

PERANAN TULANGAN TEKAN PADA BALOK TERLENTUR TULANGAN RANGKAP UNTUK MEMBANGKITKAN MOMEN NOMINAL

Puryanto

Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya

ABSTRACT

Installation of compression reinforcement in the flexural beam can not be avoided. Two things which are coercive, i.e. tying stirrup and high of beam is restricted by the architect. Flexural beam is calculated based on the design moment. Design moment is the nominal moment multiplied by reduction factor Φ . Nominal moment is the sum of the two parts of the nominal moment. The first nominal moment call $Mn1$, i.e. couple between tensile force of the first tensile reinforcement $NT1 = As1.fy$ with concrete compressive force $ND = 0.85 f_c' a.b$. Second nominal moment $Mn2$, which is couple between the second tensile reinforcement force $NT2 = As2.fy$ with the force of compression reinforcement $ND' = As'.fs'$. By adding compression reinforcement is expected to rise as well nominal moment. After analyzed here are four conclusions can be drawn. First, the beam does not always require compression reinforcement. Second, if the compression reinforcement is installed too deep will cause its stress decreases, it can even be ignored. Third, the compression reinforcement additional is not comparable with the nominal moment increment. The more additional of the compression reinforcement on the same amount of tensile reinforcement cause the smaller and smaller nominal moment we get. Fourth, the increase of nominal moment Mn can be done by adding tensile and compression reinforcement the limit only by the availability of the place of installation.

Keywords : compression reinforcement, nominal moment .

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang sangat baik untuk menahan tekan, tetapi buruk untuk menahan tarik. Untuk dipakai pada konstruksi maka beton harus dibantu besi (tulangan), disebut beton bertulang. Salah satu pemakaian beton bertulang ini adalah untuk menahan lentur, seperti balok atau pelat. Balok terlentur tegangannya terbagi dua bagian, yaitu bagian tarik dan tekan. Untuk menahan lenturan, beton bertulang dapat bertulangan tunggal atau rangkap. Tulangan tunggal jika tulangan hanya dipasang pada daerah tarik. Tulangan rangkap jika tulangan dipasang pada daerah tarik dan tekan. Tulangan ini ditanamkan ke dalam beton dengan cara diletakkan dengan teguh sebelum beton dituangkan di dalam cetakan. Pada sisi tarik besi disebut tulangan tarik. Pada sisi tertekan besi yang dipasang disebut tulangan tekan.

Dalam analisis penampang terlentur dihitung momen rencananya untuk menahan momen terfaktor M_u . Momen rencana adalah momen nominal yang direduksi dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ . Momen nominal yang adalah

momen analisa penampang berdasarkan keseimbangan statis dan kompatibilitas tegangan dan regangan. Dari perhitungan keseimbangan penampang terlentur dikenal ada dua ragam keruntuhan, yaitu keruntuhan getas (*brittle*) dan keruntuhan daktil (*ductile*). Keruntuhan getas terjadi bila regangan hancur beton $\epsilon_c' = 0,003$ tercapai pada saat tegangan tulangan tarik meleleh (disebut *balance reinforced*) atau masih dalam keadaan elastis (disebut *over reinforced*). Keruntuhan getas bersifat tiba-tiba, sehingga harus dihindari. Sedangkan ragam keruntuhan daktil terjadi bila tulangan tarik telah meleleh sebelum beton hancur. Ragam keruntuhan daktil ini memberikan lendutan peringatan yang besar sebelum terjadi keruntuhan. Maka untuk menjamin ragam keruntuhan daktil ini SNI 03-2847-2002 membatasi jumlah tulangan tarik sebesar $As_{max} = 75\%$ dari jumlah tulangan yang diperlukan untuk mencapai keruntuhan *balance* ($As_b = \beta_1 \cdot 600 / (600 + f_y) \cdot b \cdot d \cdot 0,85 f_c' / f_y$). Keruntuhan daktil ini harus terjamin pada penampang bertulangan tunggal maupun rangkap. Pada waktu tulangan

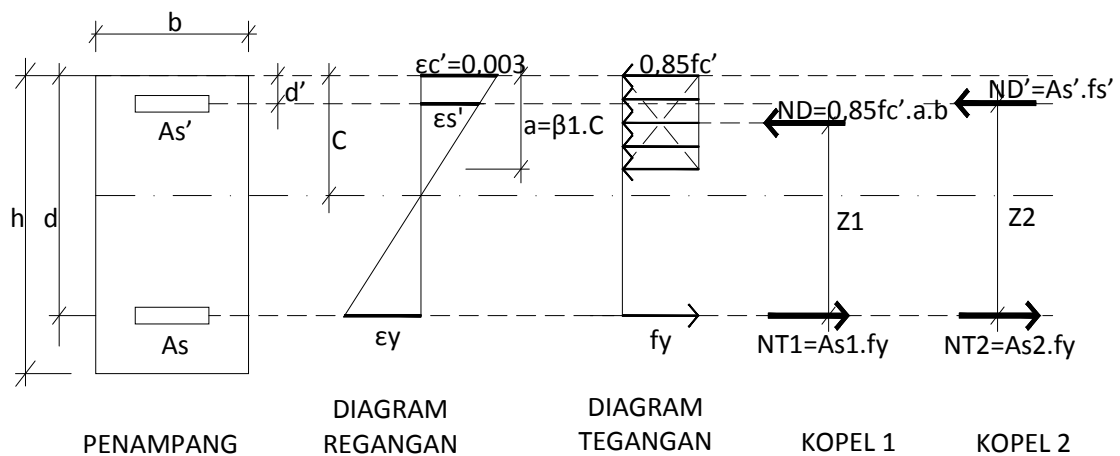
tunggal pembatasan tulangnya adalah A_s terpasang lebih kecil sama dengan $A_{smax} = 0,75 A_{sb}$. Bila penampang dianalisis sebagai tulangan rangkap maka kita harus menghitung momen rencana berasal dari dua komponen kopel, yaitu kopel pertama yang menghasilkan momen nominal pertama M_{n1} dan kopel ke dua adalah momen nominal ke dua M_{n2} . Dengan demikian tulangan tarik menjadi dua bagian. Tulangan tarik pertama A_{s1} untuk kerja sama dengan beton tekan dan tulangan tarik ke dua A_{s2} yang bekerja sama dengan tulangan tekan $A_{s'}$. Dalam hal menjamin daktilitas, maka A_{s1} dibatasi sebesar $A_{s1max} = 75\%$ dari A_{sb} .

Gaya horizontal yang bekerja pada penampang ada empat komponen (lihat gambar 1), yaitu: gaya tekan beton $N_D = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$ bekerja sama dengan gaya tarik tulangan tarik pertama $N_{T1} = A_{s1} \cdot f_y$. Kerja sama ini adalah kopel 1 yaitu M_{n1} . Gaya tekan tulangan tekan $N_{D'} = A_{s'} \cdot f_s'$ bekerja sama dengan gaya tarik tulangan tarik kedua $N_{T2} = A_{s2} \cdot f_y$. Kopel ke dua ini adalah M_{n2} . Dengan menjumlahkan gaya horizontal $\sum H = 0$, lalu didapatkan persamaan garis netral $0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c^2 + (A_{s'} \cdot \epsilon_c' \cdot E_s - A_{s'} \cdot f_s') \cdot c - A_{s'} \cdot d' \cdot \epsilon_c' \cdot E_s = 0$. Selesaikan persamaan ini dengan rumus abc, maka didapatkan kedalaman garis netral c .

Tulangan tekan dipasang sedalam d' dari permukaan luar beton tertekan. Lalu dicari regangan tulangan tekan ϵ_s' berdasarkan perbandingannya dengan regangan hancur beton (lihat diagram regangan pada gambar 1). Tegangan tulangan tekan f_s' adalah regangan tulangan tekan dikalikan elastisitas besi E_s .

Keseimbangan gaya horizontal pada kopel 2 didapatkan $A_{s2} = A_{s'} \cdot f_s' / f_y$. Selanjutnya $A_{s1} = A_s - A_{s2}$. Sedangkan A_{s1} ini merupakan komponen tulangan tarik pertama yang bekerja sama dengan beton tekan. Sudah dijelaskan bahwa A_{s1} harus daktil. Tulangan tarik pertama A_{s1} ini harus lebih kecil sama dengan A_{s1max} . Sedangkan $A_{s1max} = 0,75 \cdot \beta_1 \cdot 600 / (600 + f_y) \cdot b \cdot d \cdot 0,85 f_c' / f_y$.

Momen nominal ke dua M_{n2} merupakan kopel kerja sama antara komponen gaya tulangan tarik ke dua $N_{T2} = A_{s2} \cdot f_y$ dengan komponen gaya tulangan tekan $N_{D'} = A_{s'} \cdot f_s'$. Yang menjadi pertanyaan adalah: apakah selalu penampang lentur memerlukan tulangan tekan? Bila diperlukan tulangan tekan, apa akibatnya bila tulangan tekan tersebut terletak di tempat yang salah? Dalam tulisan ini akan dilihat pula seberapa besar kemampuan tulangan tekan menaikkan momen nominal? Jika tinggi balok tidak dapat ditambah, dengan cara apa momen nominal dapat dinaikkan?



Gambar 1. Sketsa hitungan

PEMBAHASAN

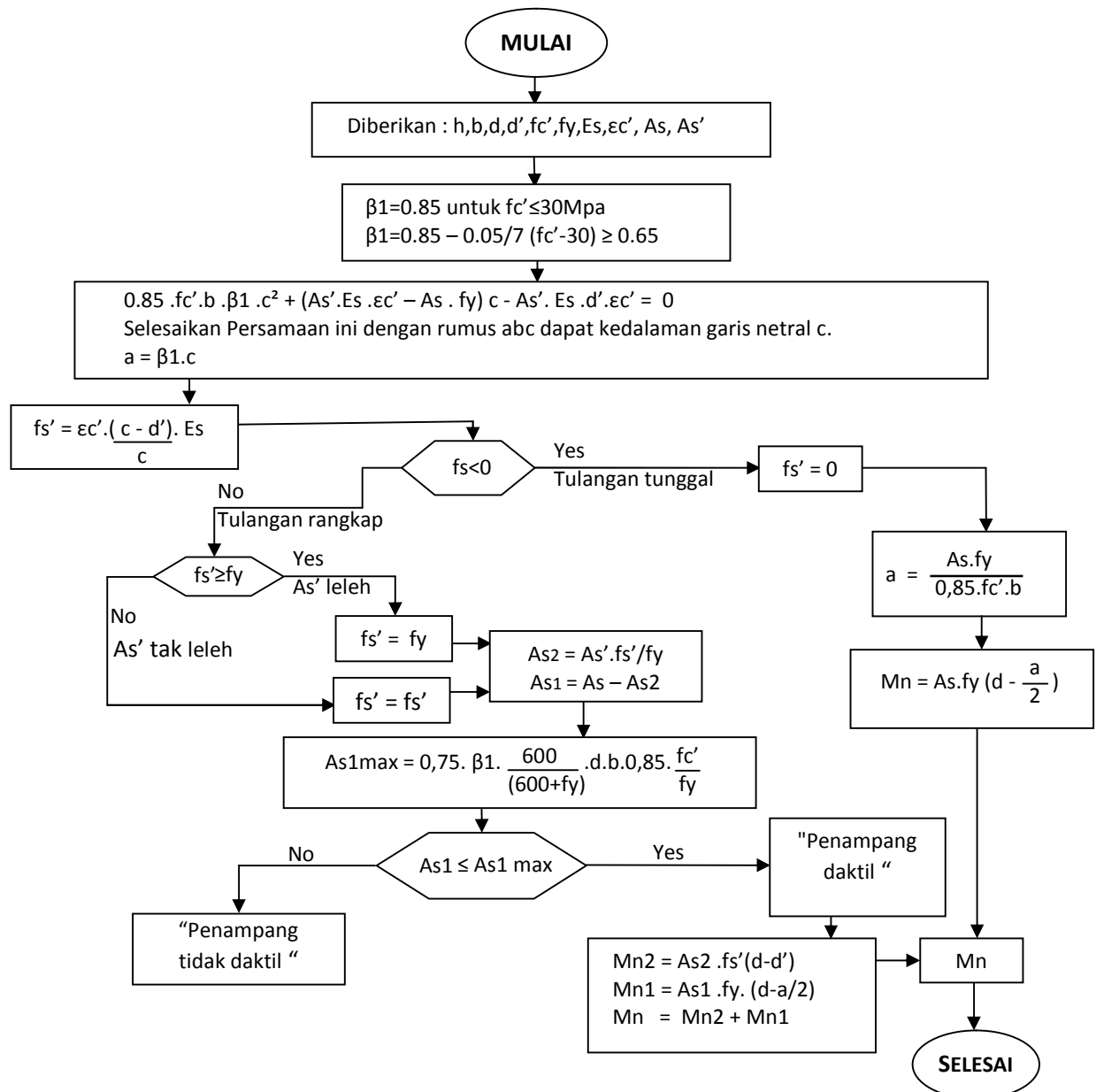
Penampang yang dianalisis

Untuk menjawab pertanyaan tersebut dibuat diagram alir seperti pada gambar 2. Selanjutnya dibuat aplikasi hitungan dan grafik dengan bantuan *soft ware* Microsoft Office Excel

2007 berdasarkan diagram alir ini. Penampang beton diberikan untuk simulasi : ukuran lebar $b=350\text{mm}$, kedalaman efektif $d=600\text{mm}$, kedalaman letak tulangan tekan $d'=60\text{mm}$, mutu beton $f_c'=35\text{Mpa}$, tegangan leleh tulangan $f_y=400\text{Mpa}$ dan elastisitas besi $E_s=2 \cdot 10^5\text{MPa}$

serta regangan hancur beton $\epsilon_c' = 0,003$. Penampang beton ini diberi tulangan tarik A_s yang bervariasi. Mula-mula diberi tulangan tarik sebesar A_{smin} , kemudian ditingkatkan menurut perbandingan terhadap A_{s1max} . Rasio A_s terhadap A_{s1max} adalah 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8; ... 2. Dengan demikian tersedia 12 penampang beton yang dianalisis. Masing-masing penampang beton

tersebut diberi tulangan tekan A_s' . Rasio A_s' terhadap tulangan tariknya dengan kenaikan bertahap 0,1. Untuk masing-masing dari 12 penampang di atas dibuat $\delta = 0,1$ sampai $\delta = 2$. Setelah itu dicari: kedalaman garis netral dibandingkan kedalaman letak tulangan tekan d' , tegangan tulangan tekan f_s' dan momen nominalnya yaitu $M_n = M_{n2} + M_{n1}$.



Gambar 2. Diagram alir analisis penampang segi empat terlentur tulangan rangkap

Garis Netral

Pada tulangan tarik yang kecil, kedalaman garis netral juga kecil. Demikian juga bila tulangan tarik terpasang membesar, maka kedalaman garis netral juga membesar. Pada tabel 1 terlihat bahwa untuk tulangan tarik terpasang $A_s = A_{smin}$ sampai dengan $A_s = 0,2A_{s1max}$ bahwa tulangan tekan yang terpasang sedalam d' itu lebih dalam dari kedalaman garis netralnya. Terlihat di sini bahwa harga $c/d' < 1$. Ini berarti A_s' terletak pada bagian tarik dari penampang, maka diabaikan. Dalam hal menambah tulangan tekan A_s' pada jumlah tulangan tarik A_s yang tetap, terlihat bahwa kedalaman garis netral semakin mengecil (lihat tabel 1 dan gambar 3). Kedalaman garis netral semakin mengecil berarti semakin kecil komponen beton tekan yang terpakai. Hal ini berarti gaya tekan beton digantikan oleh gaya tekan besi tekan. Ini pemborosan, karena peranan yang seharusnya dapat dilakukan beton tekan digantikan oleh tulangan tekan pada keadaan beton tidak memanfaatkan semaksimalnya.

Tegangan Tulangan Tekan

Pada keperluan tulangan tarik yang kecil, yaitu pada $A_s = A_{smin}$ sampai dengan $A_s = 0,2A_{s1max}$ tidak diperlukan tulangan tekan (lihat tabel 2 dan gambar 4). Pada kebutuhan tulangan tarik sampai dengan $A_s = 0,2A_{s1max}$ ini penampang cukup dianalisis bertulangan tunggal. Tulangan tekan baru diperlukan pada $A_s = 0,3A_{s1max}$. Terlihat pada tabel 2, bahwa $f_s' = 0$ untuk δ sampai dengan 0,2. Hal ini karena f_s' menjadi tarik akibat $c < d'$ yang dapat dilihat pada tabel 1.

Pada tabel 2 terlihat bahwa tulangan tekan mulai meleleh pada penulangan $A_s = 0,8A_{s1max}$, itu pun untuk $\delta = 0,1$. Pada $A_s = A_{s1max}$ tulangan tekan hanya meleleh pada $\delta = 0,1$ sampai $\delta = 0,3$. Seterusnya terlihat bila semakin banyak tulangan tarik A_s maka semakin mampu melelehkan A_s' .

Pada sudut kanan atas tabel yang diblok kuning merupakan penampang yang tidak daktil, karena di situ terjadi $A_{s1} > A_{s1max}$. Pada penampang yang tidak daktil, dengan menambahkan A_s' maka penampang akan jadi daktil. Pada tabel yang diblok hijau menyatakan tulangan tekan A_s' meleleh. Akan tetapi, bila tulangan tekan terus ditambah pada jumlah tulangan tarik yang tetap, maka akan mengakibatkan tulangan tekan tidak meleleh. Semakin banyak tulangan tekan maka semakin rendah f_s' .

Kemampuan A_s' Menaikkan M_n

Sudah dijelaskan bahwa momen nominal itu terdiri dari dua komponen, yaitu M_{n1} dan M_{n2} . Momen nominal pertama M_{n1} adalah kerja sama antara gaya tarik tulangan tarik pertama $NT1 = A_{s1} \cdot f_y$ dengan gaya tekan beton tekan $ND = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$. Momen nominal ke dua M_{n2} adalah kerja sama antara gaya tarik tulangan tarik ke dua $NT2 = A_{s2} \cdot f_y$ dengan gaya tekan tulangan tekan $ND' = A_{s'} \cdot f_s'$. Tabel 3 dan gambar 5 memperlihatkan pada A_s sampai 0,2 A_{s1max} tidak diperlukan tulangan tekan. Di sini momen nominalnya konstan, karena hanya didapat dari tulangan tunggal. Pada $A_s = 0,6A_{s1max}$ dan seterusnya memperlihatkan penambahan tulangan tekan A_s' akan menaikkan sedikit momen nominal M_n .

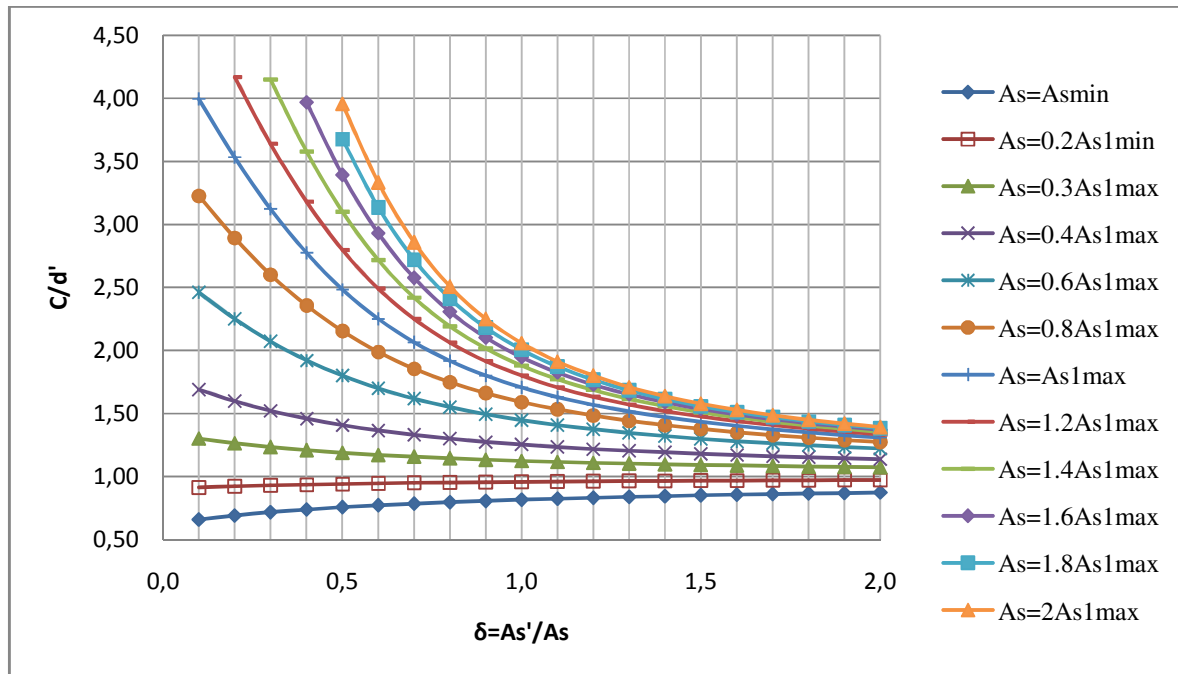
Bila penambahan tulangan tekan A_s' (δ semakin dibesarkan) tanpa menambah tulangan tarik A_s maka peningkatan M_n ini semakin mengecil. Grafik terlihat nyaris mendatar saja. Peningkatan M_n baru akan bagus, yaitu terjadi lompatan jika penambahan tulangan tekan didahului dengan penambahan tulangan tarik.

Grafik pada gambar 5 ini juga menyatakan bila penambahan A_s dan A_s' akan terus meningkatkan M_n . Hal ini berarti bahwa penambahan A_s dan A_s' untuk meningkatkan momen nominal hanya dibatasi oleh kecukupan tempat pemasangannya.

Tabel 1. Perbandingan kedalaman garis netral terhadap letak sumbu tulangan tekan

δ	As= Asmin	As yang terpasang dibanding dengan As1max										
		0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
c/d'												
0.1	0.66	0.91	1.30	1.69	2.46	3.23	3.99					
0.2	0.69	0.92	1.27	1.60	2.25	2.89	3.53	4.17				
0.3	0.72	0.93	1.23	1.52	2.07	2.60	3.12	3.64	4.15			
0.4	0.74	0.94	1.21	1.46	1.92	2.36	2.77	3.18	3.58	3.97		
0.5	0.76	0.94	1.19	1.41	1.80	2.15	2.48	2.80	3.10	3.39	3.68	3.96
0.6	0.77	0.95	1.17	1.37	1.70	1.99	2.25	2.49	2.72	2.93	3.14	3.33
0.7	0.79	0.95	1.16	1.33	1.62	1.86	2.06	2.25	2.42	2.58	2.72	2.86
0.8	0.80	0.95	1.14	1.30	1.55	1.75	1.92	2.06	2.19	2.31	2.41	2.51
0.9	0.81	0.96	1.13	1.28	1.49	1.66	1.80	1.92	2.02	2.10	2.18	2.25
1.0	0.82	0.96	1.13	1.25	1.45	1.59	1.71	1.80	1.88	1.95	2.01	2.06
1.1	0.82	0.96	1.12	1.23	1.41	1.53	1.63	1.71	1.77	1.83	1.87	1.91
1.2	0.83	0.96	1.11	1.22	1.37	1.48	1.57	1.63	1.69	1.73	1.77	1.80
1.3	0.84	0.96	1.10	1.20	1.35	1.44	1.52	1.57	1.62	1.65	1.68	1.71
1.4	0.85	0.97	1.10	1.19	1.32	1.41	1.47	1.52	1.56	1.59	1.62	1.64
1.5	0.85	0.97	1.09	1.18	1.30	1.38	1.43	1.48	1.51	1.54	1.56	1.58
1.6	0.86	0.97	1.09	1.17	1.28	1.35	1.40	1.44	1.47	1.49	1.51	1.53
1.7	0.86	0.97	1.08	1.16	1.26	1.33	1.37	1.41	1.43	1.46	1.47	1.49
1.8	0.87	0.97	1.08	1.15	1.25	1.31	1.35	1.38	1.40	1.42	1.44	1.45
1.9	0.87	0.97	1.08	1.15	1.24	1.29	1.33	1.36	1.38	1.39	1.41	1.42
2.0	0.87	0.97	1.07	1.14	1.22	1.27	1.31	1.33	1.35	1.37	1.38	1.39

= menyatakan penampang tidak daktil
 = menyatakan As' meleleh

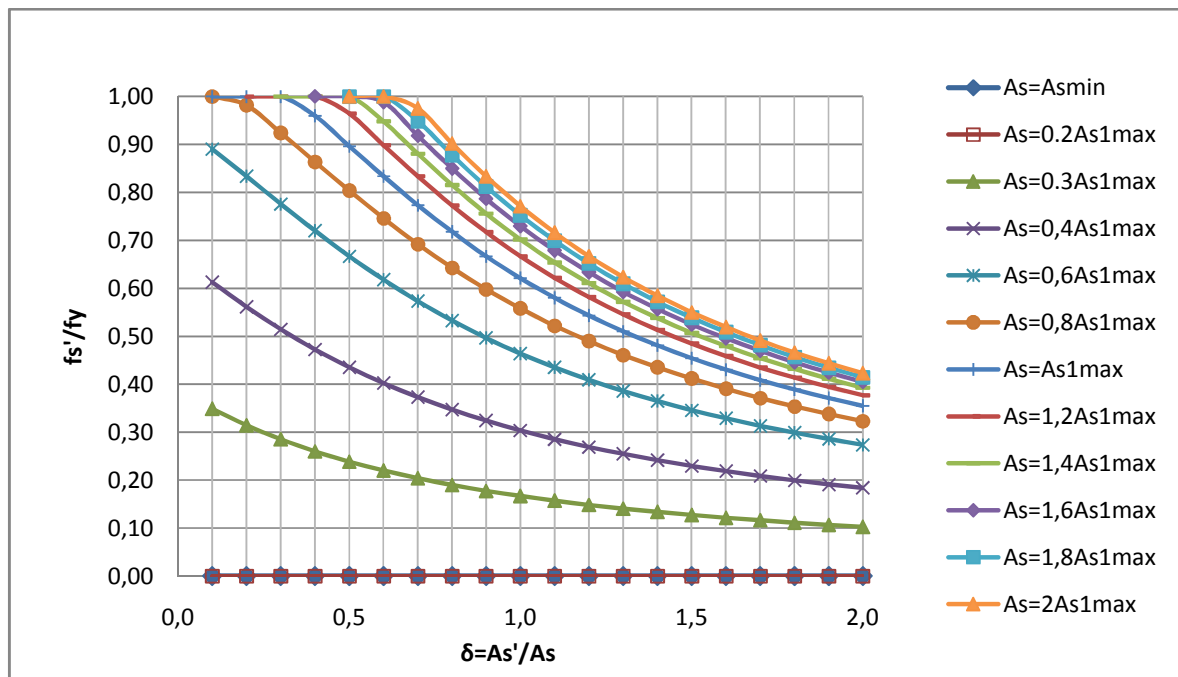


Gambar 3. Grafik kedalaman garis netral terhadap letak sumbu tulangan tekan untuk masing-masing tulangan tarik dengan variasi tulangan tekannya

Table 2. Tegangan tulangan tekan

δ	As= Asmin	As yang terpasang dibanding dengan As1 max										
		0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
f_s'												
0.1	0.0	0.0	139.5	244.9	356.1	400.0	400.0					
0.2	0.0	0.0	125.7	224.5	333.3	392.6	400.0	400.0				
0.3	0.0	0.0	114.0	205.8	310.4	369.5	400.0	400.0	400.0			
0.4	0.0	0.0	104.0	189.0	287.9	345.4	383.7	400.0	400.0	400.0		
0.5	0.0	0.0	95.4	174.0	266.7	321.4	358.4	385.5	400.0	400.0	400.0	400.0
0.6	0.0	0.0	88.0	160.8	247.0	298.3	333.3	359.1	379.2	395.3	400.0	400.0
0.7	0.0	0.0	81.6	149.0	229.1	276.8	309.3	333.3	352.0	367.0	379.5	390.0
0.8	0.0	0.0	76.0	138.7	212.9	257.0	287.0	309.1	326.1	339.8	351.2	360.7
0.9	0.0	0.0	71.0	129.5	198.5	239.2	266.7	286.8	302.3	314.6	324.8	333.3
1.0	0.0	0.0	66.7	121.4	185.5	223.1	248.3	266.7	280.7	291.8	300.9	308.5
1.1	0.0	0.0	62.8	114.2	174.0	208.7	231.9	248.6	261.4	271.4	279.6	286.3
1.2	0.0	0.0	59.3	107.7	163.6	195.9	217.2	232.5	244.1	253.2	260.6	266.7
1.3	0.0	0.0	56.2	101.8	154.3	184.3	204.1	218.2	228.8	237.0	243.7	249.2
1.4	0.0	0.0	53.4	96.5	145.9	173.9	192.3	205.3	215.0	222.6	228.7	233.7
1.5	0.0	0.0	50.8	91.8	138.3	164.6	181.7	193.7	202.7	209.7	215.3	219.9
1.6	0.0	0.0	48.5	87.4	131.4	156.1	172.1	183.3	191.7	198.2	203.3	207.5
1.7	0.0	0.0	46.4	83.5	125.2	148.4	163.4	173.9	181.7	187.7	192.5	196.4
1.8	0.0	0.0	44.4	79.8	119.5	141.5	155.6	165.4	172.7	178.3	182.8	186.4
1.9	0.0	0.0	42.6	76.5	114.2	135.1	148.4	157.6	164.5	169.8	173.9	177.3
2.0	0.0	0.0	41.0	73.4	109.4	129.2	141.8	150.6	157.0	162.0	165.9	169.1

= menyatakan penampang tidak daktil
 = menyatakan As' meleleh

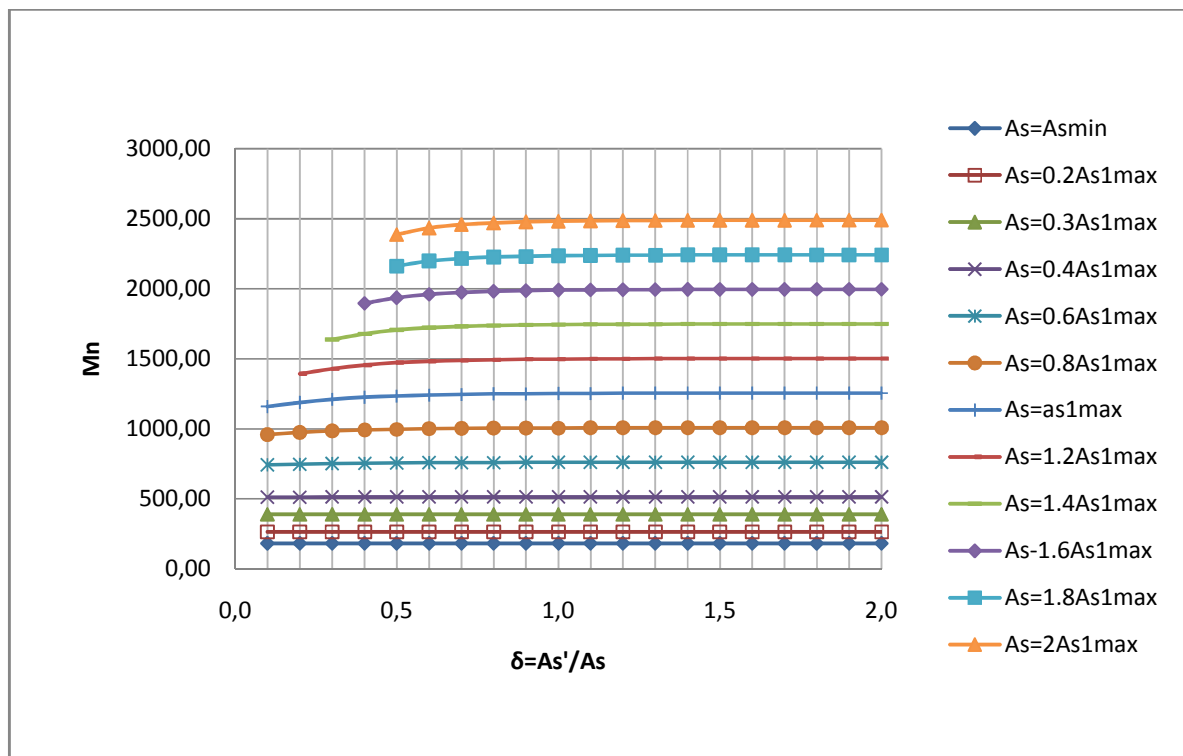


Gambar 4: Grafik perbandingan tegangan tulangan tekan terhadap tegangan leleh besi untuk masing-masing tulangan tarik dengan variasi tulangan tekannya.

Tabel 3. Momen nominal

δ	As= Asmin	As yang terpasang dibanding dengan As1max										
		0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
		Mn										
0.1	181.72	264.65	389.53	510.57	741.61	957.91	1158.80					
0.2	181.72	264.65	389.59	511.52	747.49	973.24	1188.06	1391.51				
0.3	181.72	264.65	389.60	512.15	751.62	984.23	1210.08	1427.93	1637.94			
0.4	181.72	264.65	389.60	512.56	754.47	991.88	1225.26	1454.33	1678.04	1896.73		
0.5	181.72	264.65	389.58	512.82	756.40	997.06	1235.35	1471.57	1705.50	1936.05	2163.71	2388.52
0.6	181.72	264.65	389.56	512.99	757.70	1000.51	1241.97	1482.36	1721.88	1960.63	2197.82	2433.25
0.7	181.72	264.65	389.54	513.09	758.58	1002.80	1246.26	1489.21	1731.79	1974.10	2216.21	2458.16
0.8	181.72	264.65	389.52	513.16	759.17	1004.33	1249.05	1493.54	1737.91	1982.22	2226.51	2470.81
0.9	181.72	264.65	389.49	513.20	759.58	1005.36	1250.88	1496.31	1741.72	1987.16	2232.64	2478.17
1.0	181.72	264.65	389.47	513.22	759.86	1006.06	1252.10	1498.12	1744.16	1990.24	2236.38	2482.58
1.1	181.72	264.65	389.45	513.22	760.06	1006.54	1252.94	1499.33	1745.75	1992.22	2238.74	2485.32
1.2	181.72	264.65	389.43	513.22	760.20	1006.89	1253.51	1500.15	1746.82	1993.53	2240.29	2487.08
1.3	181.72	264.65	389.41	513.22	760.29	1007.13	1253.92	1500.72	1747.55	1994.42	2241.32	2488.25
1.4	181.72	264.65	389.39	513.21	760.36	1007.30	1254.21	1501.12	1748.07	1995.04	2242.04	2489.06
1.5	181.72	264.65	389.37	513.20	760.40	1007.42	1254.42	1501.42	1748.43	1995.48	2242.54	2489.62
1.6	181.72	264.65	389.36	513.18	760.43	1007.51	1254.57	1501.63	1748.70	1995.79	2242.90	2490.02
1.7	181.72	264.65	389.34	513.17	760.45	1007.58	1254.68	1501.78	1748.90	1996.02	2243.16	2490.31
1.8	181.72	264.65	389.33	513.15	760.46	1007.62	1254.76	1501.90	1749.04	1996.19	2243.36	2490.53
1.9	181.72	264.65	389.32	513.14	760.46	1007.66	1254.82	1501.98	1749.15	1996.32	2243.50	2490.69
2.0	181.72	264.65	389.31	513.13	760.46	1007.68	1254.86	1502.04	1749.23	1996.42	2243.61	2490.81

= menyatakan penampang tidak daktil
 = menyatakan As' meleleh



Gambar 5. Momen nominal untuk masing-masing tulangan tarik dengan variasi tulangan tekannya

KESIMPULAN

1. Penampang lentur beton tidak selalu memerlukan tulangan tekan. Tulangan tekan yang tetap dipasang walaupun secara teoritis tidak diperlukan adalah karena alasan praktis. Alasan praktis misalnya untuk mengikatkan tulangan sengkang. Tulangan tekan akan mulai diperlukan pada $A_s = 0,3A_{s1max}$. Tulangan tekan efektif bekerja bila tulangan tarik A_s yang diperlukan sudah sekitar 80 % A_{s1max} .
2. Bila tulangan tekan dipasang terlalu dalam dapat mengakibatkan A_s' tidak meleleh. Terlebih ekstrim bila letak A_s' lebih dalam dari garis netralnya c , sehingga f_s' menjadi tarik, maka A_s' jadinya diabaikan
3. Penambahan tulangan tekan A_s' tidak sebanding dengan peningkatan momen nominalnya. Semakin banyak memasang tulangan tekan A_s' pada jumlah tulangan tarik A_s yang tetap maka tegangan f_s' akan semakin mengecil dan momen nominal yang diperoleh dari situ semakin mengecil juga.
4. Bila ketinggian balok terpaksa tidak boleh ditambah, maka momen rencana yang diperlukan dapat diperoleh dengan jalan menambah jumlah tulangan tarik dan tulangan

tekan. Penambahan tulangan ini hanya dibatasi oleh tempat pemasangan yang masih cukup.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Gedung, BSN, Bandung.
- Chu Kia Wang, Charles G. Salmon, 1986. Disain Beton Bertulang, PT Midas Surya Grafindo, Jakarta
- Edward G. Nawy, 1990, Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar, PT Eresco, Bandung
- Istimawan Dipohusodo, 1999, Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 DPU RI, Jakarta

RIWAYAT PENULIS

Ir. Puryanto, MT adalah Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya