

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Pembebanan

Pembebanan pada perencanaan struktur sangat berpengaruh pada struktur yang akan dibangun, karena perhitungan dan perencanaan pembebanan sangat berpengaruh pada struktur nantinya agar struktur mampu menahan beban yang terjadi padanya. Pedoman untuk perencanaan pembebanan di Indonesia merujuk pada “Peraturan Pembebanan di Indonesia” sebagai referensi untuk merancang sebuah bangunan yang aman, terjamin, dan mempunyai umur rencana yang panjang serta ekonomis. Beban pada konstruksi bangunan terbagi atas *dead load*, *live load*, *wind load*, *earthquake load*, dan *beban khusus*.

2.1.1. Beban Mati

Beban mati, bobot semua bagian konstruksi yang memiliki sifat tetap dan termasuk apa saja yang tidak ada tambahannya. Berat ini memiliki sifat yang tidak dapat dihilangkan atau dipindahkan dari bangunan, karena berat ini melekat pada bangunan itu sendiri, biasanya berat ini juga disebut beratnya sendiri.

2.1.2. Beban Hidup

Beban hidup, berat yang terjadi atas semua kegiatan pada suatu konstruksi. Dalam hal ini beban terjadi karena penghunian atau penungguan pada konstruksi termasuk lantai dan barang-barang yang bisa dipindahkan, mesin, peralatan yang memiliki sifat tidak lekat pada gedung. Beban hidup ini dapat di ganti selama umur

rencana konstruksi belum habis atau tidak melewati batas umur rencana konstruksi.

Beban hidup juga bisa berasal dari air hujan, salju, angin, gempa bumi, dan beban khusus.

2.1.3 Beban Angin

Beban yang terjadi akibat pengaruh angin yang melewati konstruksi yang mengakibatkan selisih antara tekanan udara dalam dan luar konstruksi.

2.1.4 Beban Gempa

Beban statis ekuivalen terjadi pada konstruksi akibat gerakan tanah dan konstruksi bangunan mengikuti pengaruh dari geseran lempeng tanah akibat guncangan gempa. Beban gempa terjadi karena gaya di dalam struktur akibat pengaruh dinamik tanah, oleh karena itu beban gempa harus sangat diperhitungkan sebab gedung akan terjadi keruntuhan yang besar jika gempa yang terjadi juga sangat besar sesuai kekuatan gempa yang dilaporkan oleh BMKG untuk di Indonesia.

2.1.5 Beban Khusus

Beban khusus bisa terjadi karena perbedaan suhu, pasang/angkat alat, daya turun pofasi, susut, tambahan gaya yang berasal dari *live load* seperti crane dan lain sebagainya.

2.2 Perencanaan Struktur

Perencanaan dibutuhkan agar konstruksi bangunan menghasilkan suatu konstruksi bangunan yang kuat, aman, dan tahan sesuai kuat rencana, namun tetap ekonomis.

Dalam perencanaan struktur faktor utama yang perlu diperhatikan adalah keamanan. Gaya-gaya terjadi pada struktur yaitu gaya lateral maupun aksial yang disebabkan oleh beban-beban pada struktur harus diperhitungkan agar struktur memiliki ketahanan menahan beban dan gaya yang berkerja. Analisis terhadap gaya-gaya diperlukan untuk memperkirakan reaksi yang akan terjadi apabila struktur menerima gaya tersebut.

Struktur bangunan gedung bertingkat merupakan bangunan berlantai yang digunakan manusia sebagai sarana dan prasarana demi memudahkan kegiatan manusia. Komponen utama pada struktur gedung meliputi struktur atas dan struktur bawah. Adapun komponen pendukung pada struktur gedung meliputi tangga dan lift. Struktur atas mempunyai fungsi sebagai pendukung gaya-gaya yang berkerja pada gedung, sedangkan struktur bawah mempunyai fungsi sebagai penahan serta menyalurkan gaya-gaya tersebut ke tanah.

Pada umumnya di Indonesia, perencanaan struktur beton mengikuti peraturan yakni (*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (TCPSBBG)*, SNI-03-2847-2002) dan untuk pembebanan struktur gedung bertingkat tinggi diatur dalam peraturan yakni (*Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983*). Peraturan tersebut digunakan sebagai pedoman untuk merencanakan suatu pembangunan gedung bertingkat di Indonesia.

2.3 Beton

Beton merupakan salah satu material pembentuk struktur selain baja dan kayu. Penggunaan beton sebagai material struktur, lebih banyak penggunaannya jika dibandingkan dengan baja dan kayu. Kerena beton memiliki sifat tahan terhadap kuat tekan akibat beban yang terjadi dan beton tidak bisa terjadi muai akibat panas suhu serta tidak mudah terbakar.

Beton ialah campuran dari semenportland atau semen hidro. Agregat kasar biasa digunakan adalah batu, agregat halusya adalah pasir, dan air. Beton yang digunakan bisa ada tambahan ataupun tanpa campuran tambahan yang membentuk massa padat. Beton Normal dengan berat isi sebesar 2,2-2,5 ton/m² menggunakan batu pecah ataupun tidak pecah serta tanpa menggunakan bahan tambahan. Campuran semen dan air menghasilkan pasta pengikat yang akan mengisi rongga dan akan mengeras diantara butir agregat kasar dan agregat halus.

2.4 Beton Bertulang

Beton bertulaaang pada dasarnya merupakan *join* antara dua unsur material yaitu beton biasa (polos) dan baja (tulangan). Beton polos sebagai bahan akan memberikan sifat kuat tekan tinggi, sedangkan baja (tulangan) akan memberikan kekuatan tarik yang besar. Sehingga kombinasi dari meterial tersebut sangat berpengaruh terhadap struktur yang akan dibangun. Dengan adanya kelebihan dan kekurangan masing-masing elemen tersebut, maka kombinasi antara beton dan baja (tulangan) dapat saling mengisi untuk menerima beban dari gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada struktur.

Baja tulangan beton, profile baja memiliki penampang lingkaran. Baja tulangan ada 2 macam yaitu BajaTulanganBetonPolos (BTBP) dan BajaTulanganBetonSirip (BTBS). BajaTulanganBetonPolos (BTBP) merupakan baja tulangan beton dengan bentuk dan permukaan rata, sedangkan BajaTulangan BetonSirip (BTBS) merupakan baja tulangan dengan permukaan yang memiliki sirip dan rusuk yang panjang dan lintang. Dengan adanya sirip dan rusuk pada tulangan baja beton sirip, dimaksudkan agar bertambahnya kuat lekat dan menahan lengkungan dari tulangan.

Pembahasan selanjutnya akan menitikberatkan pada komponen struktur kolom, sebagai bahan studi literatur penunjang analisa yang akan dilakukan.

2.5 Kolom

2.5.1 Definisi Kolom

Menurut Sudarmok tahun1996, kolom ialah titik kritis dimana apabila terjadi kegagalan terhadap kolom maka akan menyebabkan terjadinya *collapse*.

Bagian vertikal menerima tekan lentur kemudian beban ini diteruskan dari level elevasi yang tertinggi ke level elevasi paling bawah yakni pondasi, kemudian diteruskan ketanah. (Edward G. Nawy, 1998). Titik berat perencanaan kolom ini dilakukan karena kolom merupakan elemen struktur atas yang memiliki titik kritis paling besar.

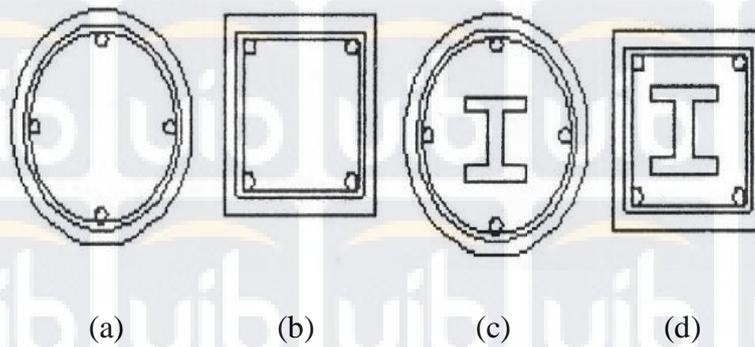
2.5.2 Jenis Kolom

Jenis kolom 2 macam dari bentuk dan susunan tulangan dan posisi/letak beban aksial pada penampang kolom. Dalam hal lain kolom dapat juga dibedakan menurut ukuran pendek-panjangnya kolom dengan hubungannya terhadap dimensi lateral.

1. Jenis Kolom dari susunan tulangan dan bentuk

Jenis kolom dibedakan menjadi 3 macam berdasarkan bentuk dan susunan:

- a. Kolom Persegi Empat, bentuk dari kolom ialah persegi empat, persegi panjang, bujursangkar dan bentuk tulangan sengkang memanjang.
- b. Kolom Bulat, kolom ini berbentuk bulat persis menyerupai tabung jika dilihat dari tampak luar, kolom bulat memiliki tulangan memanjang, sengkang atau lingkaran. Tulangan spiral/lingkaran berfungsi memberikan ketahanan kolom dalam menerima deformasi, sehingga mencegah terjadinya keruntuhan sebelum proses redistribusi momen dan tegangan timbul.
- c. Kolom Komposit, kolom ini dibuat dengan profil baja terbungkus beton seluruhnya atau dengan memberikan beton pada pipa profil baja. Kolom komposit memiliki daya tahan tinggi terhadap tekan jika dibandingkan dengan beton pada umumnya.



Gambar 2.1 Bentuk kolom : (a)kolom bulat tulangan spiral;(b)kolom segi empat;(c)kolom komposit bulat tulangan spiral;(d)kolom komposit segi empat.

2. Jenis kolom berdasarkan letak/posisi beban aksial

Kolom dibagi menjadi dua jenis berdasarkan lokasi beban aksial

kolom posisi beban sentrik dan kolom posisi beban eksentrik. Kolom dimana posisi dengan sentris dimana kolom akan menahan beban aksial disumbu. Dalam kondisi ini, beban tekan ditahan oleh kolom bersamaan dengan tulangan.

Kolom eksentrik, eksentrik yang menerima beban aksial berasal dari luar. Beban aksi (P) dan eksentris (e) akan menunggu beberapa saat (M) dari $M = P.e$. satu pertiga kolom akan menahan load aksial ini samadengan kolom yangmana menopang sentis aksial P dan momen M .

Berdasarkan nilai eksentrik (e), kolom dengan beban aksial eksentrik dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu, nilai eksentrisitas kecil, nilai eksentrisitas moderat, nilai eksentrisitas besar, dan nilai eksentrisitas begitu besar.

a. Nilai eksentrisitas kecil

Pada nilai ini momen M ($M=P.e$), yang terjadi juga kecil, arah momen lentur akan diikuti oleh kolom sehingga beton dan baja tulangan akan menahan sebagian kecil saja. Berbeda dengan halnya tegangan tekan, tekanan ini akan ditahan oleh beton dan baja dari bagian sebelah kanan saja. Karena itu komponen kolom bagian kanan menjadi titik kritis dimana kolom akan mudah runtuh. Maka dari itu dapat disebut kondisi patah akibat tekan.

b. Nilai eksentrisitas sedang

Pada nilai momen tidak begitu besar, sebagian beton dan baja tulangan tegangan tarik kiri dan tegangan tekan kanan ditahan oleh keduanya. Kolom pada kondisi seimbang (*balance*) karena tekan dan tarik ditahan secara serentak.

c. Nilai eksentrisitas besar

Momen yang ditimbulkan besar dikarenakan ketidakmampuan tegangantarik sehingga mencapai leleh dan tegangan tekan masih mampu menahan beban tekan dengan materialnya, maka kegagalan kolom yang terjadi adalah kolom kondisi patahtarik.

d. Nilai eksentrisitas sangat besar

Pada nilai ini momen yang ditimbulkan sangat besar, sehingga beban aksial P relatif kecil kepada momen maka dapat diabaikan.

3. Jenis kolom dari ukuran panjang kolom

Kolom terbagi 2 macam, panjang sering disebut juga kolom dengan langsing dan kolom dengan pendek dapat disebut juga kolom gemuk. Beban yang berkerja pada kolom panjang sangat memungkinkan terjadinya tekuk akibat kehilangan stabilitas lateral. Sedangkan beban yang berkerja pada kolom keadaan pendek untuk hilang kestabilannya terhadap lateral tidak pernah ditemukan tetapi gagal kolom pendek dapat disebabkan oleh kegagalan material kolom pendek itu sendiri, yakni hancurnya beton atau lelehnya baja tulangan.

2.5.3 Perencanaan Kolom Stuktural

Kolom memiliki persamaan terhadap perencanaan komponen struktur lain, pada perencanaan kolom menggunakan aturan dasar yang berlaku di Indonesia.

2.5.4 Analisis dan Perencanaan Kolom

Pengaruh adanya beban yang tidak seimbang dan beban eksentris harus diperhitungkan pada konstruksi rangka dan struktur menerus pada kolom bagian terluar dan lantai. Untuk momen - momen berkerja pada lantai harus didtransfer ke kolom yang berada dibawah dan diatas lantai.

2.5.5 Kekuatan dan Kemampuan Layan

Komponen struktur dihitung atas kombinasi beban dan gaya-terfaktor sehingga menghasilkan rencana terhadap semua penampang agar memiliki kuat rencana minimal sama dengan kuat yang diperlukan.

2.5.5.1 Kuat Perlu (U)

Kuat perlu direncanakan dengan menghitung beban yang terfaktor seperti *live load, dead load, windload, rain load, dan earthquake load*.

Kuat perlu beban mati harus lebih, kurang atau sama dengan $U=1,40D$. Untuk kuat minimum yang menahan *DL, LL, Roof Load atau Wind Load* lebih atau sama dengan $U=1,20D + 1,60L + 0,50$.

Daya tahan struktur terhadap beban angin maka pengaruh kombinasi beban harus diambil untuk menentukan kuat perlu terbesar yaitu $U=1,20D + 1,00L \pm 1,60W + 0,50(A \text{ atau } R)$. Perhitungan kuat perlu memungkinkan beban hidup yang terjadi penuh dan atau tidak sama sekali untuk menghasilkan nilai kondisi paling kritis yaitu dengan $U = 0,90 D \pm 1,60W$.

Ketahanan struktur beban gempa, maka kuat perlu diambil sebagai $U=1,20D + 1,00L \pm E$, faktor beban angin boleh dikurangi menjadi 1,30 dan jika belum tereduksi oleh faktor arah dan beban hidup direduksi menjadi 0,5 kecuali beban hidupnya lebih besar atau sama dengan 5 ton/m². Dalam perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung atau penggantinya maka $U=0,90D \pm 1,00E$.

2.5.5.2 Kuat Rencana

Faktor reduksi kekuatan (ϕ) digunakan sebagai hitungan dari hasil kuat nominal. Faktor reduksi kekuatan dengan kuat lentur dan tidak ada beban aksial maka digunakan 0,80. Untuk beban aksial tarik dengan lentur dipakai 0,800.

Untuk aksial tekan dan aksial lentur yang memiliki komponen struktur tulangan lingkaran dipakai 0,700. Nilai aksial tekan yang rendah harus memenuhi syarat dimana f_y tidak melebihi 400 Mpa, tulangannya lurus, dan $((h-d'-d_s)/h)$ tidak kurang dari 0,700, maka nilai faktor reduksi kekuatan bisa dinaikan menjadi linier sebesar 0,800.

Aksial tekan dan aksial lentur komponen lainnya faktor reduksi dipakai 0,65 dan komponen struktur beton bertulang, nilai faktor reduksi boleh dinaikan linier menjadi sebesar 0,800.

Faktor reduksi geser dan torsi dipakai 0,750. Kecuali untuk mehanan beban akibat gempa maka faktor reduksi yang digunakan jika geser minimum lebih kecil dari *shear force* timbul dipakai 0,55. Faktor reduksi diafragma jangan melewati dari faktor yang terjadi pada reduksi minim geser yang terpakai pada komponen struktur tegak lurus pada sistem pemikul beban lateral.

2.5.5.3 Kekuatan Kolom Pendek Beban Senstris

Beton f'_c mencapai kekuatan maksimum pada saat regangan mencapai titik sekitar 0,0020 in/in sampai 0,0030 in/in. Secara teori, menyebabkan terjadinya tegangan f'_c beton pada saat beban maksimum dipikul oleh kolom.

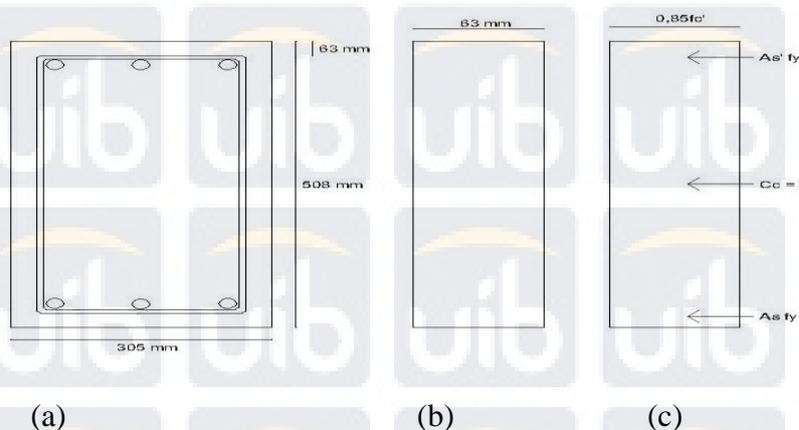
Dengan menambahkan kontribusi beton maka kapasitas beban sentris maksimal pada kolom menjadi $(A_g - A_{st})0,85f'_c$ dan dengan pengaruh baja sebesar yakni, $A_{st}f_y$.

A_g , luas bruto bentuk penampangbeton sedangkan A_{st} , ialah luasan total tulangan baja = $A_s + A'_s$. Kapasitas beban sentris maksimal dapat disebut P_o yang dapat dirumuskan dengan persamaan matematis yaitu

$$P_o = 0,850 f'_c (A_g - A_{s,t}) + A_{s,t} f_y \quad (2.3.1)$$

Sentris menyebabkan tegangan tekan rata pada penampang pada saat akan runtuh, tegangan dan regangan akan menyebar diseluruh *section*.

Eksentrisitas yang sebesar 0 merupakan hal tidak mungkin pada struktur aktual. Karena eksentrisitas itu sendiri sangat mudah terjadi jika tidak tepatnya letak danukuran kolom, beban non-simestris akibat perbedaan ukuran tebal plat disekitar kolom, atau adanya ketidakseimbangan lainnya. Oleh karena itu, ditetapkan eksentrisitas minimum yang akan diterima jika arah yang tegak lurus pada sumbu lentur dari tebal kolom yaitu sebesar 10% untuk kolom yang bersengkang dan untuk kolom berspiral yaitu sebesar 5%.



Gambar 2.2 Geometri, regangan, dan tegangan kolom (beban sentris) : (a) penampang melintang; (b) regangan beton; (c) tegangan (dan gaya-gaya).

Eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain. Peraturan ACI sebagaimana disebutkan reduksi aksial kolom sengkang sebesar 20% dan untuk kolom tulangan lingkaran sebesar 15%. Jadi, nilai beban aksial minimum harus lebih kecil dari persamaan berikut:

$$P_{n,(max)} = 0,8 [0,850 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] \quad (2.3.2)$$

sengkang, dan

$$P_{n,(max)} = 0,85 [0,850 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] \quad (2.3.3)$$

spiral.

Beban nominal ini berlaku dan harus direduksi lagi dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Untuk desain besar $(A_g - A_{st})$ dapat dianggap sama dengan A_g tanpa kehilangan ketelitiannya.

2.5.5.4 Kekuatan Kolom Dibebeani Eksentris: Beban Aksial dan Lentur Pada Kolom Pendek

Dalam keadaan gaya nominal, P_n yang berkerja terhadap kondisi gagal struktur dan mempunyai eksentri pusat plastis titik pusat geometrik penampang. Oleh karena itu tinggi sumbu pada titik seimbang/netral ini sangat berpengaruh pada kekuatan kolom. Persamaan matematika untuk keseimbangan momen dan gaya untuk dinyatakan gaya tahan aksial nominal P_n dalam kaadan runtuh.

$$= C_c + C_s - T_s \quad (2.3.4)$$

Momen tahan nominal M_n yaitu sebesar P_n^e didapatkan jika menulis keseimbangan momen pada pusat plasis. Sedangkan, kolom yang memeiliki tulangan simetri titik pusat plastia harus sama dengan pusat geometris.

$$M_n = P_n^e = C_c (\bar{y} - a/2) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y}) \quad (2.3.5)$$

Dimana :

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

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

$$T_s = A_s f_s$$

Persamaan 2.3.4 dan 2.3.5 dapat juga ditulis sebagai:

$$P_n = 0,850 f'_c b a + A'_s f'_s - A_s f_s \quad (2.3.6)$$

$$M_n = P_n e = 0,850 f'_c b a (\bar{y} - a/2) + A'_s f'_s (\bar{y} - d') + A_s f_s (d - \bar{y}) \quad (2.3.7)$$

Dalam persamaan tersebut 2.3.6 dan 2.3.7, tinggi sumbu netral dilihat kurang dari tinggi efektif penampang. Sisi baja tarik akan mengalami tarik. Jika nilai eksentrisitas e beban P_n sangat kecil kondisi ini dapat berubah. Apabila eksentrisitas kecil untuk seluruh bagian penampang yang menerima tekan ke kontribusi tulangan tarik harus ditambahkan ke kontribusi baja dan beton menerima tekanan.

Suku $A_s f_s$ untuk persamaan diatas, semua tulangan mengalami tekan dan memiliki tanda positif.

Gaya aksial pada P_n tidak boleh melebihi kekuatan dengan aksial maksimal $P_{n(maks)}$. Besarnya eksentrisitas akan mempengaruhi kekuatan pada tulangan tekan dan tarik dan tegangan pada baja yang akan mencapai f_y jika keruntuhan terjadi pada saat rusaknya beton akibat kehancuran. Jika keruntuhan terjadi akibat lelehnya tulangan baja maka besaran f_s harus didistribusikan ke f_y . Pendistribusian tegangan aktual yang dikalkulasikan terhadap persamaan tiga sebangun dengan menggunakan distribusi regangan pada seluruh tinggi pada penampang dilakukan jika nilai f'_s atau f_s lebih kecil daripada f_y ($f'_s, f_s < f_y$).

$$f'_s = E_s e'_s = E_s [(0,0030 (c-d')/c)] < f_y \quad (2.3.8)$$

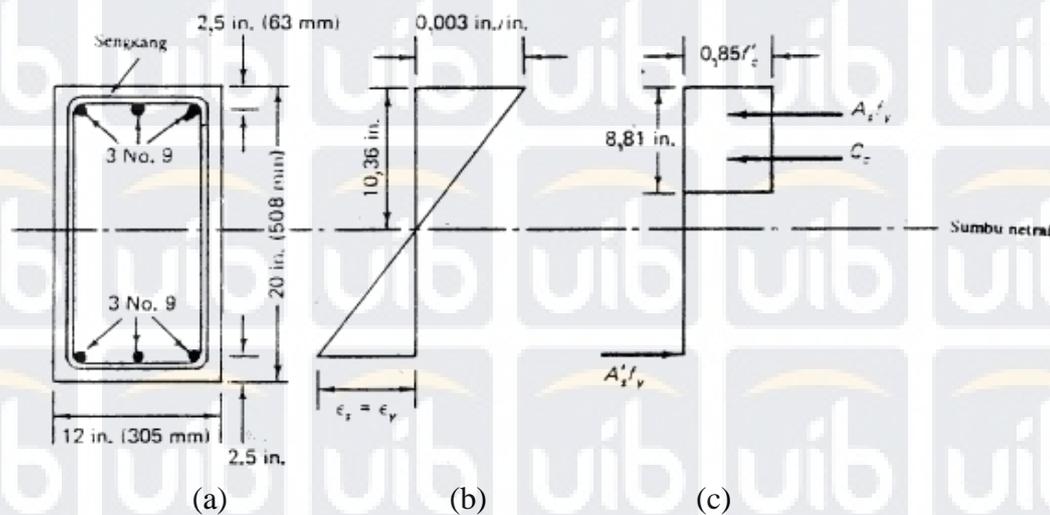
$$f_s = E_s e_s = E_s [(0,0030 (d-c)/c)] < f_y \quad (2.3.9)$$

2.5.5.5 Ragam Kegagalan Kolom

Kegagalan pada kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan terjadi, berikut:

1. Gagal beton akibat tarik, bermula saat terjadinya leleh tulangan tarik.
2. Gagal beton akibat tekan, bermula saat terjadinya kegagalan beton tekan.

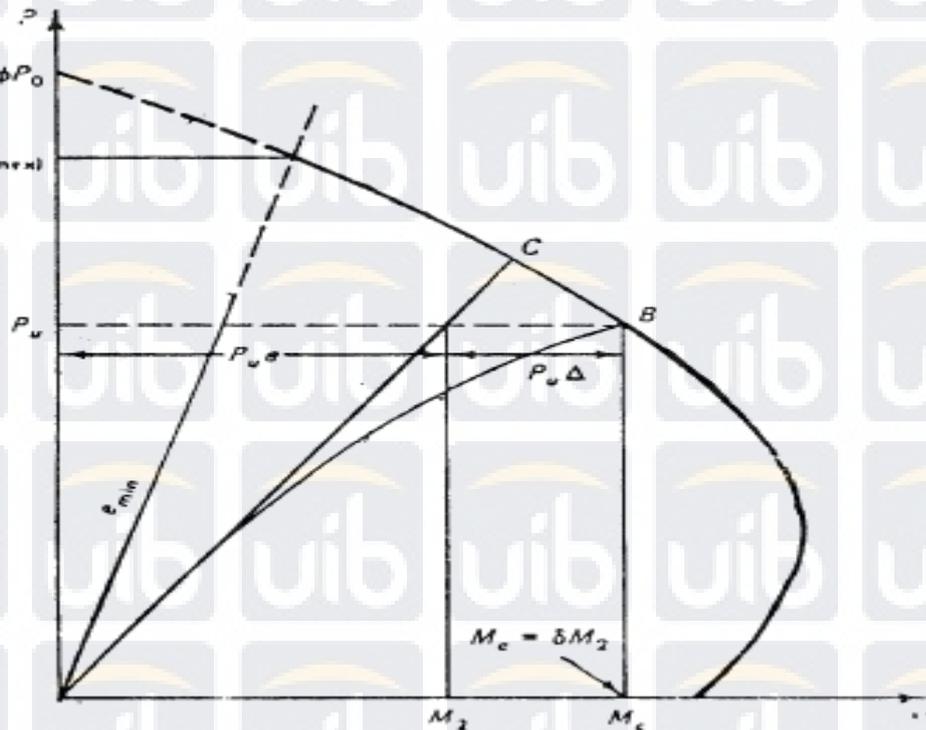
Kondisi seimbang (*balance*) terjadi apabila kegagalan akibat tulangan tarik dan hancurnya beton terjadi secara bersamaan. Apabila $A'_s = A_s$ maka $y = 0,56$.



Gambar 2.3 Geometri kolom, diagram regangan dan tegangan (keruntuhan balance): (a) penampang melintang; (b) regangan balance; (c) tegangan).

2.5.5.6 Diagram Kegagalan Material

Muatan beton bertulang dalam menopang kombinasi gaya pada aksial terjadi dan momen melentur terjadi dapat di gambarkan menggunakan *interaction diagrams curva* seperti berikut:



Gambar 2.4 Diagram interaksi Perbesaran Gaya Tekan-Momen (P-M)

Analisis kolom menggunakan diagram P-M digunakan pada 3 kondisi:

1. Saat Kondisi Eksentrisitas Kecil

Aspek pada kondisi eksentrisitas lebih kecil dimana kuat tekan yang akan direncanakan harus memiliki nilai sebesar kuat rencana maksimal.

$$\Phi \cdot P_n = \phi \cdot P_{n(max)} = 0,800 \cdot \phi (A_g - A_{st}) 0,850 f'_c + A_{s,t} \cdot f_y \quad (2.3.10)$$

2. Saat Kondisi Momen Murni

Titik akhir momen utuh ketika sebelum lelehnya tulangan tarik sedangkan f_s adalah tegangan tulangan akan leleh jika ditekan . Pada

kondisi momen utuh, kegagalan saat hancurnya beton ($P, n = P, u = 0, 0$).

Keseimbangan pada kondisi momen murni yaitu :

$$N, D1 + N, D2 = N, T \quad (2.3.11)$$