

RASIO TULANGAN OPTIMUM PADA BAJA TULANGAN BJTP DAN BJTD BALOK EMPAT PERSEGI PANJANG TULANGAN TUNGGAL

Eri Setia Romadhon

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jayabaya, Indonesia

E-mail: eriromadhon63@gmail.com

Abstract

What is the optimum reinforcement ratio that can be achieved for plain reinforcing steel (BJTP) and deformed reinforcing steel (BJTD) to obtain the maximum moment of resistance in a single reinforced rectangular beam? The optimum reinforcement ratio is achieved when the moment of resistance reaches the maximum value for a certain optimum reinforcement ratio value. By knowing the optimum reinforcement ratio, it will be very easy to make the most efficient increase in beam strength. This study uses a case study of rectangular beams with various dimensions which are often used in high-rise building projects. At the moment of maximum resistance for single-reinforced rectangular beams, the optimum reinforcement ratio for BJTP steel is 0.0885 and BJTD reinforcing steel is 0.0531.

Keywords: optimum reinforcement ratio, maximum beam capacity.

Latar Belakang

Berapa rasio tulangan optimum yang bisa dicapai untuk baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan deform (BJTD) untuk memperoleh momen tahanan maksimum pada balok empat persegi panjang tulangan tunggal. Tidak sedikit kesulitan yang dijumpai untuk menentukan rasio tulangan optimum. Rasio tulangan optimum dicapai apabila momen tahanan mencapai hasil yang maksimum untuk harga rasio tulangan optimum tertentu. Melewati harga rasio tulangan optimum tertentu tidak mungkin dicapai momen tahan yang maksimum. Untuk itu pada kajian ini akan mencari berapa rasio tulangan optimum agar kekuatan atau kapasitas baloknya maksimum. Dengan mengetahui rasio tulangan optimum, semua pihak dengan sangat mudah melakukan upaya untuk meningkatkan kekuatan balok yang paling efisien. Pada kajian ini menggunakan studi kasus balok tampang empat persegi panjang dengan berbagai dimensi yang sering dipakai dalam proyek gedung bertingkat.

Balok Empat Persegi Panjang Tulangan Tunggal

Balok tulangan tunggal adalah balok yang hanya memiliki tulangan tarik saja. Untuk menganalisis balok tulangan tunggal dengan menggunakan metode kekuatan batas dapat digunakan bantuan balok sederhana sebagaimana terlihat dalam gambar 1. dan gambar 2. yang memuat potongan melintang balok tulangan tunggal, diagram regangan, diagram tegangan dan diagram gaya dalam.

Gaya adalah tegangan dikalikan dengan luas tampang. Dari diagram tegangan dapat diperoleh tegangan beton sebesar $0,85 f_c'$ dan luas tampang beton ($b \cdot a$), sehingga gaya dalam beton sebesar :

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

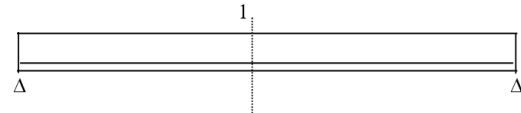
Gaya dalam tulangan baja tarik sebesar :

$$T = A_s f_y$$

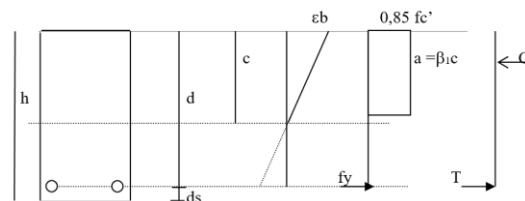
Dalam kondisi setimbang besarnya gaya dalam beton sama dengan gaya dalam baja sehingga berlaku :

$$C = T$$

$$0,85 f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot F_y, \text{ sehingga : } a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$



Gambar 1. Balok sederhana Rasio Tulangan optimum pada Baja tulangan BJTP dan BJTD



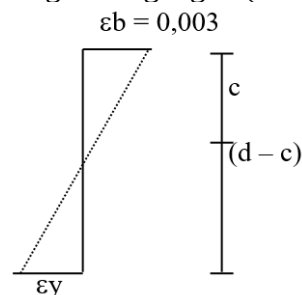
Gambar 2. Diagram Tegangan ekuivalen, Regangan dan Gaya Dalam Pada suatu penampang

Rasio Tulangan dan Rasio Tulangan Setimbang

Rasio tulangan (ρ) didefinisikan sebagai perbandingan antara luas tampang tulangan baja tarik dengan luas efektif beton yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

Rasio tulangan setimbang adalah rasio tulangan dalam kondisi dimana gaya dalam beton sama dengan gaya dalam tulangan baja tarik. Nilai rasio tulangan setimbang dapat dicari dengan bantuan diagram regangan (lihat gambar 3).



Gambar 3. Diagram regangan pada suatu penampang

Dalam diagram regangan, perbandingan antara $(d - c)$ dengan (c) sama dengan perbandingan antara regangan baja leleh (ϵ_y) dengan regangan beton (ϵ_b). Dengan menyelesaikan persamaan tersebut akan diperoleh besarnya rasio tulangan setimbang (ρ_b). Adapun penyelesaian persamaannya sebagai berikut :

$$\frac{d - c}{c} = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_b}$$

Dengan mengalikan pembilang dan penyebut diperoleh persamaan :

$$d \cdot \epsilon_b - c \cdot \epsilon_b = c \cdot \epsilon_y$$

$$d \cdot \epsilon_b = c(\epsilon_b + \epsilon_y)$$

$$\frac{\epsilon_b}{\epsilon_b + \epsilon_y} = \frac{c}{d}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_b + \epsilon_y}, \text{ jika besaran}$$

$$\epsilon_b = 0.003 \text{ dan } \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \text{ atau}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{2.10^5}, \text{ maka } \frac{c}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{2.10^5}}$$

Dengan mengalikan persamaan sebelah

kanan dengan $\frac{2.10^5}{2.10^5}$, persamaan menjadi

$$\frac{c}{d} = \frac{600}{600 + f_y} \text{ dengan memasukan}$$

besaran $a = \beta_1 \cdot c$, maka;

$$\frac{a}{d} = \frac{\beta_1 \cdot c}{d} = \frac{\beta_1 \cdot 600}{600 + f_y}$$

Dalam kondisi setimbang berlaku:

$$C = T \text{ atau}$$

$$A_s \cdot f_y = 0.85 f_c' \cdot a \cdot b,$$

$$\text{sehingga: } \frac{A_s}{b} = \frac{0.85 f_c' \cdot a}{f_y}$$

Dengan membagi persamaan sebelah kanan dan kiri dengan diperoleh persamaan

$$\frac{A_s}{bd} = \frac{0.85 f_c' \cdot a}{f_y \cdot d}, \text{ karena } \frac{A_s}{bd} =$$

$$\rho_b, \text{ maka } \rho_b = \left(\frac{0.85 f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{a}{d} \right)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan di atas diperoleh rasio tulangan setimbangan

$$\rho_b = \left(\frac{0.85 f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Kondisi Rasio Tulangan

Kondisi rasio tulangan umumnya terdiri dari *balance*, *Over Reinforce* dan *Under Reinforce*:

1. Kondisi *balance* atau setimbang suatu kondisi dimana jika terjadi beban maksimum, tulangan baja dan beton akan runtuh secara bersamaan. Kondisi ini tidak menguntungkan karena jika terjadi keruntuhan, struktur beton akan runtuh secara tiba tiba tanpa adanya peringatan terlebih dahulu, hal ini terjadi karena beton bersifat getas sehingga kalau terjadi beban maksimum langsung hancur. Kondisi ini tidak disukai karena jika terjadi keruntuhan kurban akan sangat besar. Kondisi ini ditandai dengan : rasio tulangan (ρ) sama dengan rasio tulangan setimbang (ρ_b) atau : $\rho = \rho_b$
2. Kondisi *Over Reinforce* suatu kondisi dimana jika terjadi beban maksimum, beton akan runtuh terlebih dahulu baru kemudian diikuti oleh tulangan bajanya. Kondisi ini tidak menguntungkan karena jika terjadi keruntuhan struktur beton akan runtuh tanpa adanya peringatan terlebih dahulu, hal ini terjadi karena beton bersifat getas sehingga kalau terjadi beban maksimum langsung hancur. Kondisi ini tidak disukai karena jika terjadi keruntuhan kurban akan sangat besar. Kondisi ini

ditandai dengan : rasio tulangan (ρ) lebih besar dari rasio tulangan setimbang (ρ_b) atau:
 $\rho > \rho_b$

3. Kondisi *Under Reinforce* suatu kondisi dimana jika terjadi beban maksimum, tulangan baja akan runtuh terlebih dahulu baru kemudian diikuti oleh betonya. Kondisi ini lebih disukai karena jika terjadi beban maksimum struktur beton akan mengalami goncangan terlebih dahulu baru setelah sekian lama baru runtuh, hal ini terjadi karena tulangan baja bersifat liat sehingga kalau terjadi beban maksimum tulangan baja akan memanjang dulu baru hancur. Kondisi ini lebih disukai karena jika terjadi keruntuhan kurban akan mempunyai waktu untuk menyelamatkan diri. Kondisi ini ditandai dengan syarat : rasio tulangan (ρ) lebih kecil dari rasio tulangan setimbang (ρ_b) atau dapat ditulis:

$$\rho < \rho_b$$

Sehingga TCP SBBG SKSNI' 03-2847-2002 mensyaratkan dalam merancang struktur beton tulangan tunggal harus memenuhi kondisi:

1. Rasio tulangan harus lebih kecil atau sama dengan 75% rasio tulangan setimbang:

$$\rho_{\max} \leq 0,75 \rho_b \quad \text{atau} \quad \rho_{\max} \leq \left(\frac{f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \left(\frac{382,5}{600 + f_y} \right)$$

2. Rasio tulangan harus lebih besar dari:

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y}$$

atau tidak boleh lebih kecil dari:

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y \quad f_y \text{ dalam satuan Mpa}$$

Tabel 1. Harga rasio tulangan minimum

Jenis Baja	f_y (Mpa)	$\rho_{\min}$
BJTP	240	0,0058
BJTD	400	0,0035

Kekuatan atau Kapasitas Balok Tulangan Tunggal

Kekuatan atau kapasitas balok ditunjukkan dengan besarnya momen yang terjadi pada suatu penampang. Momen sama dengan gaya dikalikan dengan jarak antara titik pusat gaya T dan C, maka besarnya momen nominal (M_n) :

$$M_n = T \cdot (d - a/2) \quad \text{atau}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$$

Dengan memasukan $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$ dan

$$a = \frac{\rho \cdot f_y \cdot d}{0,85 f_c'} \quad \text{diperoleh momen nominal:}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{\rho \cdot f_y \cdot d}{1,7 f_c'} \right) \quad \text{atau}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{0,588 \cdot \rho \cdot f_y \cdot d}{f_c'} \right)$$

Sehingga kapasitas gelagar tulangan tunggal (M_u)

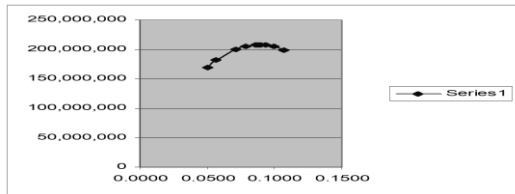
$$M_u = 0,8 \cdot M_n \quad \text{atau}$$

$$M_u = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{0,588 \cdot \rho \cdot f_y \cdot d}{f_c'} \right)$$

Kajian untuk mencari rasio tulangan optimum, dilakukan dengan cara menghitung kekuatan balok beton bertulangan tunggal dengan berbagai dimensi balok yang sering dipakai untuk gedung bertingkat dan berbagai rasio tulangan optimum. Dengan mengetahui kekuatan maksimum baloknya bisa menentukan rasio tulangan optimum.

Kekuatan Balok Beton Bertulang 200/400

Dalam tabel 2. dengan memberikan nilai lebar balok 200 mm, tinggi balok = 400mm, tulangan baja jenis BJTP dengan tegangan leleh = 240 Mpa, tegangan beton karakteristik $F_c' = 25$ Mpa, luas total tulangan tarik dari = 3500 mm² sampai 7500 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0885.



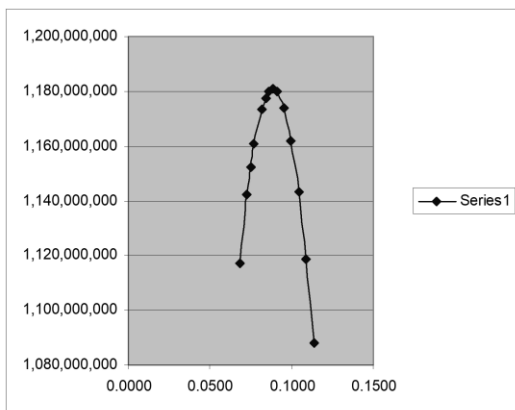
Gambar 5. Rasio tulangan optimum Baja BJTP dan momen tahanan maksimum balok 300/600

Kekuatan Balok Beton Bertulang 350/700

Dalam tabel 4. dengan memberikan nilai lebar balok 350 mm, tinggi balok = 700mm, tulangan baja jenis BJTP dengan tegangan leleh = 240 Mpa, tegangan beton karakteristik $f_c' = 25$ Mpa, luas total tulangan tarik dari = 15000 mm² sampai 25000 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0885.

Tabel 4. Rasio tulangan optimum Baja BJTP dan momen tahanan maksimum balok 350/700

No	b	h	f_c'	f_y	A_s	p	Mu
	mm	mm	Mpa	Mpa	mm ²		Nmm
1	350	700	25	250	15000	0.0680	1,117,391,597
2	350	700	25	250	16000	0.0726	1,142,319,328
3	350	700	25	250	16500	0.0748	1,152,459,832
4	350	700	25	250	17000	0.0771	1,161,051,429
5	350	700	25	250	18000	0.0816	1,173,587,899
6	350	700	25	250	18500	0.0839	1,177,532,773
7	350	700	25	250	19000	0.0862	1,179,928,739
8	350	700	25	250	19500	0.0884	1,180,775,798
9	350	700	25	250	19,525	0.0885	1,180,777,492
10	350	700	25	250	19,575	0.0888	1,180,769,264
11	350	700	25	250	20,000	0.0907	1,180,073,950
12	350	700	25	250	21,000	0.0952	1,174,023,529
13	350	700	25	250	22,000	0.0998	1,161,777,479
14	350	700	25	250	23,000	0.1043	1,143,335,798
15	350	700	25	250	24,000	0.1088	1,118,698,487
16	350	700	25	250	25,000	0.1134	1,087,865,546



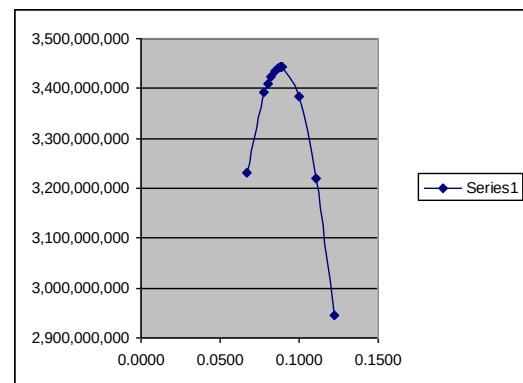
Gambar 6. Rasio tulangan optimum Baja BJTP dan momen tahanan maksimum balok 350/700

Kekuatan Balok Beton Bertulang 500/1000

Dalam tabel 5. dengan memberikan nilai lebar balok 500 mm, tinggi balok = 1000mm, tulangan baja jenis BJTP dengan tegangan leleh = 240 Mpa, tegangan beton karakteristik $f_c' = 25$ Mpa, luas total tulangan tarik dari = 30000 mm² sampai 55000 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0885.

Tabel 5. Rasio tulangan optimum Baja BJTP dan momen tahanan maksimum balok 500/1000

No	b	h	f_c'	f_y	A_s	p	Mu
	mm	mm	Mpa	Mpa	mm ²		Nmm
1	500	1000	25	250	30,000	0.0667	3,232,376,471
2	500	1000	25	250	35,000	0.0778	3,391,623,529
3	500	1000	25	250	36,000	0.0800	3,410,462,118
4	500	1000	25	250	37,000	0.0822	3,424,963,765
5	500	1000	25	250	38,000	0.0844	3,435,128,471
6	500	1000	25	250	39,000	0.0867	3,440,956,235
7	500	1000	25	250	39,700	0.0882	3,442,455,191
8	500	1000	25	250	39,800	0.0884	3,442,495,849
9	500	1000	25	250	39,845	0.0885	3,442,499,997
10	500	1000	25	250	39,900	0.0887	3,442,493,139
11	500	1000	25	250	40,000	0.0889	3,442,447,059
12	500	1000	25	250	45,000	0.1000	3,384,847,059
13	500	1000	25	250	50,000	0.1111	3,218,823,529
14	500	1000	25	250	55,000	0.1222	2,944,376,471



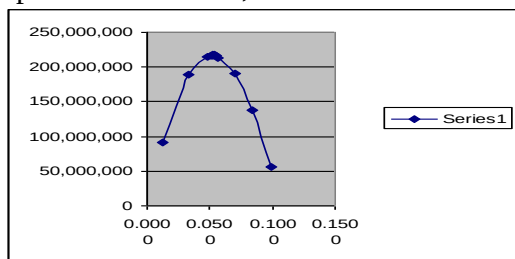
Gambar 7. Rasio tulangan optimum Baja BJTP dan momen tahanan maksimum balok 500/1000

Kekuatan Balok Beton Bertulang 200/400

Tabel 6. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 200/400

No	b	h	fc'	fy	As	p	Mu
	mm	mm	Mpa	Mpa	mm ²		Nmm
1	200	400	25	400	904	0.0125	92,123,768
2	200	400	25	400	2412	0.0336	189,482,180
3	200	400	25	400	3402	0.0476	214,903,940
4	200	400	25	400	3600	0.0503	216,677,647
5	200	400	25	400	3700	0.0517	217,124,706
6	200	400	25	400	3750	0.0524	217,235,294
7	200	400	25	400	3800	0.0531	217,270,588
8	200	400	25	400	3900	0.0545	217,115,294
9	200	400	25	400	4000	0.0564	212,818,824
10	200	400	25	400	5000	0.0705	190,729,412
11	200	400	25	400	6000	0.0846	138,522,353
12	200	400	25	400	7000	0.0987	56,197,647

Dalam tabel 6. dengan memberikan nilai lebar balok 200 mm, tinggi balok = 400mm, tulangan baja jenis BJTD dengan tegangan leleh = 400 Mpa, tegangan beton karakteristik $F_c' = 25$ Mpa, luas total tulangan tarik dari = 904 mm² sampai 7000 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0531.



Gambar 8. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 200/400

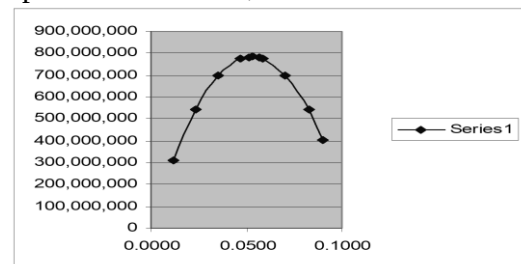
Kekuatan Balok Beton Bertulang 300/600

Tabel 7. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 300/600

No	b	h	fc'	fy	As	p	Mu
	mm	mm	Mpa	Mpa	mm ²		Nmm
1	300	600	25	400	1,963	0.0118	309,629,917
2	300	600	25	400	3,925	0.0236	541,791,608
3	300	600	25	400	5,888	0.0354	696,721,729
4	300	600	25	400	7,850	0.0472	774,262,431
5	300	600	25	400	8,500	0.0511	782,906,667
6	300	600	25	400	8,800	0.0529	784,035,137
7	300	600	25	400	8,838	0.0531	784,049,137
8	300	600	25	400	9,500	0.0571	779,640,784
9	300	600	25	400	9,813	0.0590	774,492,757
10	300	600	25	400	11,755	0.0707	698,588,125
11	300	600	25	400	13,738	0.0826	542,943,000
12	300	600	25	400	15,000	0.0902	402,776,471

Dalam tabel 7. dengan memberikan nilai lebar balok 200 mm, tinggi balok = 400mm, tulangan baja jenis BJTD dengan tegangan leleh = 400 Mpa, tegangan beton karakteristik $F_c' = 25$ Mpa, luas

total tulangan tarik dari = 1963 mm² sampai 15000 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0531.

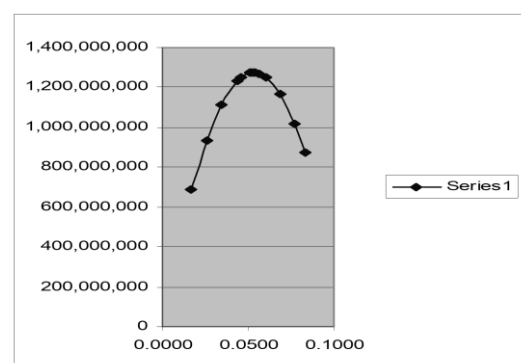


Gambar 9. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 300/600

Kekuatan Balok Beton Bertulang 350/700

Tabel 8. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 350/700

No	b	h	fc'	fy	As	p	Mu
	mm	mm	Mpa	Mpa	mm ²		Nmm
1	350	700	25	400	3,925	0.0171	689,485,950
2	350	700	25	400	5,888	0.0257	934,858,442
3	350	700	25	400	7,850	0.0343	1,113,839,798
4	350	700	25	400	10,000	0.0437	1,233,895,798
5	350	700	25	400	10,420	0.0455	1,248,060,316
6	350	700	25	400	10,500	0.0458	1,250,414,118
7	350	700	25	400	11,755	0.0513	1,272,922,279
8	350	700	25	400	12,000	0.0524	1,274,153,950
9	350	700	25	400	12,170	0.0531	1,274,401,492
10	350	700	25	400	12,200	0.0533	1,274,393,546
11	350	700	25	400	12,500	0.0546	1,273,462,185
12	350	700	25	400	13,000	0.0567	1,268,467,899
13	350	700	25	400	13,738	0.0600	1,253,234,388
14	350	700	25	400	15,700	0.0685	1,167,151,193
15	350	700	25	400	17,667	0.0771	1,014,345,906
16	350	700	25	400	19,000	0.0829	872,939,832



Gambar 10. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 350/700

Dalam tabel 8. dengan memberikan nilai lebar balok 200 mm, tinggi balok = 400mm, tulangan baja jenis BJTD dengan tegangan leleh = 400 Mpa, tegangan

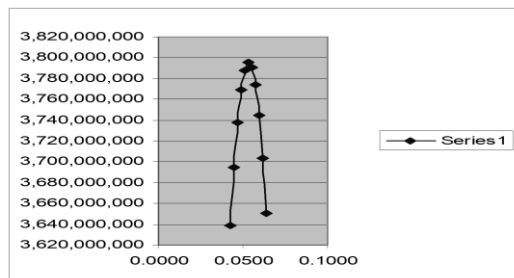
beton karakteristik $F_c' = 25$ Mpa, luas total tulangan tarik dari = 3925 mm² sampai 19000 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0531.

Kekuatan Balok Beton Bertulang 500/1000

Dalam tabel 9. dengan memberikan nilai lebar balok 200 mm, tinggi balok = 400mm, tulangan baja jenis BJTD dengan tegangan leleh = 400 Mpa, tegangan beton karakteristik $F_c' = 25$ Mpa, luas total tulangan tarik dari = 20000 mm² sampai 30000 mm², diperoleh momen tahanan maksimum pada rasio tulangan optimum sebesar 0,0531.

Tabel 9. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 500/1000

No	b	h	f_c'	f_y	A_s	p	M_u
	mm	mm	Mpa	Mpa	mm ²		Nmm
1	500	1000	25	400	20,000	0.0423	3,638,588,235
2	500	1000	25	400	21,000	0.0444	3,694,023,529
3	500	1000	25	400	22,000	0.0466	3,737,411,765
4	500	1000	25	400	23,000	0.0487	3,768,752,941
5	500	1000	25	400	24,000	0.0508	3,788,047,059
6	500	1000	25	400	25,000	0.0529	3,795,294,118
7	500	1000	25	400	25,100	0.0531	3,795,356,235
8	500	1000	25	400	25,150	0.0532	3,795,342,118
9	500	1000	25	400	25,200	0.0533	3,795,297,882
10	500	1000	25	400	26,000	0.0550	3,790,494,118
11	500	1000	25	400	27,000	0.0571	3,773,647,059
12	500	1000	25	400	28,000	0.0593	3,744,752,941
13	500	1000	25	400	29,000	0.0614	3,703,811,765
14	500	1000	25	400	30,000	0.0635	3,650,823,529



Gambar 11. Rasio tulangan optimum Baja BJTD dan momen tahanan maksimum balok 500/1000

Kesimpulan

Dari kajian di atas dapat disimpulkan bahwa: pada momen tahanan maksimum untuk balok tampang empat persegi panjang tulangan tunggal diperoleh rasio tulangan optimum untuk baja BJTP

sebesar 0,0885 dan baja tulangan BJTD sebesar 0,0531.

Daftar Pustaka

- [1] Departemen Permukiman dan pengembangan Wilayah, *Tata Cara Penghitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, Yayasan LPMB, Bandung
- [2] Eri Setia Ramadhon (2007) *Perancangan Beton Bertulang*, Jakarta
- [3] McCormac, Jack C., (200) *Desain Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Nawy, Edward G., (1990) *Beton Bertulang, Suatu pendekatan Dasar*, Eresco, Bandung
- [5] Winter, George; Nilson, Arthur H., (1993) *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Pradya paramita, Jakarta.