

**PERSYARATAN DESAIN KOMPONEN STRUKTUR LENTUR
BETON BERTULANGAN TUNGGAL
ANTARA SNI 03-2847-2002 DAN SNI 2847:2013**

***DESIGN REQUIREMENTS OF SINGLE BONE BENDING
CONCRETE STRUCTURE COMPONENT BETWEEN SNI 03-
2847-2002 AND SNI 2847: 2013***

Agus Setiawan

Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang-Banten
Jl. Boulevard Bintaro Sektor 7 Bintaro Jaya – Tangerang Selatan 15224
agustinus@upj.ac.id

Abstrak

Standar perencanaan untuk struktur beton bertulang di Indonesia mengalami pembaharuan dengan dikeluarkannya SNI 2847:2013 “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung” sebagai pengganti dari SNI 03-2847-2002. Meskipun tidak terdapat perubahan secara signifikan, namun terdapat beberapa pembaharuan konsep yang seharusnya dipahami oleh pelaku teknis di bidang struktur, terutama seorang perencana struktur. Salah satu perubahan yang dilakukan dalam SNI 2847:2013 adalah dalam masalah perencanaan komponen struktur lentur. Konsep baru dalam SNI 2847:2013 adalah dalam hal perencanaan komponen struktur lentur, yang didasarkan pada regangan tarik *netto* dari tulangan baja tarik terluar, ϵ_t . Berdasarkan nilai ϵ_t , maka suatu penampang struktur lentur dapat dikategorikan sebagai penampang terkendali tarik, tekan, atau berada dalam zona transisi. Apabila dalam SNI 2002 nilai faktor reduksi kekuatan, ϕ untuk komponen struktur lentur adalah seragam sebesar 0,80, maka dalam SNI 2013 nilai ϕ ditentukan oleh besarnya ϵ_t . Kajian berikut menunjukkan hubungan antara nilai ϵ_t terhadap rasio tulangan, ρ , serta hubungannya terhadap kapasitas momen lentur penampang. Selain itu juga untuk menentukan rasio tulangan maksimum yang diizinkan untuk tiap mutu beton berdasarkan nilai batas regangan tarik yang diizinkan, yaitu sebesar 0,004.

Kata Kunci: komponen struktur lentur, regangan tarik neto, rasio tulangan, faktor reduksi kekuatan

Abstract

The standard code for reinforced concrete structures in Indonesia was renewed with the release of SNI 2847:2013 " Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung " in lieu of SNI 03-2847-2002. Although there were no significant changes, there are some reforms that should be understood by professionals in the field of structural engineering, especially a structure engineer. One of the changes made in SNI 2847:2013 is the design of flexure structural component. The new concept in the design of flexure structural components are based on the net tensile strain of the outermost tensile steel reinforcement, ϵ_t . According to the value of ϵ_t , a cross-section of flexural structures can be categorized as a tension controlled, compression controlled or in the transition zone. The strength reduction factor, ϕ for flexural structure component by SNI 2002 is made uniform 0.80, while SNI 2013 determines the magnitude of ϕ based on the value of ϵ_t . The study is intended to show the relationship between the value of the reinforcement ratio ρ and ϵ_t , as well as its relationship to the bending moment capacity of the cross section. This paper additionally

studies the maximum allowable reinforcement ratio for each compressive strength of the concrete based on the value of the allowable tensile strain limit, i.e. 0.004.

Keywords: *flexure structure component, net tensile strain, reinforcement ratio, strength reduction factor*

Tanggal Terima Naskah : 06 Januari 2015

Tanggal Persetujuan Naskah : 30 Januari 2015

1. PENDAHULUAN

Peraturan mengenai tatacara perencanaan struktur beton bertulang di Indonesia mengalami pembaharuan seiring dengan dikeluarkannya SNI 2847:2013 mengenai “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”. Peraturan yang baru ini sekaligus menggantikan peraturan sebelumnya, yaitu SNI 03-2847-2002 yang sudah berlaku lebih dari 10 tahun. Seperti halnya peraturan terdahulu yang menganut tata cara dari *American Concrete Institute* (ACI), maka SNI 2847:2013 disusun dengan mengacu pada ACI318M-11. Meskipun tidak terdapat perubahan yang cukup signifikan, namun beberapa detail perubahan yang diatur dalam SNI yang baru ini harus dipahami dengan baik oleh pelaku konstruksi, terutama para perencana struktur. Salah satu hal baru yang dicantumkan dalam SNI 2847:2013 adalah dalam hal perencanaan komponen struktur lentur (balok). Dalam SNI 2847:2013 penampang struktur lentur dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu penampang terkendali tarik, penampang terkendali tekan, serta penampang yang berada dalam zona transisi antara tarik dan tekan. Penentuan kriteria penampang tersebut didasarkan pada regangan tarik *netto*, ϵ_t , yang terjadi pada tulangan baja terluar. Rasio tulangan maksimum ditentukan berdasarkan regangan tarik minimum yang boleh terjadi, sesuai dengan yang ditentukan dalam peraturan. Hal ini sedikit berbeda dari peraturan sebelumnya, SNI 2002, yang menyatakan bahwa rasio tulangan maksimum dibatasi sebesar 0,75 dari rasio tulangan dalam kondisi seimbang. Selain itu, perubahan juga terjadi pada faktor reduksi kekuatan, ϕ . Jika pada SNI 2002, nilai ϕ ditentukan seragam sebesar 0,8, maka pada SNI 2013 nilai ϕ diperbolehkan diambil sebesar 0,90 jika ϵ_t mencapai 0,005 atau lebih dan direduksi secara linear hingga ϵ_t mencapai batas minimum yang diizinkan sebesar 0,004.

Kajian yang dilakukan berikut ini hendak membandingkan konsep desain komponen struktur lentur balok beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2002 dengan SNI 2847:2013, ditinjau dari perbandingan rasio tulangan beton (ρ), terhadap kapasitas momen *ultimit* dari penampang, serta untuk mengetahui rasio tulangan maksimum (ρ_{maks}) yang diizinkan untuk berbagai mutu beton berdasarkan SNI 2847:2013 [1]. Selain itu juga hendak dikaji hubungan antara rasio tulangan terhadap regangan tarik *netto*, ϵ_t , yang terjadi pada tulangan baja tarik terluar.

2. ANALISIS BALOK BETON TULANGAN TUNGGAL

Dalam melakukan analisis terhadap suatu komponen struktur lentur, harus diambil asumsi-asumsi untuk menentukan kapasitas lentur penampang tersebut [2]. SNI 03-2847-2002 pasal 12.2 dan SNI 2847:2013 pasal 10.2 mencantumkan asumsi-asumsi dasar yang diambil untuk melakukan analisis dan desain suatu komponen struktur lentur. Secara garis besar, tidak ada perbedaan asumsi yang diambil dari kedua peraturan tersebut. Asumsi - asumsi yang digunakan dalam perencanaan komponen struktur lentur dalam kedua SNI tersebut adalah sebagai berikut:

1. Regangan pada tulangan dan beton dianggap berbanding lurus terhadap sumbu netral
2. Regangan pada serat tekan beton terluar diambil sama dengan 0,003
3. Tegangan tarik pada tulangan yang kurang dari f_y harus diambil sebesar E_s dikali regangan tulangan, sedangkan jika regangan tulangan melebihi ϵ_y , maka tegangan tulangan harus diambil sama dengan f_y
4. Kuat tarik beton harus diabaikan dalam perhitungan aksial dan lentur
5. Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton diasumsikan berbentuk segi empat, parabola, trapesium, atau bentuk lain yang sesuai dengan hasil pengujian
6. Tegangan tekan beton sebesar $0,85f_c$ diasumsikan terdistribusi merata pada area tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan garis sejarak $a = \beta_1 \cdot c$ dari sisi terluar serat tekan beton
7. Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral, diukur tegak lurus sumbu tersebut
8. Faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton antara 17 dan 28 MPa, dan direduksi sebesar 0,05 untuk tiap kelebihan 7 MPa di atas 28 MPa, namun tidak kurang dari 0,65

Kondisi keruntuhan seimbang (*balanced failure*) dikenal dalam hal analisis atau desain penampang struktur beton bertulang. Kondisi ini dicapai pada saat regangan maksimum sebesar 0,003 dicapai oleh serat tekan beton terluar yang pada saat bersamaan diikuti oleh regangan tulangan tarik yang mencapai tegangan lelehnya, f_y . Pada Gambar 1 ditunjukkan kondisi tegangan dan regangan yang terjadi pada penampang balok beton bertulang yang mengalami kondisi seimbang [3]. Dari distribusi regangan balok pada Gambar 1, maka dengan menggunakan prinsip perbandingan segitiga, dapat diperoleh hubungan:

$$\frac{c_b}{d - c_b} = \frac{0,003}{f_y / E_s} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan mengambil nilai $E_s = 200.000$ MPa, maka tinggi garis netral c_b dapat ditentukan sebagai berikut:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots (2)$$

Selanjutnya dari keseimbangan gaya dalam arah horizontal, dapat diturunkan hubungan:

$$C = T \dots\dots\dots (3)$$

$$0,85 \cdot f_c \cdot a_b \cdot b = A_{sb} \cdot f_y \dots\dots\dots (4)$$

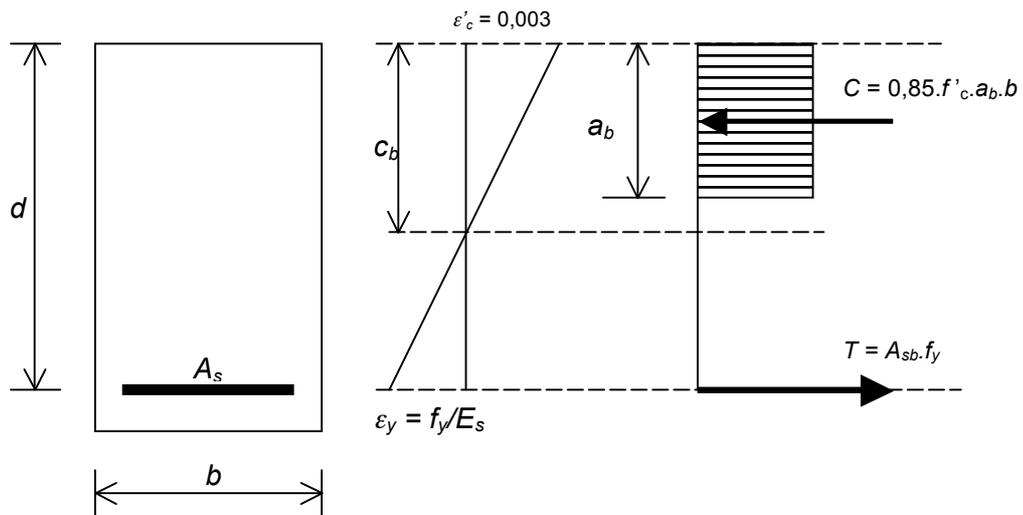
Sehingga diperoleh tinggi blok tegangan, a_b :

$$a_b = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{\rho_b \cdot b \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots (5)$$

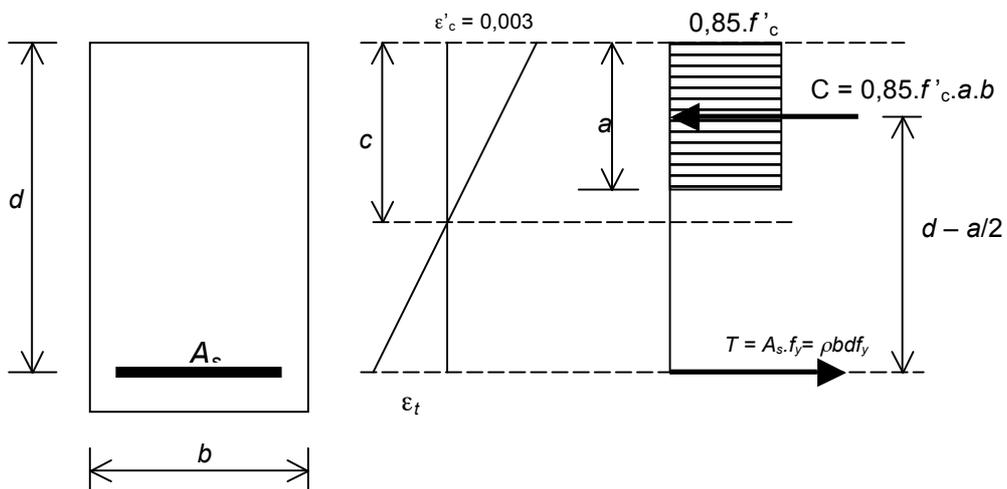
Karena $a_b = \beta_1 \cdot c_b$, maka rasio tulangan dalam keadaan seimbang, ρ_b , adalah:

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (6)$$

Selanjutnya dari Gambar 2 yang merupakan penampang balok beton bertulangan tunggal beserta diagram tegangan dan regangan, dapat ditentukan kapasitas momen *ultimit* penampang.



Gambar 1. Kondisi seimbang pada balok beton persegi bertulangan tunggal



Gambar 2. Keseimbangan gaya dalam penampang balok beton bertulangan tunggal

Dari keseimbangan gaya diperoleh hubungan:

$$C = T \dots \dots \dots (7)$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \dots \dots \dots (8)$$

Dari persamaan tersebut maka nilai a dapat dihitung:

$$a = \frac{\rho \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c} \dots \dots \dots (9)$$

Karena $c = a/\beta_1$, maka tinggi garis netral, c adalah:

$$c = \frac{\rho \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1} \dots \dots \dots (10)$$

Momen nominal internal yang timbul adalah:

$$M_n = C(d - a/2) = 0,85f'_c \cdot a \cdot b(d - a/2) \dots\dots\dots (11)$$

Dengan mensubstitusikan nilai a dari persamaan (5), maka diperoleh:

$$\phi M_n = \phi \rho \cdot f_y \cdot b \cdot d^2 \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right) \dots\dots\dots (12)$$

atau

$$\frac{M_u}{bd^2} = \phi \rho \cdot f_y \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right) \dots\dots\dots (13)$$

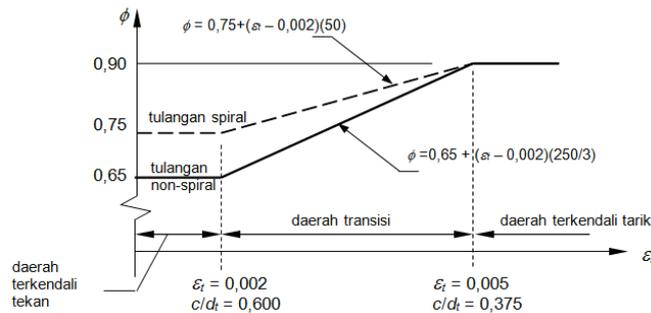
Selanjutnya dari diagram regangan pada Gambar 2 dapat diturunkan hubungan:

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \dots\dots\dots (14)$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{\rho \cdot f_y} - 1 \right) \dots\dots\dots (15)$$

Dalam SNI 2847:2013 nilai ε_t menentukan kriteria penampang dari komponen struktur lentur yang ditinjau. Apabila nilai ε_t kurang dari 0,002 maka penampang dikategorikan sebagai penampang terkendali tekan, sedangkan jika nilai ε_t lebih dari 0,005 maka penampang dikategorikan sebagai penampang terkendali tarik. Apabila nilai berada di antara 0,002 dan 0,005, maka penampang dikategorikan berada dalam daerah transisi [4].

Untuk perencanaan komponen struktur lentur yang tidak memikul beban aksial tekan lebih dari $0,1f'_c A_g$, nilai ε_t dalam SNI 2847:2013 dibatasi untuk tidak kurang dari 0,004. Dengan adanya batasan terhadap nilai ε_t ini, maka sebenarnya ada batasan pula terhadap rasio tulangan tarik, ρ , yang tidak dituliskan secara eksplisit dalam SNI 2847:2013. Hal ini merupakan perubahan dari SNI 03-2847-2002 (yang mengacu pada ACI 318-99) yang secara eksplisit dituliskan bahwa nilai rasio tulangan baja tidak boleh lebih dari 0,75 kali rasio tulangan dalam kondisi seimbang ($\rho_{maks} < 0,75\rho_b$). Perubahan ini sebenarnya sudah diadopsi pada peraturan ACI 318-02, yang disebut sebagai *Unified Design Method*. Metode desain yang berbasis regangan ini hendak menjamin bahwa semua keruntuhan komponen struktur lentur sifatnya adalah *daktail*, sehingga syarat keamanannya lebih terjamin. Nilai dari ε_t turut menentukan pula faktor reduksi kekuatan, ϕ . Pada SNI 03-2847-2002, nilai ϕ untuk semua kondisi komponen struktur lentur diambil seragam sebesar 0,8 [5]. Namun pada SNI 2847:2013, nilai ϕ dapat diambil hingga maksimum 0,9, untuk penampang dengan $\varepsilon_t = 0,005$, dan dapat direduksi secara linier hingga ε_t mencapai 0,004. Gambar 3 menunjukkan hubungan antara nilai ε_t dan ϕ .



Gambar 3. Hubungan antara ε_t dan ϕ

3. HUBUNGAN ANTARA ρ DENGAN NILAI ϵ_T

Hubungan antara nilai regangan tarik *netto* tulangan terluar, ϵ_t dengan rasio tulangan, ρ , telah diturunkan dalam persamaan (10). Hubungan tersebut dapat disajikan dalam bentuk tabel, seperti dalam Tabel 1 [6]. Nilai f'_c yang digunakan adalah dalam satuan MPa. Nilai β_1 terkait dengan nilai mutu beton, sesuai dengan asumsi dasar yang digunakan dalam perencanaan komponen struktur lentur. Secara matematis nilai β_1 dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{f'_c - 30}{7} \cdot 0,05 \dots\dots\dots (16)$$

Mutu tulangan baja, f_y , dalam tabel ini diambil seragam sebesar 400 MPa. Dalam tabel dicantumkan pula nilai rasio tulangan dalam kondisi seimbang, ρ_b .

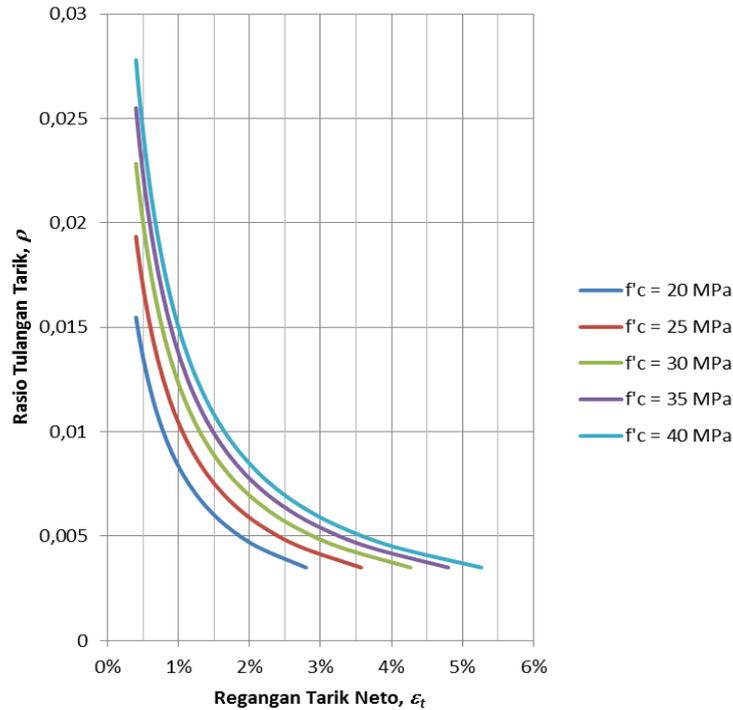
Tabel 1. Hubungan antara rasio tulangan, ρ dengan regangan tarik *netto*, ϵ_t

$f'_c = 20$ MPa		$f'_c = 25$ MPa		$f'_c = 30$ MPa		$f'_c = 35$ MPa		$f'_c = 40$ MPa	
ρ_b	0,021675	ρ_b	0,027094	ρ_b	0,031977	ρ_b	0,0357	ρ_b	0,038964
ρ	ϵ_t								
0,0035	0,0280	0,0035	0,0357	0,0035	0,0427	0,0035	0,0480	0,0035	0,0527
0,0045	0,0211	0,0045	0,0271	0,0045	0,0325	0,0045	0,0367	0,0045	0,0403
0,0055	0,0167	0,0055	0,0216	0,0055	0,0261	0,0055	0,0295	0,0055	0,0324
0,0065	0,0137	0,0065	0,0178	0,0065	0,0216	0,0065	0,0245	0,0065	0,0270
0,0075	0,0115	0,0075	0,0151	0,0075	0,0183	0,0075	0,0208	0,0075	0,0230
0,0085	0,0098	0,0085	0,0129	0,0085	0,0158	0,0085	0,0180	0,0085	0,0199
0,0095	0,0084	0,0095	0,0113	0,0095	0,0138	0,0095	0,0158	0,0095	0,0175
0,0105	0,0073	0,0105	0,0099	0,0105	0,0122	0,0105	0,0140	0,0105	0,0156
0,0115	0,0064	0,0115	0,0088	0,0115	0,0109	0,0115	0,0125	0,0115	0,0139
0,0125	0,0057	0,0125	0,0078	0,0125	0,0098	0,0125	0,0113	0,0125	0,0126
0,0135	0,0050	0,0135	0,0070	0,0135	0,0088	0,0135	0,0102	0,0135	0,0114
0,0145	0,0045	0,0145	0,0063	0,0145	0,0080	0,0145	0,0093	0,0145	0,0104
0,01548	0,0040	0,0155	0,0057	0,0155	0,0073	0,0155	0,0085	0,0155	0,0096
		0,0165	0,0052	0,0165	0,0067	0,0165	0,0078	0,0165	0,0088
		0,0175	0,0047	0,0175	0,0061	0,0175	0,0072	0,0175	0,0081
		0,0185	0,0043	0,0185	0,0056	0,0185	0,0066	0,0185	0,0075
		0,01935	0,0040	0,0195	0,0052	0,0195	0,0062	0,0195	0,0070
				0,0205	0,0048	0,0205	0,0057	0,0205	0,0065
				0,0215	0,0044	0,0215	0,0053	0,0215	0,0061
				0,0225	0,0041	0,0225	0,0049	0,0225	0,0057
				0,02284	0,0040	0,0235	0,0046	0,0235	0,0053
						0,0245	0,0043	0,0245	0,0050
						0,0255	0,0040	0,0255	0,0046
								0,0265	0,0044
								0,0275	0,0041
								0,0278	0,0040

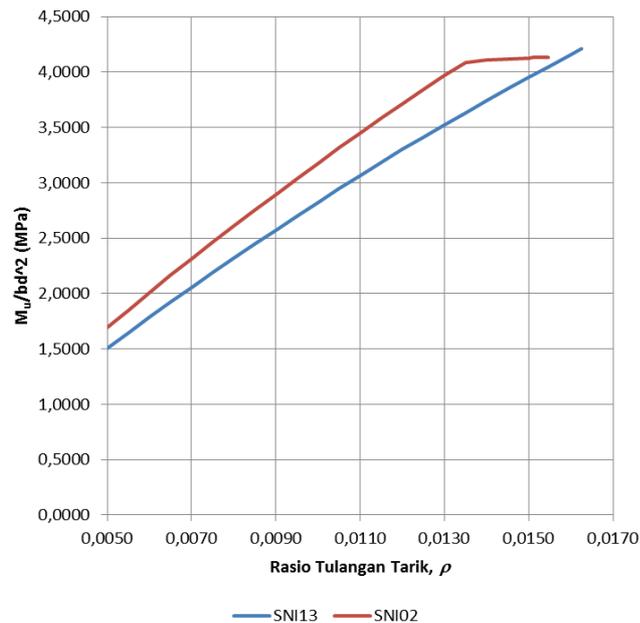
Hubungan antara nilai regangan tarik *netto*, ϵ_t dengan rasio tulangan tarik, ρ , selanjutnya ditunjukkan pula dalam grafik pada Gambar 4. Dari tabel 1, dapat diperoleh rasio tulangan maksimum, ρ_{maks} , yang diizinkan menurut SNI 2847:2013. Nilai rasio ini dihitung dengan berdasarkan syarat bahwa regangan tarik *netto* minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004 untuk memastikan terjadinya keruntuhan struktur yang bersifat *daktail*. Dari rasio tulangan maksimum tersebut dapat dilihat bahwa untuk mutu beton $f'_c = 20$ MPa memiliki $\rho_{maks} = 0,01548 (=0,7142\rho_b)$, untuk mutu beton $f'_c = 25$ MPa memiliki $\rho_{maks} = 0,01935 (=0,7142\rho_b)$, untuk mutu beton $f'_c = 30$ MPa memiliki $\rho_{maks} = 0,02284 (=0,7143\rho_b)$, untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa memiliki $\rho_{maks} = 0,0255 (=0,7143\rho_b)$, dan untuk mutu beton $f'_c = 40$ MPa memiliki $\rho_{maks} = 0,0278 (=0,7135\rho_b)$.

Dari hasil ini terlihat bahwa dalam SNI 2847:2013 batasan nilai rasio tulangan maksimum diturunkan dari batas yang diizinkan dalam SNI 03-2847-2002, yang sebelumnya adalah $0,75\rho_b$. Gambar 5 hingga Gambar 9 menunjukkan hubungan antara nilai rasio tulangan terhadap kapasitas momen lentur penampang, M_u/bd^2 . Hubungan ini diperoleh dari persamaan (8) di atas. Dalam persamaan tersebut nilai ϕ disesuaikan berdasarkan regangan tarik neto yang terjadi [7], yaitu:

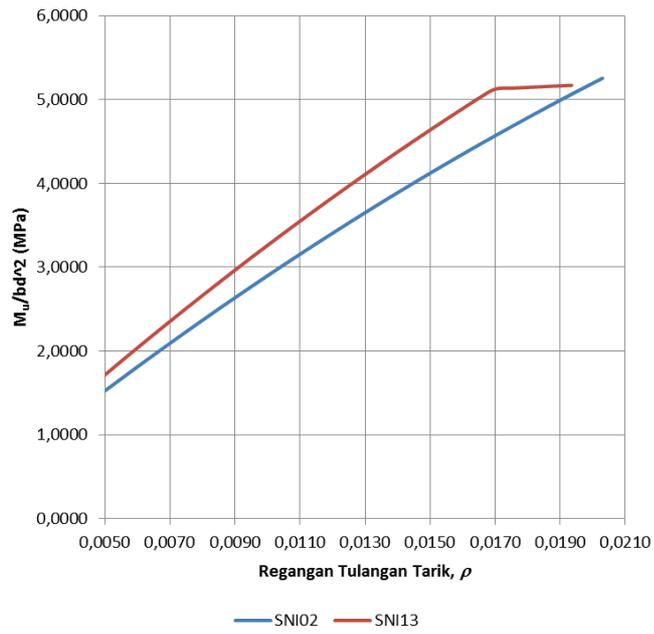
$$\phi = 0,65 + (\epsilon_t - 0,002)(250/3) \dots\dots\dots (17)$$



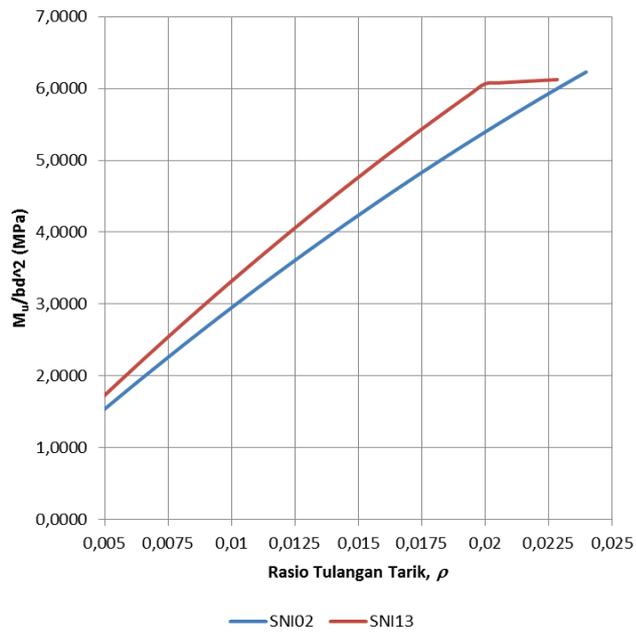
Gambar 4. Hubungan nilai regangan tarik *netto*, ϵ_t , dan rasio tulangan tarik, ρ



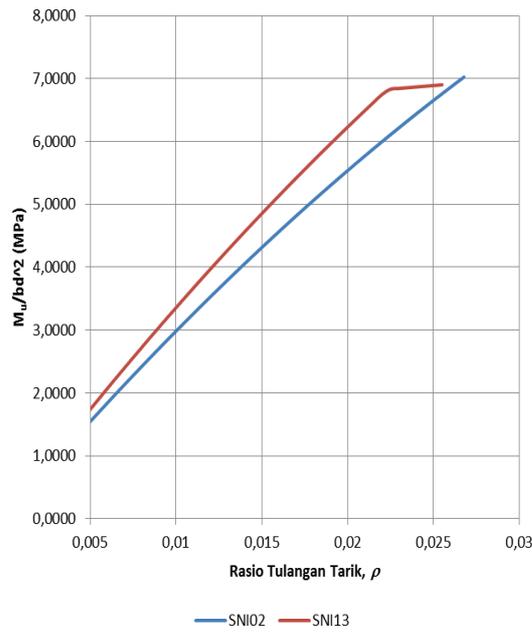
Gambar 5. M_u/bd^2 vs ρ untuk $f'_c = 20$ MPa



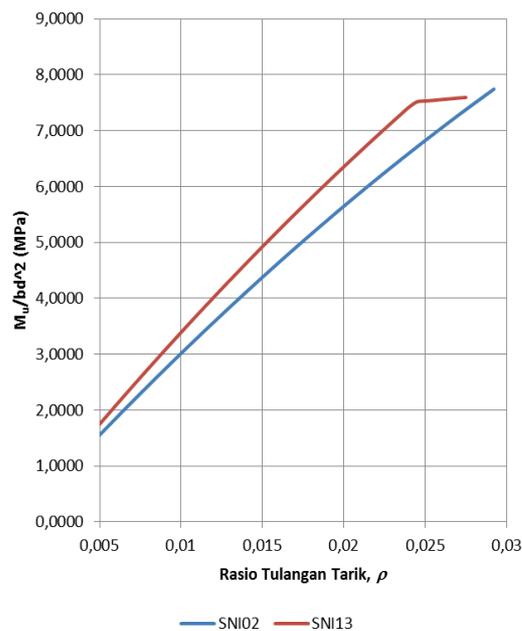
Gambar 6. M_u/bd^2 vs ρ untuk $f'_c = 25$ MPa



Gambar 7. M_u/bd^2 vs ρ untuk $f'_c = 30$ MPa



Gambar 8. M_u/bd^2 vs ρ untuk $f'_c = 35$ MPa



Gambar 9. M_u/bd^2 vs ρ untuk $f'_c = 40$ MPa

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5 hingga Gambar 9, terlihat bahwa untuk nilai mutu beton yang sama serta rasio tulangan tarik yang sama, maka kapasitas momen lentur, M_u , yang diperoleh dari SNI 2847:2013 akan lebih tinggi daripada yang diperoleh dari SNI 03-2847-2002. Makin besar nilai ρ , maka selisih M_u akan makin besar pula, hingga pada saat regangan tarik kurang dari 0,005, selisih antara kedua nilai M_u ini akan berkurang.

Agar dapat menggunakan nilai $f = 0,90$, maka perencana harus mendesain agar regangan tarik pada tulangan baja lebih besar atau sama dengan 0,005. Dari persamaan (10), dapat dituliskan kembali persamaan untuk ρ :

$$\rho = 0,85 \frac{f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{0,003}{\epsilon_t + 0,003} \right) \dots\dots\dots (18)$$

Untuk nilai $\epsilon_t = 0,005$, serta mengingat persamaan untuk rasio tulangan seimbang (persamaan (4)), maka dapat dituliskan persamaan:

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{3}{8} \left(\frac{600 + f_y}{600} \right) \dots\dots\dots (19)$$

Untuk nilai $f_y = 400$ MPa, maka agar dapat menggunakan faktor reduksi $\phi = 0,90$, rasio tulangan maksimum adalah sebesar $0,625\rho_b$. Selanjutnya sebagai perbandingan langsung, akan dilakukan desain suatu penampang balok beton bertulangan tunggal berdasarkan kedua peraturan tersebut.

4. APLIKASI NUMERIK

Dalam uraian berikut diberikan contoh aplikasi suatu perencanaan elemen balok tertumpu sederhana yang akan didesain berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013, dengan data-data teknis sebagai berikut:

- Mutu beton, f'_c = 30 MPa
- Mutu baja, f_y = 400 MPa
- Beban merata *ultimit*, q_u = 50 kN/m
- Panjang bentang, L = 6 m

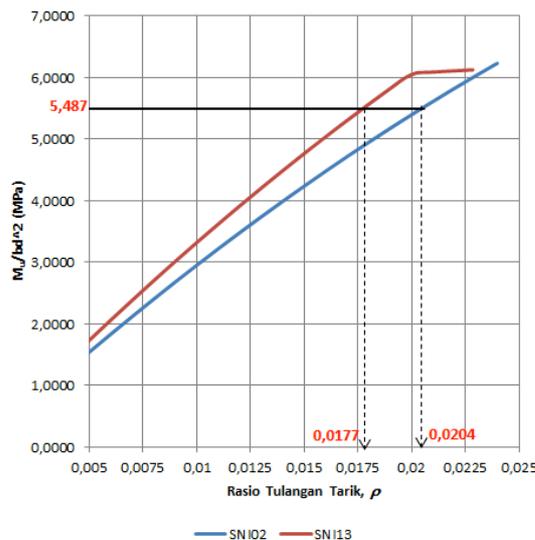
Dari data tersebut dapat dihitung momen *ultimit* maksimum di tengah bentang balok

$$M_u = \frac{1}{8} \times 50 \times 6^2 = 225 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Misalkan penampang balok diambil berukuran $b = 250$ mm dan $h = 450$ mm, dengan tinggi efektif balok, $d = 0,9h = 405$ mm, maka:

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{225 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}}{250 \times 405^2 \text{ mm}^3} = 5,487 \text{ MPa}$$

Selanjutnya dengan menggunakan Gambar 7 dapat ditentukan nilai ρ yang dapat diambil. Penentuan nilai ρ ditunjukkan dalam Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Nilai ρ untuk $M_u/bd^2 = 5,487$ MPa ($f'_c = 30$ MPa, $f_y = 400$ MPa)

Dari Gambar 10 diperoleh bahwa untuk nilai $M_u/bd^2 = 5,487$ MPa, maka dibutuhkan rasio tulangan, ρ , sebesar 0,0177 (dari SNI 2847:2013) serta 0,0204 (dari SNI 03-2847-2002). Dengan demikian, luas tulangan tarik yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut:

SNI 03-2847-2002:

$$A_s = \rho b d = 0,0204 \times 250 \times 405 \\ = 2.066 \text{ mm}^2$$

Syarat A_s minimum dipilih dari nilai terbesar antara:

$$\text{a. } \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b \cdot d = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 250 \times 405 = 346,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{b. } \frac{1,4}{f_y} b \cdot d = \frac{1,4}{400} \times 250 \times 405 = 354,4 \text{ mm}^2$$

sehingga luas tulangan minimum yang dibutuhkan adalah sebesar $354,4 \text{ mm}^2$. Sebagai hasil desain, maka digunakan luas tulangan tarik digunakan $A_s = 6D22 (= 2.280 \text{ mm}^2)$.

SNI 2847:2013:

$$A_s = \rho b d = 0,0177 \times 250 \times 405 = 1.792 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan minimum pada SNI 2847:2013 tidak mengalami perubahan dari SNI 2002, sehingga dari perhitungan sebelumnya diperoleh syarat A_s min = $354,4 \text{ mm}^2$. Oleh karena itu, sebagai hasil desain digunakan luas tulangan tarik $A_s = 5D22 (= 1.905 \text{ mm}^2)$.

Dari hasil perhitungan tersebut ternyata nilai luas tulangan tarik yang disyaratkan dalam SNI 2002 lebih tinggi sekitar 15,23% daripada hasil desain menggunakan SNI 2013. Hal ini tentu sangat menguntungkan ditinjau dari segi keekonomisan struktur.

Pada batasan nilai ρ_{maks} , SNI 2013 membatasi nilai ρ sebesar 0,02284 untuk mutu beton $f'_c = 30$ MPa, yang akan menghasilkan regangan tarik *netto* pada tulangan terluar sebesar 0,004. Pada regangan tersebut, nilai faktor reduksi kekuatan yang diberikan dihitung dari persamaan 12, yaitu sebesar 0,817. Pada SNI 2002, nilai ρ_{maks} diambil seragam sebesar $0,75\rho_b (= 0,75 \times 0,031977 = 0,024)$, dengan nilai faktor reduksi kekuatan sebesar 0,8.

Dari kedua tinjauan pada kondisi rasio tulangan maksimum tersebut, maka batasan ρ_{maks} pada SNI 2013 mengalami penurunan sekitar 5%, namun nilai faktor reduksi kekuatannya lebih tinggi sebesar 2,12%. Hal ini menghasilkan perbedaan nilai M_u/bd^2 , yaitu sebesar 6,231 MPa (SNI 2002) serta sebesar 6,1246 MPa (SNI 2013). Nampak bahwa pada batas rasio tulangan maksimum, kapasitas lentur penampang yang dihasilkan dari SNI 2013 akan lebih kecil sekitar 1,7% dibandingkan hasil desain menggunakan SNI 2002.

5. KESIMPULAN

SNI 2847:2013 telah resmi diberlakukan sebagai pengganti dari SNI 03-2847-2002, beberapa perubahan dalam perencanaan komponen struktur lentur perlu mendapat perhatian dari para pelaku teknis di bidang konstruksi, terutama sebagai perencana struktur. Beberapa hal yang dapat diringkas sebagai kesimpulan dari kajian yang telah dilakukan, antara lain:

1. Permasalahan desain dan analisis penampang komponen struktur lentur pada SNI 2013 dilakukan berdasarkan konsep regangan yang terjadi pada tulangan tarik, regangan minimum yang boleh terjadi adalah sebesar 0,004
2. Batasan rasio tulangan maksimum menurut SNI 2013 berada pada kisaran $0,71\rho_b$, yang artinya mengalami penurunan dibandingkan SNI 2002 ($\rho_{\text{maks}} = 0,75\rho_b$). SNI 2013 memberikan keleluasaan pada perencana untuk menggunakan jumlah tulangan yang lebih kecil (dibandingkan peraturan 2002).

3. SNI 2013 dapat mereduksi kebutuhan terhadap luas tulangan tarik hingga 15% dibandingkan syarat dalam SNI 2002
4. Pada batas rasio tulangan maksimum, maka kapasitas lentur penampang yang dihasilkan dari SNI 2013 akan lebih kecil sekitar 1,7% dibandingkan hasil desain menggunakan SNI 2002
5. Agar dapat menggunakan faktor reduksi kekuatan, ϕ , sebesar 0,90, maka rasio tulangan dibatasi sebesar $0,625\rho_b$
6. Kajian lanjutan terhadap metode perencanaan komponen struktur lentur yang berbasiskan regangan tulangan tarik ini, hendaknya dilakukan pula terhadap balok beton bertulangan rangkap

REFERENSI

- [1]. Cormack, J.C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- [2]. Hasooun, M.N., Manaseer A.A. 2005. *Structure Concrete Theory and Design*. Canada : John Wiley & Sons Inc
- [3]. Jawad, A. 2006. Strength Design Requirements of ACI-318M-02 Code, BS8110, and Eurocode2 for Structural Concrete : A Comparative Study. *Journal of Engineering and Development*. Vol.10. No.1.
- [4]. Nawy, E.G. 2005 . *Reinforced Concrete a Fundamental Approach*. New Jersey : Pearson Education Inc
- [5]. Nilson, A.H., Darwin, D., Dolan, C.W. 2003. *Design of Concrete Structures*. New York : Mc Graw Hill
- [6]. SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton*. Bandung : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah
- [7]. SNI 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta