

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03).

2.1.2 Semen

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah semen Portland berupa semen hidrolik yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton. Pada proses hidrasi, semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk massa padat (Istimawan,1994). Penggunaan semen sebagai bahan ikat harus didasarkan pada kondisi dan keadaan lapangan. Menurut SII0031-81 semen portland dibagi lima jenis sebagai berikut :

1. Normal Portland Cement (jenis I)

Jenis ini untuk penggunaan biasa yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus misalnya : pasangan batu bata, dinding penahan tanah jembatan, gedung dan lain-lain.

2. Modified Portland Cement (jenis II)

Jenis ini lebih rendah baik panas hidrasi dan keluarnya panas dari pada Normal Portland Cement, lebih tahan terhadap sulfat, biasa dipakai untuk bangunan-bangunan tebal, pilar dan peletakan.

3. High Early Strength Portland Cement (jenis III)

Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, biasa dipakai pada bangunan-bangunan yang segera dipakai, perlu waktu singkat. Jenis semen ini memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam penggunaannya.

4. Low Heat Portland Cement (jenis IV)

Jenis ini merupakan tipe khusus untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi serendah-rendahnya dan kekuatan tumbuh lambat. Jenis ini dipakai untuk bangunan beton massa seperti bendungan-bendungan gravitasi besar dari beton.

5. Sulfat Resisting Portland Cement (jenis IV)

Jenis ini merupakan untuk penggunaan khusus dan memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Jenis semen yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis I

2.1.3 Agregat

Agregat adalah material granular yang dipakai bersama-sama dengan satu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolis atau adukan. (SK SNI T-15-1991-03). Agregat merupakan komponen yang paling berperan dan menentukan, biasanya terdapat sekitar 60%-80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi

sedemikian rupa sehingga sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. (Edward G. Nawy,1990).

Agregat terbagi atas agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus yang terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat saringan # 4 atau 5 mm, dan agregat kasar (kerikil) yang tidak lolos saringan tersebut. Agregat yang digunakan harus memenuhi ketentuan SII 0052-80 dan dalam hal-hal yang tidak tercakup dalam standar tersebut juga harus memenuhi ketentuan ASTM (*American Society for Testing Materials*) C33-86 untuk agregat normal, serta pada ASTM C330-80 untuk agregat ringan, (Istimawan,1994).

2.1.4 Air

Air yang digunakan dalam pembuatan dan rawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik dan bahan-bahan lain yang bersifat merusak baja tulangan dan beton itu sendiri. Dalam hal ini sebaiknya digunakan air bersih yang dapat diminum. (Istimawan,1994).

2.1.5 Bahan Tambahan

Bahan tambahan (*admixtures*) adalah bahan yang bukan air, agregat maupun semen, yang ditambahkan ke dalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan tambah adalah untuk mengubah sifat beton agar “menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi”.Jenis bahan tambahan yang paling utama antara lain : (Edward G. Nawy,1990)

1. Bahan tambahan pemercepat (*accelerating admixtures*).
2. Bahan tambahan untuk *air-entraining* (*air-entraining admixtures*).

3. Bahan tambahan pengurang air dan pengontrol pengeringan.
4. Bahan tambahan penghalus gradasi (*finely divided mineral admixtures*).
5. Bahan tambahan untuk mengurangi/menghapus *slump*.
6. Polimer.
7. *Superplastisizer*.

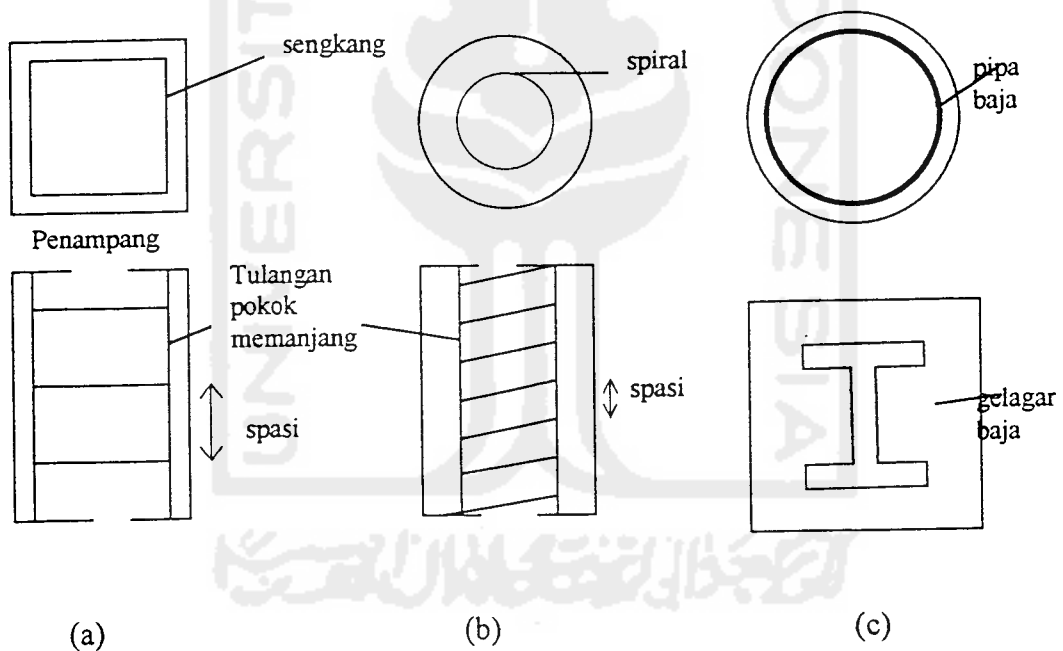
2.1.6 Kolom

Tugas dan fungsi utama kolom adalah menerima beban horizontal, beban aksial dan momen untuk diteruskan ke kolom di bawahnya atau ke pondasi bangunan. Karena pentingnya komponen kolom, dalam prakteknya bagian struktur yang lain harus merangka dengan baik kepada kolom. Kegagalan kolom akan berakibat secara langsung terhadap komponen struktur lain yang berhubungan dengannya. Kehancuran atau mode keruntuhan tekan pada umumnya tidak diawali dengan tanda-tanda yang jelas sebagai peringatan, tetapi biasanya bersifat mendadak. Oleh karena itu dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada untuk komponen struktur lainnya, (Istimawan, 1994).

Panjang kolom sangat berpengaruh terhadap kapasitas dan perilaku kolom, karena nilai panjang (tinggi) merupakan salah satu unsur terpenting dalam perhitungan kolom. Berdasarkan kelangsingannya, kolom dibedakan menjadi dua, yaitu kolom pendek dan kolom panjang. Untuk batang tekan dengan angka kelangsingan $kL/r \leq 22$ diklasifikasikan sebagai kolom pendek, sedangkan untuk $kL/r \geq 22$ diklasifikasikan sebagai kolom panjang atau lazim disebut kolom langsing (Edward G. Nawy, 1990).

Berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, kolom dibagi menjadi tiga kategori (Istimawan, 1994), yaitu :

1. Kolom persegi dengan tulangan pokok memanjang dan pengikat sengkang lateral, seperti terlihat pada gambar 2.1.a.
2. Kolom bulat dengan tulangan pokok memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral, seperti terlihat pada gambar 2.1.b.
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan gelagar baja profil atau pipa pada arah memanjang, dengan atau tanpa diberi tulangan pokok memanjang, seperti terlihat pada gambar 2.1.c.

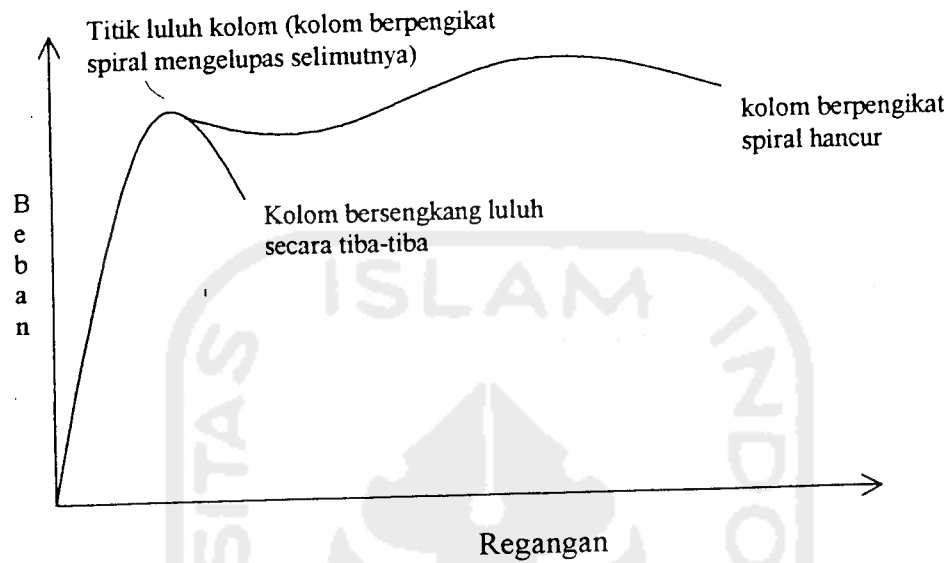


Gambar 2.1 Jenis-jenis kolom

2.1.7 Tulangan Pengikat

Tulangan pengikat berfungsi mengekang inti beton dan mengikat tulangan memanjang agar tetap berada pada posisi yang stabil serta memperpendek tekuk pada tulangan memanjang akibat beban tekan. Tulangan pengikat yang banyak dipakai adalah sengkang (begel) dan spiral. Tulangan pengikat spiral mempunyai kemampuan lebih baik menyerap deformasi dibandingkan dengan sengkang biasa dan 2,4 kali lebih efektif dari tulangan memanjang dalam menyediakan kapasitas kolom (Wang dan Salmon, 1985).

Sampai beban tertentu, tulangan pengikat sengkang dan spiral berperilaku hampir sama terhadap beban desak. Pada saat tercapainya titik luluh kolom, bagian tepi terluar (selimut beton) pecah/mengelupas, kolom berpengikat sengkang akan segera runtuh tiba-tiba disertai dengan kerusakan beton dan tekuk pada tulangan memanjang di antara sengkang, sedangkan pada kolom berpengikat spiral, beton yang terkekang oleh spiral tersebut masih efektif bertahan ke arah lateral dan masih mampu melaksanakan tugasnya menahan beban aksial (Istimawan, 1994), seperti terlihat pada gambar 2.2. Kehancuran total terjadi apabila selanjutnya terjadi deformasi yang cukup besar pada kolom (bagian inti) diikuti dengan meluluhnya tulangan spiral. Keuletan tersebut merupakan nilai lebih yang didapat dengan menggunakan pengikat spiral, terutama bila digunakan untuk struktur yang memerlukan daktililitas tinggi, seperti struktur tahan gempa. Dengan sendirinya, ukuran/dimensi dan jarak spasi berpengaruh terhadap nilai beban hancur yang dicapai.



Gambar 2.2 Hubungan beban – regangan pada kolom

2.1.8 Kuat Desak

Beton sangat cocok menahan desak, tapi tidak mampu menahan beban tarik. Akibat ketidaksempurnaan letak beban pada kolom, didalam peraturan-peraturan dibuat ketentuan bahwa kemampuan kolom harus direduksi. Untuk kolom dengan pengikat sengkang direduksi 20% dan kolom berpengikat spiral direduksi 15% (Istimawan, 1994). Selanjutnya untuk kuat beban aksial, dalam perencanaan diberikan koefisien reduksi kekuatan ϕ . Dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3 ayat 2 disebutkan kekuatan nominal dikalikan koefisien reduksi kekuatan 0,65 untuk sengkang biasa dan 0,70 untuk spiral.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Umum

Kekuatan beton diukur dari keawetan dan sifat sifat perubahan bentuknya, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor penentu antara lain kekuatan mortar, ikatan antara agregat dan mortar dan kekuatan agregat. Pada kolom mutu tinggi, jumlah retak mikro ikatan lebih sedikit karena kompatibilitas kekuatan dan sifat elastis agregat dengan mortar lebih baik, serta makin tingginya kekuatan lekatan tarik (*tensile bond strength*), juga kekuatan terhadap beban lebih tinggi dibandingkan pada beton normal.

Dengan mengamati kurva tegangan-regangan kuat beton pada gambar 2.3 (L. Wahyudi, 1999), tampak karakteristik yang membedakan beton mutu lebih tinggi daripada beton normal. Sudut awal kurva-E lebih curam, bagian yang menarik dari kurva-E lebih linier, sudut dari bagian yang menurun kurva-E lebih curam dan batas regangan lebih rendah. Untuk nilai regangan batas beton dengan kekuatan 28 – 83 Mpa (4000 – 12000 psi), perbedaannya tidak begitu besar, sehingga asumsi regangan batas 0,003 sebagaimana ditentukan dalam peraturan ACI 1989 dapat digunakan.

Oleh karena itu, rumus modulus elastisitas untuk beton normal dipandang *overestimate* dan tidak memenuhi. Untuk beton mutu tinggi dengan kuat desak beton 41 -83 Mpa, dianjurkan untuk menggunakan rumus (SK SNI T-15-1991-03) sebagai berikut :

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Umum

Kekuatan beton diukur dari keawetan dan sifat sifat perubahan bentuknya, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor penentu antara lain kekuatan mortar, ikatan antara agregat dan mortar dan kekuatan agregat. Pada kolom mutu tinggi, jumlah retak mikro ikatan lebih sedikit karena kompatibilitas kekuatan dan sifat elastis agregat dengan mortar lebih baik, serta makin tingginya kekuatan lekatan tarik (*tensile bond strength*), juga kekuatan terhadap beban lebih tinggi dibandingkan pada beton normal.

Dengan mengamati kurva tegangan-regangan kuat beton pada gambar 2.3 (L. Wahyudi, 1999), tampak karakteristik yang membedakan beton mutu lebih tinggi daripada beton normal. Sudut awal kurva-E lebih curam, bagian yang menarik dari kurva-E lebih linier, sudut dari bagian yang menurun kurva-E lebih curam dan batas regangan lebih rendah. Untuk nilai regangan batas beton dengan kekuatan 28 – 83 Mpa (4000 – 12000 psi), perbedaannya tidak begitu besar, sehingga asumsi regangan batas 0,003 sebagaimana ditentukan dalam peraturan ACI 1989 dapat digunakan.

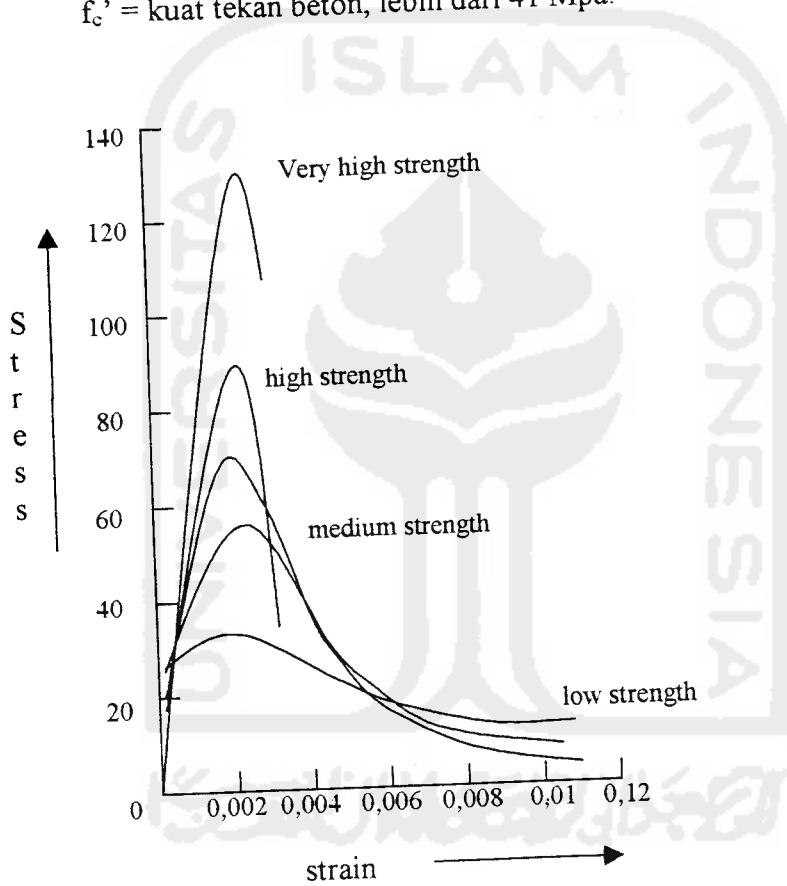
Oleh karena itu, rumus modulus elastisitas untuk beton normal dipandang *overestimate* dan tidak memenuhi. Untuk beton mutu tinggi dengan kuat desak beton 41 -83 Mpa, dianjurkan untuk menggunakan rumus (SK SNI T-15-1991-03) sebagai berikut :

$$E_c = (3320 \cdot \sqrt{f_c'} + 6900) \left(\frac{W_c}{2300} \right)^{1.50} \text{ Mpa} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan : E_c = modulus elastisitas balok tekan (N/mm^2),

W_c = berat beton (kN/m^3),

f_c' = kuat tekan beton, lebih dari 41 Mpa.



Gambar 2.3 Kurva Tegangan-Regangan

2.2.2 Kolom Pendek Dengan Beban Tekan Aksial

Menurut ACI dalam Istimawan Dipohusodo, 1994, kuat beban aksial nominal atau teoritis kolom pendek dengan beban konsentris adalah :

$$P_o = 0,85 f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk kolom pendek dengan tulangan pengikat spiral :

$$P_n(\text{maks}) = 0,85 P_o \dots\dots\dots (2.3)$$

Akibat eksentrisitas, P_n harus direduksi, sehingga kapasitas ultimit dengan tulangan pengikat spiral menjadi :

$$\phi P_n(\text{maks}) = \phi 0,85 (f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3 ayat 2, koefisien reduksi untuk tulangan pengikat spiral $\phi = 0,70$. Dalam perhitungan, harga $P_u = \phi P_n(\text{maks})$, maka :

$$P_u = 0,70 \cdot 0,85 (0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

A_g = luas bruto penampang lintang kolom (mm^2),

A_{st} = luas total penampang penulangan memanjang (mm^2),

P_o = kuat beban aksial nominal atau teoritis tanpa eksentrisitas,

P_n = kuat beban aksial nominal atau teoritis dengan eksentrisitas,

P_u = beban aksial terfaktor dengan eksentrisitas.

2.2.3 Kolom Dengan Tulangan Pengikat Spiral

Dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9 ayat 3, rasio penulangan spiral terhadap volume beton (ρ_s), tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s = 0,45 \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f_c'}{f_y} \dots\dots\dots (2.6)$$

Rasio penulangan spiral terhadap volume beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\rho_s = \frac{A_{sp} \cdot \pi \cdot D_s}{0,25 \cdot \pi \cdot D_c^2 \cdot s} \dots\dots\dots (2.7)$$

Apabila perbedaan kecil antara D_c dan D_s diabaikan, sehingga $D_c = D_s$, maka rumus di atas menjadi :

$$\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D_c \cdot s} \dots \dots \dots (2.8)$$

Rasio penulangan spiral dengan mempertimbangkan pengaruh gempa, tidak boleh lebih kecil dari :

$$\rho_s = 0,12 \frac{f_c'}{f_y} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

s = jarak spasi spiral p.k.p (*pitch*),

A_g = luas bruto penampang lintang kolom,

A_c = luas penampang lintang inti kolom/*core* (tepi ke tepi terluar spiral),

f_y = tegangan luluh baja tulangan spiral, tidak lebih dari 400 Mpa,

D_c = diameter *core* (tepi ke tepi terluar spiral),

D_s = diameter spiral dari pusat ke pusat (p.k.p),

A_{sp} = luas penampang batang tulangan spiral.

2.2.4 Hubungan Momen-kelengkungan

Gambar 2.4 menunjukkan sebuah elemen yang pada awalnya lurus untuk sebuah potongan beton bertulang, dengan momen akhir yang sama dan daya potong yang juga sama. Jari-jari kelengkungan R diukur dari garis netral. Jari-jari kelengkungan R , kedalaman garis netral kd , tegangan beton dalam tekanan ekstrim ϵ_{c1} dan tegangan

regangan baja ϵ_s , akan beragam di sepanjang potongan karena retakan-retakan yang terjadi pada beton yang menyebabkan beton tersebut akan memuat tegangan yang besar. Dengan menimbang satu elemen sepanjang dx dan dengan menggunakan notasi yang ada pada gambar 2.4, rotasi antara ujung diberikan dengan rumus :

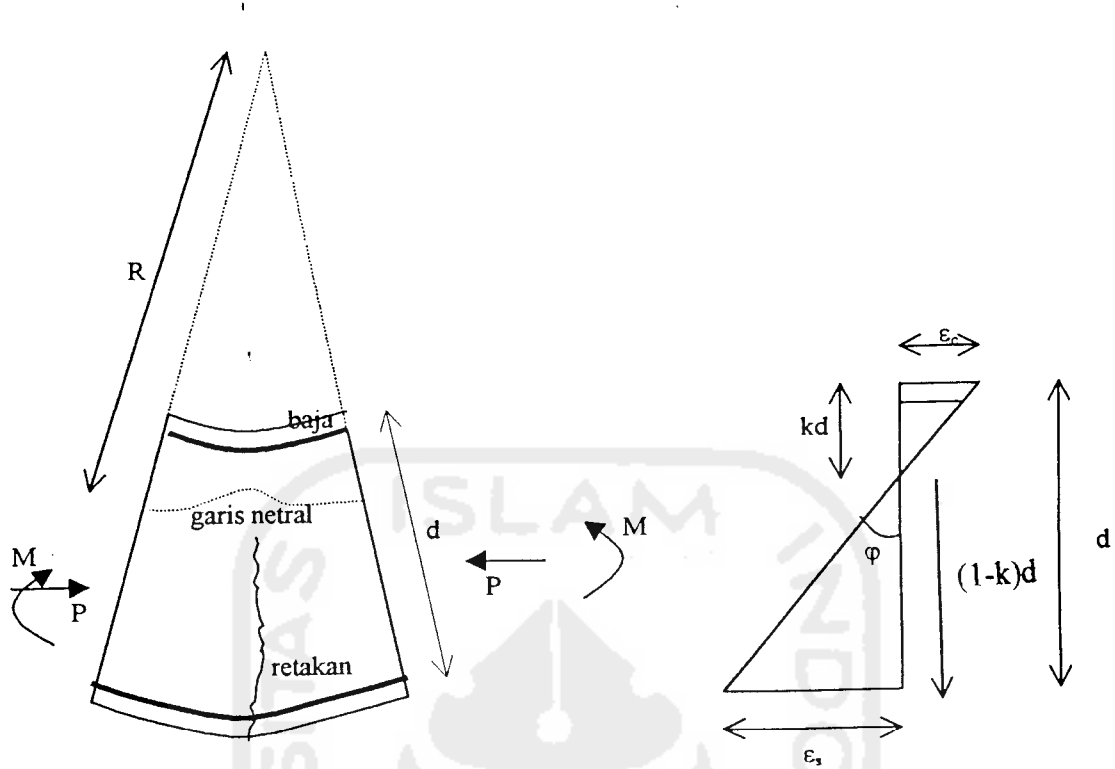
$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)}$$

Sekarang $1/R$ merupakan kelengkungan (rotasi tiap unit panjang dari potongan tersebut) dan diberikan dengan lambang ϕ .

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots\dots\dots(2.11)$$

Hal tersebut membuktikan bahwa kelengkungan ϕ merupakan gradien dari profil tegangan pada elemen tersebut, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini.



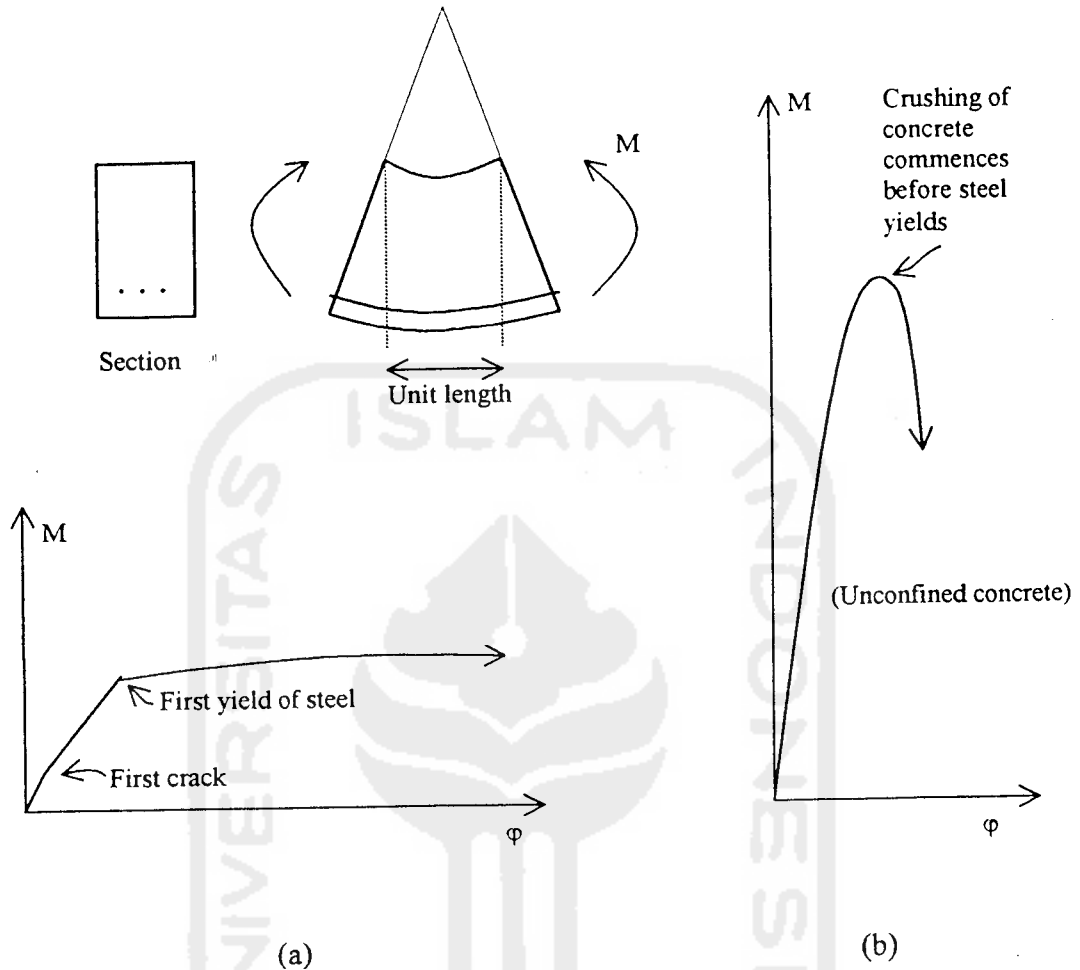
Gambar 2.4 Deformasi dan distribusi regangan

Jika tegangan dari bagian kritis dari balok beton bertulang diukur melebihi panjang *gauge* sebagaimana momen lentur, maka akan meningkatkan kegagalan, kelengkungan dapat diukur dengan menggunakan persamaan 2.11, yang memungkinkan hubungan momen-kelengkungan dapat diperoleh.

Gambar 2.5 menunjukkan hubungan momen-kelengkungan pada balok beton bertulang. Kedua kurva tersebut adalah linier pada tahap awal, dan hubungan $M-\phi$ diberikan dengan persamaan elastisitas.

$$EI = MR^2 = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana EI adalah kekakuan lentur dari bagian tersebut (Salmon, 1985).



Gambar 2.5 Hubungan momen-kelengkungan untuk balok beton bertulang
 (a) potongan kegagalan tarik
 (b) potongan kegagalan tekan

Diasumsikan tegangan yang terjadi pada awalnya tepat ditengah-tengah bentang kolom ketika diberi beban, kemudian pada bagian tengah bentang kolom tersebut dipasang strain gage baja dan beton untuk mencatat masing-masing regangan aktual yang terjadi, bila asumsi ini benar, maka akan didapat nilai regangan baja dan beton. Dengan menggunakan persamaan 2.11 akan diperoleh kelengkungan penampang yang ditinjau.

2.2.4.1 Menentukan Hubungan Momen-Kelengkungan secara teoritis

Hubungan teoritis momen-kelengkungan dapat ditentukan dengan mengambil nilai regangan ekstrim beton yang terjadi serat pada terluar, ϵ_{cm} , dengan momen yang terjadi akibat jarak eksentris, e . Untuk setiap nilai ϵ_{cm} dari kedalaman sumbu netral, kd , maka kelengkungan diberikan dengan persamaan.

$$\phi = \frac{\epsilon_{cm}}{kd} \dots\dots\dots 2.13$$

a. Momen –Kelengkungan pada kondisi retak awal , leleh awal baja dan ultimate

Retak akan terjadi ketika modulus retak, f_r , tercapai pada serat bawah

$$F_r = 0.7 \sqrt{f_c} \dots\dots\dots 2.14$$

$$M_{retak\ awal} = \frac{f_r I}{Y_{bawah}} \dots\dots\dots 2.15$$

$$\phi_{retak\ awal} = \frac{f_r / E_c}{Y_{bawah}} \dots\dots\dots 2.16$$

dengan,

F_r = modulus retak beton , Mpa

I = inersia, mm⁴

Y = jarak garis netral, mm

E_c = modulus elastisitas beton, Mpa

b. Ketika baja mencapai kekuatan luluh awal

faktor k dapat ditentukan (rumus 2.17) dan momen yang ditahan oleh baja dapat dihitung (rumus 2.18) dan kelengkungan yang dicapai pada saat luluh awal

$$k = \left[(p + p')^2 n^2 + 2 \left(p + p' \frac{d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (p + p') n \quad \dots\dots\dots 2.17$$

$$M_y = A_s f_y j d \quad \dots\dots\dots 2.18$$

$$\phi_r = \frac{f_y / E_s}{d(1 - k)} \quad \dots\dots\dots 2.19$$

Dengan

A_s = luas tarik baja, mm²

A'_s = luas tekan baja, mm²

b = lebar penampang, mm

d = tinggi efektif, mm

d'' = jarak serat terluar hingga sentral baja tekan, mm

E_s = modulus elastisitas baja, Mpa

n = ratio modular

p = rasio luas tulangan terhadap luas penampang

$j d$ = jarak dari sentral gaya desak pada baja dan beton terhadap sentrak gaya tarik, mm

c. Pada saat kondisi ultimate

Momen-kelengkungan ultimate pada penampang beton terkekang diasumsikan untuk menunjukkan distribusi tegangan blok desak pada daerah terkekang. Park dan Paulay menyarankan bahwa terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan pada beton terkekang adalah area dibawah kurva tegangan-regangan, α , dihitung dengan

$$\alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c}{f'_c \epsilon_{cm}} \dots\dots\dots 2.20$$

Area momen dari area dibawah kurva tegangan-regangan yang sebenarnya, γ , dihitung dengan persamaan,

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c f_c d\epsilon_c}{\epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c} \dots\dots\dots 2.21$$

Dengan,

f_c = kuat desak beton, Mpa

f'_c = kuat desak beton pada benda uji, Mpa (lebih kecil dari f_c)

ϵ_c = regangan aktual

ϵ_{cm} = regangan ekstrim pada serat terluar

Untuk penampang segiempat beton terkekang, gaya desak beton yang terjadi, bekerja sejarak kd dari serat desak terluar. Untuk setiap ϵ_{cm} pada serat terluar, nilai α dan γ penampang segiempat ditentukan oleh hubungan tegangan-regangan beton.

Tabel parameter desak memperlihatkan nilai α dan γ yang diperoleh dari persamaan 2.20 dan 2.21, kemudian untuk desak pada zona terkekang dan menunjukkan variasi nilai parameter ϵ_{cm} dan Z . Parameter Z diberikan sebagaimana persamaan

$$Z = \frac{0.5}{\frac{3 + 0.002 f'_c}{f'_c - 1000} + \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{sh}} - 0.002} \dots \dots \dots 2.22$$

Dengan, Z = Parameter desak

f'_c = Kuat desak silinder, psi

ρ_s = rasio volume spiral terhadap volume inti beton

b'' = lebar/jarak batas inti beton keluar beton, mm

sh = spasi spiral atau sengkang, mm

Pada beton terkekang regangan yang terjadi pada penutup dan inti beton tidak sama. Asumsi regangan ultimate pada selimut beton 0,003 tidak dapat dipakai pada inti beton karena masih dianggap konservatif. Pengaruh kekangan spiral pada beton memberikan kontribusi signifikan terhadap nilai regangan yang tinggi hingga mencapai $\epsilon_{cm} = 0.004$ (R.Park dan T.Paulay, 1990).

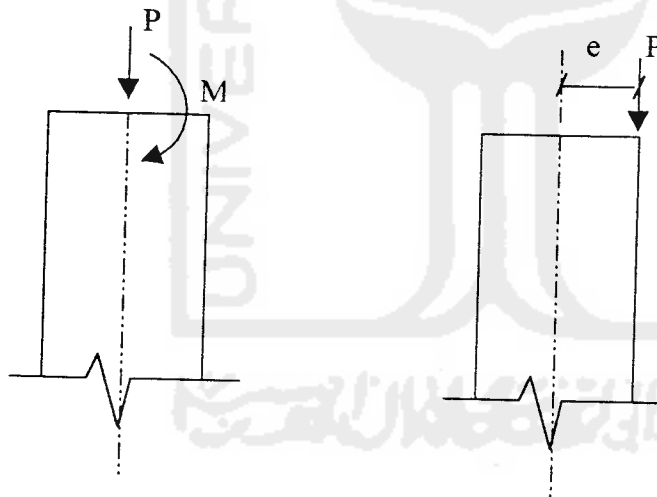
Tabel 2.1 Parameter desak

Values of α									
0.002	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
0.003	0.776	0.773	0.769	0.766	0.761	0.754	0.744	0.728	0.711
0.004	0.828	0.818	0.808	0.798	0.783	0.763	0.733	0.683	0.633
0.005	0.858	0.840	0.822	0.804	0.777	0.741	0.687	0.600	0.547
0.006	0.876	0.849	0.822	0.796	0.756	0.702	0.622	0.533	0.489
0.007	0.887	0.851	0.815	0.780	0.726	0.655	0.562	0.486	0.448
0.008	0.894	0.849	0.804	0.759	0.692	0.602	0.517	0.450	0.417
0.009	0.899	0.844	0.790	0.735	0.654	0.558	0.481	0.422	0.393
0.010	0.901	0.837	0.773	0.709	0.613	0.522	0.453	0.400	0.373
0.011	0.903	0.829	0.755	0.682	0.576	0.493	0.430	0.382	0.358
0.012	0.903	0.819	0.736	0.653	0.544	0.468	0.411	0.367	0.344
0.013	0.902	0.809	0.716	0.623	0.518	0.448	0.395	0.354	0.333
0.014	0.901	0.798	0.695	0.593	0.495	0.430	0.381	0.343	0.324
0.015	0.899	0.787	0.674	0.567	0.476	0.415	0.369	0.333	0.316
Values of γ									
0.002	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
0.003	0.405	0.407	0.408	0.409	0.411	0.414	0.418	0.425	0.432
0.004	0.427	0.430	0.433	0.436	0.441	0.449	0.460	0.482	0.507
0.005	0.441	0.446	0.452	0.457	0.466	0.479	0.501	0.543	0.568
0.006	0.451	0.459	0.466	0.474	0.488	0.508	0.545	0.586	0.602
0.007	0.459	0.469	0.479	0.490	0.508	0.538	0.582	0.611	0.622
0.008	0.466	0.477	0.490	0.504	0.529	0.570	0.607	0.627	0.633
0.009	0.471	0.484	0.500	0.518	0.550	0.595	0.623	0.636	0.638
0.010	0.475	0.491	0.509	0.531	0.573	0.613	0.634	0.641	0.641
0.011	0.479	0.497	0.519	0.546	0.594	0.626	0.641	0.644	0.642
0.012	0.482	0.503	0.528	0.560	0.610	0.635	0.645	0.645	0.641
0.013	0.485	0.508	0.538	0.576	0.622	0.642	0.648	0.645	0.640
0.014	0.488	0.514	0.547	0.592	0.631	0.646	0.649	0.644	0.638
0.015	0.490	0.519	0.557	0.606	0.638	0.650	0.649	0.642	0.635

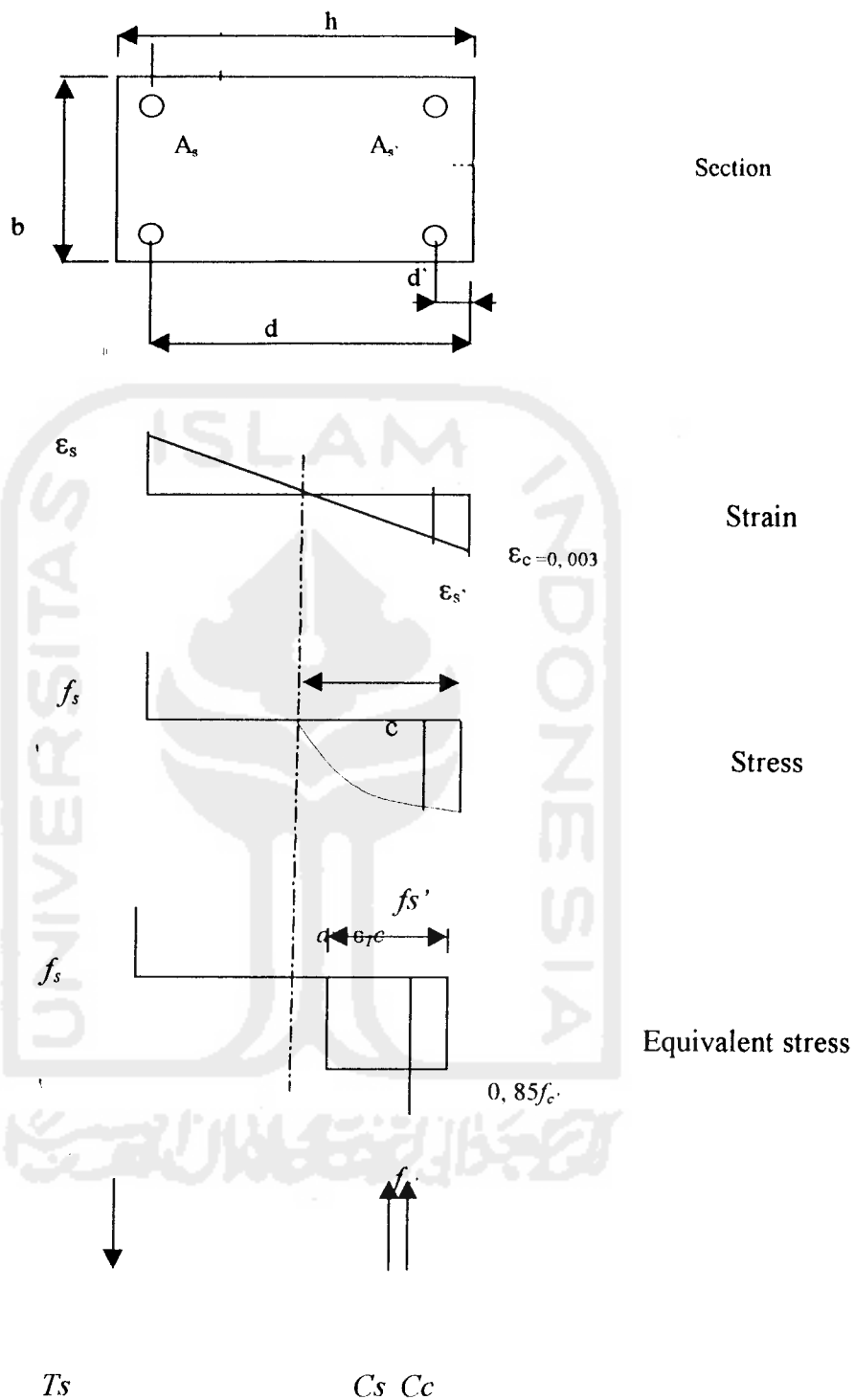
* From reference 6.5.

2.2.4.1 Menentukan Diagram Interaksi Tipikal Kolom

Bila suatu batang dibebani gaya aksial P dan momen M (Gambar 2.6), biasanya gaya aksial dan momen ini dapat digantikan oleh gaya P yang bekerja pada eksentrisitas $e = M / P$. Pembebanan kedua tersebut bersifat statik ekuivalen dengan yang pertama dan prinsip ini juga berlaku pada kolom beton bertulang. Bila nilai P ataupun ϵ relatif besar, kegagalan akan terjadi dengan hancurnya beton yang disertai dengan pelepasan tulangan lencang pada sisi yang lebih terbebani.



Gambar 2.6 Gaya pengganti.



Gambar 2. 7 Beban eksentris pada penampang dengan tulangan pada dua sisi.

Tulangan tekan pada kolom beton yang dibebani eksentris pada tingkat beban ultimit umumnya akan mencapai tegangan leleh, kecuali jika beban tersebut kecil atau menggunakan baja mutu tinggi, atau dimensi, kolomnya relatif kecil. Sehingga, umumnya, diasumsikan bahwa baja tulangan tekan sudah leleh, kemudian baru regangannya diperiksa apakah memenuhi ketentuan ini.

$$c = \frac{600}{600 + f_y} d \quad (2.23)$$

$$a = \epsilon_y c \quad (2.24)$$

$$f_s = \frac{d - c}{d} 600 \quad (2.25)$$

apabila tulangan tarik leleh lebih dahulu, $f_s > f_y$ maka dipakai f_y

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} 600 \quad (2.26)$$

apabila $f_s' > f_y$ maka dipakai f_y

dari Gambar 2.7

$$C_c = 0,85 f_c' ab \quad (2.27)$$

$$C_T = A_s' f_s' \quad (2.27)$$

$$T_s = A_s f_y \quad (2.27)$$

keseimbangan gaya :

$$P_n = C_c + C_T - T_s \quad (2.28)$$

$$P_n = 0,85 f_c' ab + A_s' f_y - A_s f_s \quad (2.29)$$

$$Mn = 0,85 f_c' ab (h/2 - a/2) + A_s' f_y (h/2 - d') + A_s f_y (h/2 - d') \quad (2.30)$$

dengan

f_c' = kekuatan tekan beton silinder

f_y = tegangan leleh baja tulangan

f_s = tegangan pada baja tulangan tarik.

A_s = luas tulangan tarik.

A_s' = luas tulangan tekan.

dengan menyusun keseimbangan kondisi batas terhadap tulangan tarik, dapat ditentukan titik sentroid plastik dari penampang itu, sebagai :

Adanya variasi dalam nilai beban yang bekerja, ragam keruntuhan yang terjadi mungkin saja bukan merupakan keruntuhan imbang. Kondisi ini yang disebut sebagai keruntuhan tarik atau keruntuhan tekan berturut-turut dapat terjadi tergantung pada nilai beban aksial yang bekerja pada penampang tersebut. Sebagai contoh, keadaan keruntuhan tarik (*tension failure*) akan berlaku bila $Pn < Pn_b$ yang berarti juga $\epsilon_s > \epsilon_y$ atau $c < c_b$. Tegangan pada tulangan tarik f_s sama dengan tegangan leleh f_y , keruntuhan tekan (*compression failure*) bila $Pn > Pn_b$ yang berarti $\epsilon_s < \epsilon_y$ atau $c > c_b$. Tegangan pada tulangan tarik mesti ditentukan melalui persamaan :

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \quad (2.31)$$

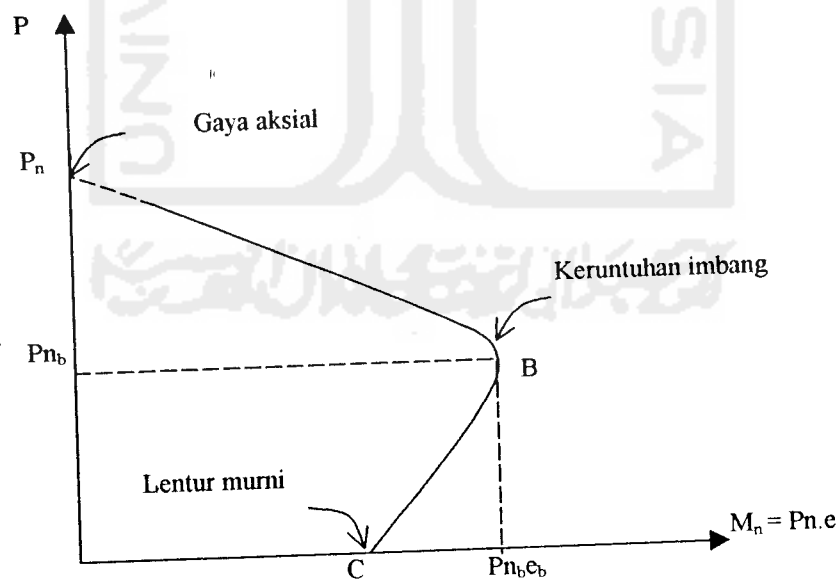
$$f_s = \epsilon_s E_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad (2.32)$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c-d'}{c} > \frac{f_y}{E_s} \quad (2.33)$$

Jika baja tulangan tekan belum leleh, yang regangannya lebih kecil daripada ϵ_y maka f_s' harus ditentukan melalui diagram tegangannya, yang dapat dirumuskan sebagai :

$$f_s' = \epsilon_s' E_s = 0,003 \frac{c-d'}{c} E_s = 0,003 \frac{a-\beta_1 d}{a} E_s \quad (2.34)$$

Untuk suatu penampang yang dimensi dan luas baja tulangnya telah ditetapkan, dan dengan nilai gaya aksial maupun momen yang dibuat variabel, dapat dibuat suatu diagram interaksi seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9. Diagram interaksi adalah daerah batas yang menunjukkan ragam kombinasi beban yang dapat ditahan oleh suatu kolom dengan aman (L. Wahyudi, 1999).



Gambar. 2.9 Diagram interaksi tipikal kolom