

ANALISIS KEMAMPU LAYANAN STRUKTUR KOLOM BETON TERHADAP BEBAN MONOTONIK KONSENTRIK

Andri

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Riau
Tel. 076166596, Pekanbaru 28293 – Riau, E-mail: andrieste_eng@yahoo.com

Zulfikar Djauhari

Dosen Jurusan Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Riau
Tel. 076166596, Pekanbaru 28293 – Riau, E-mail: zulfkr_dj@yahoo.com

Enno Yuniarto

Dosen Jurusan Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Riau
Tel. 076166596, Pekanbaru 28293 – Riau, E-mail: enno_y@unri.ac.id

ABSTRACT

The studies in depth and ability to satisfy the characteristics of the concrete structure service is only focused on structural beams and plates, while the discussion of the ability of our services to the column is still not satisfactorily addressed so that these characteristics are often overlooked by practitioners.

This study aims to determine the services ability to respond instantly column uniaxial load with depth parameter column cracked section. This parameter modeling of short columns with concentric load measuring 300 mm x 300 mm which is calculated through the mechanism of force balance internal and external columns and torque balance internal and external columns. External loads is given in stages to the nominal capacity of the column.

From the results of calculations, the depth of cracked section 219.2798 mm column height of 300 mm cross-section at zero load, crack depth decreases with increasing load given discrete with a small reduction in the level, and the maximum load limit is the value of a nominal capacity of column 2.380 kN to a depth of cracks approaching 219.2774 mm.

Keywords: Column Serviceability, Column Crack, Monotonic Concentric.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan material beton sebagai material bangunan sangat dominan dibanding material lain dalam industri konstruksi. Keunggulan material beton yang mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi, murah, mudah dibentuk dan tanpa memerlukan biaya perawatan membuat pemakaian material ini sangat luas di dalam industri konstruksi. Selain memiliki keunggulan-keunggulan seperti di atas material ini mempunyai beberapa kekurangan antara lain lemah dalam menahan tarik, susut dan rangkai, oleh karenanya penggunaan material beton pada struktur sering disertai dengan penggunaan material lain yang mempunyai kuat tarik tinggi. Dalam praktek, beton sering dikomposisikan dengan material baja tulangan sebagai upaya untuk meningkatkan kemampuan struktur beton dalam menahan tarik.

Selain aspek kekuatan dan kekakuan tadi, hal penting lain yang perlu diperhatikan adalah kemampu layanan (*serviceability*) struktur beton. Sampai saat ini kajian-kajian secara mendalam dan memuaskan terhadap karakteristik kemampu layanan (*serviceability*) struktur beton hanya terfokus pada struktur balok dan pelat, sedangkan pembahasan kemampu layanan terhadap kolom masih belum dibahas secara memuaskan sehingga karakteristik tersebut sering diabaikan oleh para praktisi.

Pada Penelitian ini penulis akan melakukan penelitian analisis kemampu layanan respon seketika struktur kolom beton terhadap beban pada kondisi layan. Kemanpu layanan yang ditinjau ialah kedalaman retak penampang kolom yang dibebani pada kolom pendek secara monotonik konsentrik.

Kemampuan Layan Struktur

Kemampuan layan struktur diartikan sebagai penampilan yang memuaskan di bawah kondisi beban layan (misalnya di dalam tegangan kerja). Penampilan yang memuaskan dapat dinyatakan dalam :

1. Lendutan yang berada di bawah batas kondisi dengan unsur- unsur non strutural seperti dinding, partisi, dan langit-langit tidak mengalami kerusakan
2. Pengendalian retak agar tidak kelihatan atau supaya mencegah masuknya air yang dapat menyebabkan korosi baja atau memperburuk beton
3. Persyaratan kelayanan seperti getaran (*vibration*) atau usik (*noise*) (Wang, et al, 1994)

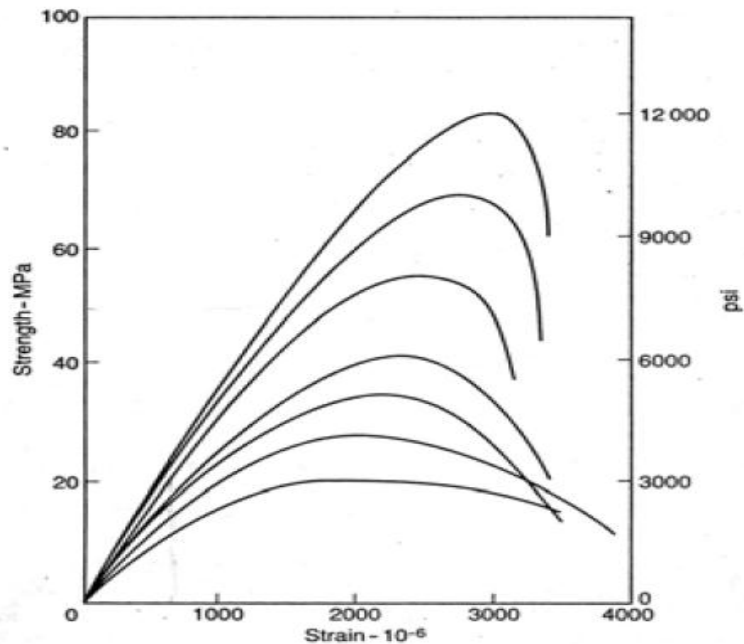
Gaya tekan Uniaksial Pada Beton

Perilaku beton yang diberi beban tekan uniaksial dapat digambarkan melalui hubungan tegangan – regangan. Pada umumnya hubungan tegangan – regangan tekan beton (dengan $f'_c = 30$ Mpa sampai 60 Mpa) dapat dimodelkan dengan persamaan Hognestad pada Persamaan 1.

$$\frac{f_c}{f'_c} = 2 \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} \right)^2 \quad (1)$$

Dengan:

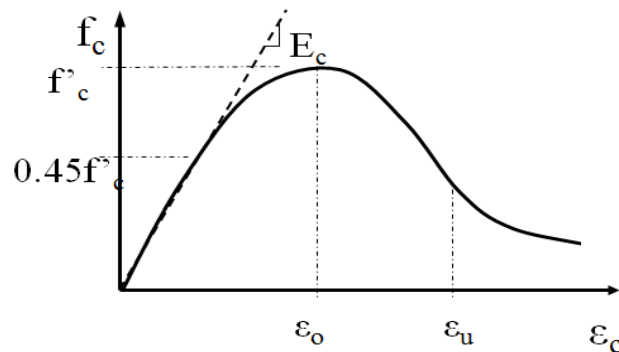
- f_c : Tengan pada beton (MPa)
- f'_c : Tegangan maksimum beton dari tes silinder (MPa)
- ϵ'_c : Regangan pada beton saat f'_c
- ϵ_c : Regangan pada beton saat f_c



Gambar 1 Respon tegangan – regangan beton pada uji tekanan
Sumber: Collins, 1991

Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan dari garis lurus yang ditarik dari kondisi nol ke kondisi tegangan tekan $0,45f'_c$ pada kurva tegangan – regangan beton. Menurut Lin T. Y. (1993) modulus elastisitas ini berubah rubah terhadap beberapa faktor terutama kekuatan beton, umur beton, sifat agregat, dan semen. Modulus elastisitas dapat bervariasi terhadap kecepatan pembebanan dan terhadap jenis contoh beton (selinder atau kubus). Jadi hampir tidak mungkin untuk memperkirakan secara tepat nilai dari modulus beton yang ditentukan



Gambar 2 Respon tegangan – regangan beton pada uji tekanan
Sumber: Kurniawan, 2008

Berdasarkan ACI, modulus elastisitas untuk beton bertulang dapat diperkirakan dengan persamaan empiris berikut.

$$E_c = (w_c)^{1.5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ (Satuan MPa)} \quad (2)$$

Nilai massa jenis beton (w_c) bervariasi antara (1450 s/d 2500 kg/m³). Untuk berat beton normal persamaan ini dapat disederhanakan seperti berikut.

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \text{ (Satuan MPa)} \quad (3)$$

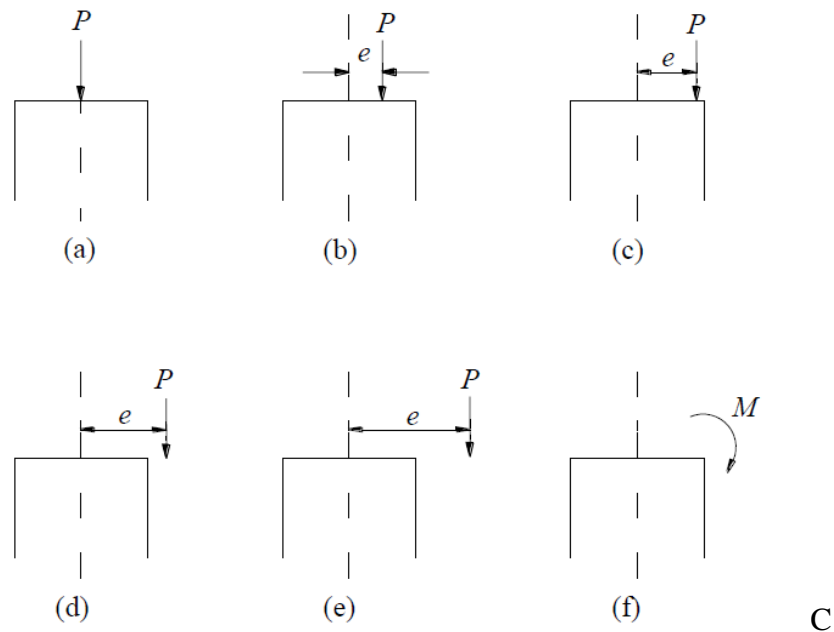
Beban Aksial dan Lentur pada Kolom

Kolom akan melentur akibat momen, dan momen tersebut akan cenderung menimbulkan tekanan pada satu sisi kolom dan tarikan pada sisi lainnya. Tergantung pada besar relatif momen dan beban aksial, banyak cara yang dapat menyebabkan runtuhnya kolom. Gambar 3 memperlihatkan kolom yang memikul beban P_n . Dalam beberapa bagian dari gambar, beban ditempatkan pada eksentrisitas yang semakin besar (sehingga menghasilkan momen yang semakin besar) sampai akhirnya seperti pada Gambar 3.f diperlihatkan kolom menerima momen lentur yang besar sehingga pengaruh beban aksial diabaikan. Setiap kasus dari keenam kasus tersebut dibahas singkat sebagai berikut :

- Beban aksial besar dan momen diabaikan. Untuk kondisi ini, keruntuhan akan terjadi oleh hancurnya beton, dengan semua tulangan dalam kolom mencapai tegangan leleh dalam tekan.
- Beban aksial besar dan momen kecil sehingga seluruh penampang tertekan. Jika suatu kolom menerima momen lentur kecil (yaitu jika eksentrisitas kecil), seluruh kolom akan tertekan tetapi tekanan di satu sisi akan lebih besar dari sisi lainnya. Tegangan tekan maksimum dalam kolom

akan sebesar $0,85f'_c$ dan keruntuhan akan terjadi oleh runtuhnya beton dan semua tulangan tertekan.

- (c). Eksentrisitas lebih besar dari kasus (b) sehingga tarik mulai terjadi pada satu sisi kolom. Jika eksentrisitas ditingkatkan dari kasus sebelumnya, gaya tarik akan mulai terjadi pada satu sisi kolom dan baja tulangan pada sisi tersebut akan menerima gaya tarik yang lebih kecil dari tegangan leleh. Pada sisi yang lain tulangan mendapat gaya tekan.
- (d). Kondisi beban berimbang. Saat eksentrisitas terus ditambah, akan dicapai suatu kondisi dimana tulangan pada sisi tarik mencapai leleh dan pada saat yang bersamaan, beton pada sisi lainnya mencapai tekan maksimum $0,85f'_c$. Kondisi ini disebut kondisi pada beban berimbang.
- (e). Momen besar, beban aksial relatif kecil. Jika eksentrisitas terus ditambah, keruntuhan terjadi akibat tulangan meleleh sebelum hancurnya beton.
- (f). Momen lentur besar. Pada kondisi ini, keruntuhan terjadi seperti halnya pada sebuah balok.

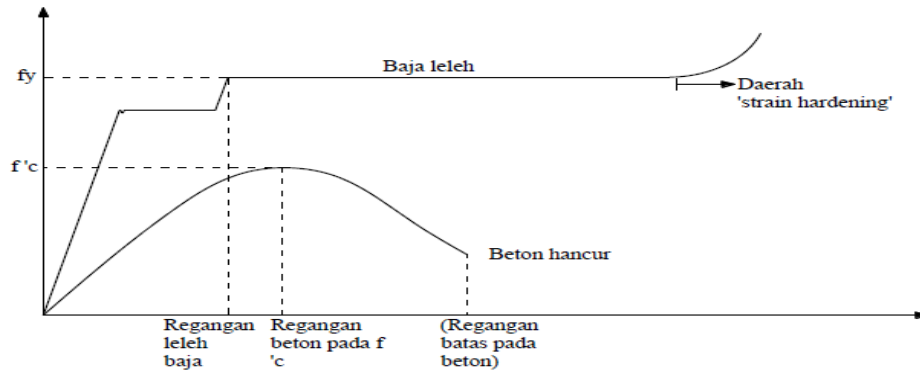


Gambar 3 Kolom menerima beban dengan eksentrisitas yang terus diperbesar

Sumber: Ardiansyah, 2009

Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris

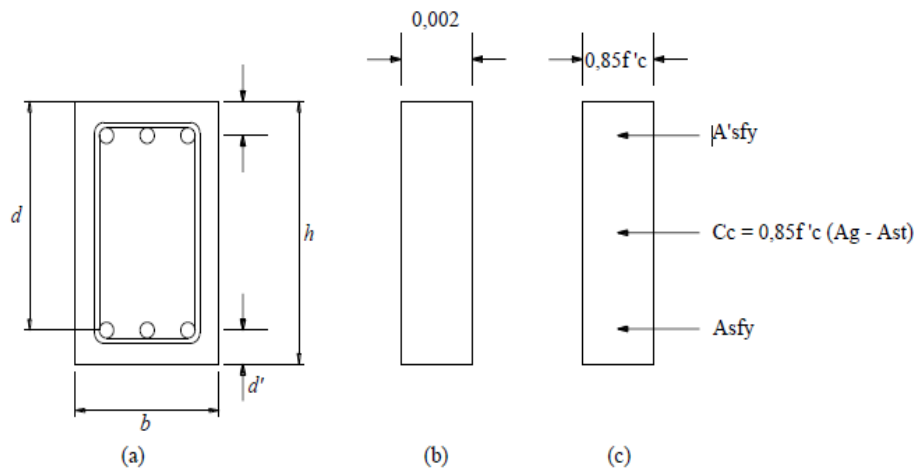
Jika suatu kolom yang luas penampang brutonya A_g dengan lebar b dan tinggi total h , bertulangan baja dengan luas total A_{st} (terbagi pada semua sisi kolom), maka luas bersih penampang beton adalah $A_g - A_{st}$. Gambar 4 menyajikan riwayat pembebanan pada beton dan baja pada saat beban kolom meningkat. Pada awalnya, baik beton maupun baja berperilaku elastis. Pada saat regangannya mencapai sekitar 0,002 sampai 0,003, beton mencapai kekuatan maksimum f'_c . Secara teoritis, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya tegangan f'_c pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila strain hardening pada baja terjadi di sekitar regangan 0,003.



Gambar 4 Hubungan tegangan-regangan pada beton dan baja (beban sentris)
 Sumber: Ardiansyah, 2009

$$P_0 = 0,85f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \quad (4)$$

Perlu ditegaskan di sini bahwa beban yang sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang. Ini berarti bahwa pada saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan merata di seluruh bagian penampang seperti yang diperlihatkan pada gambar 5



Gambar 5 Geometri, regangan, dan tegangan kolom (beban sentris); (a) penampang melintang; (b) regangan beton; (c) tegangan (dan gaya – gaya)

Sumber: Ardiansyah, 2009

Mengadakan eksentrisitas sebesar nol merupakan hal yang amat mustahil di dalam struktur aktual. Beberapa contoh yang dapat menyebabkan eksentrisitas sangat mudah terjadi adalah misalnya ketidaktepatan letak dan ukuran kolom, beban yang tidak simetris akibat perbedaan tebal pelat di sekitar kolom atau adanya ketidaksempurnaan lainnya. Dengan demikian perlu adanya suatu eksentrisitas minimum (yang dapat diterima) dalam arah tegak lurus sumbu lentur yaitu 10% dari tebal kolom untuk kolom bersengkang dan 5% untuk kolom berspiral.

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain, peraturan ACI mensyaratkan suatu reduksi beban aksial sebesar 20 % untuk kolom bersengkang dan 15% untuk kolom berspiral. Dengan menggunakan faktor – faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$P_n = 0,8 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] \quad (5)$$

) untuk kolom bersengkang, dan

$$P_n = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] \quad (6)$$

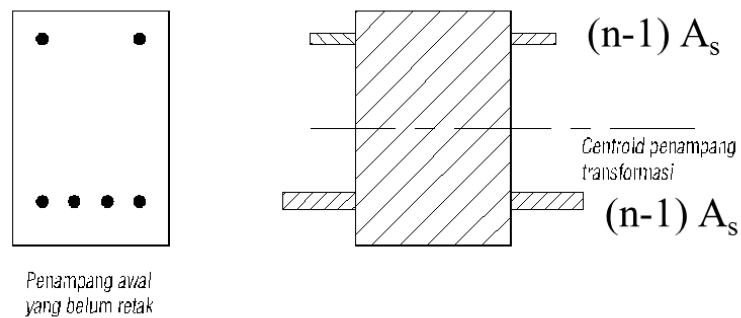
untuk kolom berspiral.

Beban nominal ini masih harus direduksi lagi dengan menggunakan factor reduksi kekuatan ϕ seperti yang akan dibahas berikut ini. Biasanya untuk desain, besarnya $(A_g - A_{st})$ dapat dianggap sama dengan A_g tanpa kehilangan ketelitian.

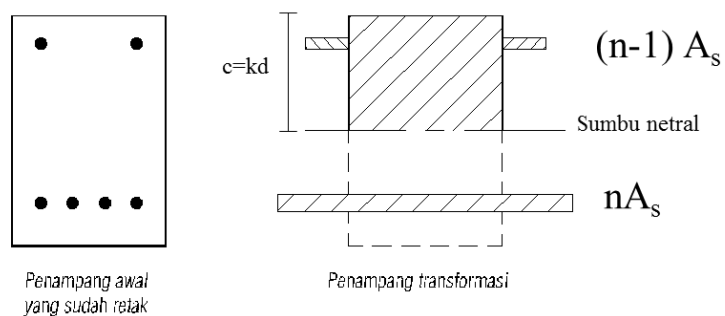
Penampang yang Ditransformasi

Suatu penampang yang terbuat dari bahan yang berbeda dibebani, perbedaan harga E (Modulus Elastisitas) menyebabkan perbedaan distribusi tegangan. Material yang lebih kaku akan menerima tegangan lebih besar untuk kondisi regangan yang sama.

Penampang dapat ditransformasikan menjadi penampang beton semua dalam analisis elastis. Hal ini dilakukan dengan menggantikan luas baja dengan luas beton ekuivalen yang mempunyai kekakuan aksial EA yang sama. Karena $E_s/E_c = n$, maka luas beton ekuivalen dari suatu baja tulangan dengan luas A_s akan menjadi nA_s



Gambar 6 Penampang Transformasi Belum Retak



Gambar 7 Penampang Transformasi Retak

Keterangan :

E_s = Modulus Elastisitas Baja (MPa)

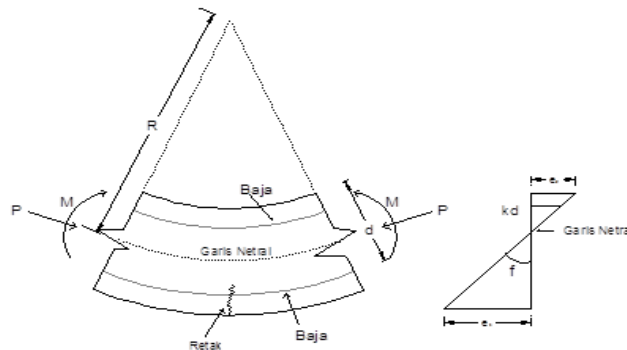
E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

n = Rasio Modular

A_s = Luas Penampang Baja

Kurvatur

Sebuah beton bertulang yang pada mulanya lurus namun akibat adanya momen ujung dan gaya aksial maka balok menjadi lengkung seperti yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 8 Hubungan momen-kurvatur untuk penampang-penampang balok
sumber: Karolina, 2008

Adapun jari-jari kurvatur R , tinggi sumbu netral kd , regangan beton pada serat tekan terluar (paling besar) ε_c dan tegangan-regangan baja ε_s akan berubah-ubah sepanjang bentang karena adanya retak beton yang juga memberikan tegangan. Dengan pertimbangan hanya satu elemen panjang dx dan penggunaan notasi pada gambar diatas maka rotasi antara ujung-ujung elemen diberikan oleh:

$$\frac{dx}{R} = \frac{\varepsilon_c dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (7)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} \quad (8)$$

$1/R$ adalah kelengkungan pada elemen (rotasi perpanjang satuan) dan diberi simbol φ . Dengan begitu kita mendapatkan

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (9)$$

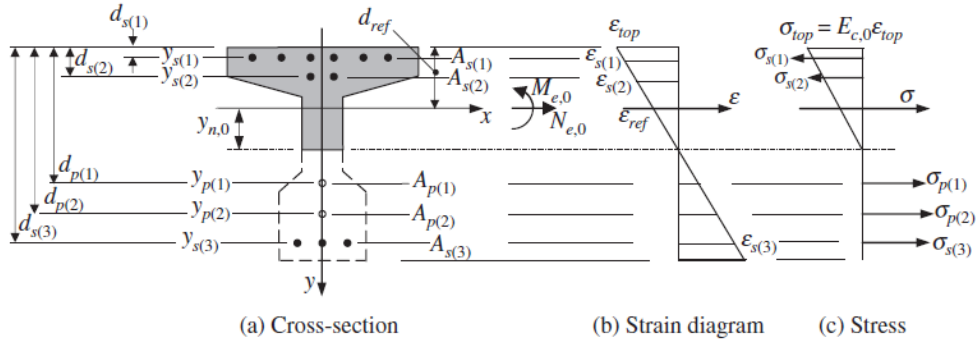
Analisis Penampang Retak Gaya Aksial dan Lentur Uniaksial

Menurut Gilbert & Ranzi (2011), dalam analisis waktu jangka pendek suatu penampang beton bertulang ketika pertama kali diberi beban (waktu ketika τ_0), diasumsikan bahwa gaya aksial dan momen lentur di sekitar garis aksis- x , berturut-turut $N_{e,0}$ dan $M_{e,0}$, memberikan tegangan yang cukup untuk menyebabkan retak pada serat bawah penampang melintang dan tekanan pada bagian serat atas penampang.

Gambar 8 mengilustrasikan penampang beton dengan sebagian diberikan tulangan pretegang. Penampang ini simetris terhadap garis sumbu- y . Garis yang sejajar sumbu- x diambil sebagai garis referensi. Diagram regangan dan tegangan awal yang diakibatkan oleh kombinasi gaya aksial dan momen lentur dengan besaran yang cukup untuk menghasilkan retak pada serat bawah.

Jumlah lapisan tulangan non-prategang dan prategang penampang Gambar 8 berturut-turut adalah $m_s=3$ dan $m_p=2$. Sifat-sifat tulangan tiap lapisan diwakili oleh luasan tulangan tersebut, modulus elastisitas serta lokasi terhadap sumbu- x berturut-turut $A_{s(i)}$, $E_{s(i)}$ dan $y_{s(i)}$ ($=d_{s(i)} - d_{ref}$), demikian juga dengan $A_{p(i)}$, $E_{p(i)}$ dan $y_{p(i)}$ ($=d_{p(i)} - d_{ref}$).

Regangan pada kedalaman y di bawah sumbu- x referensi pada τ_0 ialah:



Gambar 9 Penampang beton bertulang retak penuh

Sumber: Gilbert & Ranzi, 2011

di mana A_c , B_c adalah area, momen area pertama terhadap sumbu- x daerah tekan beton terhadap sumbu netral. Dengan memakai notasi berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{A,s} &= \sum_{i=1}^{m_s} (A_{s(i)} E_{s(i)}); R_{B,s} = \sum_{i=1}^{m_s} (y_{s(i)} A_{s(i)} E_{s(i)}); R_{I,s} = \sum_{i=1}^{m_s} (y_{s(i)}^2 A_{s(i)} E_{s(i)}) \\
 R_{A,p} &= \sum_{i=1}^{m_p} (A_{p(i)} E_{p(i)}); R_{B,p} = \sum_{i=1}^{m_p} (y_{p(i)} A_{p(i)} E_{p(i)}); R_{I,p} = \sum_{i=1}^{m_p} (y_{p(i)}^2 A_{p(i)} E_{p(i)})
 \end{aligned} \tag{10}$$

dengan :

- A_s : Luasan tulangan baja tarik (mm^2)
- $E_{s(i)}$: Modulus elastisitas baja lapisan ke- i (MPa)
- $A_{p(i)}$: Luasan tulangan tendon lapisan ke- i (mm^2)
- $E_{p(i)}$: Modulus elastisitas tendon lapisan ke- i (MPa)
- $R_{A,s}$: Kekakuan penampang yang dihubungkan dengan luasan tulangan baja
- $R_{B,s}$: Kekakuan penampang yang dihubungkan dengan momen area pertama tulangan baja
- $R_{I,s}$: Kekakuan penampang yang dihubungkan dengan momen area kedua tulangan baja
- $R_{A,p}$: Kekakuan penampang yang dihubungkan dengan luasan tulangan tendon
- $R_{B,p}$: Kekakuan penampang yang dihubungkan dengan momen area pertama tulangan tendon
- $R_{I,p}$: Kekakuan penampang yang dihubungkan dengan momen area kedua tulangan tendon
- $y_{s(i)}$: Koordinat- y tulangan baja ke- i (mm)
- $y_{p(i)}$: Koordinat- y tulangan tendon ke- i (mm)

Kedalaman retak pada elemen struktur yang mengalami gaya aksial dan momen dapat ditentukan dengan persamaan 11

$$\begin{aligned}
 &\frac{M_{e,0} - \sum_{i=0}^{m_p} y_{p(i)} (A_{p(i)} E_{p(i)} \varepsilon_{p(i),init})}{N_{e,0} - \sum_{i=0}^{m_p} (A_{p(i)} E_{p(i)} \varepsilon_{p(i),init})} \\
 &= \frac{\int_{y=-d_{ref}}^{y=y_{n,0}} E_{c,0} (-y_{n,0} + y) y dA + (R_{B,s} + R_{B,p}) y_{n,0} + (R_{I,s} + R_{I,p})}{\int_{y=-d_{ref}}^{y=y_{n,0}} E_{c,0} (-y_{n,0} + y) dA + (R_{A,s} + R_{A,p}) y_{n,0} + (R_{B,s} + R_{B,p})}
 \end{aligned} \tag{11}$$

dengan :

$N_{e,0}$: Gaya aksial eksternal ketika τ_0

$M_{e,0}$: Momen aksial eksternal ketika τ_0

$y_{n,0}$: Koordinat- y tulangan tendon ke-i (mm)

E_c : Modulus elastisitas beton (MPa)

d_{ref} : Kedalaman terhadap aksis referensi di bawah serat teratas penampang (mm)

Aplikasi Persamaan 11 akan menghasilkan persamaan dalam variabel $y_{n,0}$ dan diselesaikan dengan metode *trial error*.

2. METOLOGI PENELITIAN

Pada analisis model kolom yang akan dikembangkan, perlu ditetapkan beberapa asumsi dasar agar rumusan yang diturunkan bias berlaku. Asumsi- asumsi dasar yang diambil adalah sebagai berikut.

- Kolom dimodelkan sebagai kolom pendek dibebani dengan gaya aksial secara konsentris dengan gaya tekan dari 0 sampai kapasitas nominal kolom P_n yang ditingkatkan secara bertahap.
- Penampang kolom yang akan dianalisis adalah penampang persegi dengan ukuran 300 mm x 300 mm.
- Tulangan baja melekat sempurna pada beton sehingga tidak ada pergeseran antara keduanya.
- Penampang melintang beton selalu tetap sehingga distribusi regangan pada serat setiap kedalaman adalah linear.
- Tegangan tarik beton diabaikan sehingga tegangan beton tidak memberikan kontribusi pada parameter penampang beton.
- Perilaku material diasumsikan linier elastis termasuk beton dalam menerima gaya tekan.
- Mutu beton (f'_c) yang digunakan yaitu 30 MPa.
- Mutu baja (f'_y) yang digunakan yaitu 400 MPa dengan Modulus Elastisitas (E_c) sebesar 200.000 MPa.
- Diameter tulangan yang digunakan yaitu 17 mm.
- Analisis dilakukan dengan metode langsung bukan dengan metode pias (numerik).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkuman Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan berdasarkan tingkat pembebanan diperoleh beberapa parameter. Untuk mempermudah perbandingan, maka nilai untuk tiap-tiap pembebanan dirangkum dalam tabel berikut ini:

Tabel 1 Rangkuman Hasil Perhitungan

N_e (Newton)	y_{n1} (mm)	y_{n2} (mm)	d_{n1} (mm)	$h_{0,1}$ (mm)	h_0 (mm)
0	-69.2798	-324.7700	80.7202	219.2798	219.2798
-250000	-69.2795	-324.7700	80.7205	219.2795	219.2795
-500000	-69.2793	-324.7710	80.7207	219.2793	219.2793
-750000	-69.2790	-324.7710	80.7210	219.2790	219.2790
-1000000	-69.2788	-324.7710	80.7212	219.2788	219.2788
-1250000	-69.2785	-324.7710	80.7215	219.2785	219.2785
-1500000	-69.2783	-324.7720	80.7217	219.2783	219.2783

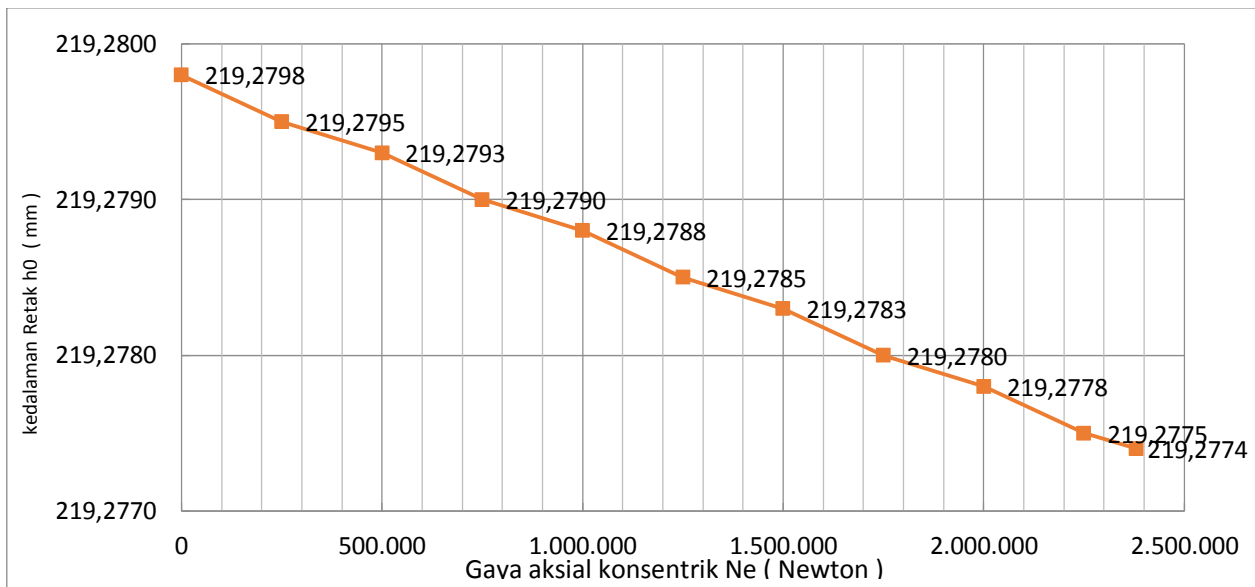
-1750000	-69.2780	-324.7720	80.7220	219.2780	219.2780
-2000000	-69.2778	-324.7720	80.7222	219.2778	219.2778
-2250000	-69.2775	-324.7720	80.7225	219.2775	219.2775
-2380000	-69.2774	-324.7720	80.7226	219.2774	219.2774

(Sumber:) Hasil Perhitungan

Hubungan Beban Aksial terhadap Kedalaman Retak

Dari hasil perhitungan pada Bab III diperoleh hubungan antara nilai gaya aksial (N_e) dengan kedalaman retak (h_0) pada tiap – tiap tingkat pembebanan. Dengan bantuan program *Microsoft Excell*, nilai-nilai tersebut kemudian diplot untuk memperoleh hubungan gaya aksial (N_e) dengan kedalaman retak (h_0).

Gambar 10 memperlihatkan kedalaman retak pada tingkat pembebanan nol adalah berkurang terhadap 219.2769 mm dari 300 mm (Tabel 1) penampang utuh dan seiring ditambahkan beban secara diskret, kedalaman retak berkurang dengan nilai yang kecil sampai pada batas kapasitas kolom yaitu 2.380.000 N dengan kedalaman retak mendekati 219.2774. mm



Gambar 10 Grafik nilai gaya aksial (N_e) dengan kedalaman retak (h_0)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis perhitungan pada struktur kolom pendek yang dibebani gaya aksial konsentrik adalah sebagai berikut.

1. Kedalaman retak penampang kolom 219.2798 mm dari 300 mm tinggi penampang pada beban nol.
2. Kedalaman retak berkurang seiring peningkatan beban yang diberikan secara diskret dengan tingkat pengurangan yang kecil.
3. Batas beban maksimum yaitu pada nilai kapasitas nominal kolom sebesar 2.380.000 N dengan kedalaman retak mendekati 219.2774 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Gilbert, R.I., & Ranzi, G.** 2011. *Time-Dependent Behaviour of Concrete Structures*. New York: Spon Press..
- Nawy, Edward.** 2005 . *Reinforced Concrete a Fundamental Approach 5th Edition*. New Jersey: Pearson Prentice- Hall, Inc.
- Wight, James, & Macgregor, James.** 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design 6th Edition*. New Jersey: Pearson Prentice- Hall, Inc.
- Collins, Michael P., & Denis Mitchell,** 1991. *Prestrssed Concrete Structure*. New Jersey: Pearson Prentice- Hall, Inc..
- Wang, Chu- Kia et al,** 1994. *Desain Beton Bertulang Edisi ke-4*. Erlangga. Jakarta
- Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. 2002. Bandung: Badan Standar Nasional Indonesia: Author
- Lin, T.Y and Ned H. Burns,** 1993. *Desain Struktur Beton Jilid 1*. Erlangga. Jakarta
- Kurniawan, D. P., & Kurniawan, R. A.** 2008. *Analisis Push Over dan Perilaku Kolom Segmental Prestressed*. Universitas Riau, Pekanbaru
- Negara, A.K.** 2009. *Desain langsung tulangan longitudinal kolom beton bertulang bujur sangkar*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Kusuma, G.H.** 2000. *Perhitungan Lebar Retak pada Beton Pratekan Parsial dengan Unified Approach*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra. Surabaya
- Karolina, R.** 2008. *Analisis Dan Kajian Eksperimental Hubungan Momen-Kurvatur Pada Balok Beton Bertulang* . Tesis, Sekolah Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara. Medan
- Susilorini, R. & Sambowo, K.A.** 2010. *Perencanaan Beton Bertulang Lanjutan Daktilitas Balok Beton Bertulang*. Semarang: Surya Perdana Semesta.
- Mulyono,Tri.** 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi
- ACI Committee 318,** (1999). "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99)", ACI, Farmington Hills, MI, 145-161.