

## **KAJIAN KEKUATAN DAN DAKTILITAS KOLOM BERTULANG**

Sumirin<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*This paper present strength analysis and of ductility of normal concrete column and high quality concrete which confined by lateral reinforcement by comparing made by model's from Meander-Priestley, Kent-Park, Antonius-Munaf and also Legeron-Paultre.*

*Reinforced Concrete Column with variation of strength concrete and stirrup analysed to use computer program which is its result can be presented visual graphic. Result of analysis indicate that stiffness of concrete confined by among model of Mander-Priestley, Kent-Park, Antonius-Munaf and of Legeron-Paultre its result vary one another if strength concrete  $f_c'$  progressively mount. Curve before respon culminate at curve of Moment-Curvature tend differing one another improved of strength concrete  $f_c'$ . All of model happened degradation of Capacity of Moment at spacing stirrup decrease. In general ductility typically not far differ between model of Mander-Priestley, Kent-Park, Antonius-Munaf and of Legeron-Paultre. From is fourth of the model concluded that estimation of ductility and strength moment is tending to highest.*

**Keywords** : column, momen-curvature, konfinement model

### **PENDAHULUAN**

Konsep *strong column, weak beam* mensyaratkan bahwa setelah struktur mengalami gempa rencana, sendi plastis boleh terjadi pada balok dan tidak pada kolom. Hal ini dimaksudkan agar struktur masih tetap berdiri dan orang yang berada di atasnya masih memiliki waktu untuk menyelamatkan diri. Pada prakteknya, saat gempa rencana terjadi, daerah yang memikul momen maksimum pada kolom tetap mengalami sendi plastis. Kolom pada daerah dekat perletakan (memikul momen maksimum) akan mengalami penurunan kekuatan yang getas akibat lepasnya selimut beton serta penurunan tegangan beton setelah puncak secara tiba-tiba.

Untuk mempertahankan kekuatan kolom setelah lepasnya selimut beton, daerah inti beton harus mengalami peningkatan kekuatan. Dari beberapa penelitian terdahulu (Antonius dkk.,2001)

menunjukkan bahwa pemberian kekangan lateral pada beton terbukti meningkatkan kekuatan dan daktilitasnya. Oleh karena itu untuk mempertahankan kekuatan dan daktilitas pada daerah momen maksimum kolom, beton pada daerah ini harus memperoleh kekangan lateral yang cukup.

Sejauh ini telah dikembangkan beberapa model analitis kekangan oleh para peneliti dari beberapa hasil percobaan dalam skala terbatas. Model-model tersebut dilaporkan mampu memprediksi peningkatan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dengan cukup baik. Beberapa diantara model analitis kekangan tersebut adalah: Model Mander, Priestley dan Park (1988), Model Kent dan Park yang dimodifikasi (1982), Model Antonius, Munaf dan R Suhud (2001) dan Model Frederic Legeron dan Patrick Paultre (2003).

Untuk membandingkan akurasi diantara model-model yang ada dapat dilakukan

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program S3 Teknik Sipil UNDIP,  
Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

kajian menggunakan program komputer. Hasil kajian itu dapat melihat seberapa besar perbedaan yang ada baik kekuatan maupun daktililitasnya.

**TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauhmana perbedaan model analitis yang ada terhadap kekuatan dan daktililitas penampang. Keempat model analitis kekangan yang ditinjau adalah : Model: Mander, Priestley dan Park (1988), Model Kent dan Park yang dimodifikasi (1982), Model Antonius, Munaf dan R Suhud (2001) dan Model Frederic Legeron dan Patrick Paultre (2003). Selain itu juga dimaksudkan program komputer yang dihasilkan menjadi alat yang mudah dan cepat untuk analisis kekuatan dan daktililitas.

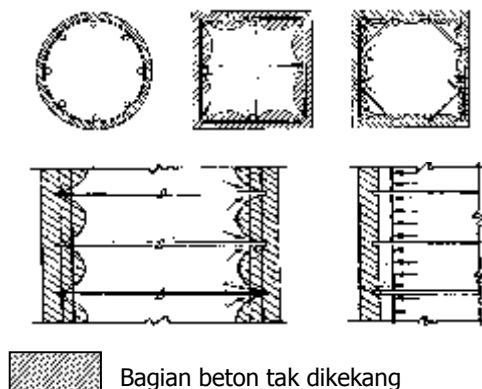
**MODEL ANALISIS**

Kolom beton bertulang mempunyai tulangan longitudinal, yang paralel dengan arah kerja beban. Menurut Park dan Paulay (1975) penampang yang diberi tulangan melintang atau transversal, dalam bentuk sengkang ataupun spiral, akan meningkatkan kekuatan dan daktililitas betonnya. Daktililitas

adalah kemampuan elemen struktur untuk berdeformasi setelah mencapai kekuatan puncak tanpa terjadinya penurunan kekuatan yang terlalu besar. Level daktililitas tertentu diperlukan sebagai faktor keamanan agar tidak terjadi keruntuhan struktur yang tiba-tiba.

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton terkekang adalah mutu beton, rasio tulangan longitudinal terhadap inti beton, rasio tulangan lateral terhadap inti beton, kekuatan leleh dan tulangan lateral, spasi tulangan lateral, dan distribusi tulangan longitudinal pada penampang beton serta konfigurasi tulangan lateral yang dihasilkannya.

Daerah efektif terkekang adalah daerah pada inti beton yang mengalami tegangan triaksial. Apabila luas efektif terkekang ini semakin besar, peningkatan kekuatan dan daktililitas penampang akan lebih besar. Luas daerah yang efektif terkekang ini lebih kecil dari luas inti beton. Luas daerah terkekang ini dipengaruhi oleh spasi tulangan lateral, distribusi tulangan longitudinal dan konfigurasi tulangan lateral yang dihasilkannya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang kolom beton bertulang dan area efektif terkekang penampang beton

Model-model analisis kekangan pada beton bertulang dikembangkan dengan tujuan agar perilaku hubungan tegangan-regangan dapat merepresentasikan keadaan keruntuhan yang terjadi. Ada 4 model yang terpilih, yaitu : Model Mander, Priestley dan Park (1988), Model Kent dan Park yang dimodifikasi (1982), Model Antonius, Munaf dan R Suhud (2001) dan Model Frederic Legeron dan Patrick Paultre (2003).

**Model : Mander, Priestley dan Park (1988)**

Persamaan tegangan-regangan beton terkekang menurut **Mander, Priestley dan Park** (1988) dapat diringkaskan sebagai berikut :

$$f_c = \frac{f_{cc}' x r}{r - 1 + x^r} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$$f_{cc}' = \text{tegangan puncak}; x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}}$$

$\epsilon_c$  = regangan beton terkekang

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f_{cc}'}{f_{co}'} - 1 \right) \right];$$

$\epsilon_{cc}$  = regangan puncak beton terkekang

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}; E_c = 5000 \sqrt{f_{co}'} \text{ MPa};$$

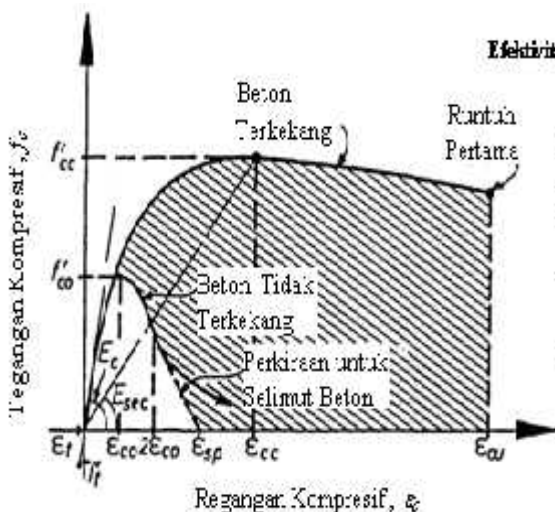
$$E_{sec} = \frac{f_{cc}'}{\epsilon_{cc}}$$

$E_c$  = tangen modulus elastisitas beton (dalam MPa)

**- Efektifitas Kekangan**

Tegangan lateral efektif terkekang menurut Mander :

$$f_l' = f_l k_e \dots\dots\dots (2)$$



**Efektifitas kekangan untuk hoop bulat dan spiral berturut-turut :**

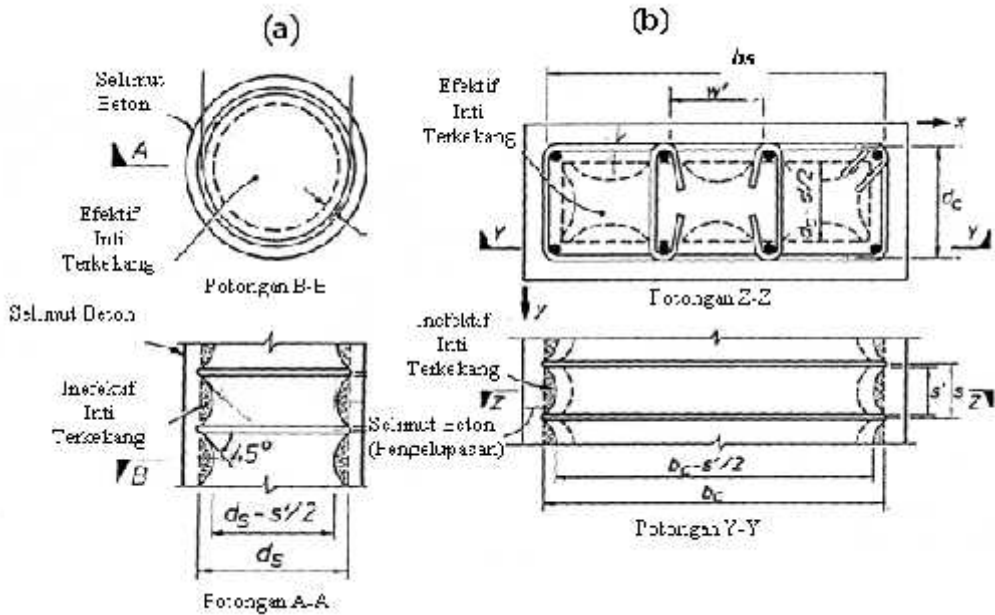
$$k = \frac{\left(1 - \frac{s'}{2d}\right)}{(-\rho)}; k = \frac{1 - \frac{s}{2d}}{1 - \rho}$$

dimana:  
 $s'$  = jarak bersih antar tulangan lateral;  $d$  = Laba beton ini

**Efektifitas kekangan untuk kolom persegi :**

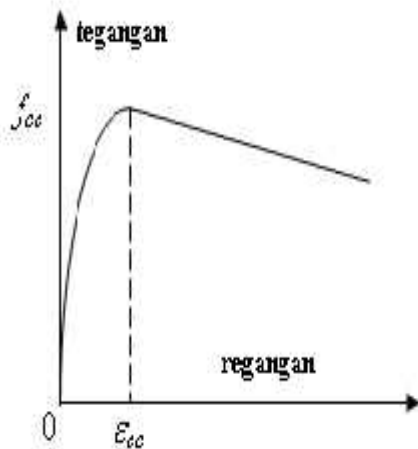
$$k = \frac{\left(\epsilon_c d - \sum \frac{v_i'}{b}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d}\right)}{(-\rho)}$$

Gambar 2. Model tegangan-regangan beton tidak terkekang dan terkekang **Mander, Priestley dan Park** (1988)



Gambar 3. Efektifitas Inti Terkekang untuk (a) Penguatan Hoop bulat; (b) Penguatan Hoop Segi-Empat

**Model : Kent dan Park (1982)**



Pada regangan tinggi nilai \$K\$ dan \$Z\$ diarahkan menjadi :

$$K = 1.25 \left[ 1 + \frac{0.5 f_c'}{f} \right]; \text{ Dan } Z = \frac{0.02 \epsilon_c'}{\frac{3 + 0.29 f_c'^{0.15}}{145 f_c' - 1000} + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{f_c'}{3}} - 0.002 K}$$

$$\text{Tegangan maksimum kompresif beton: } \epsilon_{cc} = 0.004 + 0.9 \zeta \left[ \frac{f_c'}{300} \right]$$

dimana \$f\_c'\$ = kekuatan tegangan leleh dalam Mpa

Gambar 4. Kurva tegangan-regangan model : Kent dan Park (1982)

Pada batas regangan rendah persamaan tegangan-regangan adalah sebagai berikut :

Untuk  $\varepsilon_c \leq 0.002K$  :

$$f_c = Kf_c' \left[ \frac{2\varepsilon_c}{0.002K} - \left( \frac{\varepsilon_c}{0.002K} \right)^2 \right] \dots (3)$$

Untuk  $\varepsilon_c > 0.002K$  :

$$f_c = Kf_c' [1 - Z_m(\varepsilon_c - 0.002K)] \dots (4)$$

Tetapi tidak kurang dari  $0.2 Kf_c'$

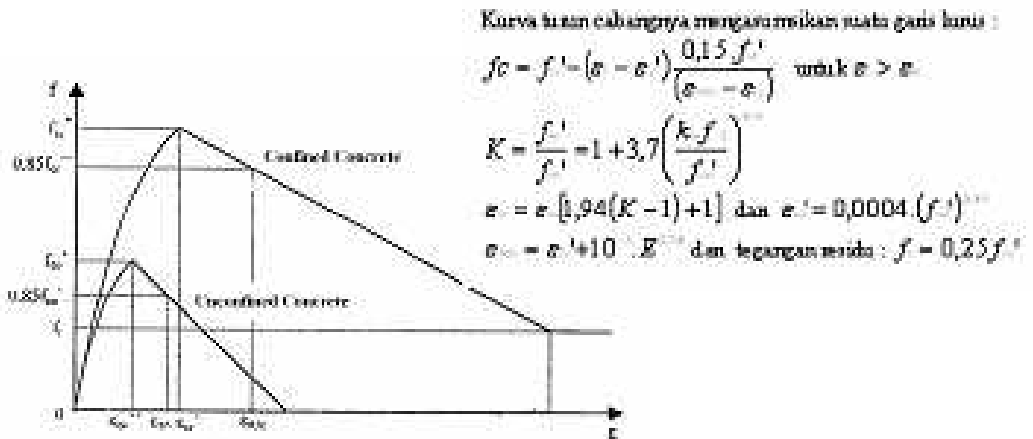
Dimana  $K = 1 + \frac{Q_s \cdot f_{yh}}{f_c'}$  ; dan

$$Z_m = \frac{0.5}{\frac{3 + 0.29f_c'}{145f_c' - 1000} + \frac{3}{4} Q_s \sqrt{\frac{h''}{s_b} - 0.002K}}$$

- $\varepsilon_c$  = regangan longitudinal beton,
- $f_c$  = tegangan longitudinal beton (Mpa),
- $f_c'$  = kekuatan kompresif silinder beton (Mpa),
- $f_{yh}$  = tegangan leleh tulangan hoops (MPa),
- $Q_s$  = rasio volume penguatan hoops pada volume inti beton diukur pada hoops luar,
- $h''$  = lebar beton diukur pada sekeliling hoops (mm) dan
- $s_b$  = jarak dari tengah ke tengah hoops (mm).

**Model : Antonius, Munaf dan R Suhud (2001)**

Beton tak terkekang pada model ini diangkat dari model **Thorenfeldt (1987)** dan **Popovics (1973)**, dengan modifikasi prediksi regangan pada tegangan puncak.



Gambar 5. Kurva tegangan-regangan yang diusulkan oleh Antonius, Munaf dan R Suhud (2001)

Persamaan tegangan-regangan adalah :

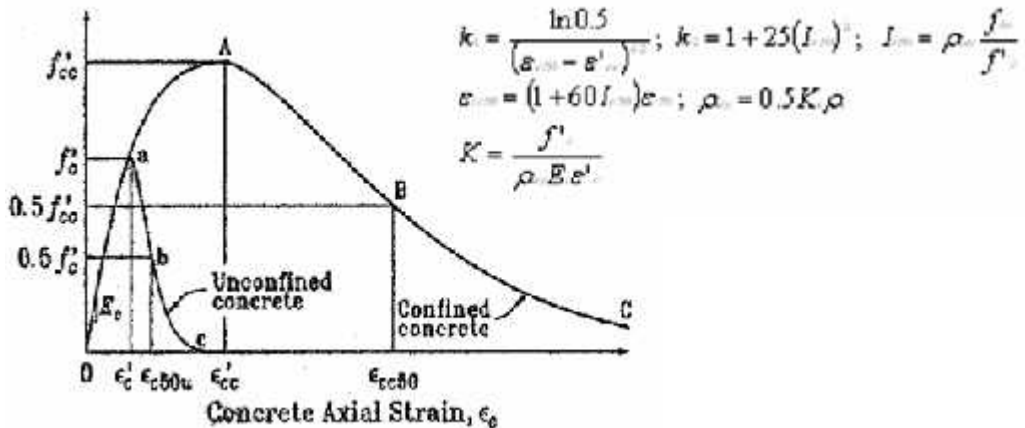
$$f_c = \frac{f_c \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}'} \right)^r}{r - 1 + \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}'} \right)^r} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :  $r = \frac{E_c}{E_c - \left( \frac{f_{cc}'}{\epsilon_{cc}'} \right)}$

**Model : Frederic Legeron dan Patrick Paultre (2003)**

untuk  $\epsilon_c \leq \epsilon_{cc}'$

**Cusson dan Paultre (1995)** mengusulkan sebuah model hubungan terbatas untuk kolom persegi beton bertulang mutu tinggi.



Gambar 6. Kurva tegangan-regangan beton terkekang yang diusulkan oleh Cusson dan Paultre (1995)

Hubungan tegangan regangan, menggunakan persamaan **Popovics (1973)**, yaitu:

$$f_{cc} = f'_{cc} \left[ \frac{k \left( \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon'_{cc}} \right)}{k - 1 + \left( \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon'_{cc}} \right)^k} \right] \dots\dots\dots (6)$$

$\epsilon_{cc} \leq \epsilon'_{cc}$

$$k = \frac{E_{ct}}{E_{ct} - \left( \frac{f'_{cc}}{\epsilon'_{cc}} \right)}$$

Sedangkan kurva setelah respon puncak menggunakan persamaan usulan **Fafitis dan Shah (1985)**, yaitu :

$$f_c = f'_{cc} \exp \left[ k_1 (\epsilon_{cc} - \epsilon'_{cc})^{k_2} \right] \dots\dots\dots (7)$$

untuk  $\epsilon_{cc} \geq \epsilon'_{cc}$

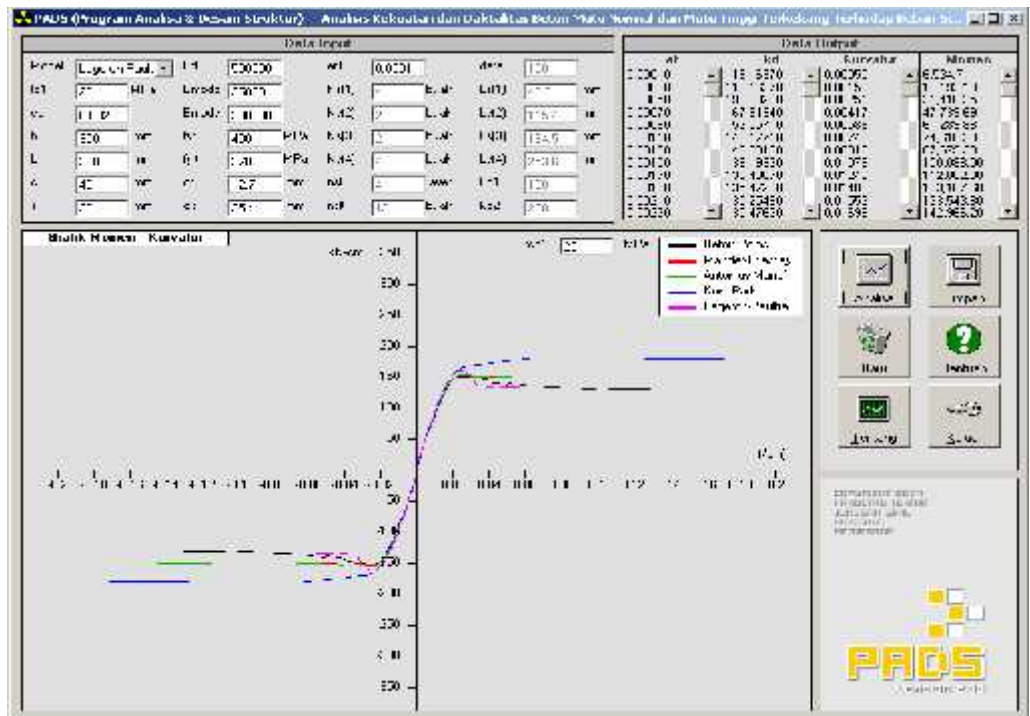
dimana  $k_1$  dan  $k_2$  = dua parameter yang mengontrol bentuk kurva tegangan regangan. Berdasar pada data dari **Cusson dan Paultre (1994)**.

**PROSEDUR ANALISIS**

Secara ringkas prosedur analisis penampang adalah sebagai berikut :

- 1) Menghitung tegangan dan regangan sesuai model yang dipakai.
- 2) Menentukan nilai awal regangan penampang di serat paling atas ( $\epsilon_t$ ) lalu mengestimasi besarnya garis netral penampang ( $k_d$ ).
- 3) Membagi diagram regangan beton menjadi beberapa bagian dengan lebar ( $h$ ) yang sama. Penentuan besarnya tegangan beton pada penampang yang tertekan, dilakukan dengan menghitung langsung dari diagram tegangan beton pada penampang tersebut.
- 4) Menentukan regangan beton di tiap-tiap segmen dan regangan tulangan longitudinal dari perbandingan segitiga pada diagram regangan.
- 5) Menentukan tegangan beton di tiap-tiap segmen.
- 6) Menentukan tegangan tulangan longitudinal di tiap-tiap lapisan
- 7) Mencari tegangan beton yang terhitung pada lubang yang ditempati tulangan ( $f_{csr}$ ).
- 8) Menentukan luas masing-masing bagian beton dan titik berat masing-masing bagian.
- 9) Gaya dalam penampang diusahakan agar sama dengan gaya luar. Apabila tidak sama, proses iterasi dilakukan dengan mengestimasi harga garis netral penampang ( $k_d$ ) dengan menggunakan metode secan.
- 10) Menentukan momen penampang dan kurvatur.

Analisis dilakukan dengan menggunakan program komputer dengan bahasa pemrograman Visual Basic 6.0 dengan tampilan seperti pada Gambar 7.



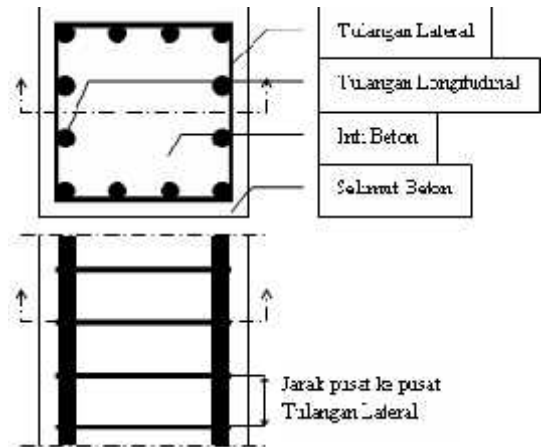
Gambar 7. Tampilan input dan output program analisis hubungan Momen-Kurvatur

**HASIL ANALISIS**

**Data Kolom**

Kolom yang dievaluasi adalah :

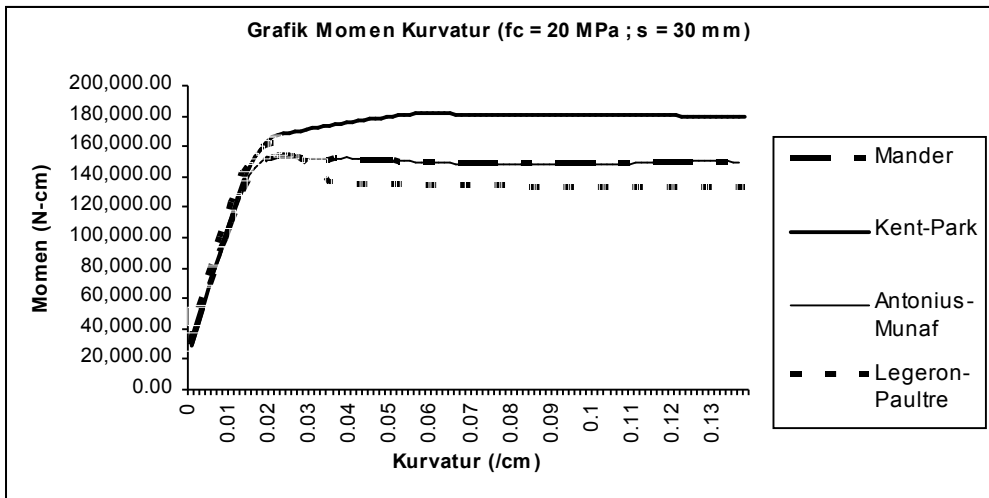
- Lebar Kolom ( $b$ ) = 300 mm; Panjang Kolom ( $L$ ) = 300 mm; Selimut Beton ( $c$ ) = 40 mm; Spasi Tulangan Lateral = 30 mm; 60mm;  $\varnothing$  Tulangan Lateral = 12,7mm;  $\varnothing$  Tulangan Longitudinal = 25,4mm; Jumlah Tulangan Longitudinal = 12 buah; Tegangan Beton Tak Terkekang ( $f'_c$ ) = 20 s/d 70MPa; Tegangan Leleh Tul.Lateral ( $f_y$ ) = 400 MPa; Tegangan Leleh Tul.Longitudinal ( $f_{yt}$ ) = 370 MPa; Modulus Elastisitas Beton ( $E_{modc}$ ) = 35.000 MPa; Modulus Elastisitas Baja ( $E_{mods}$ ) = 200.000 MPa.



Gambar 8 : Penampang kolom persegi yang dianalisis

**Hasil dan Pembahasan**

Perilaku Momen-Kurvatur penampang berbagai model dengan variasi mutu beton dan variasi spasi tulangan lateral telah diperoleh, sebagian disajikan pada Gambar 9 dan Tabel 1.



Gambar 9. Kurva Momen-Kurvatur :  $f'_c = 20$  MPa;  $s = 30$ mm

Tabel 1. Hasil analisis kolom 300mmx300mm,  $f_c'=20-70$  MPa;  $s=30-60$ cm

Kuat tekan beton $f_c'$ (Mpa.)	Spasi Tul.Lateral (mm)	Jenis Model	Daktilitas $\mu = (\phi_u/\phi_y)$	Momen Mu (kN.m)
20 Mpa	30 mm	Antonius, Munaf, Suhud	27,557	149,994
		Kent dan Park	32,576	179,743
70 Mpa	30 mm	Antonius, Munaf, Suhud	26,802	163,377
		Kent dan Park	31,053	192,907
20 Mpa	60 mm	Antonius, Munaf, Suhud	26,923	147,330
		Kent dan Park	32,326	178,151
70 Mpa	60 mm	Antonius, Munaf, Suhud	26,366	164,194
		Kent dan Park	30,746	190,390

Nilai daktilitas struktur  $\mu=(\phi_u / \phi_y)$  diperoleh  $\mu=27,5$  pada Model Antonius, Munaf dan R Suhud, dan  $\mu = 32,5$  pada Model Kent dan Park, terdapat perbedaan 15,4-16,7%. Kekuatan momen kolom diperoleh  $M_u=149,9$  kN.cm pada Model Antonius, Munaf dan R Suhud dan  $M_u = 179,7$  kN.cm pada Model Kent dan Park terdapat perbedaan 16,5-17,3%. Secara umum Model Kent dan Park cenderung lebih besar dari model lainnya (*over estimate*) baik kekuatan momen maupun daktilitas.

Pengaruh peningkatan mutu beton untuk seluruh model akan meningkatkan kekuatan momen sebesar, tetapi sebaliknya akan sedikit menurunkan daktilitas 2,8 – 4,9%. Perubahan jarak atau spasi tulangan lateral tidak terlalu banyak menurunkan daktilitas (1-4,9%).

Model Legeron-Paultre cenderung mempunyai kekakuan awal yang lebih tinggi dibandingkan model lainnya. Pada keempat kurva Momen - Kurvatur diatas juga terlihat bahwa estimasi Momen penampang berdasar Legeron - Paultre cenderung paling rendah, sedangkan estimasi Momen dan berdasar Mander - Priestley dan Antonius-

Munaf cenderung berhimpit atau hampir sama.

## KESIMPULAN

- 1) Perilaku lentur penampang kolom beton yang dinyatakan dalam kurva Momen-Kurvatur berdasarkan model Mander-Priestley, Kent-Park, Antonius-Munaf dan Legeron-Paultre dapat dikatakan mempunyai tipikal perilaku yang relatif sama. Walaupun demikian terdapat perbedaan estimasi daktilitas dan kekuatan momen pada Model Kent-Park dibanding model lainnya.
- 2) Kekakuan beton terkekang antara model *Mander-Priestley*, *Kent-Park*, *Antonius-Munaf* dan *Legeron-Paultre* cenderung bervariasi satu sama lain apabila kuat tekan beton ( $f_c'$ ) yang digunakan semakin meningkat.
- 3) Pengaruh spasi tulangan lateral  $s=30$ mm menjadi  $s=60$ mm pada dimensi penampang 300mmx300mm penurunan kekuatan momennya tidak signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Scott, B.D., Park, R., dan Priestley, M.J.N., "Stress – Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates ", Technical Paper Title No. 79-2, ACI Journal / Januari-Februari 1982.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., dan Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete" ASCE – Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, August, 1988.
- Kusuma, G., dan Adrianto, T. (1993), "Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa ", Erlangga.
- Adrianto, T., dan Sugiarna, G. (2000), "Pemodelan Geometri Zona Terkekang pada Penampang Kolom Beton Persegi", *Laporan Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, Bandung.
- Legeron, F., dan Paultre, P. "Uniaxial Confinement Model for Normal and High-Strength Concrete Columns", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 129, No.2, Februari 2003.
- Antonius, Munaf, Suhud, R., "Prediction of Strength and Ductility of Confined High-Strength Concrete", Proceeding of Our World Concretes Singapore, Agustus 2001.
- Dewobroto, W., "Aplikasi Sains dan Teknik dengan Visual Basic 6.0", PT. Elex Media Computindo, Jakarta, 2003.
- Roiy, H., Anwar, M. (2004) "Pengembangan Program Komputer untuk Model-Model Kekangan Beton Mutu Normal", *Laporan Tugas Akhir*, Jurusan Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.
- Gora, W., Prasetio, W. (2004). "Analisis Kekuatan dan Daktilitas Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi Terkekang", *Laporan Tugas Akhir*, Jurusan Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.