

**PERILAKU KEKUATAN DAN DAKTALITAS  
KOLOM BETON BERTULANG DENGAN LUBANG  
PADA CORE**

*STRENGTH AND DUCTILITY BEHAVIOUR OF REINFORCED  
CONCRETE COLUMN WITH HOLE IN THE CORE*

**MUFTI AMIR SULTAN**



**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2008**

**PERILAKU KEKUATAN DAN DAKTALITAS  
KOLOM BETON BERTULANG DENGAN LUBANG  
PADA CORE**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

MUFTIAMIR SULTAN

kepada

PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR

2008

**TESIS**

**PERILAKU KEKUATAN DAN DAKTALITAS  
KOLOM BETON BERTULANG DENGAN LUBANG  
PADA CORE**

Disusun dan diajukan oleh

**MUFTI AMIR SULTAN**

Nomor Pokok P2303206004

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada tanggal 28 April 2006

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisri Penasihat



Prof.Dr.-Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng

Ketua

Ketua Program Studi  
Teknik Sipil



Prof.Dr.-Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng




Dr.Ir.Victor Sampebulu', M.Eng

Anggota

Direktur Program Pascasarjana  
Universitas Hasanuddin



Prof.Dr. A. Razak Thaha, M.Sc

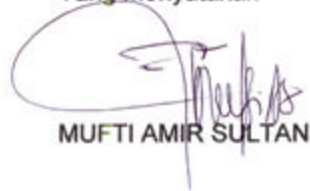
## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUFTI AMIRSULTAN  
Nomor Mahasiswa : P2303206004  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 April 2008  
Yang menyatakan



MUFTI AMIR SULTAN

## **PRAKATA**

Alhadulillah, penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas karunia dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

Dalam penyelesaian ini, banyak pihak yang terlibat. Pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng selaku ketua komisi penasihat dan Bapak Dr. Ir. Victor Sampebulu', M.Eng selaku anggota penasihat yang telah memberi arahan dan bimbingan yang sangat bermanfaat, sehingga tesis ini dapat terwujud.

Terima kasih disampaikan kepada Bapak Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak Direktur Pascasarjana beserta jajaran pimpinan dan staf Pengajar Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Program Studi Teknik Sipil Struktur atas arahan dan pembelajaran yang diberikan serta layanan administrasi yang disediakan. Segenap laboran dan teman-teman mahasiswa S2 Teknik Struktur angkatan 2006 yang telah banyak membantu selama kuliah dan pada saat penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, ucapan terima kasih kepada Bapak Rektor Universitas Khairun, Dekan Fakultas Teknik dan Ketua Jurusan Sipil atas ijin belajar yang diberikan selama ini.

Rasa hormat dan terima kasih tak terhingga penulis haturkan kepada Ayahanda Nur Abidin Sultan dan Ibunda Sarialang serta kepada Bapak Mertua H. Sutrisno Andili dan Ibu Mertua Hj. Mima Ningkeula dan

adik-adik yang ikut mendoakan selama dalam proses belajar, Terima kasih.

Secara khusus penulis menghaturkan penghargaan dan terima kasih yang tulus kepada istri yang tercinta Noni Rustam atas doa, kesabaran dan support dalam penyelesaian tesis ini. Kepada anak-anakku yang tersayang Thariq Al Faridzi A.Sultan, Thariq Ramadhan A. Sultan dan Thariq Al farouq A.Sultan yang telah memberikan dorongan moral selama proses studi ini berlangsung.

Hanya Allah yang Maha Benar dan Maha Sempurna, Bilamana ada kesalahan dan kekurangan itu semua disebabkan kekhilafan dan keterbatasan penulis.

Semoga tulisan ini bermanfaat adanya, terutama bagi penulis sendiri. Amin...

Makassar, 28 April 2008

Penulis

## ABSTRAK

**MUFTI AMIR SULTAN.** *Perilaku Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang dengan Lubang pada Core* (dibimbing oleh Herman Parung dan Victor Sampebulu').

Sampai sekarang masih ditemui pemakaian pipa-pipa (*conduit*) pada kolom beton bertulang sehingga penampang kolom menjadi berlubang. Pada peraturan SNI 03-2847-2002 membatasi besarnya lubang maksimum 4% terhadap penampang kolom. Peraturan ini tidak menyinggung pengaruh lubang terhadap daktilitas kolom berlubang.

Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat benda uji kolom berlubang dan tak berlubang dalam empat variasi, yaitu penampang kolom =  $b \times h = 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ , panjang kolom  $L = 1.500 \text{ mm}$ , rasio lubang (0%; 3,32%; 5,68%; 12,31%), menggunakan sengkang tunggal, pada ujung kolom diberikan  $P_{\text{aksial-konstan}} = 5,0 \text{ ton}$ , pada  $\frac{1}{2}$  bentang diberikan beban lateral sampai mencapai keadaan batas. Variabel yang diamati berupa lendutan dan beban lateral.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan momen kolom berlubang mengalami penurunan masing-masing 4,04% pada rasio lubang 3,32%; 7,99% pada rasio lubang 5,68%; dan 21,66% pada rasio lubang 12,31%. Daktilitas untuk kolom dengan rasio lubang 3,32% dan kolom penuh (rasio lubang 0%) dianggap sama. Selain itu, diketahui pula daktilitas  $7,638 \leq \mu_{\phi} \leq 9,413$  (termasuk daktilitas penuh).



## ABSTRACT

**MUFTI AMIR SULTAN.** *Strength and Ductility Behaviour of Reinforced Concrete Column with Hole in the Core* (supervised by **Herman Parung** and **Victor Sampebulu**)

Conduits (pipes) in reinforced concrete column are still in use. The codes of SNI -03-2847 – 200 restrict the hole up to 4% of the column cross section without specifying its effect on the ductility of the column.

The study therefore aims to analyse the performance of reinforced concrete column with hole in the core. The study is carried out by performing some tests to hollow and solid columns in four variations: column cross section of  $b = h = 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ , column strength of 1,500 mm, hollow ratios of 0%, 3.32%, 5.68%, and 12.31%, and single stirrup. The end of the column is loaded with constant axial compression of 5 tons and lateral load is applied at half-span up to the ultimate strength. The variables observed are lateral load and deflection.

The study reveals that moment strength of hollow column decreases 4.04% at hole ratio of 3.32%, 7.99% at hole ratio 5.68% and 21.66% at a ratio of 12.31%. The ductility of the column with the hole ratio of 3.32% and of the solid column are considered the same. The experiment also indicates that the ductility is  $7.638 \leq \mu\delta \leq 9.413$  and is regarded as full ductility.





## DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR ARTI DAN LAMBANG .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB. I PENDAHULUAN .....	18
A. Latar Belakang .....	18
B. Rumusan Masalah .....	19
C. Tujuan Penelitian .....	19
D. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian .....	20
<b>BAB.II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>21</b>
A. Pendahuluan .....	21
B. Pengekangan Beton .....	23
a. Syarat pengekangan menurut SNI 03-2874-002 .....	24
b. Syarat kolom menurut SNI 03-2874-2007 .....	25
C. Kuat Geser Kolom.....	27

49. Tingkat Daktilitas.....	28
E. Penelitian Terdahulu Tentang Kolom dan Daktilitas. ....	31
F. Diagram Tegangan Regangan Beton.....	32
G. Analisa Kolom Segiempat .....	38
a. Kolom segiempat tidak berlubang .....	38
b. Kolom segiempat berlubang .....	39
H. Kekuatan Kolom .....	42
<b>BAB.III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>43</b>
A. Jenis Penelitian.....	43
B. Lokasi Penelitian .....	43
C. Bahan dan Alat Penelitian .....	43
D. Bagan Alir Penelitian. ....	45
E. Pelaksanaan Penelitian .....	46
F. Parameter Penelitian.....	49
<b>BAB.IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
A. Hasil Pengujian Bahan .....	50
a. Agregat halus .....	50
b. Agregat kasar.....	51
c. Mix desain .....	51
d. Tulangan baja .....	52
e. Nilai slump.....	53
f. Hasil pengujian kuat tekan beton .....	53
B. Hasil Pengujian Kolom .....	54

a. Kekuatan kolom.....	54
b. Daktalitas .....	56
<b>BAB.V PENUTUP .....</b>	<b>58</b>
A. Kesimpulan.....	58
B. Saran-saran.....	58

#### DAFTAR PUSTAKA

**DAFTAR TABEL**

Nomor	Halaman
1. Hasil pemeriksaan agregat halus	50
2. Hasil pemeriksaan agregat kasar	51
3. Hasil pengujian mix desain	52
4. Hasil pemeriksaan karakteristik tulangan baja	52
5. Nilai slump test beton	53
6. Hasil uji pembebanan kolom beton bertulang	54
7. Nilai P dan penurunan nilai P antar lubang	54

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Jenis kolom berdasarkan bentuk dan macam penulangan	22
2. Jenis kolom berdasarkan posisi beban pada penampang melintang	23
3. Kurva hubungan P vs ??? ? ?	28
4. Faktor daktilitas regangan	29
5. Faktor daktilitas kelengkungan	29
6. Faktor daktilitas rotational	30
7. Faktor daktilitas perpindahan	30
8. Kurva tegangan regangan beton yang dikekang dengan sengkang segiempat	33
9. Model tegangan regangan untuk pembebanan monotonic dan tak terkekang dalam tekan	35
10. Kurva hubungan tegangan regangan baja	37
11. Analisa kolom tanpa lubang	38
12. Analisa kolom berlubang	39
13. Analisa luas efektif daerah tekan	40
14. Setup alat dan benda uji kolom	44
15. Bagan alir penelitian	45
16. Sketsa benda uji	47
17. Pengecoran benda uji	48
18. Pengujian kolom	48

19. Hubungan beban retak awal dan rasio lubang	55
20. Hubungan beban batas dan rasio lubang	55
21. Hubungan beban dan lendutan	56
22. Hubungan rasio lubang dan daktalitas	57

### DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
$\rho_s$	Rasio tulangan spiral
$f_c'$	Mutu tegangan beton
$f_y$	Mutu tegangan baja
$f_{yh}$	Kuat leleh tulangan sengkang
$A_g$	Luas penampang bruto kolom
$\rho$	Rasio tulangan
$P_u$	Gaya tekan aksial berfaktor
$r$	Radius girasi
$k$	Faktor panjang efektif
$l_u$	Panjang efektif kolom
$V_n$	Kuat geser nominal
$V_c$	Kuat geser beton
$V_s$	Kuat geser sengkang
$N_u$	Beban aksial
$A_v$	Luas tulangan geser
$b$	Lebar daerah tekan kolom
$d$	Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
$\epsilon_s$	Daktalitas regangan
$\epsilon_{u \max}$	Regangan maksimum

$\epsilon_y$	Regangan leleh
$\rho$	Daktalitas kurvatur
$\theta_{u\max}$	Sudut kelengkungan maksimum
$\theta_y$	Sudut kelengkungan leleh
$\rho$	Daktalitas rotasional
$\theta_{u\max}$	Putaran sudut maksimum
$\theta_y$	Putaran sudut leleh
$\rho$	Daktalitas perpindahan
$\epsilon_{u\max}$	Deformasi maksimum
$\epsilon_y$	Deformasi leleh
$s_h$	Jarak sengkang
$f'_{1x} ? f'_{1y}$	Tegangan kekang efektif
$\alpha_x ? \alpha_y$	Rasio luas penampang efektif sengkang terhadap inti beton terkekang arah x,y
$K_s$	Koefisien efektifitas pengekangan
$f_{cc}$	Kuat tekan penampang segiempat terkekang.
$\epsilon_{\infty}$	Regangan pada tegangan puncak.
$\epsilon_{sn}$	Regangan baja pada tegangan tarik maksimum
$\epsilon_{cu}$	Regangan tekan ultimate.



**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor	Halaman
1. Analisa pengaruh lubang terhadap momen retak	61
2. Pengujian kolom K0-1	65
3. Pengujian kolom K0-2? ? ? ?	68
4. Pengujian kolom K1-1	71
5. Pengujian kolom K1-2	74
6. Pengujian kolom K2-1	77
7. Pengujian kolom K2-2	80
8. Pengujian kolom K3-1	83
9. Pengujian kolom K3-2	86
10. Grafik benda uji K0	88
11. Grafik benda uji K1	89
12. Grafik benda uji K2	90
13. Grafik benda uji K3	91
14. Hasil pengujian baja	92
15. Hasil pengujian agregat	93
16. Hasil mix desain	94
17. Hasil uji kuat tekan sample benda uji kolom	95
18. Dokumentasi	96

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. LATAR BELAKANG**

Daktalitas adalah kemampuan elemen struktur atau struktur secara keseluruhan untuk mengalami deformasi plastis yang besar tanpa mengalami banyak penurunan kekuatan yang besar. Daktalitas merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan elemen yang berkaitan dengan faktor keamanan dan redistribusi beban. Struktur harus mempunyai daktalitas yang baik agar tidak mengalami kegagalan, misalnya lendutan yang berlebihan atau bahkan keruntuhan.

Sebagai elemen struktur kolom mempunyai peranan yang sangat penting jika dibandingkan dengan elemen struktur yang lain, tetapi pada kenyataannya banyak bangunan gedung di Indonesia karena tuntutan estetika kadang-kadang kurang memperhatikan pengaruh adanya instalasi untuk pembuangan air hujan, sanitasi dan lain-lain, yang tertanam dalam kolom, karena dengan adanya lubang dapat mengurangi luas penampang yang akibatnya dapat mengurangi kekuatannya.

Menurut SNI 03-2847-2002 saluran-saluran (conduits) dan pipa, dengan segala kelengkapannya yang tertanam dalam suatu kolom tidak boleh mengambil lebih dari 4% dari luas penampang kolom yang digunakan dalam perhitungan kekuatan kolom atau dari luas penampang

yang diperlukan untuk ketahanan terhadap kebakaran. Dalam peraturan ini disebutkan apabila prosentase lubang kolom lebih kecil dari 4 persen dari luas penampang melintang dianggap tidak berpengaruh terhadap kekuatan kolom, tetapi bagaimana pengaruh daktilitas kolom tersebut akibat adanya lubang.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang ***“Perilaku Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang dengan Lubang Pada Core”***.

## **B. RUMUSAN MASALAH**

Melihat banyaknya kasus pemasangan instalasi pipa (air hujan, sanitasi, listrik dan lain-lain) yang tertanam pada kolom, sering dijadikan alasan tujuan estetika, tanpa memperhatikan pengurangan kekuatan kolom. Meskipun dalam SNI 03-2847-2002 membatasi pemakaian conduit sebesar 4 persen dari luas penampang melintang kolom, apabila lebih besar dari 4 persen maka pengaruh lubang perlu diperhitungkan terhadap kekuatannya. Mengingat pentingnya elemen kolom dibandingkan dengan elemen yang lain, maka perlu mengetahui sampai sejauh mana pengaruh lubang terhadap perilaku daktilitas kolom dan kekuatan kolom.

## **C. TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

- a. Mengetahui pengaruh lubang pada elemen struktur terkekang yang menerima beban lateral dan aksial konstan terhadap daktilitas dan kekuatan kolom.
- b. Apakah kolom berlubang masih memiliki kekuatan dan daktilitas yang disyaratkan oleh SNI 03-2847-2002.

#### **D. RUANG LINGKUP DAN BATASAN PENELITIAN**

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pembebanan dilakukan secara monotonik dan dalam jangka pendek.
- b. Kolom yang diteliti direncanakan sebagai kolom pendek, agar aman terhadap tekuk.
- c. Mutu beton dengan kuat tekan yang digunakan adalah 23,88 MPa.
- d. Penelitian mengenai penambahan kekuatan dan perilaku daktil pada kolom segi empat berlubang.
- e. Pembebanan masing-masing benda uji diberi beban aksial konstan di ujung kolom dan beban lateral ditengah bentang untuk mewakili beban gempa.
- f. Kekuatan pipa yang tertanam dalam kolom diabaikan.

## **BAB I**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. PENDAHULUAN**

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan collapse (runtuhnya) lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh total seluruh strukturnya.

Keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat berarti, sehingga dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktur horizontal lainnya, terlebih lagi karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas.

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya.

Bentuk dan susunan tulang pada kolom dapat dibagi menjadi tiga kategori :

- a. Kolom segiempat atau bujursangkar dengan tulang memanjang dan sengkang,

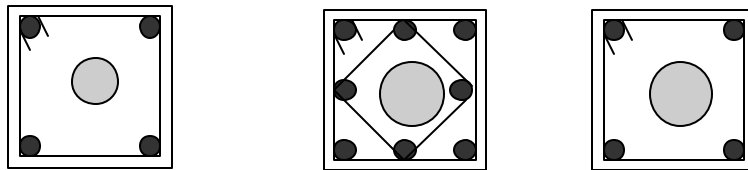
- b. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral, Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya,

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang melintang, kolom dapat diklasifikasikan :

- a. Kolom dengan beban sentries
- b. Kolom dengan beban eksentris

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk.

Beberapa kasus kolom yang diberi lubang pada inti kolom dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kolom dengan lobang pada inti kolom

## B. PENGEKANGAN BETON (CONFINEMENT)

Struktur beton bertulang yang daktail dapat diperoleh dengan detailing confinement dari elemen struktur. Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan sengkang yang berbentuk persegi atau bulat. Sengkang ini berfungsi untuk mengurangi bahaya pecah beton yang dapat mengurangi daktalitas penampang beton bertulang. Lilitan sengkang bulat

atau spiral memberikan tekanan kekang (confine) di sekeliling penampang. Sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena tekanan pada sisi sengkang ini cenderung membengkokkan bagian ujung sengkang ke arah luar.

**a. Syarat pengekangan beton menurut SNI 03-2847-2002**

1. Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal.
2. Spasi tulangan ( $s_x$ ) transversal pengekang minimum dari :
  - ✍  $\frac{1}{4}$  dari dimensi terkecil komponen struktur
  - ✍ 6 kali diameter tulangan longitudinal / memanjang
  - ✍  $100 \text{ mm} < s_x < 150 \text{ mm}$
3. Pada daerah sendi plastis harus dikekang sesuai syarat pada daerah sendi plastis sepanjang  $l_0$  dengan panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari :
  - ✍ Tinggi penampang komponen.
  - ✍  $\frac{1}{6}$  panjang bentang bersih.
  - ✍ 500 mm.
4. Rasio tulangan spiral  $\rho_s$  tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s \geq 0,12 \frac{f_c'}{f_{yh}} \geq 0,45 \frac{\frac{\rho_s}{A_c} \geq 1,2 f_c'}{f_y} \dots\dots\dots (1)$$

di mana  $f_y$  kuat leleh tulangan spiral yang tidak boleh lebih dari 400 MPa.

5. Luas tulangan penampang tulangan hoop persegi panjang untuk tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} \geq 0,3 s h_c \cdot \frac{f_c'}{f_y} \frac{A_g}{A_c} \geq 1 \dots \dots \dots (2)$$

**b. Syarat kolom menurut SNI 03-2847-2002**

1. Batasan rasio tulangan memanjang yaitu :

$$0,01 \leq \rho \leq 0,06 \dots \dots \dots (3)$$

2. Mempunyai gaya tekan aksial berfaktor :

$$P_u \leq \frac{A_g \cdot f_c'}{10} \dots \dots \dots (4)$$

3. Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang ikat segiempat atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang ikat segitiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dikelilingi spiral.
4. Ukuran penampang terkecil, diukur pada satu garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang, tidak boleh kurang dari 300 mm.
5. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus nya tidak boleh kurang dari 0,4.
6. Panjang efektif dari komponen struktur tekan :
- ☞ Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif  $k$  harus diambil sama dengan 1,0; kecuali bila analisis menunjukkan bahwa suatu nilai yang lebih kecil boleh digunakan.
  - ☞ Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif  $k$  harus ditentukan



dengan menggunakan nilai-nilai  $E$  dan  $I$ , dan harus lebih besar dari 1,0.

7. Radius girasi  $r$ , boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, untuk komponen struktur tekan persegi, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya  $r$  boleh dihitung dari penampang beton bruto.
8. Pengaruh kelangsingan :

☞ Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan bila :

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 \sqrt{12 \frac{M_1}{M_2}} \dots\dots\dots (5)$$

☞ Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan bila:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \dots\dots\dots (6)$$

### C. KUAT GESER KOLOM

Menurut SNI 03-2874-2002 kuat geser kolom dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_n \leq V_c + V_s \quad \dots\dots\dots (7)$$

Kuat geser nominal beton dan kuat geser tulangan geser dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_c = \frac{1}{14} \frac{N_u}{A_g} \sqrt{f'_c} b d \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \dots\dots\dots (9)$$

di mana :

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser beton

$V_s$  = kuat geser sengkang

$N_u$  = beban aksial

$A_g$  = luas penampang bruto kolom

$f'_c$  = kuat tekan beton

$b$  = lebar daerah tekan kolom

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

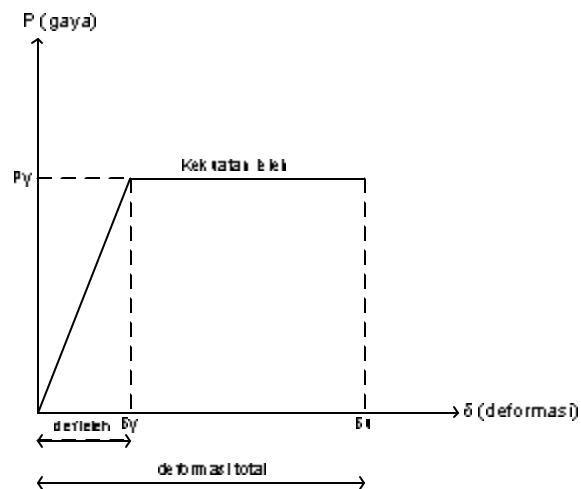
$A_v$  = luas tulangan geser

$f_y$  = tegangan leleh sengkang

$s$  = spasi sengkang

#### D. TINGKAT DAKTALITAS

Dasar dan definisi daktalitas adalah suatu hubungan gaya dengan deformasi seperti diuraikan pada gambar 2.

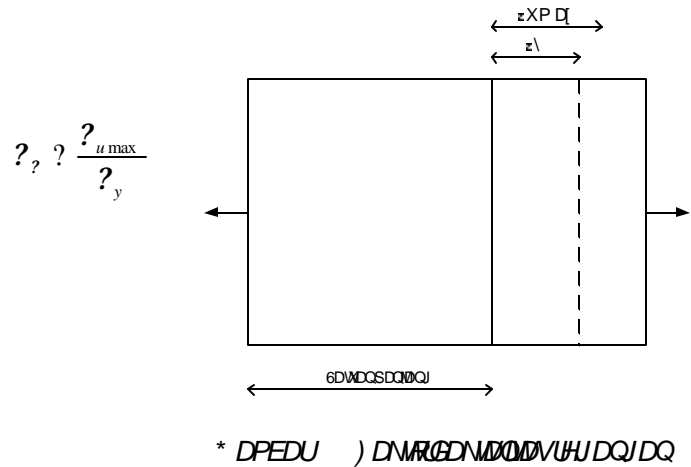


Gambar 2. Kurva hubungan  $P$  vs  $\delta$

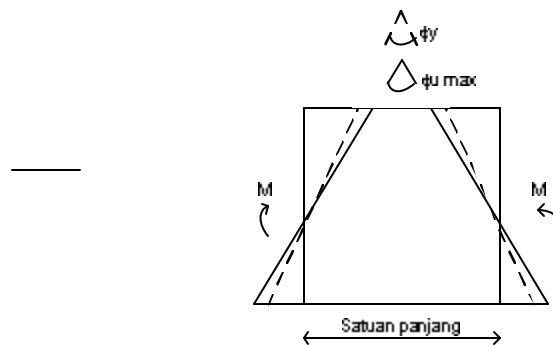
Nilai daktalitas didefinisikan sebagai perbandingan antara deformasi total dengan deformasi leleh.

Pada umumnya kurva  $P$  vs  $\delta$  adalah berupa lengkungan, sehingga perlu diadakan idealisasi agar dapat diaplikasikan. Beberapa parameter daktalitas yang penting diketahui adalah :

- a. Faktor daktalitas regangan (strain ductility) adalah perbandingan antara regangan maksimum dan regangan leleh pada balok yang dibebani aksial tarik/tekan seperti yang diuraikan pada gambar 3.

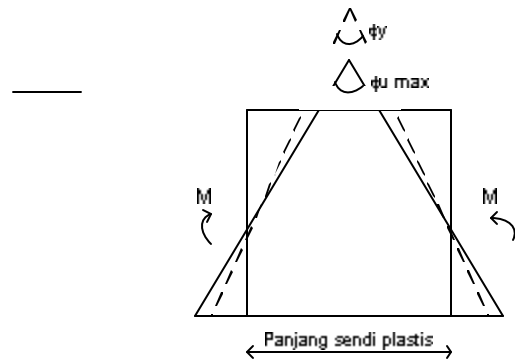


- b. Faktor daktilitas kelengkungan (curvature ductility) didefinisikan sebagai perbandingan sudut kelengkungan (angle of curvature) maksimum dengan sudut kelengkungan leleh seperti yang diuraikan pada gambar 4.



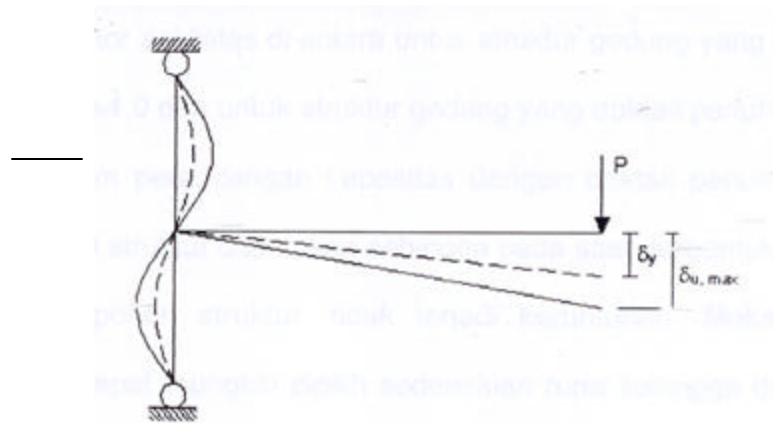
Gambar 4. Faktor daktilitas kelengkungan

- c. Faktor daktilitas rotasional (rotational ductility) didefinisikan sebagai perbandingan putaran sudut maksimum pada sendi plastis terhadap putaran sudut leleh seperti yang diuraikan pada gambar 5.



Gambar 5. Faktor daktilitas rotational

- d. Faktor daktilitas perpindahan (displacement ductility) adalah perbandingan perpindahan (deformation) struktur (umumnya pada arah lateral) maksimum dalam kondisi 'post-elastic' terhadap deformasi struktur pada saat leleh seperti yang diuraikan pada gambar 6.



Gambar 6. Faktor daktilitas perpindahan

Daktilitas menurut SNI 1726-2002 merupakan kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak balik akibat beban gempa yang

menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada di ambang keruntuhan.

Daktalitas suatu struktur menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002” terdiri atas 2 taraf kinerja struktur yaitu :

1. Daktalitas penuh, yaitu suatu tingkat daktalitas struktur gedung, dimana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar, yaitu mencapai nilai faktor daktalitas 5,3.
2. Daktalitas parsial, yaitu suatu tingkat daktalitas struktur gedung, dimana faktor daktalitas di antara untuk struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,0 dan untuk daktalitas penuh sebesar 5,3.

#### **E. PENELITIAN TERDAHULU TENTANG KOLOM DAN DAKTALITAS**

Penelitian Mander, Priestley & Park (1998) menghasilkan kurva tegangan-regangan beton pada kolom terkekang dan tidak terkekang, hasilnya menunjukkan perbedaan daktalitas antara beton terkekang dan tidak terkekang.

Daktalitas dinyatakan dengan indeks kurvatur ( $\phi_r$ ) dan indeks lendutan ( $\delta_r$ ). Pada balok beton terkekang telah dilakukan penelitian tentang lentur oleh Ziara dkk (1995) yang menghasilkan hubungan beban-lendutan yang menunjukkan meningkatnya daktalitas secara

kualitatif yang dinyatakan dengan meningkatnya nilai lendutan selama pembebanan.

Pada beton mutu tinggi, penelitian telah dilakukan pada kolom terkekang beton mutu tinggi oleh Cusson dkk (1995). Dalam penelitian ini, kolom terkekang beton mutu tinggi menunjukkan kurva tegangan regangan dengan puncak datar dengan respon pasca puncak yang sangat daktail.

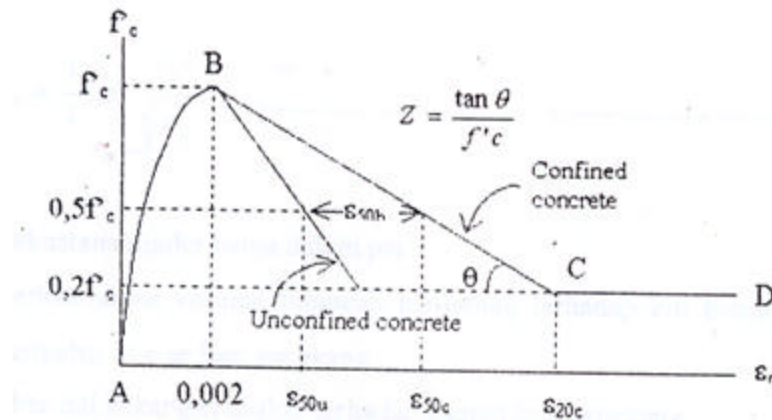
Menurut Park & Paulay (1975) pengekangan yang baik tergantung dari parameter  $Z$ , di mana penelitian Park & Paulay menghasilkan  $Z = 5$  s/d 157, semakin kecil nilai  $Z$  akan semakin baik pengekangannya. Penelitian Park & Paulay baru berdasarkan pada kolom berpenampang penuh, sedang nilai  $Z$  untuk penampang berlubang belum dibahas.

Penelitian Kent & Park (1971) menghasilkan kurva tegangan-regangan beton yang menunjukkan bahwa kolom terkekang mempunyai daktalitas yang lebih baik dari kolom tidak terkekang.

## **F. DIAGRAM TEGANGAN – REGANGAN BETON**

### **a. Diagram Tegangan-Regangan menurut Kent-Park**

Berdasarkan hasil penelitian Kent dan Park (1971) mengusulkan kurva tegangan-regangan seperti dalam *gambar 7* untuk beton tak dikekang dan beton terkekang dengan sengkang segiempat.



Gambar 7. Kurva tegangan-regangan beton yang dikekang dengan sengkang segiempat oleh Kent & Park.

Pada kurva tersebut dapat dilihat karakteristiknya sebagai berikut :

➤ Pada daerah AB :  $\epsilon_c = 0,002$

$$f_c = f'_c \left[ \frac{2\epsilon_c}{0,002} - \frac{\epsilon_c^2}{0,002^2} \right] \dots\dots\dots (10)$$

Bagian kurva yang naik diwakili oleh parabola tingkat dua dan diasumsikan bahwa tulangan pengekang tidak mempunyai efek pada bentuk kurva bagian ini atau regangan pada tegangan maksimum. Hal tersebut juga diasumsikan bahwa tegangan maksimum ditingkatkan oleh beton yang dikekang. Asumsi tegangan maksimum  $f'_c$  akan menjadi konservatif pada kasus paling besar.

➤ Daerah BC :  $0,002 = \epsilon_c = \epsilon_{20c}$

$$f_c = f'_c [1 - Z (\epsilon_c - 0,002)] \dots\dots\dots (8)$$



dimana :

$$Z = \frac{0,5}{\rho_{50u} \rho_{50h} \sqrt{0,002}} \dots\dots\dots (11)$$

$$\rho_{50u} = \frac{3 \sqrt{0,002} \cdot f'c}{f'c \sqrt{1000}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\rho_{50h} = \frac{3}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{b''}{s_h}} \dots\dots\dots (13)$$

dimana :

$f'c$  = Kekuatan silinder beton dalam psi

$\rho_s$  = Perbandingan volume tulangan melintang terhadap inti beton yang diukur terhadap bagian luar sengkang.

$b''$  = Lebar inti kekangan diukur terhadap bagian luar sengkang

$s_h$  = Jarak sengkang

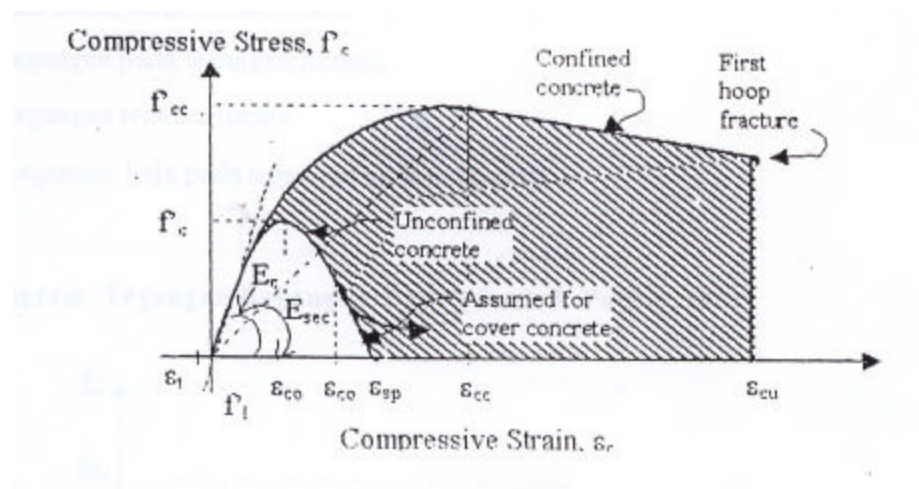
Daerah CD :  $\rho_c = \rho_{20c}$

$$\rho_c = 0,2 \cdot \rho_c$$

Dari kurva tegangan regangan tersebut di atas, dapat ditentukan nilai Z, menurut Park & Paulay (1975) nilai Z amat menentukan dalam pengaturan kekangan (sengkang) tersebut di atas. Dengan diketahuinya nilai Z dapat dicari nilai  $s_h$  (jarak sengkang). Demikian pula jika diketahui jarak sengkang dapat ditentukan nilai Z yang rendah. Hal ini dapat ditentukan dengan memperbesar nilai  $\rho_s$ . Semakin besar  $\rho_s$  nilai semakin baik confinementnya sehingga nilai Z akan semakin rendah, semakin rendah nilai Z akan semakin baik daktilitasnya maka akan meningkatkan momen kapasitasnya.

**b. Diagram Tegangan-Regangan Beton menurut Mander, Priestley & Park.**

Mander, Priestley & Park (1988) memberikan gambaran hubungan tegangan-regangan tekan pada beton, kekuatan tekan dan regangan beton akan meningkat akibat adanya pengekangan, seperti dalam gambar 8 berikut ini :



Gambar 8. Model tegangan-regangan untuk pembebanan monotonic beton terkekang dan tak terkekang dalam tekan.

Pada penelitian Mander, Priestley & Park mengusulkan :

Untuk penampang segiempat :

$$f'_{1x} = K_e \cdot f_{yh} \quad \dots \quad (14)$$

$$f'_{1y} = K_e \cdot f_{yh} \quad \dots \quad (15)$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_{c}} \cdot \left[ 1,254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 \cdot f'_{1x}}{f'_{c}}} \right] \cdot \frac{2f'_{1x}}{f'_{c}} \quad \dots \quad (16)$$

$$\epsilon_{cc} = 0,002 \cdot \left[ 1 + 53 \frac{f'_{cc}}{f'_{c}} \right] \cdot \frac{f'_{cc}}{f'_{c}} \quad \dots \quad (17)$$

$$\epsilon_{cu} \leq 0,004 + 1,4 \cdot \epsilon_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\epsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots (18)$$

dimana :

$f'_{1x}$  &  $f'_{1y}$  = Tegangan kekang efektif

$\epsilon_s$  &  $\epsilon_x$  &  $\epsilon_y$

$\epsilon_x$  &  $\epsilon_y$  = Rasio luas penampang efektif sengkang terhadap inti beton terkekang arah x,y

$\epsilon_s$  = Volumemetric ratio baja terkekang

$K_s$  = Koefisien efektifitas pengekangan, untuk penampang kolom segiempat,  $K_e = 0,75$ .

$f_{yh}$  = Kuat leleh tulangan sengkang.

$f_{cc}$  = Kuat tekan penampang segiempat terkekang.

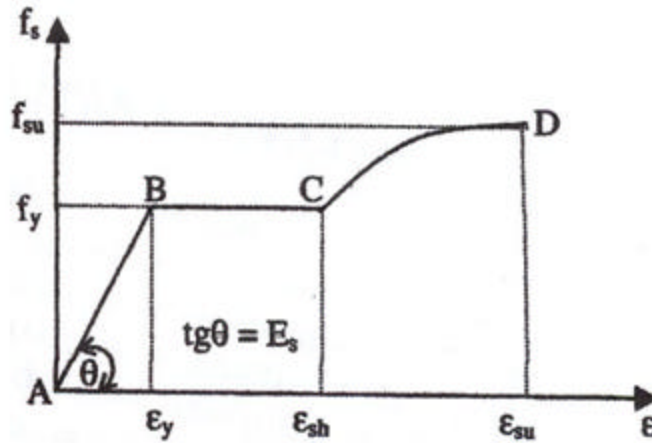
$f_c$  = Kuat tekan karakteristik beton.

$\epsilon_{cc}$  = Regangan pada tegangan puncak.

$\epsilon_{sm}$  = Regangan baja pada tegangan tarik maksimum

$\epsilon_{cu}$  = Regangan tekan ultimate.

c. Diagram Tegangan-Regangan Baja (Park & Paulay, 1974)



Gambar 9. Kurva hubungan tegangan regangan Baja

Daerah AB :  $\epsilon_s = \epsilon_y$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (19)$$

Daerah BC :  $f_s = f_y = \epsilon_s = \epsilon_{sh}$

$$f_s = f_y \dots\dots\dots (20)$$

Daerah CD :  $\epsilon_{sh} = \epsilon_s = \epsilon_{su}$

$$f_s = f_y + \frac{m}{60} \left( \frac{\epsilon_{sh}}{\epsilon_y} - 1 \right)^2 + \frac{f_{su} - f_y}{230r + 1} \left( \frac{\epsilon_{su}}{\epsilon_y} - 1 \right) \dots\dots\dots (21)$$

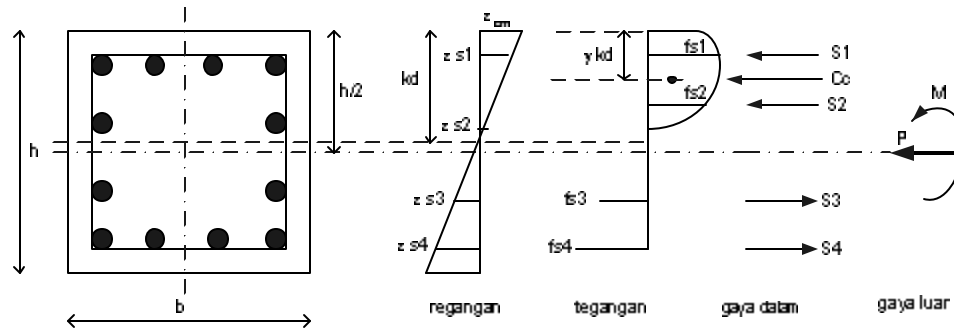
dimana :

$$m = \frac{f_{su} / (30r + 1) - 60r + 1}{f_y} \dots\dots\dots (22)$$

$$r = \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}}{\epsilon_y} \dots\dots\dots (23)$$

### G. ANALISA KOLOM SEGIEMPAT

#### a. Kolom segiempat tidak berlubang



Gambar 10. Analisa kolom tanpa lubang

$$C_c = f'_c \cdot b \cdot kd \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$P = f'_c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=1}^n f_{si} \cdot A_{si} \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$M = f'_c \cdot b \cdot kd \cdot \frac{h}{2} + \sum_{i=1}^n f_{si} \cdot A_{si} \cdot d_i \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\rho = \frac{A_{sc}}{b \cdot d} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\rho = \frac{f_c \cdot d \cdot \rho_c}{f'_c \cdot d} \quad \dots\dots\dots (28)$$

Untuk  $\rho_{min} = 0,002$

$$\rho = \frac{\rho_{min}}{0,002} \geq \frac{\rho_{min}}{0,006} \quad \dots\dots\dots (29)$$

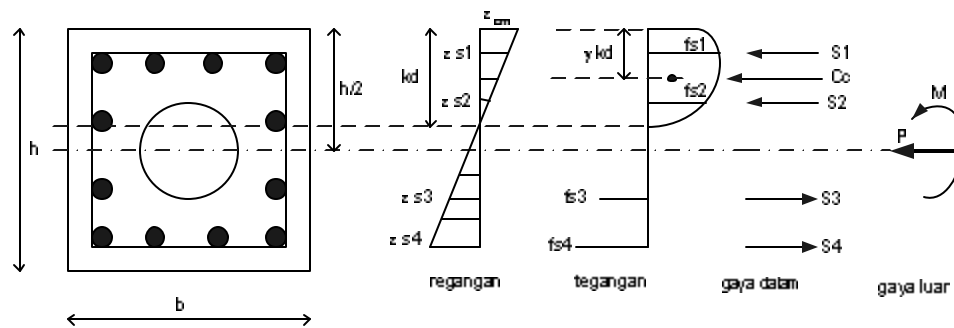
Untuk  $0,002 = \rho_c = \rho_{20c}$

$$? \frac{0,004}{3} \frac{?}{cm} \frac{0,002}{?} \frac{?}{cm} \frac{z}{2} \frac{?}{cm} \frac{?}{?} \dots (30)$$

$$? \frac{?_{cm} \cdot f_c \cdot d_c}{?_{cm}} \dots (31)$$

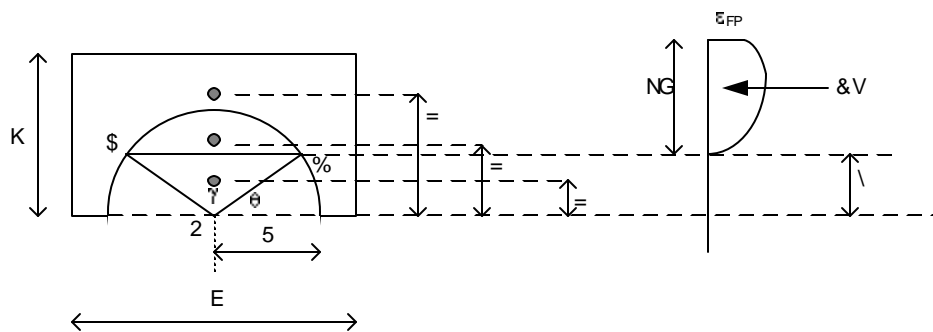
$$?_{cm} \cdot f_c \cdot d_c$$

**b. Kolom segiempat berlubang**



Gambar 11. Analisa kolom berlubang

Perhitungan luas efektif daerah tekan :



\* DP EDU \$ QDCLVDCXDV/H/HMI GDHUDK WNDQ

Lihat gambar 12.

$$\sin \theta = \frac{y_1}{R} \quad \theta = \arcsin \frac{y_1}{R}$$

$$\theta = 180 - 2\theta$$

Luas lubang yang dibatasi titik O dan busur AB :

$$L_1 = \frac{\theta}{360} \cdot R^2 \quad \dots\dots\dots (32)$$

Luas lubang yang dibatasi titik O dan tali busur AB :

$$L_2 = R \cdot y_1 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots\dots\dots (33)$$

Luas lubang yang dibatasi busur AB dan tali busur AB :

$$LL = L_1 - L_2$$

$$LL = \frac{\theta}{360} \cdot R^2 - R \cdot y_1 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots\dots\dots (34)$$

Luas penampang tertekan tanpa lubang :

$$LP = kd \cdot b$$

Luas penampang efektif tertekan :

$$LE = LP - LL$$

$$LE = kd \cdot b - \left[ \frac{\theta}{360} \cdot R^2 - R \cdot y_1 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \right] \quad \dots\dots\dots (35)$$

Titik berat luas L1 terhadap titik O :

$$Z_1 = \frac{\text{panjang tali busur AB}}{\text{panjang busur AB}} \cdot \frac{2}{3} R$$

$$Z1 = \frac{2.R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\pi}{360} \cdot 2.R} \cdot \frac{240.R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{R} \dots (36)$$

Titik berat luas L2 terhadap titik O :

$$Z2 = \frac{2}{3} \cdot R \dots (37)$$

Titik berat luas penampang tertekan tanpa lubang terhadap titik O :

$$ZP = \frac{1}{2} \cdot h \cdot kd \dots (38)$$

Titik berat lubang dengan luas LL terhadap titik O :

$$ZT = \frac{L1 \cdot Z1 + L2 \cdot Z2}{LL}$$

Titik berat luas penampang efektif terhadap titik O :

$$Z3 = \frac{LP \cdot ZP + LL \cdot ZT}{LE} \dots (39)$$

Lihat gambar :

Gaya aksial kolom :

$$P = Cc \sum_{i=1}^n fsi \cdot Asi \dots (40)$$

Momen kolom :

$$M = Cc \cdot Z_3 \sum_{i=1}^n fsi \cdot Asi \cdot \frac{h}{2} \cdot di \dots (41)$$



## H. KEKUATAN KOLOM

Peraturan SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.5 menyebutkan bahwa kuat beban aksial maksimum untuk rasio luas tulangan  $0,01 \leq \rho_s (A_{st}/A_g) < 0,08$  adalah :

a. Kolom dengan tulangan spiral :

$$\phi P_{n(maks)} = 0,85 \phi (0,85 f'_c A_g + A_{st} f_y) \dots \dots \dots (42)$$

b. Kolom dengan tulangan sengkang,

$$\phi P_{n(maks)} = 0,80 \phi (0,85 f'_c A_g + A_{st} f_y) \dots \dots \dots (43)$$

dimana :

$P_{n(maks)}$  = Kuat beban aksial nominal

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan

Kolom dengan tulangan spiral = 0,70

Kolom dengan tulangan sengkang = 0,65

$A_g$  = Luas penampang kotor melintang kolom

$A_{st}$  = Luas tulangan memanjang

$f'_c$  = Kuat tekan beton

$f_y$  = Kuat leleh tulangan