

DESAIN TULANGAN DAN ANALISIS KOLOM BETON PADA PENAMPANG GAGAL TARIK DISAAT TULANGAN TEKAN TELAH LELEH SESUAI SNI 2847:2013

Pujo Priyono¹.

¹staff Pengajar Prodi Teknik Sipil-Fakultas Teknik-Universitas Muhammadiyah Jember
Alamat korespondensi :
email: pujo@unmuhjember.ac.id

Abstract

In SNI 2847: 2013, the maximum reinforcement limitation requirement is no longer a constant matter, but it depends on the type of reinforcing steel quality used in the design, because the tensile strength of the tensile reinforcement steel ϵ_t^o in the conditions of the nominal flexural strength must be greater or equal to 0.005.

In SNI 2847: 2013, the reduction factor value ϕ is determined based on the tensile strain value in the outermost fiber that occurs, ϵ_t^o (Net Tensile Strain, NTS). It can be explained that the value of ϕ is distinguished by the time of the compression controlled section, the tension controlled section and the transition area. If $\epsilon_t^o \leq \epsilon_y$ then the cross section is said to be pressure controlled and the value of $\phi = 0.65$, when $\epsilon_y < \epsilon_t^o < \epsilon_t$ then the section is in a transition state and the value of $\phi = 0.65 + (\epsilon_t - \epsilon_t^o) (250 / [(0.005 - \epsilon_t^o) \times 100])$, and when $\epsilon_t^o \geq \epsilon_t$ the cross section is said to be tension controlled, the value of $\phi = 0.9$, with $\epsilon_t = 0.005$.

The tensile failure section has a good degree of ductility, for the column section it occurs when the eccentricity value of the axial force, e , is greater than the eccentricity value of the axial force under equilibrium, e_b . The rational analysis step is to do the trial and error method

The purpose of this study is to guide the design of the flexural and axial compression reinforcement area which is in the tensile failure category when the compressive reinforcement has melted as required by SNI 2847: 2013 with a simple step, two-sided reinforcement.

This study method basically reprocesses the basic formulas of reinforced concrete column cross-sectional strength theory in the previous author and SNI 2847: 2013 in order to obtain another formulation that can be used in general with the aim of making graphics that can be used as a tool to simplify and simplify the design. the area of bending reinforcement. The study has produced a general formulation and graphs that can be used for all types of steel grades and concrete grades less than or equal to 28 MPa.

Keywords: Column reinforcement area design, SNI 2847: 2013, tension failure, two face reinforcement,

Abstrak

Dalam SNI 2847:2013, batasan tulangan maksimum sudah bukan suatu hal yang konstan lagi, melainkan tergantung pada jenis mutu baja tulangan yang didesain, nilai regangan baja tulangan tarik ϵ_t^o pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan 0,005.

pada SNI 2847:2013, nilai faktor reduksi ϕ ditentukan berdasarkan nilai regangan tarik pada serat terluar yang terjadi, ϵ_t^o (Net Tensile Strain, NTS). dideskripsikan bahwa nilai ϕ dibedakan atas saat penampang terkendali tekan, terkendali tarik dan daerah transisi. Bila $\epsilon_t^o \leq \epsilon_y$ maka penampang dikatakan terkendali tekan dan nilai $\phi = 0,65$, saat $\epsilon_y < \epsilon_t^o < \epsilon_t$ maka penampang dalam keadaan transisi dan nilai $\phi = 0,65 + (\epsilon_t - \epsilon_t^o) \left\{ \frac{250}{[(0,005 - \epsilon_t^o) \times 100]} \right\}$, serta saat $\epsilon_t^o \geq \epsilon_t$ penampang dikatakan terkendali tarik maka nilai $\phi = 0,9$, dengan $\epsilon_t = 0,005$.

Penampang kegagalan tarik memiliki tingkat daktilitas yang baik, untuk penampang kolom terjadi saat nilai eksentrisitas gaya aksial tekan, e , lebih besar dari nilai eksentrisitas gaya aksial tekan kondisi setimbang, e_b . Langkah analisis rasional adalah melakukan cara *trial and error*

Tujuan studi adalah mendesain luas tulangan lentur dan aksial tekan yang berada pada kategori kegagalan tarik saat tulangan tekan telah leleh sesuai peraturan SNI 2847:2013 dengan langkah yang sederhana, penulangan dua sisi.

Metode studi ini pada dasarnya mengolah kembali rumus dasar teori kekuatan penampang kolom beton bertulang pada penulis sebelumnya serta SNI 2847:2013 agar mendapatkan sebuah perumusan lain yang dapat digunakan secara umum dengan tujuan pembuatan grafik yang digunakan sebagai alat bantu untuk mempermudah dan menyederhanakan desain luas tulangan lenturnya. Studi menghasilkan suatu perumusan umum dan grafik yang digunakan untuk segala jenis mutu baja dan mutu beton yang lebih kecil atau sama dengan 28 MPa.

Kata kunci: SNI 2847:2013, Desain luas tulangan kolom, SNI 2847:2013, kegagalan tarik, penulangan dua sisi

PENDAHULUAN

Kolom adalah suatu elemen struktur yang utamanya memikul kombinasi beban momen lentur dan aksial tekan. Beberapa faktor yang mengakibatkan adanya momen yang terjadi di elemen kolom, diantaranya karena beban lateral seperti gempa bumi yang akan menjadikan penampang kolom biasanya terjadi kegagalan tarik, oleh karena momen yang dihasilkan besar.

Sebelum tahun 2013, ACI menyatakan bahwa tulangan tarik maksimum yang diijinkan untuk sebuah elemen lentur beton bertulang adalah sebesar 0,75 kali luas tulangan baja pada kondisi setimbang. Hal serupa dianut pula dalam SKSNI T-15-1991-03 dan SNI 03-2847-2002. Namun dalam edisi terakhir ACI 318M-11 atau SNI 2847:2013 Pasal 10.3.5 disyaratkan bahwa nilai regangan baja tulangan tarik ε_t^o pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan $\varepsilon_t=0,005$.

Perubahan mendasar lagi adalah pada penentuan nilai faktor reduksi, ϕ , yang mana sebelum tahun 2013 untuk elemen yang menderita beban lentur dan aksial tekan menggunakan nilai ϕ yang tergantung besar nilai P_u nya, akan tetapi dalam SNI 2847:2013 ini, sesuai pasal 9.3, nilai ϕ ditentukan berdasarkan nilai regangan tarik pada serat terluar yang terjadi, ε_t^o (Net Tensile Strain, NTS). Yang bisa dijelaskan bahwa nilai ϕ dibedakan atas saat penampang terkendali tekan, terkendali tarik dan daerah transisi. Untuk penampang kolom dengan tulangan geser berupa sengkang ikat, bila $\varepsilon_t^o \leq \varepsilon_y$ maka penampang dikatakan terkendali tekan dan nilai $\phi = 0,65$, saat $\varepsilon_y < \varepsilon_t^o < \varepsilon_t$ maka penampang dalam keadaan transisi dan nilai $\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - \varepsilon_t^o) \left\{ \frac{250}{[(0,005 - \varepsilon_t^o) \times 100]} \right\}$, serta saat $\varepsilon_t^o \geq \varepsilon_t$ maka nilai $\phi = 0,9$, dengan $\varepsilon_t = 0,005$. Akibatnya,

untuk melakukan analisis penampang kolom, dibanding saat masih menggunakan SK SNI T-15-1991-03 dan SNI 03-2847-2002, diperlukan lagi suatu langkah tambahan yakni melakukan kontrol nilai regangan yang terjadi pada tulangan tarik tersebut, sehingga baru bisa menentukan berapa nilai faktor reduksinya.

Untuk penampang kolom, berlaku bahwa jika kuat tekan nominal penampang P_n lebih kecil dari nilai kuat tekan nominal penampang saat terjadi kegagalan setimbang, P_b atau nilai eksentrisitas gaya aksial tekan terhadap pusat berat plastis penampang e lebih besar dari nilai eksentrisitas gaya tekan aksial tekan terhadap pusat berat plastis saat penampang terkondisi kegagalan setimbang, e_b , maka dikatakan penampang kolom tersebut terjadi keadaan kegagalan tarik.

Untuk penampang kolom yang bertulangan rangkap dua sisi yang mengalami kondisi kegagalan tarik, dengan tulangan tekan telah leleh, $f'_s \geq f_y$, sehingga $f'_s = f_y$, prosedur analisis nya adalah dengan mengasumsikan tulangan tekan leleh ($f'_s = f_y$), sehingga diketemukan nilai letak garis netral terhadap sisi tertekan terluar x dan tentunya untuk sebelum melangkah selanjutnya perlu di cek apakah memang asumsi tulangan tekan leleh telah benar dengan cara mensubstitusikan nilai letak garis netral terhadap sisi tertekan terluar x yang telah diperoleh ke persamaan: $f'_s = 0,003 E_s \frac{(x-d')}{x} \geq f_y$, bila sesuai asumsi maka lanjutkan ke langkah analisis selanjutnya, bila tidak sesuai, maka harga x tadi yang diperoleh dari asumsi $f'_s = f_y$ perlu direvisi dan dilakukan cara coba-coba lagi.

Berlatar belakang ini, akan membuat langkah penyederhanaan dalam desain luas tulangan maupun analisis kuat penampang terhadap beban lentur dan aksial tekan yang ada dengan bantuan grafik.

Tujuan penyederhanaan ini, adalah agar melakukan analisis kuat penampang maupun desain luas tulangan terhadap beban kombinasi lentur murni dan aksial tekan, yang sesuai SNI 2847:2013 dengan mudah, serta memandu desain luas tulangan lentur dan aksial tekan yang berada pada kategori kegagalan tarik dengan langkah yang sederhana, untuk saat kolom harus ditulangi dua sisi.

Sifat-sifat mekanik beton

Beberapa sifat mekanik beton yang penting dalam perencanaan lentur adalah: (a) kuat tekan beton (f'_c) yakni kuat tekan beton dengan mengacu pada standar ASTM C39/C39M-12a "Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens". Nilai kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_c , diperoleh dari benda uji silinder standar yang dirawat dan telah berumur 28 hari, (b) Modulus elastisitas beton (E_c), yang sesuai SNI 2847:2013 pasal 8.5.1, modulus elastisitas beton untuk beton normal dirumuskan dengan:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Sifat mekanik baja tulangan

Untuk tujuan analisa penampang beton bertulang, beberapa sifat mekanik baja tulangan yang penting adalah: (a) Modulus elastisitas baja (E_s), dan sesuai SNI 2847:2013 pasal 8.5.2, Modulus Elastisitas untuk baja tulangan biasa ("mild steel"), diambil sebesar:

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

(b) mutu baja tulangan ditentukan berdasarkan kuat lelehnya (f_y), beberapa nilai mutu baja tulangan (SNI 03-6861.2-2002) adalah $f_y = 240 \text{ MPa}$, 300 MPa , 350 MPa dan 400 MPa .

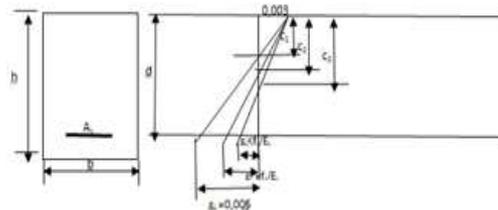
Perilaku balok beton bertulang terhadap beban lentur

Perilaku balok beton bertulang di saat kondisi terjadi keruntuhan dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 2.1), Pada stadium ini, balok akan runtuh. Yang mana akan ada 3 kemungkinan jenis keruntuhan, sesuai pasal 10.3 SNI 2847-2013, yakni: (1) Penampang setimbang ("Balanced"). (2) penampang terkendali tekan ("compression controlled section"), (3) Penampang terkendali tarik ("tension controlled section") dan (4) Penampang lain yang berada diantara penampang terkendali tekan dan tarik dinamakan berada pada daerah transisi.

Asumsi-asumsi perhitungan kekuatan penampang.

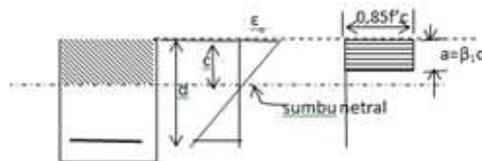
Beberapa asumsi yang digunakan dalam mempelajari perilaku penampang adalah sebagai berikut (1) bidang rata dianggap tetap rata setelah mengalami lentur dan tetap tegak lurus sumbu konstruksi, (2) Regangan-regangan di dalam penampang dianggap berbanding lurus dengan jaraknya ke garis netral, (3) Dalam kondisi batas, analisis dan desain penampang beton bertulang, (SNI 2847:2013 Pasal 10.2.7), diijinkan untuk menggunakan distribusi blok tegangan ekuivalent. Blok tegangan tersebut didefinisikan seperti terlihat pada Gambar 2.2, dengan harga β_1 diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 sebagai:

Untuk $f'_c \leq 28 \text{ MPa}$, nilai $\beta_1 = 0,85$.



Gambar 1. Penampang saat stadium III dan 3 kemungkinan diagram regangan

(4) Tegangan Tarik Dianggap Dipikul Sepenuhnya Oleh Tulangan



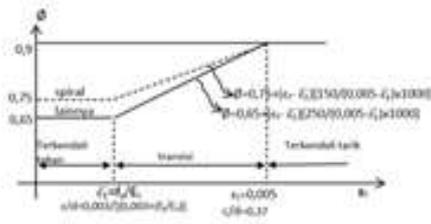
Gambar 2. Penampang balok dengan diagram regangan dan blok tegangan ekuivalen

Standar Perencanaan

Konsep standar perencanaan yang dianut oleh SNI 2847:2013 adalah berbasis kekuatan, atau yang sering dikenal sebagai metode LRFD ("Load and Resistance Factor Design"), yang mensyaratkan:

ϕ dikalikan Kuat nominal \geq Kuat perlu U Dimana kuat nominal adalah tingkat kekuatan elemen struktur dan ϕ adalah faktor reduksi, yang mana SNI 2847:2013 pasal 9.3 mengatur tentang ϕ :

Nilai ϕ untuk penampang terkendali tekan (kolom), diuraikan lebih detail sebagai berikut (Gambar 3).



Gambar 3. Nilai faktor reduksi ϕ (Priyono,P.(2017))

Kolom

Kolom adalah suatu elemen struktur yang utamanya memikul kombinasi beban momen lentur dan aksial tekan. Kolom dengan beban aksial tekan murni sangat jarang dijumpai pada struktur bangunan beton bertulang. Beberapa factor yang mengakibatkan adanya momen yang terjadi di elemen kolom, diantaranya karena beban lateral seperti gempa bumi atau angin.

Secara umum kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut (Setiawan,A.(2002):

Berdasarkan beban yang bekerja, kolom dapat diklasifikasikan menjadi a) kolom dengan beban aksial sentris,(b) kolom dengan beban eksentris,(c) kolom dengan beban biaksial. Sedangkan berdasarkan panjangnya, kolom dapat dibedakan menjadi :(a) kolom pendek dan (b) kolom panjang.

Batasan Kolom Pendek

Suatu kolom dikatakan pendek, yaitu kolom yang akan mencapai kegagalan material sebelum akan mengalami tekuk bila:

- a. Rangka braced: (SNI 2847:2013 pasal 10.10.1.(a))

$$\frac{kl_u}{r} < 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots (1)$$

Dengan suku $34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$.

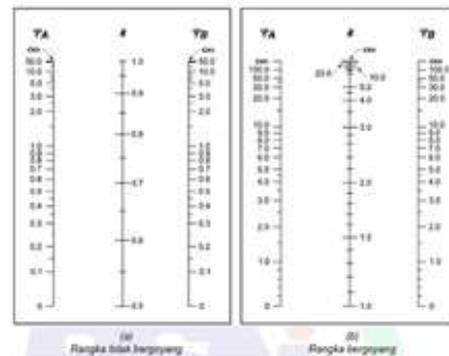
Menurut SNI 03 -2847-2013 pasal 10.10.1.2. radius girasi r boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, untuk komponen struktur tekan persegi, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk penampang lainnya, r boleh

dihitung dari penampang beton bruto. k adalah factor panjang efektif, yang bisa diestimasi dengan “Aligment Chart Jackson dan Moreland”.

dimana: Ψ adalah rasio $\sum(EI/l_c)$ dari komponen struktur tekan terhadap $\sum(EI/l)$ dari komponen struktur lentur pada salah satu ujung komponen struktur tekan yang dihitung dalam bidang rangka yang ditinjau.

l adalah bentang dari komponen struktur lentur yang diukur dari pusat ke pusat joint

Ψ_A dan Ψ_B nilai-nilai Ψ pada kedua ujung kolom.



Gambar 4. Nomogram faktor tekuk efektif,k (Sumber SNI 2847:2013)

- a. Rangka “unbraced”: (pasal 10.10.1.(b) SNI 2847:2013)

$$\frac{kl_u}{r} < 22 \dots\dots\dots(2)$$

Kolom langsing (panjang)

Apabila angka kelangsingan ($\frac{kl_u}{r}$) kolom melebihi batas untuk kolom pendek, maka kolom tersebut disebut kolom langsing (panjang), yaitu kolom yang akan mengalami kegagalan tekuk sebelum mencapai keadaan batas kegagalan material ,dan komponen struktur harus direncanakan dengan menggunakan beban aksial terfaktor P_u yang didapat dari analisisi struktur konvensional dan suatu momen terfaktor yang dibesarkan (“moment magnification method”) M_c , yang didefinisikan:

- a. Untuk portal yang tidak bergoyang (SNI 2847-2013 pasal 10.10.6):

$$M_c = \delta_{na} M_2 \dots\dots\dots(3)$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.10.6.5, $M_{2min} = P_u(15,24+0,03h)$ untuk masing-masing sumbu yang dihitung secara terpisah, dimana satuan h adalah millimeter.

Dimana:

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} \geq 1,0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Nilai EI ditentukan sebesar:

$$EI = \frac{(0,2E_c I_g + E_s I_{se})}{1 + \beta_{dns}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

atau, secara lebih konservatif

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Nilai l_u adalah panjang bebas, dan nilainya harus diambil sama dengan jarak bersih antara pelat lantai, balok, atau komponen lain yang mampu memberikan tahanan lateral dalam arah yang ditinjau (SNI2847:2013 pasal 10.10.1.1)

Nilai β_{dns} harus diambil sama dengan rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial total terfaktor maksimum.(SNI 2847:2013 pasal 10.13.6)

Nilai C_m diatur SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.4:

- Untuk komponen struktur tanpa beban transversal diantara tumpuannya :

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dengan nilai $\frac{M_1}{M_2}$ bernilai positif untuk kolom melentur dengan kelengkungan tunggal.

- Untuk komponen struktur dengan beban transversal di antara tumpuannya:

$$C_m = 1,0.$$

- Untuk komponen struktur dengan $M_{2min} > M_2$, maka nilai C_m ditentukan (SNI 2847:2013 pasal 10.12.3.2):

- a. Sama dengan 1,0 atau berdasarkan pada rasio antara M_1 dan M_2 yang dihitung.

- b. Untuk rangka portal yang bergoyang

SNI 2847:2013 pasal 10.10.7.2, untuk komponen tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping, factor panjang efektif, k, harus ditentukan dengan menggunakan nilai E dan I yang sesuai dengan pasal 10.4.4, dan harus lebih besar 1,0.

SNI 2847:2013 pasal 10.10.4.1, mengatur:

- Modulus elastisitas, $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$, untuk beton normal atau, untuk

beton dengan w_c antara 1500 kg/m³ sampai 2500 kg/m³, $E_c =$

$$w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ (dalam MPa) (SNI 03-2847-2002 pasal 8.5.1)}$$

- Momen inersia, I

Balok0,35I_g

Kolom0,70I_g

SNI 2847 :2013 pasal 10.10.7, mengatur momen M_1 dan M_2 pada ujung-ujung komponen struktur tekan harus diambil:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}; M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \dots\dots(9)$$

Dengan δ_s dihitung dengan: (SNI 2847:2013 pasal 10.10.7.3):

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1, \dots\dots(10)$$

Atau (pasal 10.10.7.4) $\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1 \dots\dots(11)$

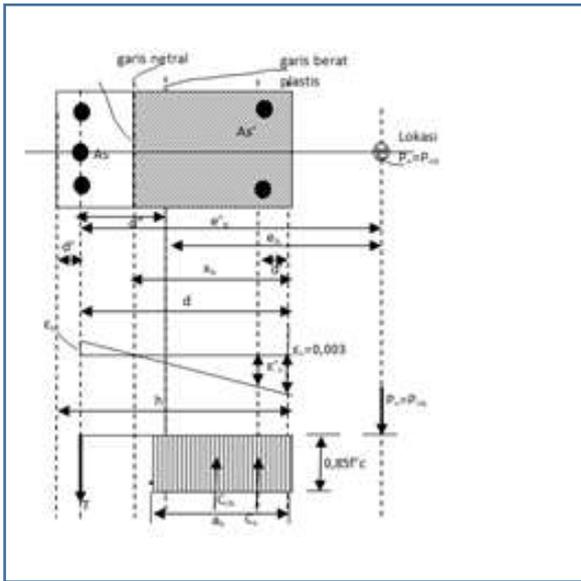
dengan $\sum P_u$ adalah jumlah seluruh beban vertical terfaktor yang bekerja pada suatu tingkat, dan $\sum P_c$ adalah jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada suatu tingkat.

Analisa kompatibilitas regangan kolom

• Penampang dalam keadaan setimbang

Kondisi setimbang terjadi pada penampang kolom, ketika beban P_{nb} bekerja pada penampang, yang akan menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton, dan pada saat bersamaan tulangan baja mengalami leleh, atau regangannya mencapai $\epsilon_y = f_y / E_s$. Kompatibilitas regangan dan tegangan pada penampang kolom saat dalam keadaan setimbang, Misalkan x adalah jarak dari serat tekan beton terluar ke sumbu netral, maka dari diagram regangan pada Gambar 2.8, diperoleh hubungan:

$$x_b = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} d = \frac{600}{600 + f_y} d \quad \dots\dots\dots(12)$$



Gambar 5. Kompabilitas regangan dan tegangan kolom dalam keadaan setimbang

Tinggi blok tegangan ekuivalent adalah :

$$a_b = \beta_1 x_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 d \dots (13)$$

Dari kesetimbangan gaya diperoleh:

$$P_{nb} = C_{cb} + C_s - T$$

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot a_b \cdot b = 0,85 f'_c \cdot \beta_1 \cdot x_b \cdot b \dots (14)$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85 f'_c) \dots (15)$$

$$T = A_s \cdot f_y \dots (16)$$

Nilai f'_s diambil sama dengan f_y apabila tulangan tekan telah leleh:

$$f'_s = 600 \frac{x_b - d'}{x_b} \geq f_y \dots (17)$$

Sehingga persamaan kesetimbangan gaya dapat ditulis kembali menjadi berbentuk:

$$P_{nb} = 0,85 f'_c \cdot \beta_1 \cdot x_b \cdot b + A'_s (f'_s - 0,85 f'_c) - A_s \cdot f_y \dots (18)$$

Nilai eksentrisitas, e_b , diukur dari pusat berat plastis, sedangkan e_b' diukur dari pusat tulangan tarik ($e_b' = e_b + d''$), dengan d'' adalah jarak dari pusat berat plastis ke pusat tulangan tarik. Oleh Park and Paulay (1975), nilai $d'' = \frac{0,85 f'_c b h (d - 0,5h) + A'_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b h + (A'_s + A_s) f_y}$ dan sama dengan $(d - \frac{h}{2})$ untuk apabila luas tulangan tekan dan tarik sama besar.

Dengan mengambil \sum Momen terhadap garis berat penampang = 0

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = C_{cb} (d - \frac{a_b}{2} - d'') + C_s (d - d' - d'') + T (d'') \dots (19)$$

Atau

$$P_{nb} e_b = M_{nb} = 0,85 f'_c \cdot a_b \cdot b (d - \frac{a_b}{2} - d'') + A'_s (f'_s - 0,85 f'_c) (d - d' - d'') + A_s \cdot f_y d'' \dots (20)$$

sehingga nilai eksentrisitas pada kondisi setimbang diperoleh dari:

$$E_B = M_{NB} / P_{NB} \dots (21)$$

Penampang persegi dalam daerah “underreinforced” (kegagalan tarik)

Apabila penampang kolom diberi beban tekan eksentris dengan nilai eksentrisitas yang besarnya lebih besar dari nilai eksentrisitas setimbang (e_b), maka terjadi keadaan penampang yang mengalami kegagalan tarik. Pada kasus ini, kuat tekan nominal penampang P_n akan lebih kecil dari kuat tekan nominal keadaan setimbang (P_{nb}). Untuk penampang bertulangan rangkap dengan kejadian tulangan tekan telah leleh, $f'_s \geq f_y$, sehingga $f'_s = f_y$. Apabila pada saat kondisi setimbang, $f'_s \geq f_y$, maka pada saat kondisi tarik akan terjadi tulangan tekan telah leleh ($f'_s > f_y$) dan $f'_s = f_y$.

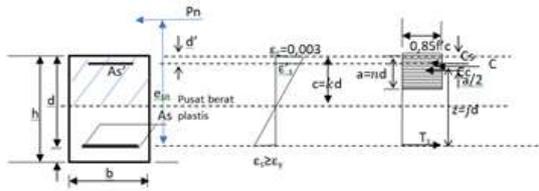
METODE PENELITIAN

Metode studi ilmiah ini pada dasarnya mengolah kembali rumus-rumus dasar tentang teori kekuatan penampang elemen kolom beton bertulang yang telah diturunkan oleh beberapa penulis sebelumnya serta SNI 2847:2013 agar mendapatkan sebuah perumusan lain yang dapat digunakan secara umum dengan tujuan bisa dibuat grafik yang dapat digunakan sebagai alat bantu untuk mempermudah dan menyederhanakan desain luas tulangan lenturnya.

Untuk tujuan tersebut diatas, harus dibentuk suatu parameter-parameter yang dapat menyimpan sifat-sifat penampang dan material elemen balok beton bertulang, seperti mutu baja (f_y) dan mutu beton (f'_c) yang selalu bervariasi. Kemudian hasil dari parameter-parameter tersebut digambarkan dengan suatu format tertentu.

Sebagai petunjuk penggunaan terhadap grafik yang telah dibuat diperlukan beberapa contoh pemakaian yang diselesaikan dengan bantuan grafik tersebut, serta dilakukan uji perbandingan secara analitis.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 5. Penampang lentur dengan tulangan penyederhanaan

Memperhatikan Gambar 5, dalam rangka penyederhanaan diperoleh nilai-nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan tulangan rangkap, yakni:

Tinggi blok ekuivalen tekan, $a=nd$ (22)

Tinggi garis netral, $c=kd$ (23)

Lengan momen, $z=jd$; (24)

Rasio regangan baja tulangan tarik terhadap regangan beton, $\frac{\epsilon_s}{\epsilon'_c} = \phi_n$ (25)

Rasio regangan baja tulangan tekan terhadap regangan beton, $\frac{\epsilon'_s}{\epsilon'_c} = \phi'_n$ (26)

Rasio luas baja tulangan,
 $\rho = \frac{A_s}{bd}$ (27)

Rasio luas baja tulangan tekan,
 $\rho' = \frac{A'_s}{bd} = \delta\rho$ (28)

Dengan $\delta = \frac{A'_s}{A_s}$ (29)

Nilai koefisien penampang,
 $q = \frac{A_s f_y}{f'_c b d}$ (30)

untuk tulangan tekan sudah leleh;(f'_s mencapai f_y)

Perhatikan diagram regangan seperti Gambar 5 diatas:

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon'_c} = \frac{d - c}{c} = \frac{1 - k}{k}$$

Namakan: $\frac{\epsilon_s}{\epsilon'_c} = \phi_n$, sehingga
 $\phi_n = \frac{1-k}{k}$ (31)

$a = \beta_1 c = nd$,
 jadi $nd = \beta_1 kd$ -maka
 $k = \frac{n}{\beta_1}$ (33)

Namakan: $\frac{\epsilon'_s}{\epsilon'_c} = \phi'_n$
 $\phi'_n = 1 - \frac{\beta_1 (\frac{d'}{d})}{n}$ (34)

Untuk tujuan penyederhanaan, pengaruh hilangnya luasan beton akibat luas tulangan tekan diabaikan, karena pengaruhnya tidak signifikan untuk tujuan desain .

Σ gaya horizontal =0
 $A_s f_y (1-\delta) = b \cdot n d \cdot 0,85 f'_c$ (35)

Resultante C_c dan C_s berjarak y dari serat tepi atas (tekan)

$$y = \delta d' + (1-\delta) \frac{1}{2} a$$
(36)

dimana; $a = nd = \frac{(1-\delta)q}{0,85} d$ (37)

Momen nominal:

$$M_n = T_s (d-y) = A_s f_y$$
(38)

$$M_n = A_s f_y (d - \delta d' - (1-\delta) \frac{q}{1,7} d)$$
(39)

dimana:

$$A_s f_y = \frac{b \cdot n \cdot d \cdot 0,85 f'_c}{(1-\delta)}$$
(40)

$$\frac{M_n}{f'_c b d^2} = \frac{n \cdot 0,85}{(1-\delta)} \left((1-\delta) \frac{d'}{d} - (1-\delta) \frac{q}{1,7} \right)$$

$$R_m = \frac{M_n}{f'_c b d^2} = q \left((1-\delta) \frac{d'}{d} - (1-\delta) \frac{q}{1,7} \right)$$
(41)

Dari persamaan $q = \frac{A_s f_y}{f'_c b d}$ dan $M_n = A_s f_y j d$

Diperoleh:

$$A_s = q \frac{f'_c b d}{f_y}$$
 dan juga : $A_s = \frac{M_n}{j d f_y}$ (42)

Dengan $j = 1 - \delta \left(\frac{d'}{d} \right) - \frac{1}{2} (1 - \delta) n$ (43)

Untuk tujuan penulangan, dengan adanya gaya tekan P, yang eksentris sebesar e_{sn} dari sumbu tulangan tarik, maka tulangan tarik dikoreksi dengan:

$$A_s = \frac{P_n e_{sn}}{f_y (j d)} - \frac{P_n}{f_y}$$
(44)

$$= \frac{P_n e_{sn}}{f_y (j d)} \left(1 - j \frac{d}{e_{sn}} \right)$$
(45)

Namakan ; $i = \frac{1}{(1 - j \frac{d}{e_{sn}})}$ (46)

Jadi, $i A_s = \frac{P_n e_{sn}}{f_y j d}$ (47)

Sesuai Pers (41) yakni , $R_m = \frac{M_n}{f'_c b d^2}$ ---

$\rightarrow R_m b d^2 = M_n = P_n \cdot e_{sn}$
 Maka $i A_s = R_m b d \frac{f'_c}{j f_y}$ (48)

Sesuai Pers.(43), yakni $R_m = qj$, maka

Maka $i A_s = q b d \frac{f'_c}{f_y}$ (49)

untuk tulangan simetris, $A_s=A'_s$, maka

$$\delta = \frac{A_s}{iA_s} = \frac{1}{i} \quad (50)$$

$$\delta = 1 - j \frac{d}{e_{sn}} \quad (51)$$

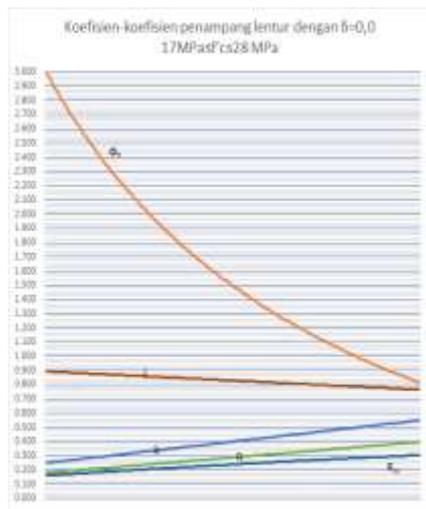
Biasanya j ditaksir sebesar 0,8

Grafik-grafik hasil studi

Telah dibuat grafik yang menghubungkan nilai-nilai koefisien penampang dengan tulangan tunggal (bila $\delta = 0$ dan $d'/d=0$) dan tulangan rangkap (bila $\delta = 0,2; 0,4; 0,6$ dengan $d'/d=0,1$, suatu nilai yang umum terjadi dalam desain). Grafik dibuat dengan memperhatikan batas-batas yang mungkin ada untuk nilai $q_{maks} = \frac{0,27094}{(1-\delta)} q_{min} = \frac{1,4}{f'_c}$, maupun $\phi_{ont,maks} = \frac{\epsilon_{t,maks}}{0,003} = 3,3$.

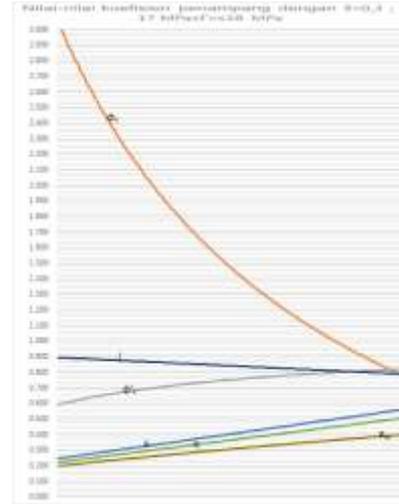
Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,0$.

Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,0$, diperlihatkan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,2$.

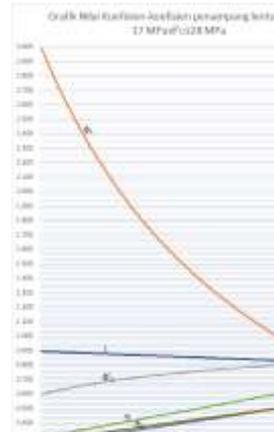
Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,2$, digambarkan sesuai grafik Gambar 6.



Gambar 6. Grafik nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,2$

Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,4$.

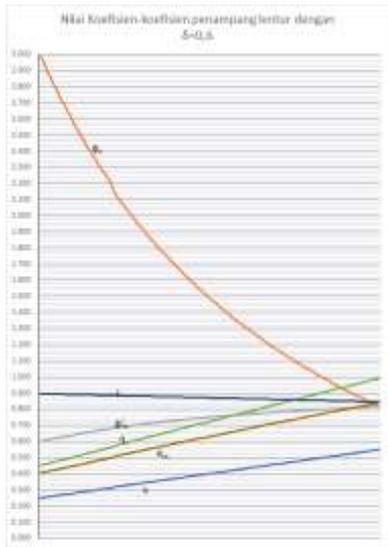
Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,4$, digambarkan sesuai grafik Gambar 7



Gambar 7. Grafik nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,4$

Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,6$.

Hasil nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,6$, diperlihatkan seperti grafik Gambar 8.

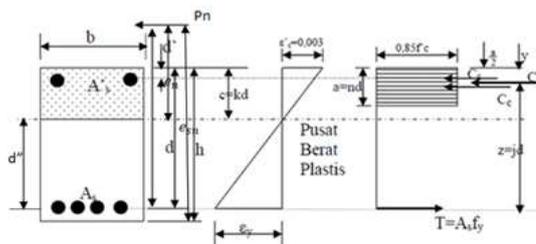


Gambar 8. Grafik nilai koefisien-koefisien penampang lentur dengan $\delta=0,6$

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan studi yang dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Bisa didapatkan suatu tuntunan metode desain tulangan lentur kolom sesuai standar SNI 2847:2013 dengan alat bantu grafik yang lebih sederhana dan bisa berlaku secara umum untuk mutu beton ≤ 28 MPa dan segala mutu baja yang ada di pasaran
2. Bisa diperoleh parameter-parameter lain, untuk tujuan desain tulangan lentur kolom yang masih sesuai standar SNI 2847:2013, yakni (Gambar 9) :



Gambar 9. Penampang balok lentur dengan diagram regangan dan tegangan

- (a) Eksentrisitas gaya aksial tekan terhadap pusat berat plastis, $e_n = \frac{M_n}{P_n}$
- (b) Eksentrisitas gaya aksial tekan terhadap as tulangan tarik, $e_{sn} = e_n + d''$

- (c) Letak pusat berat plastis terhadap sumbu tulangan tarik
$$d'' = \frac{0,85 f'_c b h (d - 0,5h) + A'_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b h + (A'_s + A_s) f_y}$$
 dengan bila $A_s = A'_s$ letak pusat berat plastis di pusat berat penampang.
 - (d) Rasio tulangan, $q = i \frac{A_s f_y}{f'_c b d}$
 - (e) Rasio luas tulangan, $\delta = \frac{1}{i} = \frac{A'_s}{A_s}$
 - (f) Rasio regangan baja tulangan tarik, $\phi_n = \frac{\epsilon_s}{0,003}$
 - (g) Rasio regangan baja tulangan tekan, $\phi'_n = \frac{\epsilon'_s}{0,003}$
 - (h) Batas rasio regangan tulangan keadaan leleh, $\phi_{on} = \frac{\epsilon_y}{0,003}$
 - (i) Rasio momen, $R_m = \frac{P_n e_{sn}}{f'_c b d^2}$
 - (j) Faktor $i = \frac{1}{\left(1 - j \frac{d}{e_{sn}}\right)}$
 - (k) Luas tulangan tarik, $A_s = \frac{1}{i} q b d \frac{f'_c}{f_y}$
 - (l) Luas tulangan tekan, $A'_s = i \delta A_s$
 - (m) Gaya aksial tekan nominal, $P_n = i \frac{A_s f_y j d}{e_{sn}}$
3. Kontrol regangan baja tulangan tekan

ϕ'_n (grafik) $\geq \phi_{on} = \frac{\epsilon_y}{0,003}$, maknanya adalah bahwa tulangan tekan mempunyai nilai regangan yang masuk kondisi telah leleh.

4. Faktor reduksi bisa ditentukan dengan cara mendapatkan regangan baja tarik yang terjadi, yakni $\epsilon_s = \phi_n \times 0,003$ dan membandingkan dengan nilai regangan batas terkendali tekan, $\bar{\epsilon}_t = \frac{f_y}{E_s}$ dan $\epsilon_t^0 = 0,005$ dengan catatan:

- a) Bila $\epsilon_s < \bar{\epsilon}_t$, nilai $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan sengkang ikat
- b) Bila $\bar{\epsilon}_t < \epsilon_s < \epsilon_t^0 = 0,005$ nilai $\phi = 0,65 + (\epsilon_s - \bar{\epsilon}_t) [250 / (0,005 - \bar{\epsilon}_t)] \times 100$ untuk kolom dengan sengkang ikat
- c) Bila $\epsilon_s \geq \epsilon_t^0 = 0,005$, nilai $\phi = 0,9$

DAFTAR PUSTAKA

- Nasution,A. (2009). “Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang”. ITB. Bandung.
- Nawy,E.G.(1985). “Reinforced Concrete-A Fundamental Approach”.Prentice-Hall,Inc, New Jersey.
- Park,R. and T. Paulay (1975). “Reinforced Concrete Structures”.John Wiley &Sons, New York.
- Priyono,P.(2000). “Studi Penyederhanaan Desain Tulangan Lentur Elemen Kolom Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03”. Universitas Muhammadiyah Jember.
- Priyono,P.(2018). “Usulan Metode Penyederhanaan Desain Tulangan Lentur Elemen Balok Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013”. Universitas Muhammadiyah Jember.
- Priyono,P.(2019). “Buku Ajar Struktur Beton Bertulang I (Berdasarkan SNI 2847:2013). Pustaka Abadi, Jember
- Setiawan,A.(2016). “Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847-2013)”. Erlangga, Jakarta.
- “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)”. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Wang,C.K, C.G.Salmon,J.A. Pincheira (2007). “Reinforced Concrete Design”,7th ed. John Wiley &Sons, New York.

