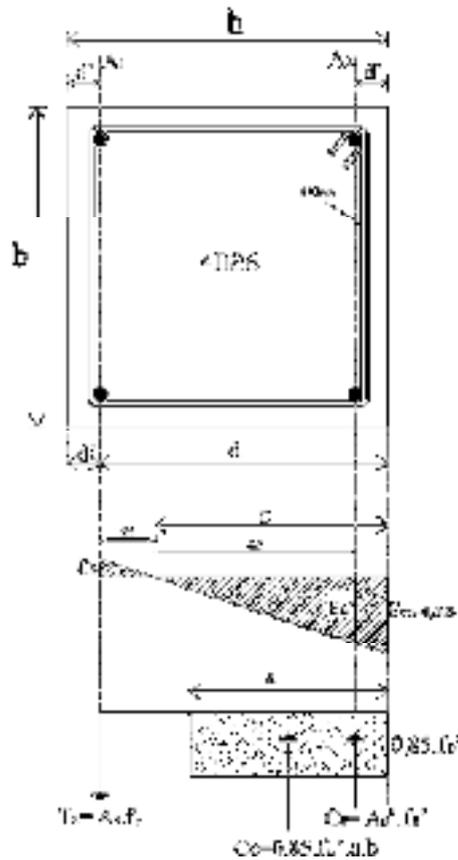
Perlu dicatat, bahwa jarak  $c$  (yaitu jarak antara garis netral dan batas tepi beton tekan) pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan

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 :

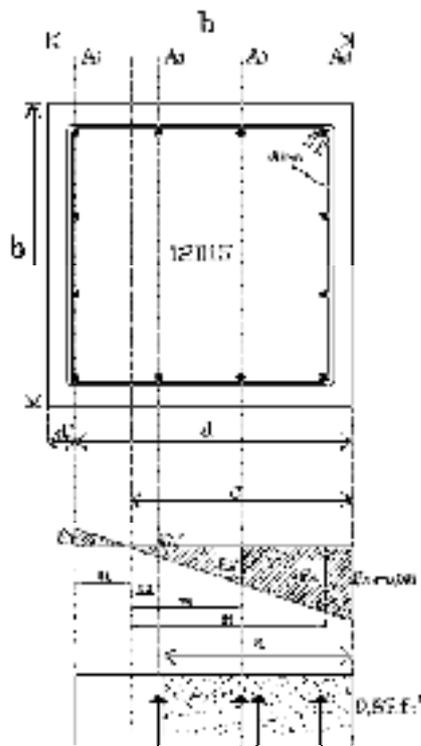
$$c > c_b$$

Dimana untuk mencari nilai  $c_b$  adalah :

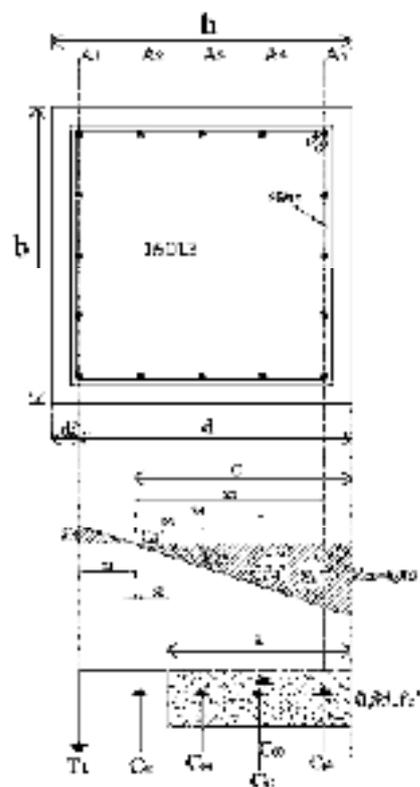
$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$



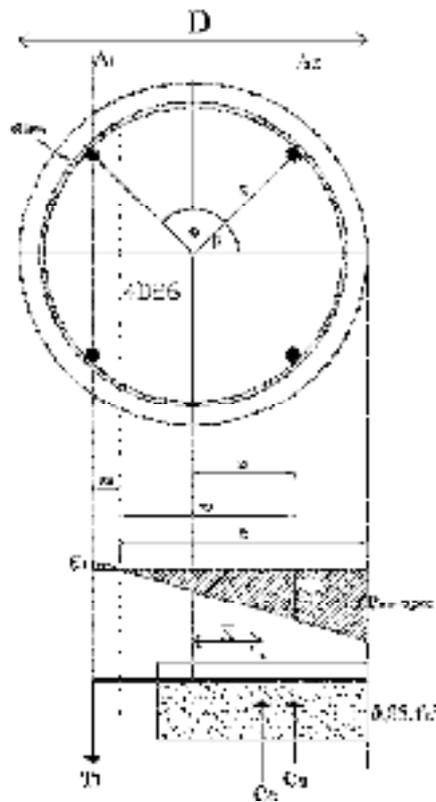
Gambar 3. 8 Kolom persegi ditulangi 4D26 kondisi keruntuhan tekan



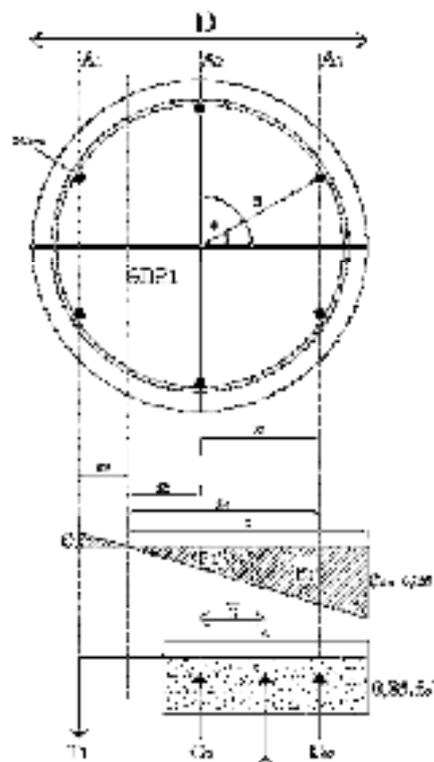
Gambar 3. 9 Kolom persegi ditulangi 12D15 kondisi keruntuhan tekan



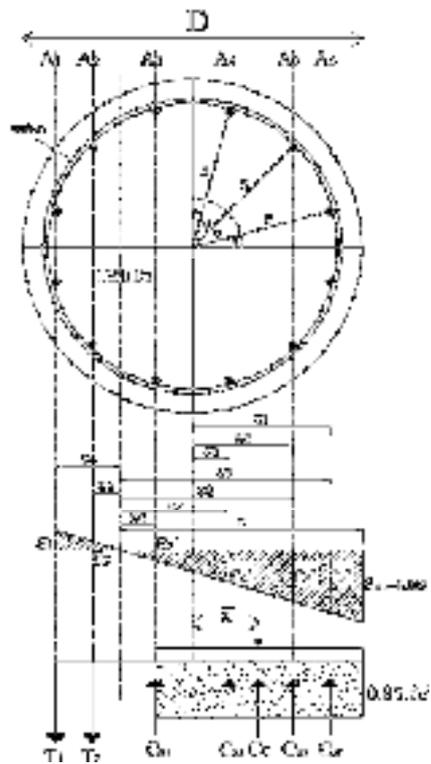
Gambar 3. 10 Kolom persegi ditulangi 16D13 kondisi keruntuhan tekan



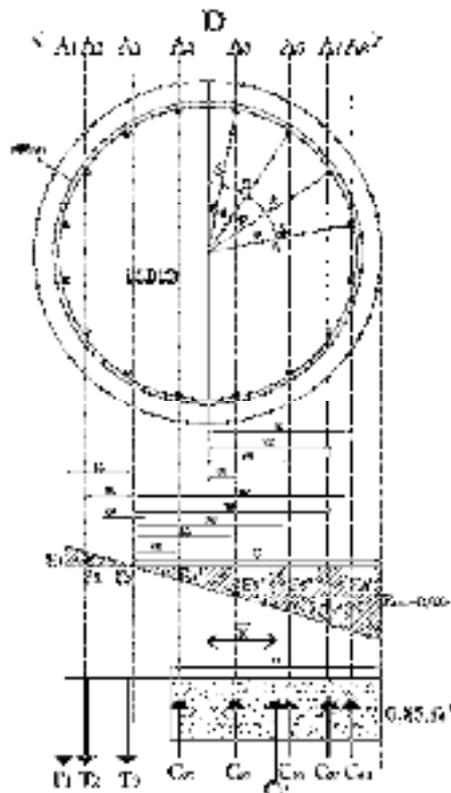
Gambar 3. 11 Kolom bulat ditulangi 4D26 kondisi keruntuhan tekan



Gambar 3. 12 Kolom bulat ditulangi 6D21 kondisi keruntuhan tekan



Gambar 3. 13 Kolom bulat ditulangi 12D15 kondisi keruntuhan tekan



Gambar 3. 14 Kolom bulat ditulangi 16D13 kondisi keruntuhan tekan

Tabel 3. 1 Contoh Tabel untuk Hitungan Gaya Aksial dan Momen Lentur Kolom

Gaya (kN)	Lengan ke sumbu (m)	Momen (kNm)
$-T_s = -A_s \cdot f_s = -\dots$	$-Z_s = -(h/2 - d_s) = -\dots$	$T_s \cdot Z_s = \dots\dots\dots$
$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = \dots\dots\dots$	$Z_c = (h/2 - a/2) = \dots\dots\dots$	$C_c \cdot Z_c = \dots\dots\dots$
$C_s = A_s' \cdot f_s' = \dots\dots\dots$	$Z_s' = (h/2 - d_s') = \dots\dots\dots$	$C_s \cdot Z_s' = \dots\dots\dots$
Jumlah: $P_n = \dots\dots\dots$		$M_n = \dots\dots\dots$

### 3.1.3. Penampang Kolom dengan Keruntuhan Seimbang (*balance*)

Penampang kolom dengan kondisi seimbang, maka tulangan tarik mencapai leleh ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ ) bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak atau batas ultimit ( $\epsilon'_c = \epsilon'_{cu} = 0,003$ ). Pada kondisi ini diperoleh jarak antara garis netral dan tepi beton tekan =  $c_b$ .

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

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

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad (3.5)$$

Tinggi blok tegangan ekuivalen:

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \quad (3.6)$$

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

- Dari kesetimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh:

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

dengan:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

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

$$f_s' = 600 \left( \frac{c_b - d'}{c_b} \right) < f_y \quad (3.8)$$

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

$$P_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b + A_s' \cdot f_s - A_s \cdot f_y \quad (3.9a)$$

- Nilai eksentrisitas,  $e_b$ , ditentukan dengan mengambil jumlahan momen terhadap pusat berat palstis, sedangkan  $e'$  diukur dari pusat tulangan tarik

( $e' = e + d''$ ), dengan  $d''$  adalah jarak dari pusat berat plastis ke pusat tulangan tarik. Maka:

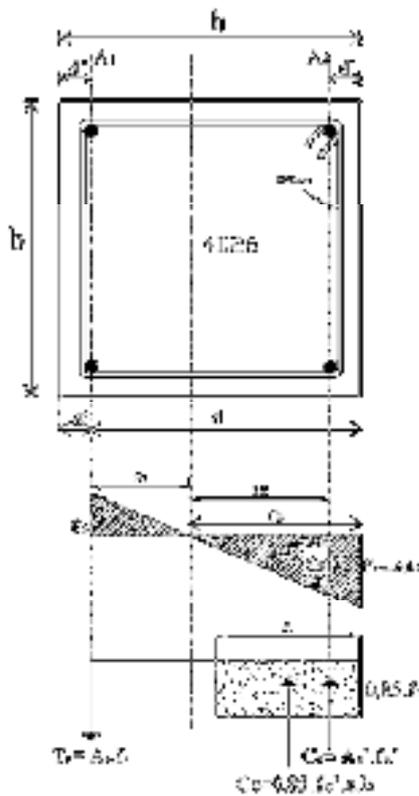
$$P_b \cdot e_b = C_c \left( d - \frac{a}{2} - d'' \right) + C_s (d - d' - d'') + T \cdot d'' \quad (3.9b)$$

atau:

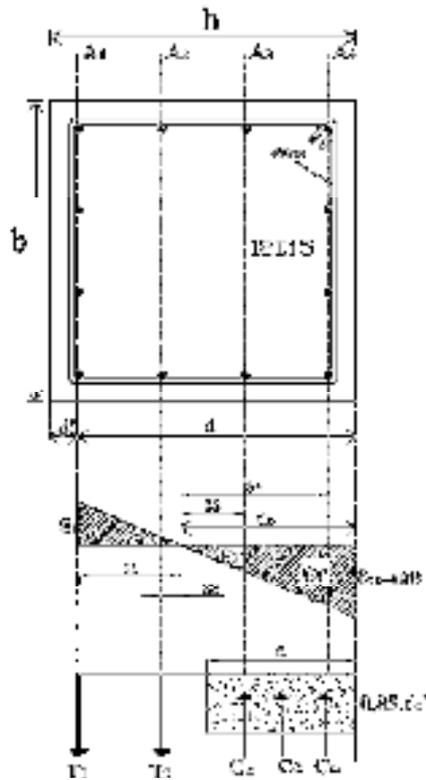
$$P_b \cdot e_b = M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b \left( d - \frac{a}{2} - d'' \right) + A'_s f'_s (d - d' - d'') + A_s \cdot f_y \cdot d'' \quad (3.9c)$$

Nilai eksentrisitas pada kondisi seimbang diperoleh dari:

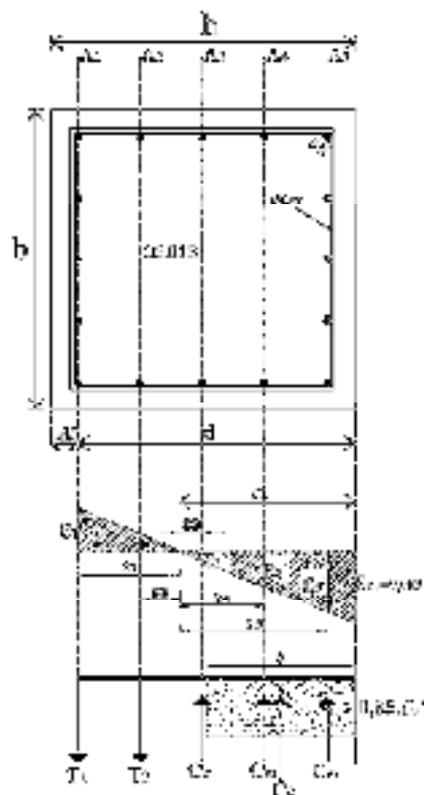
$$e_b = \frac{M_b}{P_b} \quad (3.10)$$



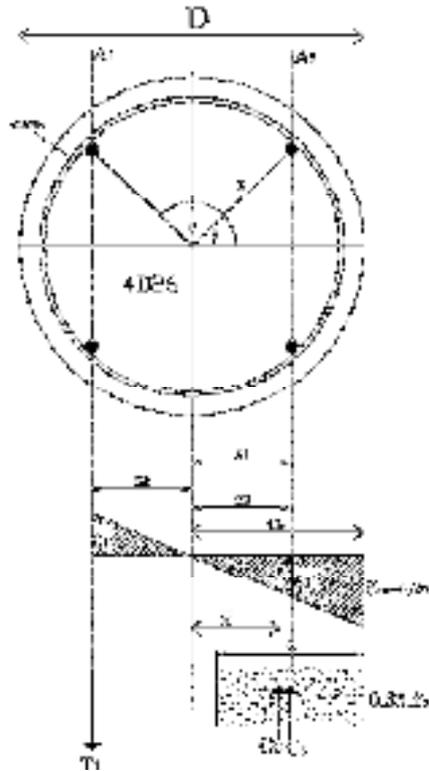
Gambar 3. 15 Kolom persegi ditulangi 4D26 kondisi keruntuhan seimbang



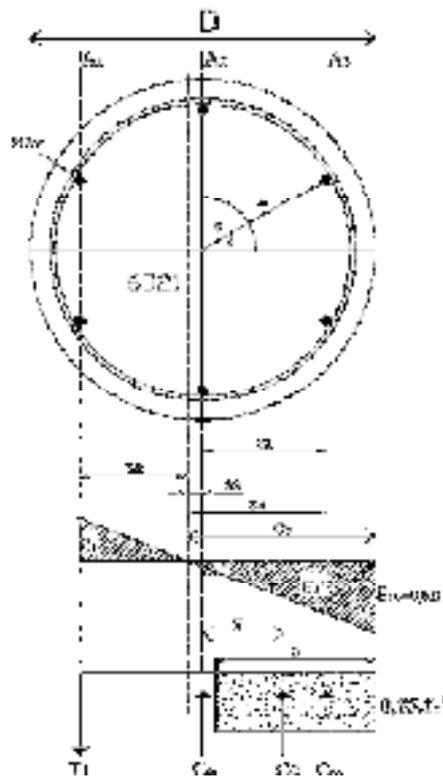
Gambar 3. 16 Kolom persegi ditulangi 12D15 kondisi keruntuhan seimbang



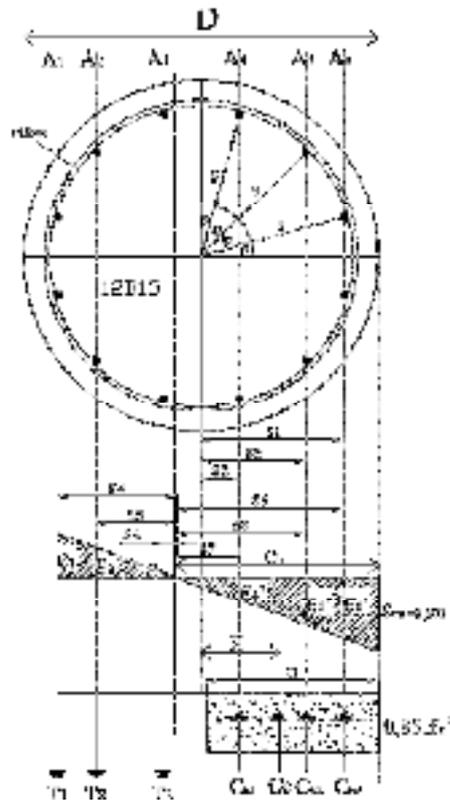
Gambar 3. 17 Kolom persegi ditulangi 16D13 kondisi keruntuhan seimbang



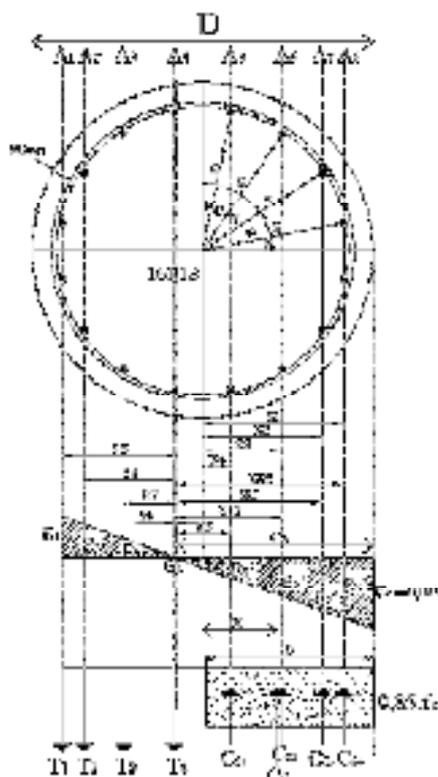
Gambar 3. 18 Kolom bulat ditulangi 4D26 kondisi keruntuhan seimbang



Gambar 3. 19 Kolom bulat ditulangi 6D21 kondisi keruntuhan seimbang



Gambar 3. 20 Kolom bulat ditulangi 12D15 kondisi keruntuhan seimbang



Gambar 3. 21 Kolom bulat ditulangi 16D13 kondisi keruntuhan seimbang

#### 3.1.4. Penampang Kolom dengan Kondisi Keruntuhan Tarik

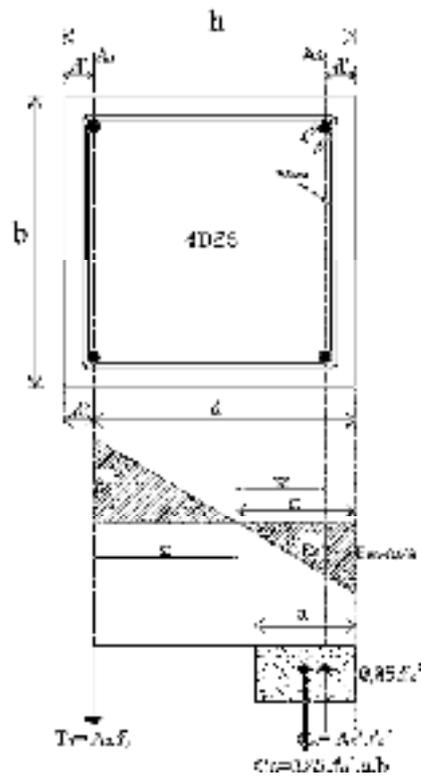
Jika beban aksial  $P_n$  telah berada pada kondisi penampang seimbang, kemudian beban tersebut digeser lagi ke kanan, maka luas penampang beton tekan semakin kecil, sehingga regangan tekan beton juga semakin kecil ( $\epsilon_c' < 0,003$ ) dan nilai  $c$  ikut semakin kecil pula, yaitu:

$$c < c_b$$

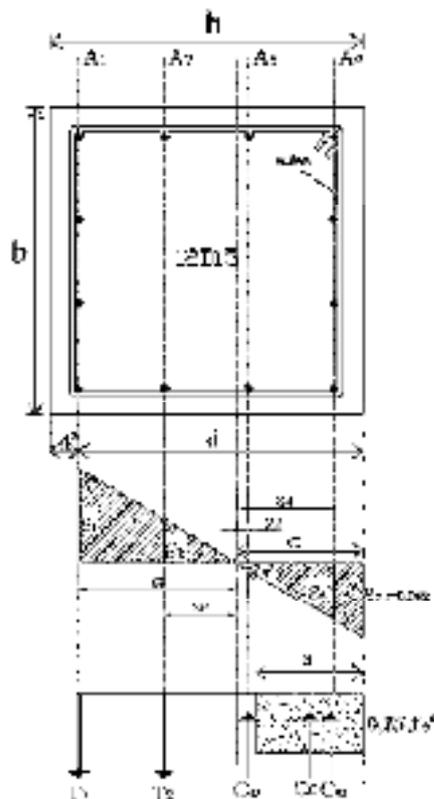
Sebaliknya, luas penampang beton tarik akan berubah semakin besar, sehingga regangan tulangan tarik melebihi batas leleh. Dengan demikian, kekuatan penampang kolom pada kondisi ini ditentukan oleh kuat leleh tulangan tarik, dan disebut: penampang kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan atau kondisi patah tarik.

Karena  $\epsilon_s > \epsilon_y$  maka dalam perhitungan digunakan  $f_s = f_y$ . Di samping itu, besar beban aksial dan momen lentur yang terjaid pada kolom dapat dihitung dengan menggunakan Tabel 3.1, kemudian dihitung pula kuat rencana yang berupa  $\phi.P_n$  dan  $\phi.M_n$ .

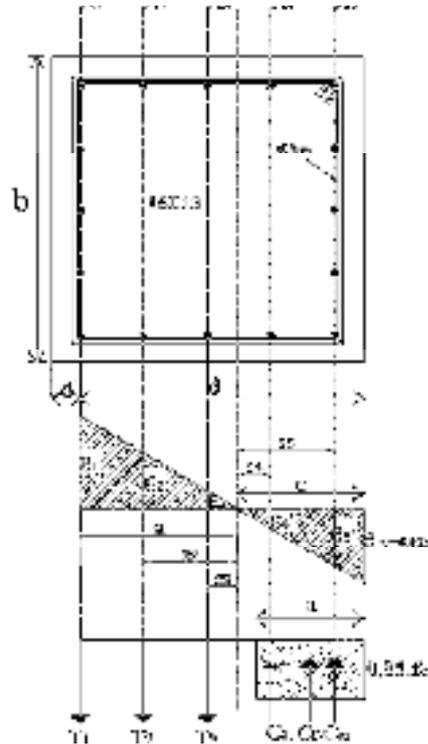
Apabila beban aksial  $P_n$  secara pelan-pelan digeser ke kanan lagi, maka momen lentur secara pelan-pelan juga semakin bertambah besar, sedangkan beban  $P_n$  besarnya tetap, sehingga dapat menyebabkan nilai beban aksial  $P_n$  akan relatif kecil bila dibandingkan dengan nilai momen lentur. Keadaan ini sesuai dengan Pasal 11.3.2.2.SNI 03-2847-2002, jika beban aksial cukup kecil (kurang dari nilai terkecil antara  $0,10.f_c'.A_g$  atau  $\phi.P_{n,b}$ ), maka komponen struktur boleh dianggap hanya menahan momen lentur saja. Perhatikan pula nilai batas  $P_{u\phi}$  dan nilai  $\phi$ .



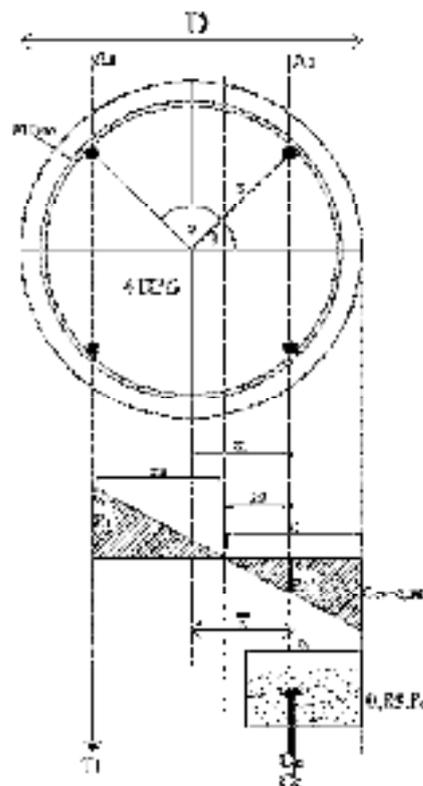
Gambar 3. 22 Kolom persegi ditulangi 4D26 kondisi keruntuhan tarik



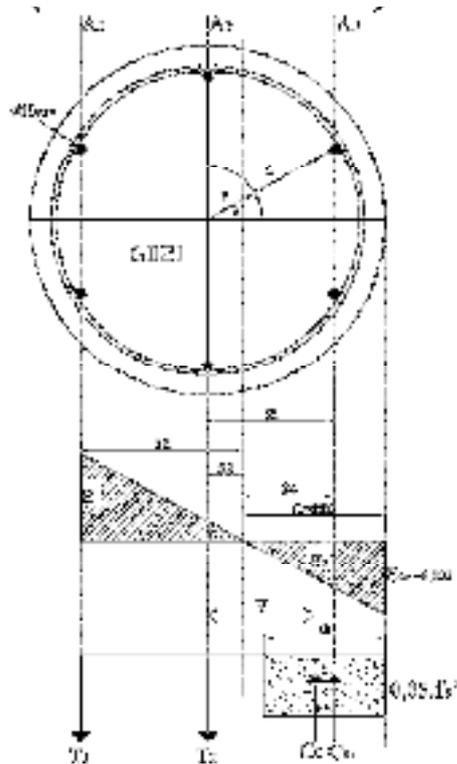
Gambar 3. 23 Kolom persegi ditulangi 12D15 kondisi keruntuhan tarik



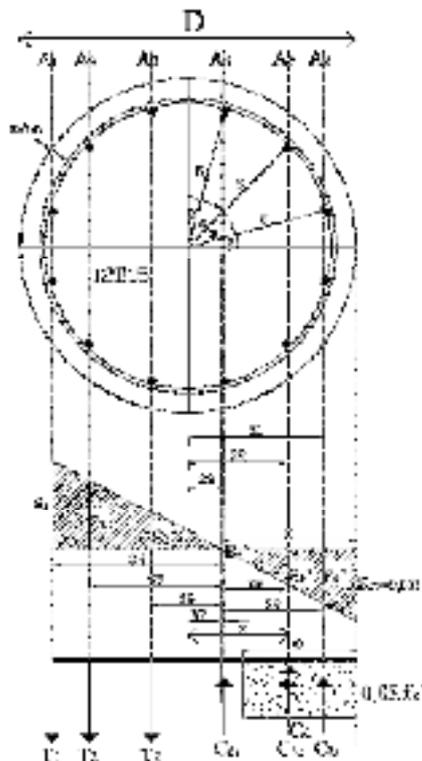
Gambar 3. 24 Kolom persegi ditulangi 16D13 kondisi keruntuhan tarik



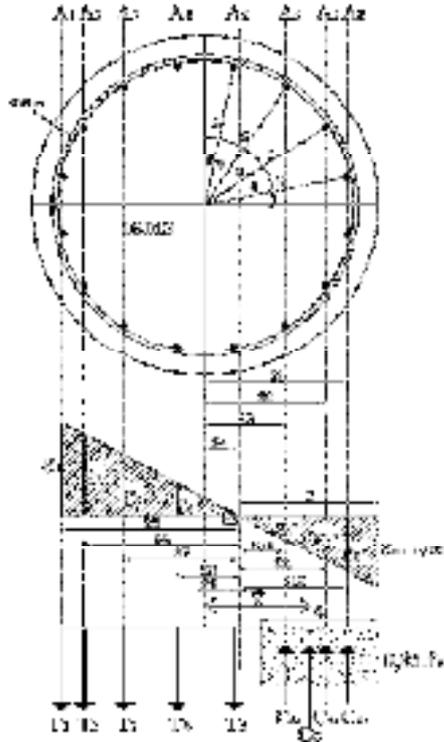
Gambar 3. 25 Kolom bulat ditulangi 4D26 kondisi keruntuhan tarik



Gambar 3. 26 Kolom bulat ditulangi 6D21 kondisi keruntuhan tarik



Gambar 3. 27 Kolom bulat ditulangi 12D15 kondisi keruntuhan tarik



Gambar 3. 28 Kolom bulat ditulangi 16D13 kondisi keruntuhan tarik

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

Untuk penampang kolom dengan beban aksial  $P_n = 0$ , berarti kolom hanya menahan momen lentur saja. Karena hanya menahan momen lentur, maka kolom tersebut dianalisis/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  $a_{maks,leleh}$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a_{min,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_s'}{600 - f_y}$$

$$a_{min,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 + f_y}$$

- 2) Dikontrol kondisi tulangan tekan, untuk menetapkan nilai  $a$  yang betul:
- Jika  $a \geq a_{min,leleh}$  maka tulangan tekan sudah leleh, dan nilai  $a$  sudah betul.
  - Jika  $a < a_{min,leleh}$  maka tulangan tekan belum leleh, nilai  $a$  dihitung lagi seperti berikut:

$$(1) p = \frac{600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$(2) q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_s' \cdot A_s'}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$(3) a = (\sqrt{p^2 + q}) - p$$

$$(4) f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \times 600$$

- 3) Dikontrol kondisi tulangan tarik dengan syarat: semua tulangan tarik sudah leleh, yaitu nilai  $a$  harus  $\leq a_{maks,leleh}$ .
- 4) Dihitung momen nominal  $M_n$  dan momen rencana  $M_r$

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

$$M_{ns} = A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d_s')$$

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \text{ dan}$$

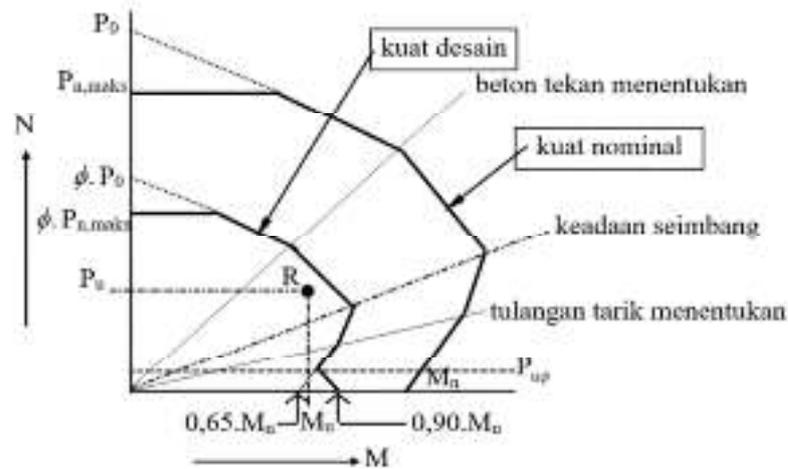
$$M_r = \phi \cdot M_n$$

Untuk kondisi tulangan tekan sudah leleh, maka nilai  $f_s'$  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 dilaksanakan dengan memperitungkan 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



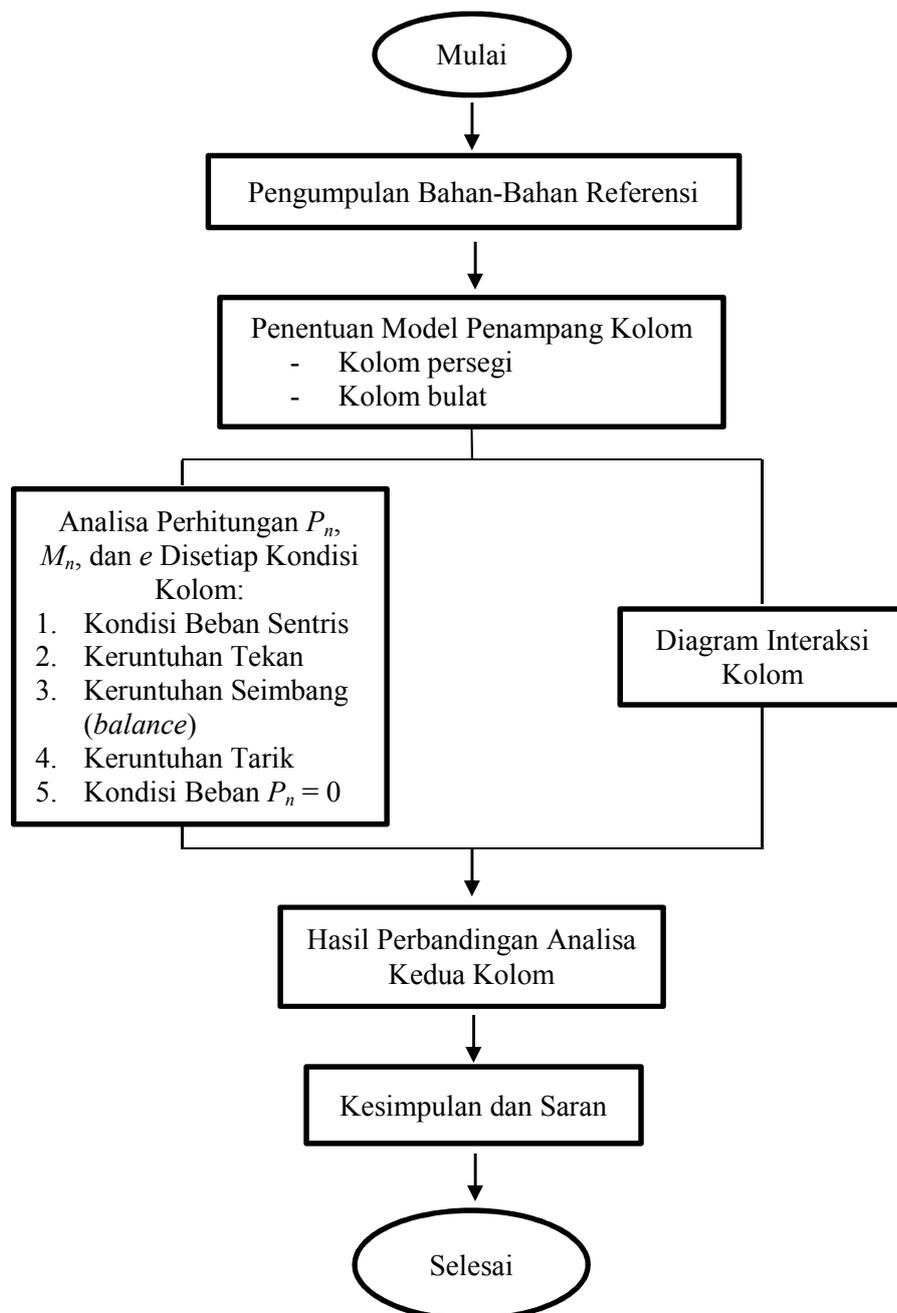
Gambar 3. 29 Diagram interaksi kolom

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

1. Sumbu vertical, 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. 30 Diagram alir

