

Technical Note

PERHITUNGAN KAPASITAS PENAMPANG KOLOM BETON MUTU TINGGI YANG TERKEKANG DENGAN BLOK TEGANGAN SEGIEMPAT EKIVALEN

Darmansyah Tjitradi, Syahril Taufik, Bengawan L. Kosasih
Dosen Jurusan Teknik Sipil, UNLAM Banjarmasin

Catatan redaksi:

Beton mutu tinggi merupakan sesuatu yang saat ini masih asing dalam pelaksanaan, konstruksi di Indonesia, tetapi dengan kemajuan teknologi yang memudahkan pembuatannya, dapat diharapkan pemakaiannya dalam waktu mendatang. Artikel ini membahas transformasi diagram tegangan-regangan beton mutu tinggi menjadi segi empat ekivalen seperti biasa digunakan untuk beton mutu biasa.

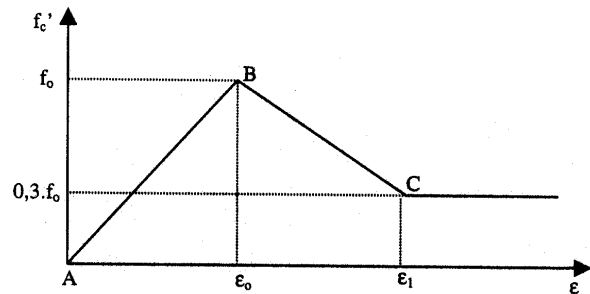
PENDAHULUAN

Beton mutu tinggi dewasa ini semakin banyak digunakan. Beton mutu tinggi mempunyai sifat yang getas bila dibandingkan dengan beton normal. Walaupun mampu menahan tekan yang cukup tinggi tetapi tidak mampu secara proposional meningkatkan kekuatan tariknya. Pemakaian sebagai bahan struktur dengan demikian tergantung pada pengendalian daktilitasnya. Sampai saat ini, cara yang paling efektif untuk meningkatkan daktilitas beton adalah dengan memberikan pengekanan (*confinement*).

Penelitian mengenai kurva tegangan-regangan beton yang terkekang telah banyak dilakukan oleh para peneliti dari berbagai negara [1,2]. Makalah ini membahas perubahan kurva hubungan tegangan-regangan beton mutu tinggi yang terkekang yang diusulkan oleh Azizinamini, et al [1] menjadi model blok tegangan segiempat ekivalen. Analisa kekuatan dan kurvatur penampang dapat dilakukan dengan mudah, sederhana dan lebih cepat dengan menggunakan blok tegangan segiempat ekivalen.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Yong, et.al [2], Azizinamini, et al [1] mengusulkan rumus kurva tegangan-regangan untuk kolom beton mutu tinggi yang tertekan dengan pengekanan sengkang (Gambar 1).

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 5 Nomor 2 September 2003.



Gambar 1. Kurva Tegangan–Regangan Azizinamini [1]

Persamaan kurva tegangan-regangan dinyatakan dalam persamaan 1 sampai 7, yaitu :

$$f = \left(\frac{f_0}{\varepsilon_0} \right) \cdot \varepsilon_c \quad \text{untuk } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \quad (1)$$

$$f = f_0 \cdot [1 - \alpha_0 \cdot (\varepsilon_c - \varepsilon_0)] \geq 0,3 \cdot f_0 \quad \text{untuk } \varepsilon_c > \varepsilon_0 \quad (2)$$

dimana

$$f_0 = K \cdot f'_c$$

$$K = 1 + 0,0091 \cdot \left[1 - \frac{0,245 \cdot S}{h''} \left(\rho'' + \frac{n \cdot d''}{8 \cdot S \cdot d} \rho \right) \frac{f_y''}{\sqrt{f'_c}} \right] \quad (4)$$

$$\varepsilon_0 = 0,00265 + \frac{0,0035 \cdot \left(1 - \frac{0,734 \cdot S}{h''} \right) (\rho'' \cdot f_y'')^{2/3}}{\sqrt{f'_c}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{0,7}{\alpha_0} + \varepsilon_0 \quad (6)$$

$$\alpha_0 = \frac{0,25 \cdot \left(\frac{f'_c - 0,6}{f_0} \right)}{3,13 \cdot K \cdot \left[1,4 \cdot \left(\frac{\varepsilon_0}{K} \right) + 0,0003 \right]} \quad (7)$$

Dalam persamaan 1 sampai 7, K adalah faktor pertambahan kekuatan tekan beton akibat pengekanan, S adalah spasi sengkang lateral (in), h” adalah panjang satu sisi dari sengkang segiempat (in), n adalah banyaknya tulangan longitudinal, ρ adalah volumetric rasio dari tulangan longitudinal, ρ” adalah volumetric rasio dari tulangan lateral, f_y” adalah tegangan leleh baja tulangan lateral (psi), d” adalah diameter nominal dari sengkang (in), d adalah diameter nominal dari tulangan longitudinal (in).

NILAI α DAN β PADA BLOK TEGANGAN SEGIEMPAT EKIVALEN

Penurunan nilai α dan β tergantung pada persamaan kurva tegangan-regangan beton mutu tinggi yang digunakan. Pada penelitian ini nilai α dan β setiap daerah diperoleh langsung dari 2 syarat berikut ini [3] :

1. Luas daerah diagram tegangan beton sebenarnya harus sama dengan luas blok tegangan ekivalen.
2. Sentroid diagram tegangan beton sebenarnya berlokasi sama dengan sentroid blok tegangan ekivalen.

Untuk memperoleh nilai α dan β kurva tegangan-regangan beton yang sebenarnya dibagi menjadi 3 daerah (Gambar 2), yaitu:

- a. Zone 1 : untuk $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$

Syarat 1 : Kesamaan luas

$$\alpha_1 \epsilon_c \cdot \beta_1 f_o = \int_0^{\epsilon_c} \left(\frac{f_o}{\epsilon_o} \right) \cdot \epsilon \, d\epsilon = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_c^2 \cdot \left(\frac{f_o}{\epsilon_o} \right) \quad (8)$$

$$\alpha_1 \beta_1 = \frac{\epsilon_c}{2 \epsilon_o} \quad (9)$$

Syarat 2 : Kesamaan sentroid

$$\alpha_1 \epsilon_c \cdot \beta_1 f_o \cdot \left(\epsilon_c - \frac{1}{2} \alpha_1 \epsilon_c \right) = \int_0^{\epsilon_c} \left(\frac{f_o}{\epsilon_o} \right) \cdot \epsilon^2 \, d\epsilon \quad (10)$$

$$\alpha_1 \epsilon_c \cdot \beta_1 f_o \cdot \left(\epsilon_c - \frac{1}{2} \alpha_1 \epsilon_c \right) = \frac{1}{3} \cdot \epsilon_c^3 \cdot \left(\frac{f_o}{\epsilon_o} \right) \quad (11)$$

$$\alpha_1 \beta_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \alpha_1 \right) = \frac{\epsilon_c}{3 \cdot \epsilon_o} \quad (12)$$

Dari persamaan (9) dan (12) didapat :

$$\alpha_1 = \frac{2}{3} \quad (13)$$

$$\beta_1 = \frac{3 \cdot \epsilon_c}{4 \cdot \epsilon_o} \quad (14)$$

- b. Zone 2 : untuk $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$

Penurunan rumus α₂ dan β₂ analog dengan penurunan rumus pada Zone 1, sehingga didapat :

$$\alpha_2 \cdot \beta_2 = \frac{\epsilon_o}{2 \cdot \epsilon_c} - \frac{1}{2} (\alpha_o \cdot \epsilon_c - 2 \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_o - 2) - \frac{\epsilon_o}{2 \cdot \epsilon_c} (\alpha_o \cdot \epsilon_o + 2) \quad (15)$$

$$A1 = \alpha_2 \cdot \beta_2 \quad (16)$$

$$\alpha_2 \cdot \beta_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2} \right) = \frac{\epsilon_o^2}{3 \cdot \epsilon_c^2} - \frac{1}{6} (2 \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_c - 3 \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_o - 3) - \frac{\epsilon_o^2}{6 \cdot \epsilon_c^2} (\alpha_o \cdot \epsilon_o + 3) \quad (17)$$

$$B1 = \alpha_2 \cdot \beta_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2} \right) \quad (18)$$

$$\alpha_2 = \frac{2(A1 - B1)}{A1} \quad (19)$$

$$\beta_2 = \frac{A1^2}{2(A1 - B1)} \quad (20)$$

- c. Zone 3 : untuk $\epsilon_c \geq \epsilon_1$

Penurunan rumus α₃ dan β₃ analog dengan penurunan rumus pada Zone 1, sehingga didapat :

$$\alpha_3 \cdot \beta_3 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_c} \cdot \left(0,7 - \frac{\epsilon_1}{2} \cdot \alpha_o \right) + \frac{\epsilon_o}{\epsilon_c} \left(\alpha_o \cdot \epsilon_1 - \alpha_o \cdot \epsilon_o - \frac{1}{2} \right) + 0,3 \quad (21)$$

$$A2 = \alpha_3 \cdot \beta_3 \quad (22)$$

$$\alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_3}{2} \right) = \frac{\epsilon_o^2}{6 \cdot \epsilon_c^2} (\alpha_o \cdot \epsilon_o + 1) + \frac{\epsilon_1^2}{\epsilon_c^2} \left(\frac{7}{20} \cdot \frac{1}{3} \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha_o \cdot \epsilon_o \right) + \frac{3}{20} \quad (23)$$

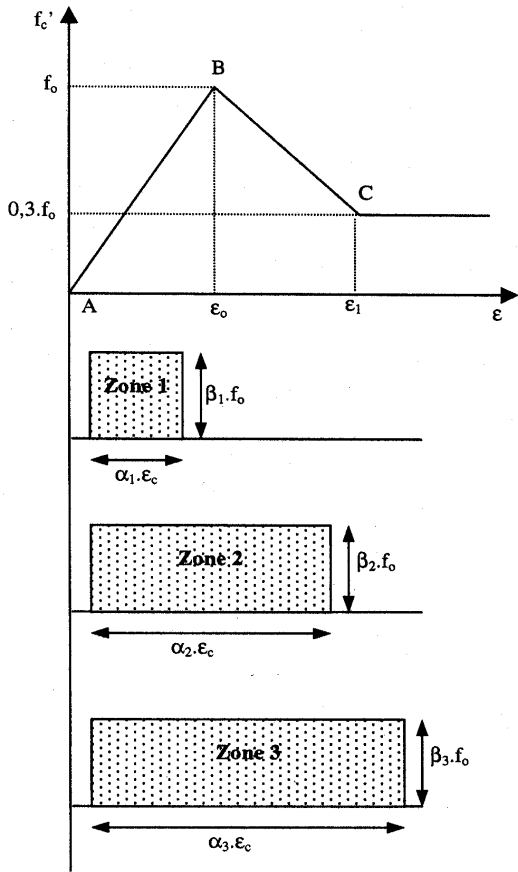
$$B2 = \alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_3}{2} \right) \quad (24)$$

$$\alpha_3 = \frac{2(A2 - B2)}{A2} \quad (25)$$

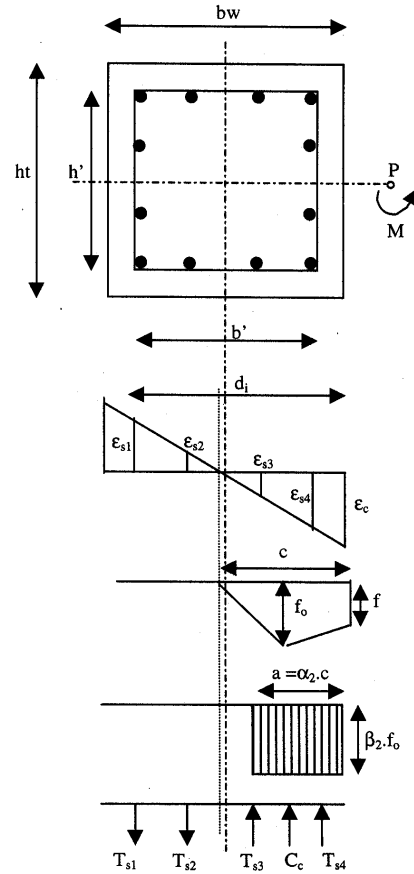
$$\beta_3 = \frac{A2^2}{2(A2 - B2)} \quad (26)$$

MODEL BLOK TEGANGAN SEGIEMPAT EKIVALEN

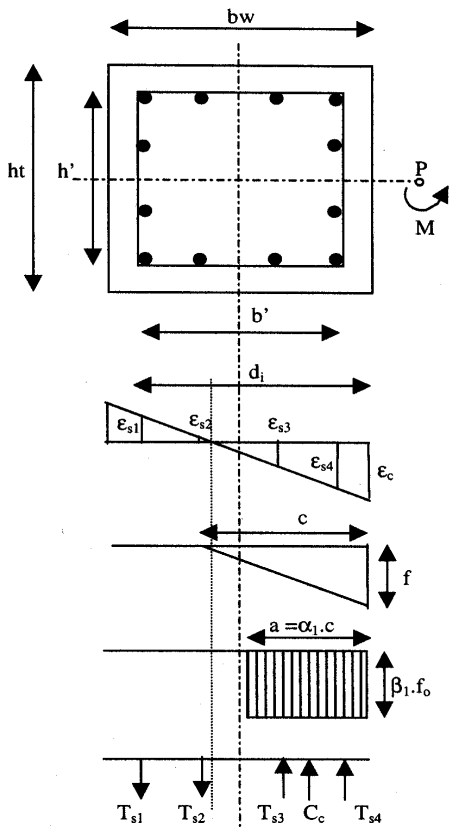
Berdasarkan nilai α dan β dapat ditentukan pemodelan blok tegangan segiempat ekivalen pada setiap nilai regangan tekan beton, ε_c, seperti pada Gambar 3 s/d 5. Kemudian dengan menetapkan nilai garis netral, c, terlebih dahulu didapat nilai gaya tekan beton, C_c, dan kekuatan tulangan baja, T_s, selanjutnya dengan syarat kesetimbangan gaya aksial, P, dilakukan proses iterasi sampai didapat nilai garis netral, c, yang sebenarnya, maka didapatkan nilai kapasitas Momen dan kurvatur kolom.



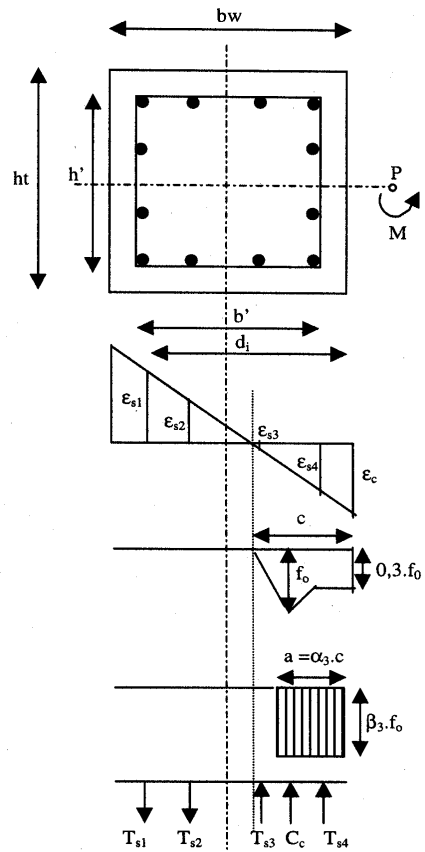
Gambar 2. Pembagian Zone Kurva Tegangan – Regangan Beton Azizinamini [1]



Gambar 4. Blok Tegangan pada Zone 2 untuk $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$



Gambar 3. Blok Tegangan pada Zone 1 untuk $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$



Gambar 5. Blok Tegangan pada Zone 3 untuk $\epsilon_c \geq \epsilon_1$

HASIL ANALISA PENGGUNAAN BLOK TEGANGAN SEGIEMPAT EKIVALEN

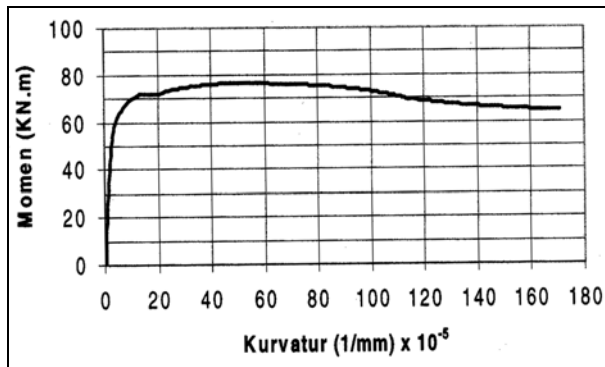
Sebagai contoh penggunaan blok tegangan segiempat ekivalen diambil model penampang kolom segiempat yang berukuran 200 mm x 200 mm, $f_y = 340$ MPa, $f_{yh} = 360$ MPa, $f_c' = 60$ MPa,

$\rho_t = 0.0455$, $\rho_s = 0.0184$, dan $S = 50$ mm, sehingga didapat Grafik hubungan Momen-Kurvatur (Gambar 6) dan Momen-Regangan tekan Beton (Gambar 7) yang sangat bermanfaat untuk mengetahui kapasitas momen dan kurvatur suatu kolom, hasil analisa perhitungan kolom secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

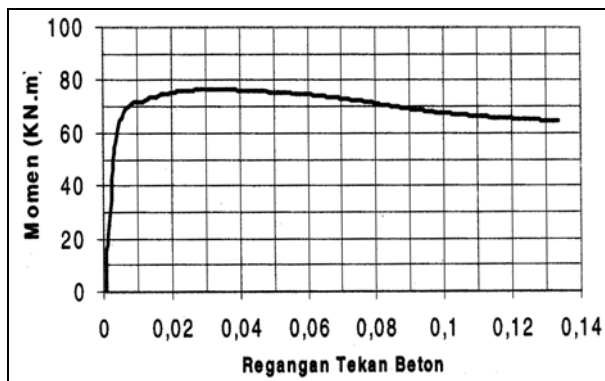
Tabel 1. Hasil Perhitungan Analisis dengan Blok Tegangan Segiempat Ekivalen

$b_w = 200$ mm	$\epsilon_y = 0,0017$	$\phi_t = 12,68$ mm	
$h_t = 200$ mm	$\epsilon_{sh} = 0,0210$	$\phi_s = 7$ mm	
$d_s = 20$ mm	$\epsilon_{su} = 0,1731$	$S = 50$ mm	
$f_y = 340$ MPa	$\epsilon_{cu} = 0,0074$	$f_o = 70,549$ MPa	
$f_{yh} = 360$ MPa	$K = 1,1758$	$\rho_t = 0,0455$	
$f_c' = 60$ MPa	$\rho_s = 0,0184$	$P_{akelal} = 48.000$ Kg (0,20. f_c' .Ag)	

Reg. Tekan Beton	Garis Netral c (mm)	Zone Kurva Teg.	Koefisien		Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton Cc (Kg)	Momen (KN.m)	Kurvatur ϕ (1/mm) $\times 10^{-5}$
			α_i	β_i	T_{s1}	T_{s2}	T_{s3}	T_{s4}			
					(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)			
ϵ_c	(mm)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,0027	114	I	0,667	0,375	12697	1001	4346	17173	40178,024	46,024	2,3823
0,0041	95	I	0,667	0,563	17173	5919	3708	17173	50211,438	59,364	4,2890
0,0045	90	I	0,667	0,625	17173	8128	3132	17173	52995,866	62,470	5,0169
0,0064	72	II	0,681	0,847	17173	8586	2396	17173	58983,673	68,702	8,8728
0,0074	69	II	0,707	0,895	17173	8586	4856	17173	61443,426	70,218	10,7846
0,0084	67	II	0,732	0,920	17173	8586	6948	17173	63535,632	71,241	12,6028
0,0124	61	II	0,811	0,943	17391	8586	8586	17173	65391,372	72,357	20,5075
0,0184	60	II	0,880	0,924	19840	8586	8586	17173	67840,547	74,873	31,1801
0,0204	59	II	0,896	0,915	20342	8699	8586	17173	68454,766	75,346	34,5296
0,0224	59	II	0,910	0,906	20743	8953	8586	17173	69110,685	75,777	37,7270
0,0304	61	II	0,953	0,864	21831	9669	8586	17173	70914,344	76,528	49,8292
0,0404	64	II	0,992	0,810	22567	10176	8586	17173	72157,014	76,220	63,5135
0,0504	66	II	1,025	0,756	23028	10518	8586	18200	71934,504	75,579	76,6216
0,0604	68	II	1,056	0,702	23315	10738	8586	19404	71235,475	74,561	88,7195
0,0704	71	II	1,088	0,648	23482	10855	8586	20367	70557,446	73,075	99,3186
0,0804	74	II	1,121	0,595	23575	10893	8586	21144	69911,113	71,145	108,3491
0,0874	76	III	1,140	0,561	23625	10908	7933	21580	68888,136	69,691	114,4221
0,0904	77	III	1,150	0,546	23670	10957	6949	21719	67859,074	69,107	118,0287
0,1004	77	III	1,178	0,505	23796	11107	4014	22121	64797,355	67,535	130,1382
0,1104	78	III	1,197	0,475	23891	11239	1525	22448	62207,168	66,382	142,3615
0,1204	79	III	0,896	0,915	23958	11354	603	22718	59991,070	65,515	154,6764
0,1304	78	III	1,218	0,433	24004	11454	2439	22943	58075,925	64,844	167,0658



Gambar 6. Grafik Hubungan Momen-Kurvatur



Gambar 7. Grafik Hubungan Momen-Regangan Tekan Beton

DAFTAR PUSTAKA

1. Azizinamini, A.; Kuska, S.S.B.; Brungardt, P.; Hatfield, E., Seismic Behaviour of Square High Strength Concrete Columns, *ACI Structural Journal*, V. 91, no. 3, May-June 1994, pp. 336 - 345.
2. Yong, Y.K.; Nour, M.G.; Nawy, E.G., Behaviour of Laterally Confined Square High Strength Concrete Axial Loads, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, V. 114 No. 2, Feb 1988.
3. Sheikh, S.A.; Member, ASCE, Yeh, C.C., Analytical Moment-Curvature Relations For Tied Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, V. 118 No. 2, Feb 1992.