

# PENGUNAAN BLOK PERSEGI TERMODIFIKASI DAN TRAPESIUM DALAM PERENCANAAN BETON MUTU TINGGI DAN SANGAT TINGGI

Jusuf J.S. Pah<sup>1</sup> ([yuserpbdaniel@yahoo.co.id](mailto:yuserpbdaniel@yahoo.co.id))

Carysa R. Ratu Edo<sup>2</sup> ([resyalia03@gmail.com](mailto:resyalia03@gmail.com))

Tri M. W. Sir<sup>3</sup> ([trimwsir@yahoo.com](mailto:trimwsir@yahoo.com))

## ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan tatacara perencanaan beton mutu tinggi dan sangat tinggi dengan menggunakan blok pendekatan persegi yang termodifikasi dan blok trapesium. Penelitian dimulai dengan studi literatur dan perhitungan luasan diagram interaksi tegangan regangan beton. Setelah itu dilakukan ekuivalensi antara luasan diagram interaksi tegangan regangan dan luasan blok pendekatan, kemudian diperoleh koefisien-koefisien penyesuaian. Langkah selanjutnya adalah menurunkan rumus yang mengandung koefisien penyesuaian untuk mendapatkan rasio tulangan perlu dan langkah yang terakhir adalah menyusun tata cara perencanaan beton bertulang mutu tinggi dan sangat tinggi.

Mutu beton yang ditinjau dalam penelitian ini adalah beton dengan mutu 15 – 120 MPa. Untuk pendekatan persegi termodifikasi diperoleh koefisien penyesuaian  $\beta_1$  berkisar antara 0.68 sampai 0.98, dengan 0.68 merupakan nilai  $\beta_1$  untuk beton 120 MPa sedangkan 0.98 untuk beton 15 MPa. Nilai  $\beta_1$  tersebut adalah nilai yang aman karena telah sesuai dengan syarat nilai  $\beta_1$  menurut SNI 03-2847-2002 yaitu  $\beta_1 \geq 0.65$ . Untuk pendekatan trapesium diperoleh nilai koefisien  $\alpha$  untuk penyesuaian luasan berkisar antara 0.16 sampai 0.63, sedangkan untuk koefisien penyesuaian titik berat ( $\gamma$ ) berkisar antara 0.0061 sampai 0.0222.

**Kata Kunci** :diagram tegangan regangan, persegi, trapesium, koefisien penyesuaian

## ABSTRACT

*The purpose of the research is to obtain a design procedure for flexure design of high strength and ultra high strength concrete; using modified rectangular block and trapezoidal block approaches. Analytical and design equations were formulated for each of the approaches, then by equating area of the block with that of actual stress-strain diagram, and internal moment of the force of the block to that of the actual stress-strain diagram, characteristic coefficients of each approach were determined and adjusted. The procedure was done on high and ultra-high strength concrete ( $f_c'$  in the range of 15 to 120 MPa). The value of  $\beta_1$  coefficient for modified rectangular block approach was found to be in the range of 0.68 to 0.98, where 0.68 is  $\beta_1$  for 120 MPa and 0.98 for 15 MPa. These values are safe as it complies with the value required for it by SNI 03-2847-2002 namely that  $\beta_1$  must be greater than 0.65. For the trapezoidal block approach there are two coefficients. They are  $\alpha$ , coefficient for the area adjustment and  $\gamma$ , coefficient for the adjustment of center of mass. The research yielded that  $\alpha$  is in the range of 0.16 to 0.63 and  $\gamma$  is in the range of 0.0061 to 0.0222. Design procedure was then prepared using each of the approach based on their respective characteristic coefficients.*

**Keywords** :stress-strain diagram, rectangle block, trapezoidal block, characteristic coefficient

<sup>1</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil, FST Undana;

<sup>2</sup> Penamat dari Jurusan Teknik Sipil, FST Unana;

<sup>3</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil, FST Undana.

## PENDAHULUAN

Perencanaan struktur beton yang diawali dari analisis lentur balok beton bertulang berdasarkan pada *Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* (SNI 03–2847–2002) di Indonesia menggunakan model tegangan beton ultimit berbentuk persegi ekuivalen menurut penelitian Whitney tahun 1937 (Pratikto, 2009). Pendekatan diperlukan karena seperti yang telah diuraikan diatas, diketahui bahwa perilaku ultimit beton mempunyai distribusi tegangan yang bersifat non-linier (parabolik), sehingga dengan distribusi tegangan cukup kompleks bila dihitung dengan cara manual.

Pendekatan persegi yang diusulkan oleh Whitney menjadi pendekatan yang dianjurkan dalam penentuan kekuatan balok beton bertulang karena sangat memudahkan dalam perhitungan. Namun pendekatan ini memiliki kekurangan karena bentuk persegi tidak dapat menggambarkan bentuk sebenarnya dari diagram distribusi tegangan beton yang berbentuk parabolik. Pada pendekatan ini, digunakan nilai koefisien  $\beta_1$  sebagai koefisien penyesuaian, dimana untuk  $f'_c > 55$  MPa nilai koefisiennya 0.65. Jika penentuan kekuatan beton dilakukan berdasarkan luasan diagram tegangan-regangan, maka nilai koefisien  $\beta_1$  seharusnya berubah sesuai dengan kondisi diagram, dimana seperti yang kita ketahui, diagram untuk beton mutu normal dan beton mutu tinggi memiliki bentuk yang jauh berbeda.

Pendekatan untuk menentukan kekuatan beton bertulang sebelumnya telah dilakukan oleh Tjandra dan Pah (1993) dalam penelitian mengenai *Perencanaan Lentur Dan Geser Untuk Beton Mutu Sangat Tinggi*. Pada penelitian ini penentuan kekuatan beton didekati dengan tiga macam pendekatan, yaitu pendekatan persegi, trapesium dan segitiga. Diperoleh rumus dan koefisien yang dibutuhkan dalam penentuan kekuatan beton. Namun dalam penelitian ini tidak dilakukan karakterisasi diagram distribusi tegangan terlebih dahulu sebelum menurunkan rumus untuk memperoleh pendekatan yang paling baik untuk digunakan.

## LANDASAN TEORI

### Beton dan Diagram Tegangan Regangan Beton

Menurut SNI 03 – 2847 – 2002, beton merupakan campuran semen Portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan yang membentuk massa padat. Diagram tegangan regangan beton menurut Wight (2005) dapat di hasilkan dengan menggunakan rumus :

$$\frac{f_c}{f'_c} = \frac{n(\epsilon_c/\epsilon_0)}{n-1 + (\epsilon_c/\epsilon_0)^{nk}}$$

dimana

$f'_c$  = Tegangan puncak yang diisyaratkan

$\epsilon_0$  = Regangan saat  $f_c$  mencapai  $f'_c$

$n$  = Faktor penyesuaian kurva sama dengan  $E_c/(E_c - E'_c)$

$E_c$  = Modulus elastisitas beton  $E_c = 5700\sqrt{f'_c}$

$E'_c$  =  $f'_c/\epsilon_0$

$k$  = faktor untuk mengontrol naik turunnya kurva dengan

$$n = 0,8 + \left(\frac{f'_c}{2500}\right)$$

dimana  $f'_c$  bersatuan psi. Untuk  $\epsilon_c/\epsilon_0$  kurang dari atau sama dengan 1,00

$$k = 1,00$$

untuk  $\epsilon_c/\epsilon_0$  lebih dari 1,00

$$k = 0,67 + \left(\frac{f'_c}{9000}\right) \geq 1,00 \text{ (psi)}$$

Untuk nilai  $\epsilon_0$  diperoleh dari

$$\epsilon_0 = \frac{f'_c}{E_c} \left(\frac{n}{n-1}\right)$$

### Baja Tulangan

Pengertian tulangan menurut SNI 03 – 2847 – 2002 adalah batang baja berbentuk polos atau berbentuk ulir atau berbentuk pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur beton tidak termasuk tendon prategang, kecuali bila secara khusus diikuti sertakan.

### Beton Bertulang

Pengertian beton bertulang menurut SNI 03 – 2847 – 2002 adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

### SNI 03-2847-2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Pasal 12.2(7)

Pasal 12 dari SNI 03-2847-2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung mengatur tentang beban lentur dan aksial, dengan bagian 12.2 membahas tentang asumsi dalam perencanaan. Poin ketujuh dalam bagian ini berbunyi :Ketentuan 12.2(6) dapat dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut.

- (1) tegangan beton sebesar  $0,85f'_c$  diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan satu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejauh  $a = \beta_1 c$  dari serat dengan tegangan tekan maksimum
- (2) Jarak  $c$  dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut
- (3) Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c$  lebih kecil dari pada atau sama dengan 30 MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan di atas 30 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi  $\beta_1$  tidak boleh diambil kurang dari 0,65

Berdasarkan bunyi butir SNI di atas dapat diketahui bahwa tidak ada spesifikasi nilai  $\beta_1$  untuk beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi. Untuk mutu beton di atas 50 MPa, koefisien  $\beta_1$  yang dianjurkan sama, yaitu 0,65. padahal, dilihat dari persamaan interaksi tegangan regangan yang dipaparkan Wight tahun 2005, diagram untuk beton normal dan beton mutu tinggi memiliki bentuk yang berbeda, yang berarti nilai koefisien penyesuaianpun akan berbeda untuk masing-masing mutu beton. oleh karena itu akan lebih baik jika ada spesifikasi nilai  $\beta_1$  untuk beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi.

## METODE PENELITIAN

Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

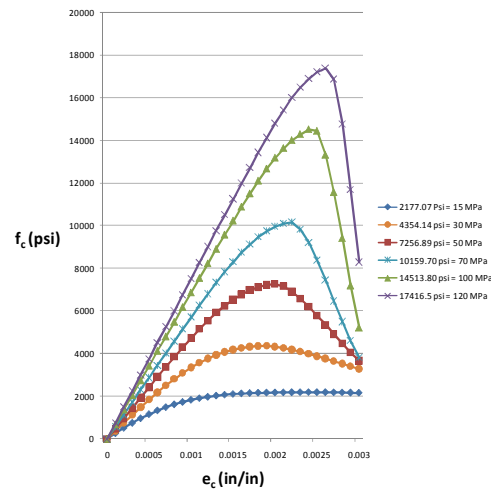
1. Perhitungan luasan diagram tegangan-regangan. Pada tahap ini akan dicari luasan diagram tegangan regangan hasil generalisasi untuk beton mutu 15 MPa sampai 120 MPa yang dipaparkan oleh James Weight (2005).

2. Setelah luasan diagram tegangan regangan diperoleh dilakukan ekuivalensi untuk mendapatkan nilai  $\beta_1$  yang disesuaikan dengan luasan diagram sesungguhnya.
3. Setelah mendapat nilai  $\beta_1$  yang telah sesuai dengan luasan diagram, maka dibuat tata cara perencanaan beton bertulang untuk beton dengan mutu normal, tinggi dan sangat tinggi berdasarkan nilai  $\beta_1$  yang telah disesuaikan.
4. Selanjutnya di lakukan perhitungan untuk ekuivalensi pendekatan trapesium, di mana seperti yang telah dibahas pada bagian sebelumnya, pendekatan trapesium lebih cocok di gunakan pada perencanaan karena bentuknya lebih mendekati bentuk diagram.
5. Menurunkan rumus untuk perencanaan beton bertulang mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi berdasarkan pendekatan trapesium. Pada tahap ini rumus yang dihasilkan adalah rumus momen nominal balok beton bertulang dan rumus luasan tulangan perlu untuk beton normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi berdasarkan pendekatan trapesium.
6. Setelah didapatkan nilai  $\beta_1$  yang lebih cocok untuk perencanaan beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi dan rumus untuk penentuan kekuatan dengan menggunakan pendekatan trapesium maka dilakukan perhitungan untuk mengasilkan tata cara perencanaan beton bertulang untuk beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi.
7. Setelah dilakukan analisa dan pembahasan, maka akan diketahui hasil dari penelitian ini, yaitu apakah nilai  $\beta_1$  yang digunakan pada SNI menurut pendekatan persegi yang digunakan dalam SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung masih cocok bila digunakan untuk perencanaan beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi atau tidak, dan jika tidak, maka hasil nilai  $\beta_1$  yang cocok untuk perencanaan beton bertulang dipaparkan, dan juga tata cara perhitungan untuk beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi dengan menggunakan pendekatan trapesium

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Diagram Tegangan Regangan Beton dan Butir 12.2(7) SNI 03-2847-2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung

Berdasarkan persamaan-persamaan yang disebutkan pada landasan teori di atas, kita dapat menggambarkan diagram interaksi tegangan regangan beton untuk beberapa mutu beton seperti pada Gambar 1 adapun mutu beton yang digunakan dalam perhitungan adalah mutu beton yang telah dikonversi dari MPa ke mutu *psi*. Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa bentuk kurva untuk beton mutu normal dan beton mutu tinggi memiliki bentuk diagram tegangan regangan yang berbeda. Perbedaan bentuk ini mempengaruhi faktor-faktor yang digunakan untuk perhitungan kekuatan beton bertulang. Pada SNI 03-2847-2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, pada butir 12.2(7) seperti yang telah dikutip pada bagian sebelumnya dapat kita lihat bahwa belum ada spesifikasi koefisien penyesuaian kurva, untuk beton mutu normal, mutu tinggi dan mutu sangat tinggi. SNI 03-2847-2002 memberikan nilai  $\beta_1$  yang sama untuk beton dengan  $f'_c$  lebih dari 50 MPa (beton mutu tinggi) yaitu 0.65, padahal sebagaimana dapat dilihat Gambar 1, diagram tegangan regangan beton mutu tinggi dan mutu sangat tinggi memiliki karakteristik yang berbeda dengan beton mutu normal. Ini mengindikasikan bahwa amaran SNI 03-2847-2002 bahwa nilai  $\beta_1$  untuk beton mutu tinggi adalah konstan sebesar 0.65 patut dipertanyakan. Jika nilai  $\beta_1$  dimodifikasi atau disesuaikan dengan perubahan bentuk dan luasan diagram tegangan regangan maka perencanaanpun akan lebih efisien.



Gambar 1 Diagram Tegangan Regangan

### Luasan Diagram Interaksi Tegangan Regangan Beton

Perhitungan luasan diagram dilakukan dengan menggunakan integrasi persamaan kurva tegangan regangan yang persamaannya dipaparkan oleh Wight (2005). Hasil perhitungan luasan diagram tegangan regangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Luasan Kurva Diagram Tegangan Regangan

Mutu Beton (MPa)	Luasan Kurva (m <sup>2</sup> )
15	5.31
20	6.88
30	9.65
40	12.09
50	14.36
60	16.58
70	18.82
80	21.04
90	23.28
100	25.62
110	27.99
120	30.30

### Titik Berat Diagram Interaksi Tegangan Regangan Beton

Tabel 2 Titik Berat Diagram Interaksi Tegangan Regangan Beton

Mutu Beton (MPa)	Mutu Beton (psi)	Luasan Kurva (m <sup>2</sup> )	Titik Berat (in)
15	2177.07	5.31	0.001740
20	2902.76	6.88	0.001743
30	4354.14	9.65	0.001741
40	5805.52	12.09	0.001741
50	7256.89	14.36	0.001746
60	8708.27	16.58	0.001759
70	10159.65	18.82	0.001774
80	11611.03	21.04	0.001800
90	13062.41	23.28	0.001823
100	14513.79	25.62	0.001853
110	15965.17	27.99	0.001885
120	17416.55	30.30	0.001911

Sama seperti perhitungan luasan diagram, perhitungan titik berat diagram tegangan regangan dilakukan dengan metode integrasi dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Ekuivalensi antara Diagram Interaksi Tegangan Regangan Beton dan Blok Persegi Pendekatan**

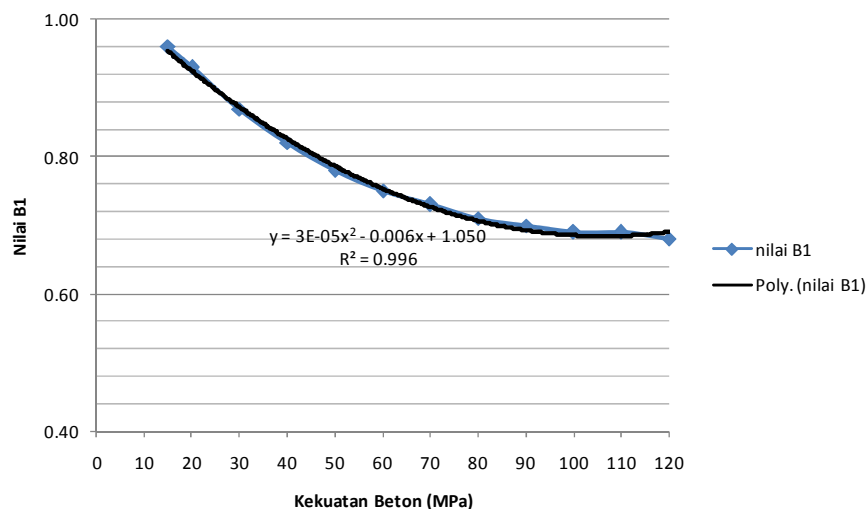
Setelah mendapat luasan diagram interaksi tegangan regangan beton, selanjutnya melakukan ekuivalensi antara diagram interaksi tegangan regangan beton dengan luasan blok pendekatan. Dengan nilai luasan kurva yang telah didapat pada perhitungan sebelumnya dan nilai panjang bidang tekan (c) di ambil konstan, pada perhitungan ini digunakan nilai c adalah sebesar regangan runtuh beton yaitu 0,003, maka akan diperoleh nilai koefisien penyesuaian kurva yaitu nilai  $\beta_1$  yang spesifik untuk beton mutu normal, tinggi dan sangat tinggi. Nilai  $\beta_1$  yang spesifik diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$\beta_1 = \frac{Luasan\ kurva}{0,85f'_c \times c}$$

Hasil dari perhitungan ekuivalensi luasan, diperoleh nilai  $\beta_1$  yang sesuai untuk masing-masing mutu beton. nilai  $\beta_1$  yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3 dan grafik hasil plot nilai  $\beta_1$  dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan grafik nilai  $\beta_1$  yang diplot, dapat diketuhi persamaan regresi polynomial untuk mendapatkan nilai  $\beta_1$  yang spesifik untuk beton yang diinginkan.

Tabel 3 Nilai  $\beta_1$  Yang Disesuaikan

Mutu Beton (MPa)	Mutu Beton (psi)	Luasan Kurva (m <sup>2</sup> )	$\beta_1$ yang disesuaikan
15	2177.07	5.31	0.96
20	2902.76	6.88	0.93
30	4354.14	9.65	0.87
40	5805.52	12.09	0.82
50	7256.89	14.36	0.78
60	8708.27	16.58	0.75
70	10159.65	18.82	0.73
80	11611.03	21.04	0.71
90	13062.41	23.28	0.70
100	14513.79	25.62	0.69
110	15965.17	27.99	0.69
120	17416.55	30.30	0.68



Gambar 3 Nilai  $\beta_1$  dan persamaan regresi linear dari nilai  $\beta_1$  yang telah disesuaikan

Ekuivalensi untuk titik berat dilakukan dengan mencari selisih antara titik berat kurva dan titik berat blok persegi dengan  $\beta_1$  yang telah disesuaikan. Setelah mendapatkan selisih, akan dihitung nilai penyesuaian titik berat yaitu rasio antara titik selisih antar titik berat dengan panjang bidang tekan, yang pada perhitungan ini panjang bidang tekan diambil setara dengan nilai regangan runtuh beton yaitu 0.003.

$$x_{persegi} = 0.5\beta_1 \cdot c$$

$$selisih = x_{kurva} - x_{persegi}$$

$$n = \frac{x_{kurva} - x_{persegi}}{c}$$

$$x_{persegidisesuaikan} = x_{persegi} + nc$$

Nilai koefisien n dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai Koefisien n Untuk Penyesuaian Titik Berat

Mutu Beton (MPa)	Mutu Beton (psi)	Koefisien n
15	2177.07	0.105
20	2902.76	0.121
30	4354.14	0.145
40	5805.52	0.17
50	7256.89	0.192
60	8708.27	0.211
70	10159.65	0.226
80	11611.03	0.24
90	13062.41	0.258
100	14513.79	0.273
110	15965.17	0.288
120	17416.55	0.297

### Tata Cara Perencanaan Beton Bertulang Dengan Menggunakan Pendekatan Persegi Dengan Nilai $\beta_1$ Yang Disesuaikan

#### Distribusi Tegangan Tekan

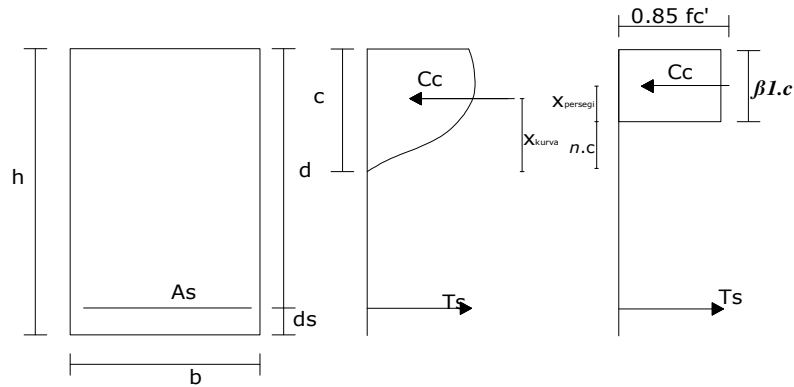
Dalam merencanakan struktur beton bertulang, perlu menjamin agar terjadinya kondisi keruntuhan tarik (*under-reinforced*). Untuk itu perlu untuk membatasi rasio tulangan tarik, yaitu tidak boleh melebihi rasio tulangan dalam keadaan seimbang ( $\rho_{bal}$ ). SNI 03-2847-2002 mengisyaratkan

$\rho_{maks} = 0.75\rho_{bal}$ . Merujuk pada buku *Pelat dan Beton Bertulang* (Asroni, 2010), distribusi tegangan tekan untuk pendekatan persegi dihitung dengan persamaan persamaan berikut

$$\rho_{bal} = \frac{510\beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) \cdot f_y} \text{ dengan } \rho_{maks} = 0.75\rho_{bal} = \frac{382.5\beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) \cdot f_y}$$

Untuk  $f'_c$  15 MPa, 20 MPa dan 30 MPa,  $\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$  Sedangkan untuk  $f'_c > 30$  MPa  $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$

#### Tulangan Tunggol



Gambar 4 Diagram Tegangan Beton Dengan Koefisien Yang Telah Disesuaikan Untuk Tulangan Tunggal

Dengan prinsip kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen, diturunkan rumus untuk mendapatkan rasio tulangan beton, dan rumus tersebut adalah :

$$\rho = \frac{-m}{2Lf_y} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4LR}{m}} \right]$$

Di mana :

- $\rho$  =rasio tulangan
- $m = 0,85f'_c\beta_1$
- $L = 1+(0.85 \beta_1 + n)$
- $R = M_n / bd^2$

Hasil dari perhitungan ini adalah tabel bantu perhitungan. Luas tulangan tarik dapat diperoleh dengan mencocokkan nilai-nilai yang ada pada tabel. Berikut langkah-langkah perencanaan beton bertulang dengan tulangan tunggal :

1. Tentukan dimensi balok (b dan h)
2. Tentukan Momen nominal yang bekerja pada balok
3. Tentukan nilai R dengan persamaan
4. Lihat pada Tabel dengan besar nilai R serta mutu beton ( $f'_c$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ) yang sesuai maka nilai rasio tulangan dapat diperoleh.

Luas tulangan dapat diperoleh dengan  $A_s = \rho bd$

### Tulangan Rangkap

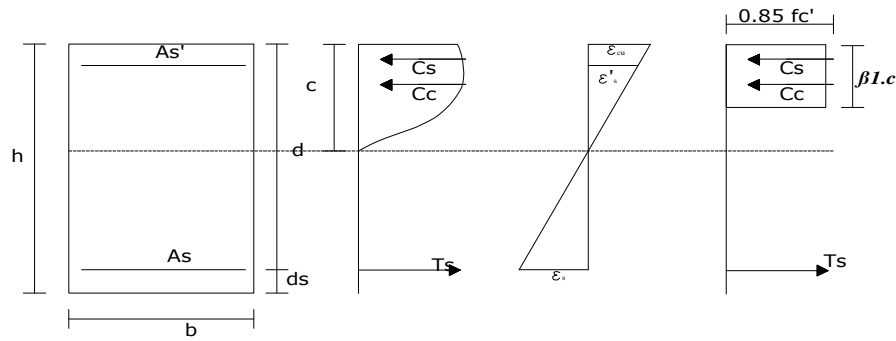
Dengan prinsip kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen, diturunkan rumus untuk mendapatkan rasio tulangan beton, dan rumus tersebut adalah :

$$\rho = \frac{(A + Bx) \pm \sqrt{(A + Bx)^2 - 4 \left( A^2 \frac{G}{m} \right) R}}{2A^2 \frac{G}{m} f_y}$$

Dimana :

- $\rho$  = rasio tulangan
- $m = 0,85f'_c\beta_1$
- $x = \rho'/\rho$
- $A = 1 - x$
- $B = 1-(d'/d)$
- $G = (1+ (0.5 \beta_1 + n)$
- $R = M_n / bd^2$



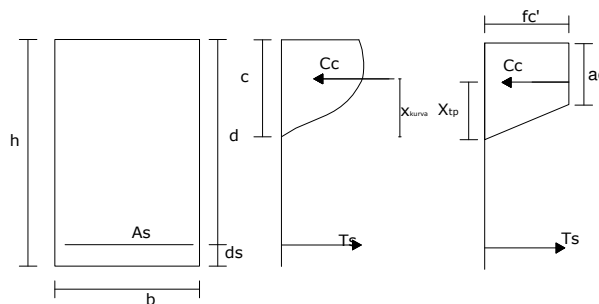


Gambar 5 Diagram Tegangan Tekan Beton Dengan Koefisien Yang Telah Disesuaikan Untuk Tulangan Rangkap

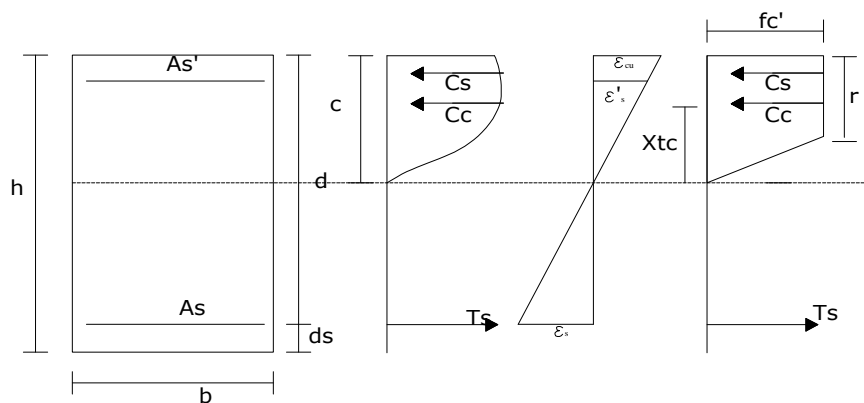
Langkah-langkah perencanaan untuk beton dengan tulangan ganda adalah sebagai berikut :

1. Tentukan momen nominal yang bekerja pada balok berdasarkan beban-beban yang bekerja pada balok.
2. Tentukan dimensi balok (b, h dan d) serta perbandingan tulangan tarik dan tekan yang dikehendaki ( $\rho/\rho'$ )
3. Tentukan nilai R dengan persamaan
4. Lihat pada Tabel dengan besar nilai R serta mutu beton ( $f'_c$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ) yang sesuai maka nilai rasio tulangan dapat diperoleh.
5. Luas tulangan dapat diperoleh dengan  $A_s = \rho b d$  ;  $A'_s = \frac{\rho'}{\rho} A_s$

**Pendekatan Trapesium untuk Penentuan Kekuatan Balok Beton Bertulang**



Gambar 6 Diagram Tegangan Tekan Beton Dengan Pendekatan Trapesium Untuk Tulangan Tunggal



Gambar 7 Diagram Tegangan Tekan Beton Dengan Pendekatan Trapesium Untuk Tulangan Rangkap

Pada pendekatan trapesium dilakukan ekuivalensi dan diperoleh dua koefisien penyesuaian, yaitu koefisien  $\alpha$  untuk penyesuaian luasan dan koefisien  $\gamma$  untuk penyesuaian titik berat. Koefisien ini dapat dilihat pada Tabel 5. Setelah mendapatkan koefisien, diturunkan rumus untuk penentuan rasio tulangan tunggal dan ganda. Rumus-rumus ini diturunkan berdasarkan prinsip

kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen, seperti yang dilakukan pada pendekatan persegi dengan nilai koefisien yang disesuaikan.

Rumus untuk mendapatkan rasio tulangan tunggal :

$$\rho = \frac{-t}{2sf_y} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4sR}{t}} \right]$$

Untuk tulangan ganda :

$$\rho = \frac{(A + Bx) \pm \sqrt{(A + Bx)^2 - 4 \left( A^2 \frac{W}{t} \right) R}}{2A^2 \frac{W}{t} f_y}$$

Dimana :

$\rho$  = rasio tulangan  
 $t = 0,5f'_c (1 + \alpha)$   
 $s = 1 + \frac{(2+2\alpha-\alpha^2)}{3(\alpha+1)} - \gamma$   
 $W = (1 + (0,5\beta_1 + n))$   
 $x = \rho'/\rho$   
 $A = 1 - x$   
 $B = 1 - (d'/d)$   
 $R = M_n / bd^2$

Langkah-langkah perencanaan untuk beton dengan tulangan tunggal adalah :

1. Tentukan dimensi balok (b dan h)
2. Tentukan Momen nominal yang bekerja pada balok
3. Tentukan nilai R dengan persamaan
4. Lihat pada Tabel dengan besar nilai R serta mutu beton ( $f'_c$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ) yang sesuai maka nilai rasio tulangan dapat diperoleh.

Luas tulangan dapat diperoleh dengan  $A_s = \rho bd$

Tabel 5 Koefisien Penyesuaian Untuk Pendekatan Trapesium

Mutu Beton (MPa)	$\alpha$	$\gamma$
15	0.63	0.0061
20	0.58	0.0147
30	0.48	0.0352
40	0.39	0.0501
50	0.32	0.059
60	0.27	0.0611
70	0.23	0.0605
80	0.21	0.0547
90	0.19	0.0492
100	0.18	0.0403
110	0.17	0.0302
120	0.16	0.0222

Untuk beton dengan tulangan ganda, berikut adalah langkah-langkah perencanaannya.

1. Tentukan momen nominal yang bekerja pada balok berdasarkan beban-beban yang bekerja pada balok.

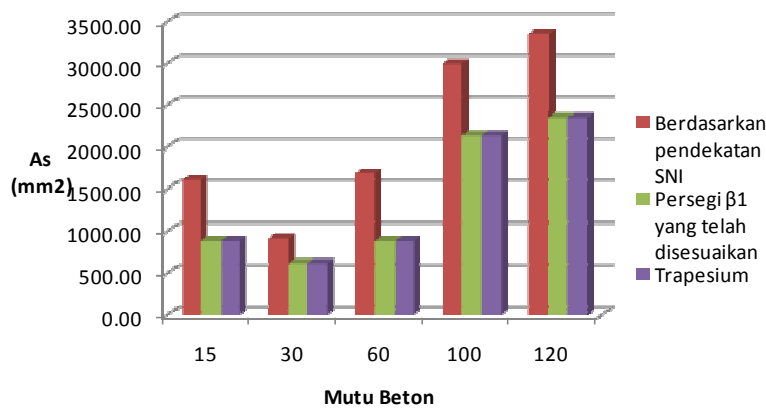
2. Tentukan dimensi balok (b, h dan d) serta perbandingan tulangan tarik dan tekan yang dikehendaki ( $\rho/\rho'$ )
3. Tentukan nilai R dengan persamaan
4. Lihat pada Tabel dengan besar nilai R serta mutu beton ( $f'_c$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ) yang sesuai maka nilai rasio tulangan dapat diperoleh.
5. Luas tulangan dapat diperoleh dengan  $A_s = \rho bd$  ;  $A'_s = \frac{\rho'}{\rho} A_s$

**Perhitungan dan Pembahasan**

Setelah dilakukan penurunan rumus, dilakukan perhitungan untuk menghitung rasio tulangan perlu dengan menggunakan dua pendekatan ini. Hasil perhitungannya dibandingkan dengan hasil perhitungan yang dihitung berdasarkan dengan metode CUR dan SNI. Hasil perhitungan untuk tulangan tunggal dan tulangan ganda dapat dilihat di Tabel 6 dan Tabel 7 dengan presentase selisih tulangan perlu yang diperoleh.

*Tabel 6 Perbandingan Hasil Perhitungan Tulangan Tunggal*

$f'_c$ (MPa)	Berdasarkan pendekatan SNI	Persegi $\beta_1$ yang telah disesuaikan	Trapeسيوم	Selisih (%)
15	1606.37	885.60	885.60	44.87
30	912.90	619.20	619.20	32.17
60	1689.12	883.20	883.20	47.71
100	2992.00	2138.40	2138.40	28.53
120	3347.09	2354.40	2354.40	29.66

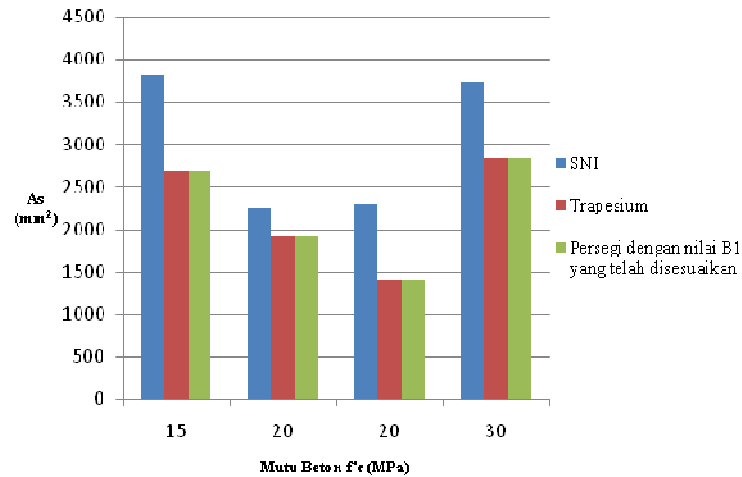


*Gambar 8 Grafik Perbandingan Hasil perhitungan Tulangan Tunggal*

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan pendekatan yang baru, nilai luas tulangan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan pendekatan persegi berdasarkan SNI. Dengan menggunakan pendekatan yang baru yaitu pendekatan persegi dengan nilai  $\beta_1$  yang telah disesuaikan dan juga pendekatan trapesium, kekuatan beton perencanaan yang dihasilkan sama dengan hasil perhitungan dengan pendekatan persegi berdasarkan SNI, namun luas tulangan yang diperlukan lebih kecil.

*Tabel 7 Perbandingan Hasil Perhitungan Tulangan Rangkap*

$d'/d$	$f_c$ (MPa)	Berdasarkan pendekatan SNI	Persegi $\beta_1$ yang telah disesuaikan	Trapezium	Selisih (%)
0.1	15	3815.00	2693.50	2693.50	29.40
	20	2250.90	1914.34	1914.34	14.95
0.2	20	2305.80	1398.60	1398.60	39.34
	30	3726.45	2842.25	2842.25	23.73



Gambar 9 Grafik Perbandingan Hasil perhitungan Tulangan Rangkap

Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan pendekatan yang baru lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan menggunakan teori CUR. Hasil perhitungan untuk tulangan rangkap yang dibandingkan adalah luas tulangan total, yaitu tulangan tarik ditambah dengan tulangan tekan. Tulangan yang dihasilkan lebih kecil dengan kekuatan rencana yang sama. Melalui hal ini dapat kita simpulkan bahwa pendekatan yang baru adalah pendekatan yang lebih efisien, karena menghasilkan rasio tulangan yang lebih kecil dengan kekuatan rencana yang sama.

## PENUTUP

### Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil ekuivalensi antara diagram tegangan regangan actual beton dan blok persegi yang disarankan dalam SNI 03-2847-2002 ternyata masing-masing mutu beton memiliki nilai  $\beta_1$  yang berbeda. Adapun nilai  $\beta_1$  yang disyaratkan dalam SNI -2847-2002 tidak boleh lebih kecil dari 0.65, dan nilai  $\beta_1$  minimum yang diperoleh adalah 0.68. Hal ini menunjukkan bahwa nilai  $\beta_1$  yang baru, yang diperoleh di penelitian ini berada dalam batas aman yang disyaratkan dalam SNI 03-2847-2002..
2. Pada pendekatan trapesium, diperoleh beberapa parameter yang digunakan untuk menyesuaikan antara luasan blok pendekatan dan luasan diagram tegangan regangan yang sebenarnya. Parameter tersebut adalah koefisien  $\gamma$  untuk penyesuaian titik berat dan koefisien  $\alpha$  untuk penyesuaian luasan. Nilai-nilai tersebut dispesifikasi per mutu beton.

### Saran

1. Dalam perencanaan beton bertulang mutu tinggi dan sangat tinggi jika menggunakan pendekatan persegi maka hendaknya menggunakan nilai koefisien  $\beta_1$  yang telah disesuaikan menurut mutu beton agar perencanaan dapat lebih efisien.

2. Berdasarkan bentuk diagram tegangan regangan yang parabolik dan SNI 03-2847-2002 butir 12.2(6), diagram tegangan regangan dapat didekati dengan bentuk-bentuk selain persegi. Telah dilakukan perhitungan untuk menggunakan pendekatan trapesium, namun peneliti selanjutnya dapat mengambil bentuk-bentuk lain untuk membuatnya menjadi pendekatan untuk diagram tegangan regangan untuk perencanaan beton bertulang.

## Daftar Pustaka

- Asroni, A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834-2000 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal)*. BSN, Jakarta.
- Pratikto. 2009. **Diktat Konstruksi Beton 1**, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta
- Tjandra, E dan Pah, J. 1993. *Perencanaan Lentur Dan Geser Untuk Beton Mutu Sangat Tinggi*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra, Surabaya
- Wight J., 2005. *Reinforced Concrete*, Pearson education, Inc., New Jersey.

