

ABSTRAK

Perilaku penampang kolom beton bertulang yang mengalami beban lentur dan aksial pada tulisan ini dianalisa dengan menggunakan metode perhitungan momen-kurvatur teoritis. Perhitungan momen-kurvatur teoritis ini akan memberikan hasil yang lebih teliti serta waktu pengerjaan yang sangat cepat apabila dikerjakan dengan menggunakan bantuan sebuah program komputer. Metode numerik untuk proses iterasi dan integrasi pada perhitungan ini menggunakan metode bisection dan metode trapesium. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban aksial pada kolom, daktilitas dari penampang kolom tersebut semakin berkurang.

I. PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam desain struktur beton bertulang terutama untuk balok dan kolom adalah nilai daktilitas dari struktur atau elemen struktur tersebut. Dengan memperhitungkan nilai daktilitas dalam desain, keruntuhan mendadak (getas) dari struktur akibat pembebanan yang berlebih atau mendadak seperti beban gempa dapat dihindari. Nilai daktilitas yang cukup pada struktur juga menyebabkan struktur dapat memikul beban maksimum dengan deformasi yang besar sehingga keruntuhan total dari struktur dapat diantisipasi dengan adanya tanda-tanda keruntuhan sehingga dapat menyelamatkan jiwa manusia.

Pembebanan yang terjadi pada elemen struktur beton bertulang dapat berupa beban aksial (tekan atau tarik), lentur (momen), geser dan torsi. Pada kolom biasanya terjadi kombinasi beban lentur dan aksial. Sampai sejauh mana pengaruh beban aksial terhadap nilai daktilitas suatu penampang kolom dibahas pada tulisan ini.

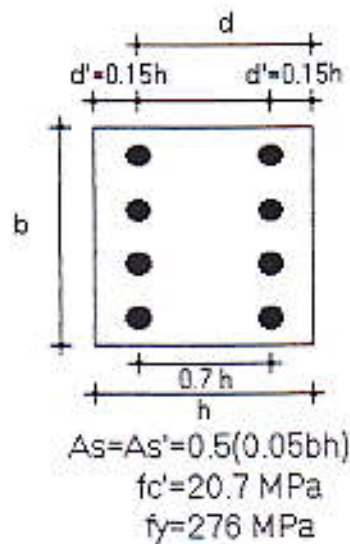
Metode numerik untuk proses iterasi dan integrasi pada tulisan ini digunakan pada perhitungan momen-kurvatur teoritis. Seiring dengan itu sebuah program komputer dengan basis bahasa pemrograman FORTRAN telah dikembangkan untuk menerapkan metode numerik tersebut.

Dengan adanya sebuah program komputer untuk menganalisa daktilitas penampang kolom beton bertulang akibat kombinasi pembebanan lentur dan aksial sangat membantu penelitian terhadap perilaku kolom pada struktur beton bertulang. Keterbatasan akan sarana laboratotium untuk melaksanakan uji eksperimental juga dapat diantisipasi dengan adanya simulasi analitik ini sehingga penelitian terhadap perilaku struktur beton bertulang tetap dapat dilakukan tanpa melakukan kajian eksperimental.

II. METODOLOGI

Pada penelitian ini sebuah program komputer (algoritma program terlampir) telah dibuat untuk mendapatkan kurva momen-kurvatur sebuah penampang kolom beton bertulang. Program kemudian digunakan untuk menganalisa perilaku penampang kolom beton bertulang tersebut akibat adanya pengaruh beban aksial.

Model penampang kolom beton bertulang tanpa sengkang yang dianalisa dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah. Nilai b dan h diambil sebesar 450 mm sedangkan nilai d adalah 382.5 mm. Beban aksial yang bekerja pada penampang divariasikan besarnya, yakni $P = 0$ kN, $P = 1000$ kN, $P = 1499$ kN, $P = 2000$ kN, dan $P = 3750$ kN.



Gambar 1. Model penampang kolom.

III. TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Pendahuluan

Daktalitas secara spesifik dapat didefinisikan sebagai:

- Suatu faktor yang mempengaruhi kapasitas rotasi dari daerah sendi plastis dan redistribusi momen dari struktur.
- Kapasitas penyerapan energi dari struktur akibat beban dinamis.

Beberapa pengalaman menunjukkan bahwa secara umum suatu elemen dari struktur dikatakan daktail apabila:

- Elemen tersebut hanya menahan beban transversal.
- Elemen tersebut ditulangi secukupnya untuk daerah tarik.

- Elemen tersebut ditulangi secara cukup atau lebih untuk daerah tekan dan geser.
- Elemen tersebut menggunakan tulangan dengan mutu sedang atau tinggi dan beton dengan mutu tinggi.

Dalam pengertian secara luas, daktilitas merupakan suatu kemampuan untuk menahan deformasi pada daerah elastis tanpa adanya perubahan yang berarti dalam kapasitasnya untuk menahan beban. Dalam definisi yang lebih tepat, daktilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor:

- Tingkatan analisa:
 - Daktilitas material.
 - Daktilitas penampang dan daktilitas struktur harus didefinisikan dalam fungsi regangan, kurvatur, rotasi dan lendutan.
- Jenis Tegangan:
 - Daktilitas akibat beban aksial, lentur, geser dan torsi harus didefinisikan dalam fungsi regangan longitudinal, kurvatur, regangan geser dan sudut putar dari torsi.
- Sifat analisa:
 - Daktilitas akan lebih baik dinyatakan dalam fungsi deformasi ultimit (ϵ_u, ϕ_u), perbedaan atau perbandingan antara deformasi ultimit dan deformasi elastis idealisasi ($\epsilon_u - \epsilon_y, \phi_u - \phi_y, \epsilon_u / \epsilon_y, \phi_u / \phi_y$), atau daerah dibawah diagram beban-deformasi sampai deformasi ultimit atau antara ultimit dan deformasi elastis idealisasi.
- Sifat pembebanan:
 - Statik.
 - Dinamik.

Pada penelitian ini daktilitas yang digunakan adalah daktilitas penampang dengan menggunakan hubungan momen-kurvatur dari penampang.

3.2 Metode Perhitungan Momen-Kurvatur Teoritis

Kurva momen-kurvatur teoritis dari penampang beton bertulang dengan kombinasi pembebanan lentur dan aksial dapat diturunkan berdasarkan asumsi berikut:

- Penampang datar sebelum deformasi tetap datar setelah deformasi.
- Kurva tegangan-regangan dari beton dan baja diketahui.

Gambar 2.a dan 2.b menunjukkan kurva tegangan-regangan dari baja dan beton tanpa sengkang, dimana f_y = tegangan leleh dari baja dan f_c' = nilai kuat tekan beton, untuk penampang dengan sengkang digunakan model tegangan-regangan yang diajukan oleh Kent dan Park [1]. Gambar 2.c memperlihatkan aksi pada penampang beton bertulang dengan beban lentur dan aksial.

Regangan pada baja tulangan yang terjadi pada suatu penampang beton bertulang, $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_{s3}, \dots$, untuk setiap nilai kd dan regangan pada serat tertekan ekstrim, ϵ_{cm} , dapat ditentukan dengan hubungan diagram segitiga sebangun. Sebagai contoh, nilai regangan untuk batang i dengan jarak d_i dapat dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cm} \frac{kd - d_i}{kd} \quad (1)$$

Nilai tegangan $f_{s1}, f_{s2}, f_{s3}, \dots$, yang bersesuaian dengan nilai regangan $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_{s3}, \dots$, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari kurva tegangan-regangan dari baja. Kemudian gaya pada baja tulangan S_1, S_2, S_3, \dots , dapat dihitung dari tegangan pada baja dan luas tulangan itu sendiri dengan persamaan berikut:

$$S_i = f_{si} A_{si} \quad (2)$$

Gaya dari beton pada blok tertekan, C_c , untuk setiap nilai regangan ϵ_{cm} dan posisi dari gaya tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan parameter α dan γ , dan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_c = \alpha f_c' bkd \quad (3)$$

dimana gaya tersebut bekerja dengan jarak γkd dari serat tertekan ekstrim, dan nilai dari faktor tegangan rata-rata α dan faktor titik berat γ untuk penampang beton bertulang persegi panjang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4) dan (5). Proses integrasi dilakukan dengan metode trapesium.

$$\alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c}{f_c \epsilon_{cm}} \quad (4)$$

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c f_c d\epsilon_c}{\epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c} \quad (5)$$

Persamaan kesetimbangan akibat gaya-gaya pada penampang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

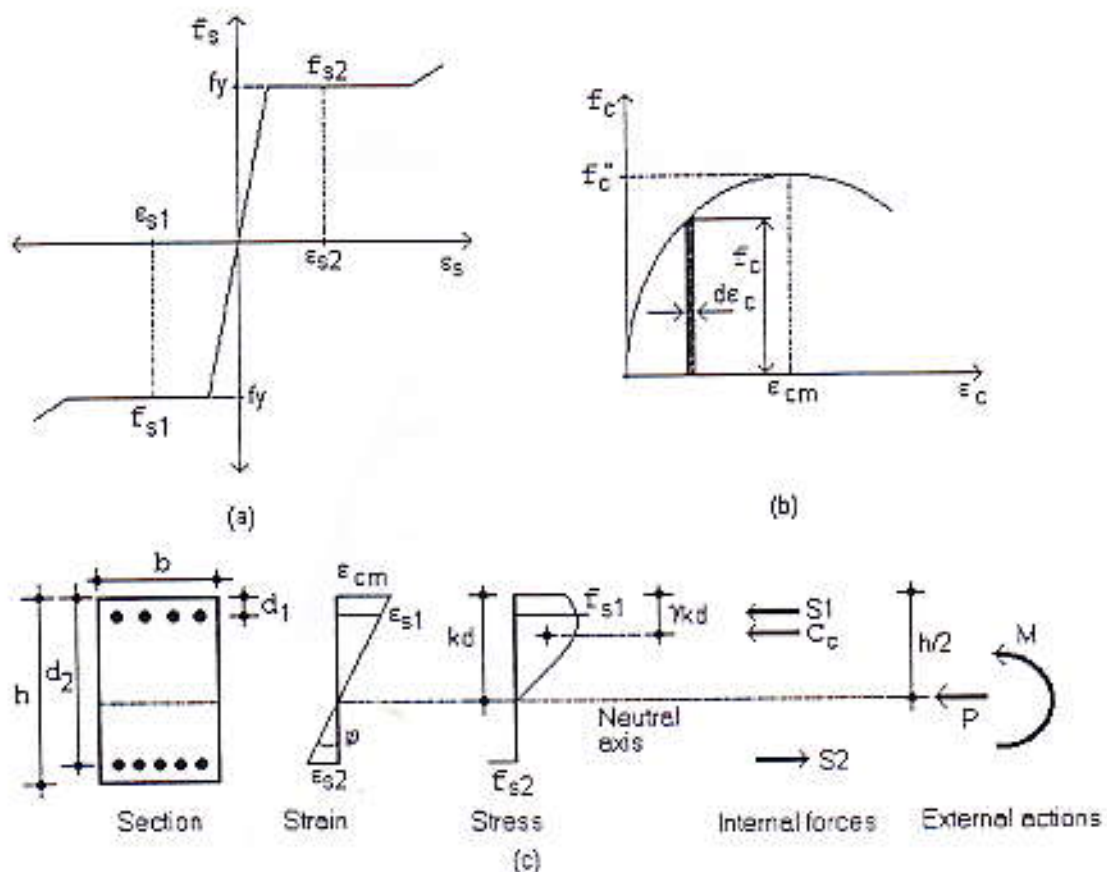
$$P = \alpha f_c'' bkd + \sum_{i=1}^n f_{s_i} A_{s_i} \quad (6)$$

sedangkan persamaan untuk momen yang terjadi pada penampang akibat gaya-gaya tersebut dapat dihitung dengan hubungan:

$$M = \alpha f_c'' bkd \left(\frac{h}{2} - \gamma kd \right) + \sum_{i=1}^n f_{s_i} A_{s_i} \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \quad (7)$$

dan kurvatur dari penampang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\varphi = \frac{\epsilon_{cm}}{kd} \quad (8)$$



Gambar. 2. Theoretical moment-curvature determination, (a) Steel in tension and compression, (b) Concrete in compression, (c) Section with strain, stress, and force distribution.

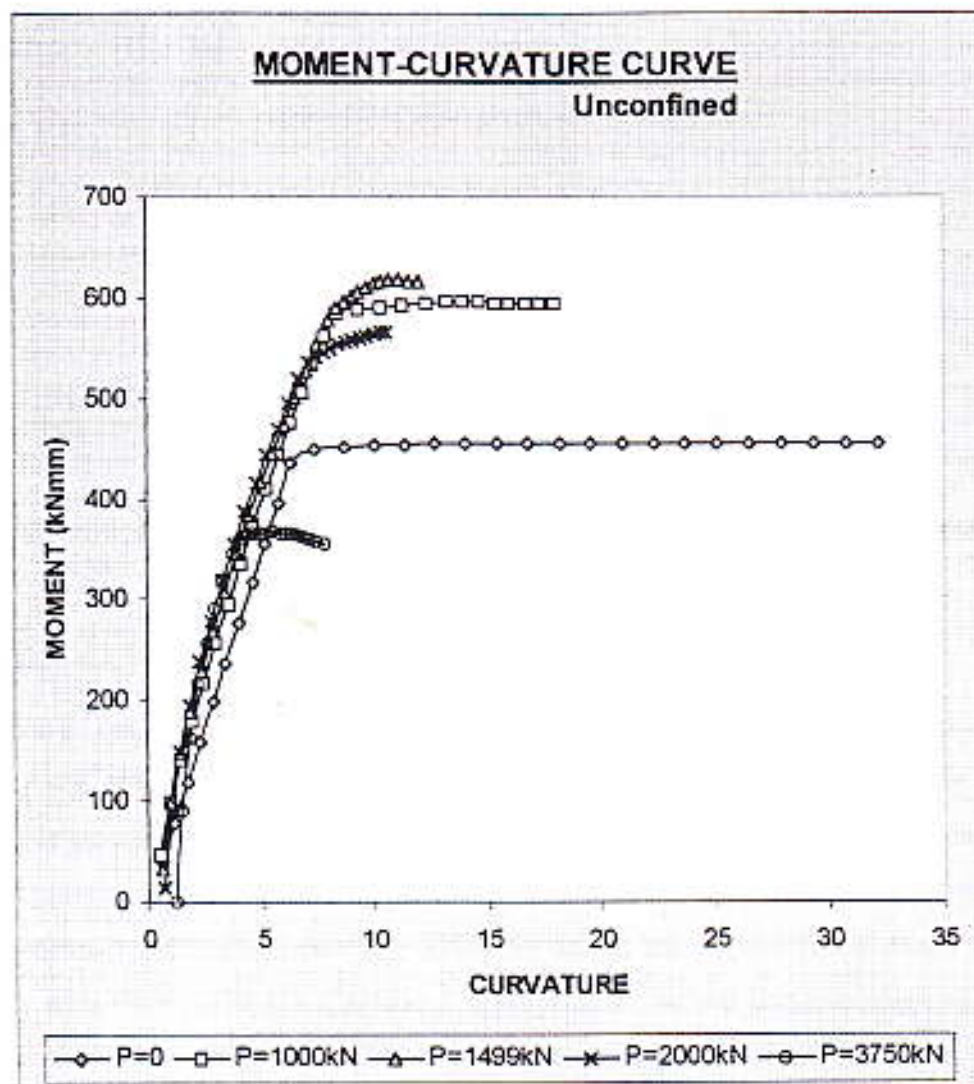
Hubungan momen-kurvatur teoritis untuk suatu nilai beban aksial bisa didapatkan dengan penambahan nilai regangan beton pada serat tertekan ekstrim, ϵ_{cw} , dari suatu

penampang beton bertulang. Untuk setiap nilai dari ϵ_{cm} , jarak sumbu netral kd yang memenuhi persamaan kesetimbangan gaya pada persamaan (6) didapatkan dengan metode bisection.

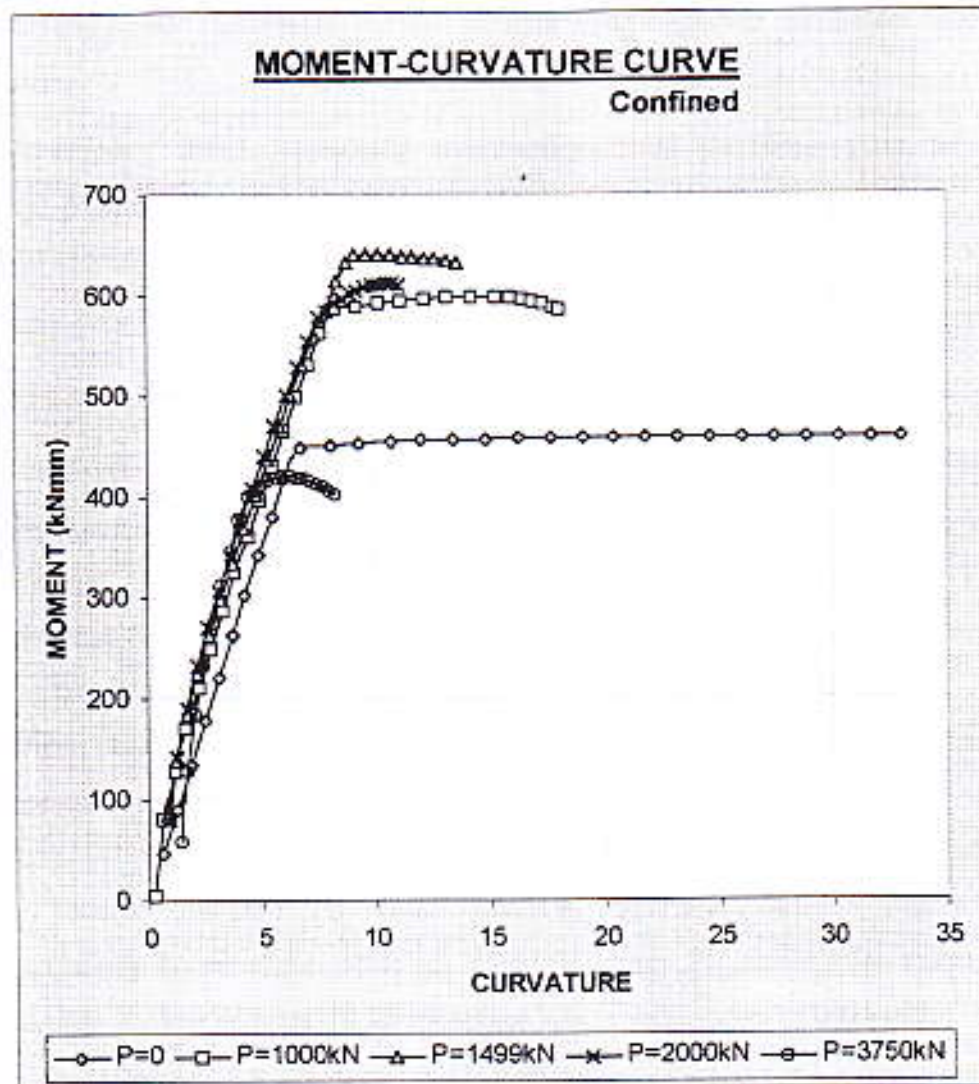
Gaya-gaya dalam dan jarak sumbu netral, kd, yang telah memenuhi persamaan kesetimbangan untuk setiap nilai ϵ_{cm} , kemudian digunakan untuk mendapatkan momen, M, dan kurvatur ϕ .

IV. HASIL ANALISIS

Hasil perhitungan dengan menggunakan program dapat dilihat pad Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kurva momen-kurvatur penampang untuk kondisi tanpa sengkang



Gambar 4. Kurva momen-kurvatur penampang untuk kondisi dengan sengkang

V. PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban aksial yang bekerja pada penampang akan mempengaruhi nilai daktilitas dari penampang tersebut. Analisis dengan menggunakan diagram interaksi menunjukkan bahwa apabila beban aksial yang bekerja melebihi P_b maka akan terjadi keruntuhan tekan (*compression failure*).

Beban $P = 2000 \text{ kN}$ dan $P = 3750 \text{ kN}$ dalam kasus penampang tanpa sengkang melebihi nilai $P_b = 1499 \text{ kN}$. Gambar 3 menunjukkan bahwa dengan beban aksial yang melebihi nilai P_b tersebut, nilai daktilitas dari penampang sangat kecil sekali.

Kedua gambar dari hasil analisis menunjukkan bahwa nilai daktilitas yang terbesar didapatkan pada kurva dengan beban $P = 0 \text{ kN}$ (lentur murni). Namun hal ini sangat jarang

terjadi dimana kolom merupakan elemen struktur yang memikul kombinasi beban lentur dan aksial.

Penampang dengan sengkang memberikan nilai daktilitas yang lebih besar dibanding penampang tanpa sengkang. Kekakuan dari penampang juga semakin meningkat seperti dapat terlihat pada Gambar 4.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil analisis diatas dapat dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan moment-kurvatur teoritis dengan menggunakan program komputer memberikan hasil yang lebih teliti dan proses perhitungan lebih cepat.
2. Daktilitas penampang semakin kecil dengan bertambahnya beban aksial.
3. Daktilitas penampang juga sangat erat kaitannya dengan tipe keruntuhan yang terjadi dari penampang tersebut.
4. Diagram interaksi menunjukkan bahwa keruntuhan tekan terjadi apabila beban aksial yang bekerja melebihi P_b . Hasil analisis juga membuktikan bahwa dengan bertambahnya beban aksial sehingga melebihi beban P_b , maka nilai daktilitas juga semakin berkurang dimana hal ini menunjukkan terjadinya keruntuhan tekan.
5. Nilai daktilitas maksimum pada penampang terjadi pada kondisi lentur murni, yakni pada kondisi $P = 0$ kN.
6. Penampang dengan sengkang memperlihatkan perilaku yang lebih kaku dan nilai daktilitas dari penampang meningkat.

VII. DAFTAR PUSTAKA

1. R. Park and T. Paulay, "Reinforced Concrete Structures", John Wiley & Sons, 1975, New York.
2. M.Z. Cohn dan S.K. Ghosh, "Ductility of Reinforced Concrete Sections in Bending", Symposium on Inelasticity and Non-Linearity in Structural Concrete, University of Waterloo Press, 1972, pp 111 - 146.
3. S.K. Ghosh dan M.Z. Cohn, "Ductility of Reinforced Concrete Sections in Combined Bending and Axial Load", Symposium on Inelasticity and Non-Linearity in Structural Concrete, University of Waterloo Press, 1972, pp 147 - 180.
4. James G. Macgregor, "Reinforced Concrete Mechanics and Design", Prentice Hall, 1997, New Jersey.